

**Wnętrze krajobrazowe
a parametry energetyczne budynku**

**Optymalizacja wielokryterialna i wielopoziomowa
w projektach architektury krajobrazu**

Autor:

mgr inż. Jolanta Gintowt

Promotor:

prof. dr hab. inż. arch. Sabina Kuc

Promotor pomocniczy:

dr. hab. inż. arch. Agnieszka Ozimek, prof. PK

Pragnę wyrazić ogromną wdzięczność
mojej promotor prof. dr hab. inż. arch. Sabinie Kuc
oraz
promotor pomocniczej dr. hab. inż. arch. Agnieszce Ozimek, prof. PK
za cenne uwagi, poświęcony mi czas, wsparcie i zrozumienie oraz okazane serce.

Kraków 2023

SŁOWO WSTĘPNE.....	5
1. Zagospodarowanie przestrzenne wokół budynku.....	11
2. Komfort termiczny a samopoczucie użytkowników budynku.....	12
1. WPROWADZENIE.....	17
1.1. Uzasadnienie wyboru tematu pracy i przedmiotu badań.....	17
1.2. Cele pracy.....	22
1.2.1. Cel główny.....	22
1.2.2. Cele pośrednie.....	22
1.3. Problem badawczy i teza pracy	22
1.4. Zakres pracy	23
1.4.1. Zakres merytoryczny i ograniczenia tematu.....	23
1.4.2. Zakres terytorialny.....	24
1.4.3. Zakres czasowy.....	24
2. METODOLOGIA BADAŃ.....	27
2.1. Przyjęte metody badawcze.....	27
2.2. Organizacja materiału badawczego.....	28
2.3. Struktura pracy.....	33
3. STAN BADAŃ.....	36
3.1. Podstawowe skróty i oznaczenia użyte w pracy.....	36
3.2. Analizy wielokryterialne.....	43
3.2.1. Metody eksperckie	43
3.2.2. Procedury tzw. rozwoju zrównoważonego	62
3.2.3. Certyfikaty i audyty energetyczne budynków	71
3.2.4. Metody matematyczne.....	72
3.3. Analizy energetyczne	82
3.3.1. Konieczność redukcji zużycia energii	82
3.3.2. Analizy budynków pod kątem komfortu cieplnego.....	83
3.3.3. Optymalizacja zużycia energii w budynkach	86
3.4. Analizy krajobrazowe.....	104
3.4.1. Plany zagospodarowania przestrzennego a optymalizacja zużycia energii w budynkach	105
3.4.2. Analizy przestrzenne krajobrazu.....	107
3.4.3. Wnętrza krajobrazowe.....	111

3.4.4. Adaptacja drzew w środowisku zurbanizowanym.....	114
3.4.5. Badania „in situ” stanu drzew. Modelowanie stanu drzew	127
3.4.6. LAI (Leaf Area Index).....	131
3.4.7. Modelowanie przezierności drzew	132
4. PRZYDATNE OPROGRAMOWANIE DO MODELOWANIA DRZEW ORAZ OPTYMALIZACJI ENERGETYCZNEJ BUDYNKU.....	137
4.1. Programy do optymalizacji energetycznej budynku.....	137
4.1.1. ECOTECT	137
4.1.2. ATHENA	138
4.1.3. DESIGN BUILDER	139
4.1.4. ENERGY PLUS	139
4.1.5. Camos - Computer Aided Multicriterion Optimization System	140
4.1.6. PHPP.....	141
4.2. Programy do modelowania drzew oraz ich przezierności	141
4.2.1. Sapling Tree Gen w Blenderze	142
4.2.2. ATree 3D w 3DS Max.....	142
4.2.3. Vectorworks Landmark.....	143
4.2.4. ImageJ	144
4.2.5. Leafscan	144
4.3. Autorskie oprogramowanie JFP – JOLI Factor Programming Joined Optimization of Landscape Interior Factor Programming	145
5. WPLYW STRUKTURY WNĘTRZA KRAJOBRAZOWEGO NA BILANS ENERGETYCZNY BUDYNKU	147
5.1. Etapy projektowania zintegrowanego. Dekompozycja zadania.....	147
5.2. Optymalizacja, wolnostojącego, jednorodzinne domu mieszkalnego	155
5.3. Optymalizacja projektu wnętrza krajobrazowego	157
5.4. Projektowanie otoczenia budynku a komfort użytkowania budynku...	158
5.5. Współczynnik przezierności drzew.....	158
5.6. Warianty i elementy optymalizacji przestrzennej.....	168
6. WYNIKI BADAŃ I WNIOSKI.....	207
6.1. Optymalizacja budynku.....	207
6.2. Analiza wpływu drzew na bilans energetyczny budynku.....	224
6.2.1. Analiza wyników badań dla drzew iglastych.....	226

6.2.2. Analiza wyników badań dla drzew liściastych.....	231
6.2.3. Wskaźnik przezierności JOLI Factor - Joined Optimization of Landscape Interior.....	246
6.3. Podsumowanie i konkluzje końcowe	250
6.4. Zastosowanie wyników badań w projektowaniu.....	252
6.5. Perspektywy rozwoju badań	254
BIBLIOGRAFIA	255
ZESTAWIENIE ILUSTRACJI I TABEL.....	288
STRESZCZENIE.....	303
ANEKS.....	309

SŁOWO WSTĘPNE

Szacunkowo około 40% światowego zużycia energii to energia przeznaczona na ogrzewanie budynków mieszkalnych. To skutkuje opracowywaniem i efektywnym wdrażaniem regulacji prawnych i przepisów w zakresie jej oszczędności. Autorzy publikacji pt. „*Collation of qualitative research with quantitative FEM research in terms of two dimensional heat flow*” dokonali analizy wpływu jakości obudowy budynku¹ na zapotrzebowanie energii do ogrzewania w kontekście zmniejszenia zużycia energii na ogrzewanie budynku.

Zgodnie z trendem oszczędności energii do celów ogrzewania budynków powstały liczne proekologiczne organizacje międzynarodowe, które upolityczyły problem i nadały mu odpowiednią rangę. XXIV Sesja Generalna ONZ (1969) obradująca na temat aktualnego stanu środowiska na świecie przedstawiła raport ostrzegający przed postępującą degradacją środowiska i konieczność ochrony środowiska naturalnego oraz racjonalnego korzystania z jego bogactw. W raporcie zaprezentowanym przez Sekretarza Generalnego ONZ Sithu U Thanta te postulaty zostały wyraziście wyeksponowane. Konsekwentnie, zgodnie z dyrektywą Unii Europejskiej „*W sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniającą i w następstwie uchylającą dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE*”², dotyczącą podwyższania efektywności energetycznej państw członkowskich, można zauważyć, iż w ostatnich latach organy Unii Europejskiej, wprowadzając zmiany legislacyjne, odnoszące się do różnych gałęzi gospodarki, niezmiennie starają się nadać większą rangę zrównoważonemu rozwojowi. Dąży się do tego, aby te zapisy stały się normą obowiązującą, standardem, a nie jedynie wyjątkiem stosowanym w niektórych krajach. Starania te zgodnie z Dyrektywą Parlamentu Europejskiego³ dotyczącą charakterystyki energetycznej, intensywnie podejmowane są w odniesieniu do tzw. rynków wiodących takich jak rynek usług zdrowotnych, energii czy też budownictwa. Rynki te wskazywane są przez Komisję

¹ M. Topolski, J. Gintowt, *Collation of qualitative research with quantitative FEM research in terms of two dimensional heat flow*, Technical Transactions, Z 5-B/2014, Kraków 2014, s. 272-282.

² Dyrektywa Parlamentu Europejskiego 2009/28/WE, *W sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylającą dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE*, Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, 5.6.2009, s. L 140/23.

³ Dyrektywa Parlamentu Europejskiego 2010/31/WE, *W sprawie charakterystyki energetycznej*, Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, 2010.153.13, s. 1-2.

jako posiadające najwyższy potencjał ekonomiczny i społeczny. Tak więc nowa jakość, w postaci regulacji dotyczących zrównoważonego rozwoju, wprowadzana w tych obszarach ma bezpośrednie przełożenie na dalsze i systematyczne stosowanie oraz rozwój standardów ekologicznych w krajach Unii Europejskiej.

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego⁴ i Rady Europy⁵ 2010/31/WE uchwalona w dniu 19 maja 2010 roku w sprawie charakterystyki energetycznej budynków jest dowodem na konsekwencję w dążeniu Unii Europejskiej w kierunku rozwoju standaryzacji ekologicznych. Jak każda dyrektywa, również i ta, wymagała implementacji do prawa krajowego. Niestety, także implementacja procedury Environmental Life-cycle assessment⁶, jest dobrowolna i w polskim ustawodawstwie nie jest obecnie nawet zalecana.

Podstawowym celem wskazanej regulacji jest zapewnienie dalszego, systematycznego rozwoju budownictwa zrównoważonego w krajach Unii Europejskiej. Zgodnie z założeniami Dyrektywy zrealizowano to przez wprowadzenie standardów określających wymagania energetyczne dla budynków, zarówno tych nowo budowanych, jak i już istniejących, poprzez określenie referencyjnych wskaźników zużycia Energii Pierwotnej. Tym samym wprowadzono minimalne wymagania stawiane budynkom energooszczędnym. W odniesieniu do wcześniejszej Dyrektywy⁷ wprowadza ona kilka pionierskich regulacji, między innymi pojęcie tzw. budynków o niemal zerowym zużyciu energii, a także system zachęt w celu wspierania zrównoważonego budownictwa. W dyrektywie tej w punkcie 10 zawarte są wytyczne precyzujące wymagania charakterystyki energetycznej budynków. Mianowicie takie, że charakterystyka energetyczna budynków nowych projektowanych powinna być określana na podstawie metodologii uwzględniającej oprócz izolacji termicznej inne czynniki, które odgrywają coraz ważniejszą rolę. Zdefiniowano, iż są to takie czynniki jak rodzaj stosowanych instalacji grzewczych i klimatyzacyjnych, odnawialne źródła energii oraz projekt budynku.

⁴ Komunikat Komisji do Rady Parlamentu Europejskiego, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego oraz Komitetu Regionów, Inicjatywa Rynków pionierskich dla Europy, 2007, s. 15-16.

⁵ Dyrektywa 2010/31/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Europy, *W sprawie charakterystyki energetycznej budynków*, 2010, s. L153/15-L153/16.

⁶ ISO 14040:2006, *Environmental management- Life Cycle Assessment- Principles and framework*, 2006, s. 3-18.

⁷ Dyrektywa 2002/91/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Europejskiej, *W sprawie charakterystyki energetycznej budynków*, 2002, s. 13-20.

W przypadku istniejących budynków poprawa ogólnej charakterystyki energetycznej budynku oznacza niekonieczne pełną renowację budynku, ale może zostać ograniczona do istotnych dla poprawy charakterystyki energetycznej elementów.

W charakterystykach energetycznych (metodologia) uwzględnia się wpływ promieniowania słonecznego na zyski wewnętrzne pomieszczeń. Zyski te zależą od rodzaju przegród przezroczystych, usytuowania budynku względem stron świata oraz zacienienia od sąsiednich budynków.

Niestety zagadnienie włączenia przyrodniczych elementów wnętrza krajobrazowego do wyznaczania charakterystyki energetycznej budynków nie zostało implementowane zarówno w skali budynków jednorodzinnych, jak w skali kompleksów wielorodzinnych oraz użyteczności publicznej.

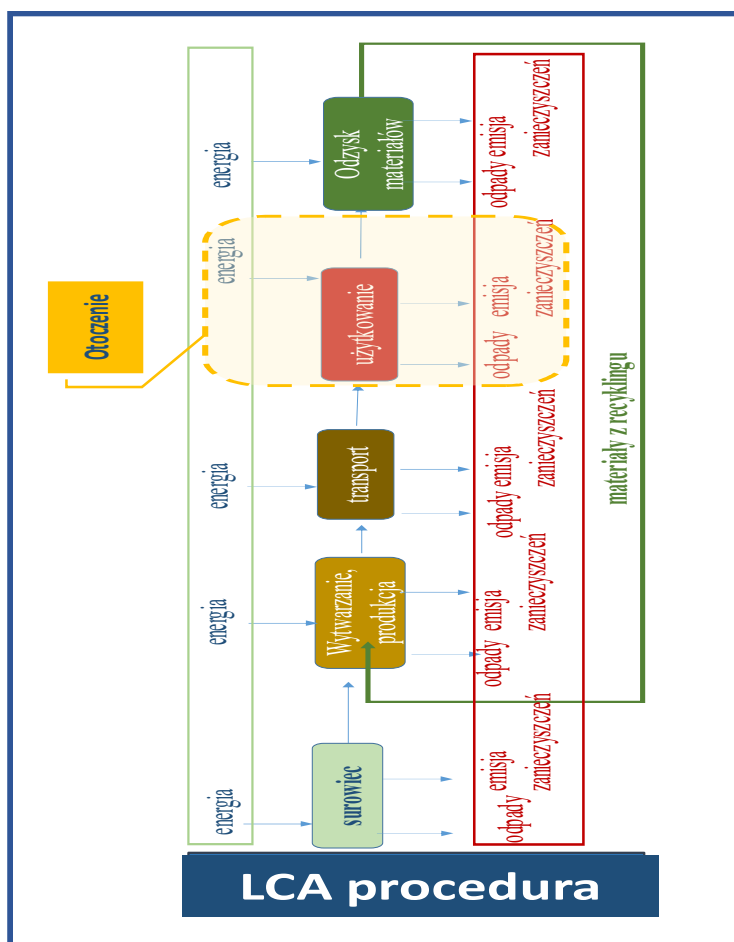
W najpowszechniej stosowanych procedurach zrównoważonego budownictwa takich systemów oceny jak, LEED, BREEAM i DGNB oraz WELL (opisanych w rozdziale 2) w projektowaniu budynków nie przewiduje się włączenia wnętrza krajobrazowego budynku do oceny zapotrzebowania energii do celów ogrzewania i chłodzenia, z wyjątkiem zacienienia od budynków sąsiednich. Można otrzymać wyższą ocenę budynku za punkty dotyczące zaprojektowania skojarzonego z budynkiem wnętrza krajobrazowego, rozumianego jako atria, zieleni rodzima, widok z okna. W kontekście wrażeń na widok krajobrazu oceny atrakcyjności krajobrazu dokonuje M. Skiba⁸ stosując teorię zbiorów rozmytych. Jednakże w obliczeniach zapotrzebowania ciepła, poza zacienieniem od budynków sąsiednich, nie włącza się oddziaływania zieleni. Należy podkreślić, iż wartość zacienienia przyjmuje się jako stałą. Nie uwzględnia się, tak samo zmiennej wartości zacienienia wynikającej ze zmiany drzewa na skutek wzrostu, jak i ulistnienia zależnego od pór roku.

1. Zagospodarowanie przestrzenne wokół budynku

Obiekty położone w pobliżu budynku, w tym szczególnie sąsiednie budynki, oddziałują zmieniając istotnie lokalnie nasłonecznienie, czy wpływ wiatru, a tym samym warunki termiczne. Odległość oraz wysokość sąsiednich budynków powoduje zmiany w dwóch sferach: może zwiększać zacienienie elewacji, w przypadku gdy ta ma być poddana bezpośredniemu promieniowaniu słonecznemu

⁸ M. Skiba, *Ocena atrakcyjności krajobrazu*, wyd. ZUT, Szczecin, s.293-304.

i ograniczać widok, chociaż spełnione może być wymaganie zawarte w dokumencie Warunki Techniczne⁹. To w przypadku niewielkich odległości od budynku może powodować dużą różnicę ciśnienia powietrza, co z kolei może skutkować dużą prędkością wiatru w tej strefie i dyskomfortem osób przemieszczających się w tym obszarze. Parametry definiujące jakość budynku przedstawiono na il. 1.

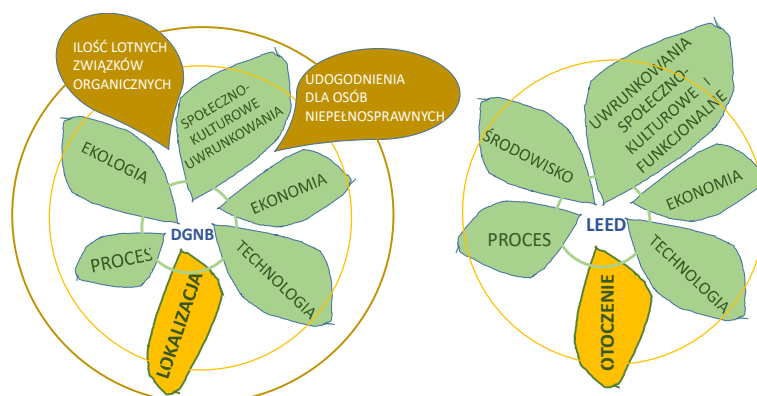


il. 1. Parametry definiujące jakość budynku w cyklu LCA. [Opracowanie własne] na podstawie EN ISO 14040 i EN ISO 14044

Chociaż może być też inny punkt widzenia na parametryzację budynku.. Profesor Andrzej Wyżykowski wspomina wypowiedź profesora Wojciecha Leśnikowskiego: „Przychodzi do mnie duży klient i zamawia duży projekt. Jedyne warunki: ma być wspaniałe i piękne. Pytam: pokaż mi jego lokalizację. Odpowiedź: Ty się o to nie martw. Jak będzie piękne, to ja sobie lokalizację znajdę. A my uczymy

⁹ W sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 z późn. zmianami

studentów, że trzeba najpierw pójść w teren”¹⁰. Tak więc potwierdzenie tezy, że można włączyć zieleni, na etapie po wzniesieniu budynku, wydaje się zasadne. (etap włączenia otoczenia budynku przedstawiony na ilustracji 2).



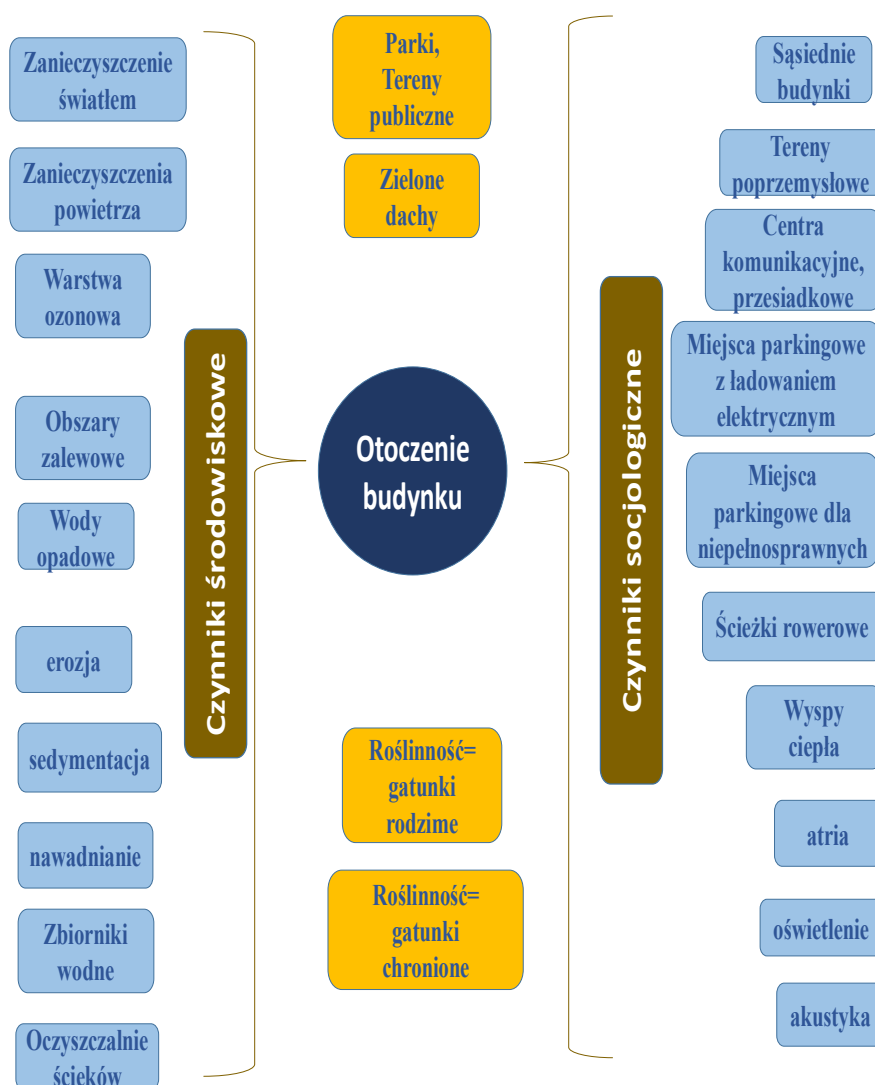
il. 2. Parametry definiujące jakość budynku (DGNB, LEED) [Opracowanie własne]

Roślinność, a szczególnie drzewa, są naturalnym składnikiem otoczenia budynku, aczkolwiek w przypadku zagospodarowania terenu wokół budynku (niezależnie, czy są nadal naturalnym, czy już antropogenicznym składnikiem otoczenia budynku) nie służą wyłącznie poprawieniu widoku, ale także chronią od wiatru, od silnego nasłonecznienia, schładzają powietrze latem, produkują tlen, nawilżają powietrze, zachowują ciągłość systemów przyrodniczych. Znacznie podnoszą komfort naszego życia.

Otoczenie budynku jako kryterium w ocenach wielokryterialnych LEED Leadership in Energy and Environmental Design, BREEAM - Building Research Establishment Environmental Assessment Method, DGNB - Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen. przedstawiono na ilustracji 3. Ocenie podlegają elementy środowiska wewnętrznego oraz zewnętrznego. Elementami tymi są czynniki środowiskowe i czynniki socjologiczne. Czynniki środowiskowe można podzielić na takie, jak elementy przyziemia i elementy nad poziomem terenu. Do elementów przyziemia można zaliczyć: sedymentację i erozję gruntu, wody opadowe i obszary zalewowe, zbiorniki wodne, sposób nawadniania oraz oczyszczania ścieków - bowiem związany jest z dostępnością i oszczędnością wody i jej stopniem czystości; elementy nad poziomem terenu obejmują: warstwę ozonową, zanieczyszczenia powietrza, zanieczyszczenie światłem. Czynniki socjologiczne (głównie działalność antropogeniczna) to elementy takie, jak sąsiednie budynki, tereny przemysłowe.

¹⁰ W. Leśnikowski, *Wojciech Leśnikowski architekt obywatel świata*, Wyd. Politechnika Krakowska, Kraków 2012, s. 48.

Elementy związane z przemieszczaniem się to centra komunikacyjne i przesiadkowe, miejsca parkingowe z możliwością ładowania elektrycznego akumulatorów oraz miejsca parkingowe dla niepełnosprawnych, czy ścieżki rowerowe. Inne parametry oceniane to dachy budynków i nawierzchnie dróg, parkingów, chodników, mające wpływ na tzw. „efekt wysp ciepła”, atria budynków (w kontekście bezpośredniego kontaktu z zielenią), miejsca relaksu i odpoczynku. Czynnikiem zewnętrznym i wewnętrznym podlegającym ocenie jest oświetlenie i akustyka. Wymienione powyżej zostały dachy, ale należy wyszczególnić tu typ dachów zielonych, przede wszystkim z powodu możliwości uprawy intensywnej (na ilustracji 3 zaznaczone kolorem ciemno żółtym), która obejmować może krzewy



il. 2. Elementy otoczenia budynku podlegające certyfikacji LEED, BREEAM, DGNB. [Opracowanie własne]na podstawie LEED: <https://www.usgbc.org/leed> (dostęp 2.02.2024), BREEAM, : <https://bregroup.com/products/breeam/> (dostęp 3.02.2024), DGNB, : <https://www.dgnb.de/en/certification/> (dostęp 6.04.2024)

lub drzewa o płaskim systemie korzeniowym i niezbyt wysokie. Natomiast elementami środowiska istotnymi ze względu na możliwość występowania drzewostanu mogą być oceniane parki oraz tereny publiczne. W ocenie, wśród punktów kryterialnych, pojawia się możliwość wznoszenia budynków na terenach parków, a także terenów publicznych (obwarowana dodatkowymi wymaganiami – LEED). Co do oceny zieleni, to punkty kryterialne odnoszą się przede wszystkim do preferowania roślinności rodzimej i zabezpieczenia gatunków chronionych.

W procedurze LEED analiza zagospodarowania przestrzennego terenów chronionych jest precyzyjna i wiąże się z całkowitym zakazem budowy lub z możliwością zamiany funkcji na tereny parku publicznego, ewentualnie zachowaniem po wprowadzeniu zmian takiego samego ekosystemu. Wątpliwość budzą narzędzia do oceny stanu ekosystemu określonego, tak że zrealizować go można w innym miejscu jako taki sam lub lepszy. Wydaje się, że nie ma możliwości, by jednoznacznie w krótkim przedziale czasu zmierzyć długotrwały proces funkcjonowania ekosystemu, a tym bardziej jego budowania na nowo.

Projektowanie przyrodniczych elementów wewnątrz krajobrazowych związane jest z preferowaniem gatunków rodzimych (można stosować gatunki kosmopolityczne, lecz nie otrzyma się za to punktu) oraz nasadzenia z gatunków łatwych w utrzymaniu (nie wymagające nawadniania, z wyjątkiem pierwszego roku). W procedurze BREEAM dopuszcza się nawadnianie kropelkowe.

Planowanie zieleni, jako otoczenia architektonicznego wnętrza krajobrazowego, w LEED (tabela numer 1) ujęte jest punktach kryterialnych i dotyczy preferowania zieleni jako gatunków rodzimych. Z zasad projektowania wynika iż, zezwala się na budowę budynków na terenach parków, pod warunkiem że w innej lokalizacji zrealizowany zostanie park o tych samych walorach ekologicznych lub lepszych. Realizacja budowy jest możliwa w odległości nie mniejszej niż 30 metrów od moczarów, na których terenie rosną gatunki chronione; nie mniej niż 50 m w odniesieniu do zbiorników wodnych; maksymalna głębokość - 1,52 m od najwyższego poziomu lustra wody.

Tabela 1. Punkty kryterialne przyznawane budynkowi za projekt zieleni jako otoczenia architektonicznego wnętrza krajobrazowego według procedury LEED i BREEAM. [Opracowanie własne] na podstawie LEED: <https://www.usgbc.org/leed> (dostęp 2.02.2024), BREEAM: <https://bregroup.com/products/breeam/> (dostęp 3.02.2024)

zielen	breeam
  <p>ZAKAZ budowy Do 50 m od zbiorników wodnych 5 stóp od najwyższej wody 100 stóp od oczarów gdzie są gatunki chronione Teren był publicznym parkiem lub uzyska się to samo lub lepiej Preferowane gatunki rodzime, obecne mogą być ale nie ma punktów Gatunki nienawadniane z wyjątkiem 1 roku</p> <p style="text-align: right;">3-5 punktów</p>	<p>MOŻNA budować = strata 1 punktu</p> <p>Nawadnianie kropelkowe a nie zraszające</p>

2. Komfort termiczny a samopoczucie użytkowników budynku

Relacja budynku ze środowiskiem naturalnym oraz relacja budynku z innymi obiektami, czy to wybudowanymi przez człowieka czy wkomponowanymi w środowisko (np. drzewami), znacząco wpływa na komfort cieplny pomieszczeń, tym samym – na warunki pracy lub bytowe rezydentów¹¹.

Jednym z parametrów komfortu cieplnego jest temperatura. Temperatura komfortu cieplnego określona jest na poziomie 25°C, jednak P.O. Fanger¹² na podstawie przeprowadzonych badań, konkluduje że „w praktyce należy być ostrożnym przy przyjmowaniu wartości temperatur komfortu cieplnego oszacowanych przez ludzi”. Wartość ta jest akceptowalna w procedurach projektowania budynków pasywnych. Jednak zgodnie z wytycznymi zawartymi w publikacji „Pakiet do projektowania budynków pasywnych PHPP”¹³ dopuszcza się w nich jednak częstość występowania temperatur wyższych od 25°C jako maksymalnie 10 % czasu liczonego w odniesieniu do długości sezonu grzewczego. W przypadku występowania częstości większej od 10 %, autorzy książki

¹¹ P.O. Fanger, *Komfort cieplny*, Arkady 1974, s. 10.

¹² P.O. Fanger, *Komfort cieplny*, op. cit., s. 74.

¹³ W. Feist, *Pakiet do projektowania budynków pasywnych PHPP*, Darmstadt, 2007, s. 121.

W. Feist, J. Thumulla, U. Muzennberg, B.S. Darup¹⁴ podali wytyczne i zalecenie do zaprojektowania dodatkowej instalacji w pomieszczeniu, w którym występuje przegrzanie.

Zasady obliczeniowe analitycznego wyznaczania komfortu cieplnego podano w normie *Ergonomia. Środowisko termiczne umiarkowane. Analityczne wyznaczanie interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego*¹⁵.

Maksymalne temperatury projektowane dla pomieszczeń według kategorii pomieszczenia, według normy PN- EN 15251:2012¹⁶ oraz Dyrektywy Parlamentu Europejskiego¹⁷ zawiera tabela 2. Z tego normatywnego przepisu wynika, że operatywna temperatura w pomieszczeniu może być wyższa od 25⁰C.

Tabela 2. Zalecane temperatury maksymalne dla pomieszczeń według kategorii pomieszczeń dla oceny komfortu cieplnego. [Opracowanie własne] na podstawie K. Nazar, S. Kozłowski, *Wprowadzenie do fizjologii klinicznej*, PZWL, Warszawa 1995, Directive 2002/91/EC of European Parliament and the Council of 16 December 2002 on the Energy Performance of the Buildings

Funkcja budynku, funkcja pomieszczenia	Kategoria pomieszczeń według PN-EN 15251:2012	Temperatura operatywna, °C	
		Okres letni (izolacyjność odzieży ok. 0,5 clo)	Okres zimowy (izolacyjność odzieży ok. 0,5 clo)
Budynki mieszkalne, Pokój dzienny, kuchnia	A	21,0	25,5
	B	20,0	26,0
	C	18,0	27,0
Pomieszczenia biurowe, konferencyjne	A	21,0	25,5
	B	20,0	26,0
	C	19,0	27,0

¹⁴ W. Feist, J. Thumulla, U. Muzennberg, B. S. Darup, *Podstawy budownictwa pasywnego*, (opracowanie wersji polskiej G. Schlagowski, Polski Instytut Budownictwa Pasywnego), Gdańsk 1983, s. 20-45.

¹⁵ PN- EN ISO 7730:2006(U): *Ergonomia. Środowisko termiczne umiarkowane. Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego*.

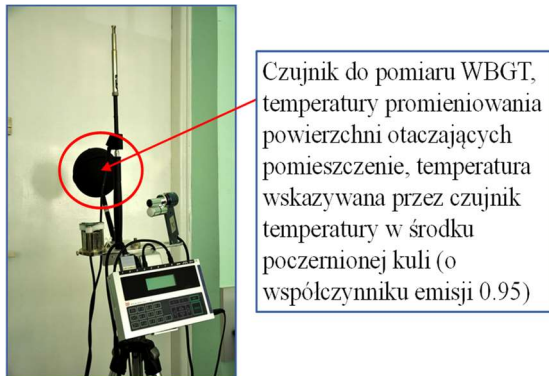
¹⁶ PN- EN 15251:2012, *Parametry wejściowe środowiska wewnętrznego dotyczące projektowania i oceny charakterystyki energetycznej budynków, obejmujące jakość powietrza wewnętrznego, środowisko cieplne, oświetlenie, akustykę*.

¹⁷ Directive 2002/91/EC of European Parliament and the Council of 16 December 2002 on the *Energy Performance of the Buildings*.

Temperatura operatywna to wskaźnik komfortu cieplnego czyli jednolita temperatura tzw. czarnej kabiny, w której człowiek przez promieniowanie i konwekcję wymienia taką samą ilość ciepła jak w niejednorodnym środowisku termicznym. W tym wskaźniku jest łączne oddziaływanie temperatury powietrza oraz średniej temperatury promieniowania otoczenia. Nie uwzględniony jest wpływ innych zmiennych parametrów fizycznych¹⁸. Komfort cieplny w pomieszczeniu zależy od oporności termicznej odzieży clo. Wskaźnik ten zależy zasadniczo od tempa metabolizmu człowieka i parametrów fizycznych otoczenia ($1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$). Tak więc w okresie letnim przy izolacyjności odzieży wynoszącej 0,5 clo dopuszczalna temperatura operacyjna, w pomieszczeniach biurowych, może wynosić 27°C.

W podręczniku fizjologii klinicznej autorzy K. Nazar, S. Kozłowski¹⁹ omówili obraz zmian czynności organizmu i funkcjonowania jego mechanizmów adaptacyjnych w różnych sytuacjach fizjologicznych i patologicznych.

Natomiast zgodnie z wynikami badań autorek I. Sudoł-Szopińska, A. Chojnacka²⁰ wskaźnik WBGT jest podstawowym parametrem do oceny komfortu cieplnego i na tej podstawie²¹ proponują oceniać komfort i bezpieczeństwo pracy. Czujnik WBGT do pomiaru średniej temperatury przedstawiono na ilustracji 4.



il. 3. Czujnik do pomiaru średniej temperatury metodą suchej poczernionej kuli. [Opracowanie własne]

¹⁸ „W świetle przedstawionych badań oddziaływania obiektu architektonicznego na właściwości i zjawiska fizyczne w jego wewnętrznej i zewnętrznej przestrzeni można stwierdzić, że istnieje możliwość i potrzeba kształtowania jego formy oraz doboru materiału w kierunku pożądanego, korzystnego oddziaływania na przebywających w nich ludzi.”, [za:] B. Szuba, *Nowe pola badawcze w architekturze - elektromagnetyczna struktura obiektu architektonicznego*, *Budownictwo* 23, s.313, s. 307-315.

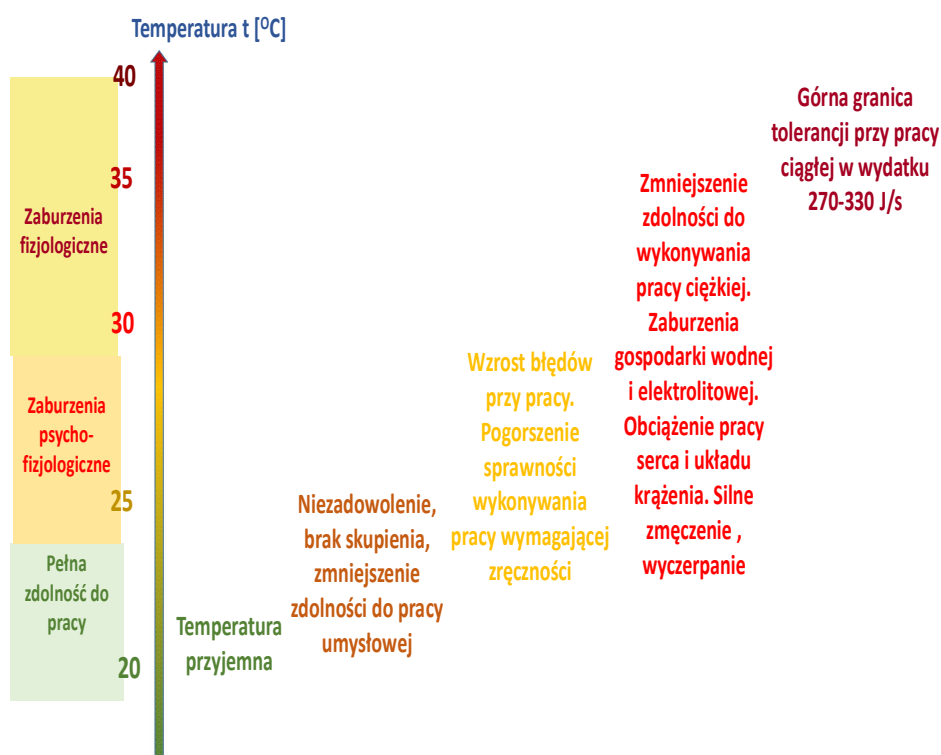
¹⁹ K. Nazar, S. Kozłowski, *Wprowadzenie do fizjologii klinicznej*, PZWL, Warszawa 1995.

²⁰ I. Sudoł-Szopińska, A. Chojnacka, *Praktyczne aspekty oceny narażenia pracowników zatrudnionych w warunkach środowiska zimnego za pomocą wskaźników WCI i IREQ*, *Bezpieczeństwo Pracy* 2007, 2(425), s. 16-19. <https://bibliotekanauki.pl/articles/180502> (dostęp 2.12.2024)

²¹ I. Sudoł-Szopińska, A. Sobolewski, A. Chojnacka, *Ocena obciążenia termicznego pracowników za pomocą wskaźnika WBGT - aspekty praktyczne*, *Bezpieczeństwo Pracy*, 10(421)2006, s. 16-20. <https://bibliotekanauki.pl/articles/180502> (dostęp 2.12.2024).

Czujnik WBGT (wet bulb globe temperature) służy do oceny średniego wpływu oddziaływania ciepła na człowieka z okresu reprezentatywnego dla pracy, (analiza ta nie zawiera m.in. temperatur występujących w ciągu kilkuminutowych okresów).

Natomiast autorzy książki „*Fizjologia człowieka z elementami fizjologii klinicznej i stosowanej*”²² wykazują, że przebywanie w pomieszczeniu w temperaturze powyżej 25 °C skutkuje zaburzeniami psycho-fizjologicznymi, takimi jak brak skupienia, zmniejszenie zdolności do pracy umysłowej, co zostało zobrazowane na ilustracji 5.



il. 4. Wpływ temperatury na stan fizyczny i psychiczny człowieka. [Opracowanie własne] na podstawie (W.Z. Traczyk, A. Trzebski, *Fizjologia człowieka z elementami fizjologii klinicznej i stosowanej*)²³.

Autorki I. Sudoł-Szopińska, A. Chojnacka w publikacji *Praktyczne aspekty oceny narażenia pracowników zatrudnionych w warunkach środowiska zimnego za pomocą wskaźników WCI i IREQ* opracowały parametry środowiska wewnętrznego

²² W. Z. Traczyk, A. Trzebski, *Fizjologia człowieka z elementami fizjologii klinicznej i stosowanej*, PZWL, Warszawa 2004.

²³ W.Z. Traczyk, A. Trzebski, *Fizjologia człowieka z elementami fizjologii klinicznej i stosowanej*, PZWL, Warszawa 2004.

m.in. temperatury dopuszczalne dla środowiska pracy i na tej podstawie stworzyły wytyczne do oceny narażenia pracowników²⁴.

W publikacji *Ocena obciążenia termicznego pracowników za pomocą wskaźnika WBGT - aspekty praktyczne*²⁵ opisano, że przebywanie w pomieszczeniach o temperaturze wyższej od 25 °C skutkuje zaburzeniami psychofizjologicznymi.

- W zakresie temperatur 20°C - 25°C są to: niezadowolenie, brak skupienia, zmniejszenie zdolności do pracy umysłowej. Temperatury 25°C - 30°C skutkują: wzrostem błędów przy pracy, pogorszeniem sprawności wykonywania pracy wymagającej zręczności.
- Z kolei temperatury 25°C - 30°C powodują: zmniejszenie zdolności do wykonywania pracy ciężkiej, zaburzenia gospodarki wodnej i elektrolitowej, obciążenie pracy serca i układu krążenia, silne zmęczenie, wyczerpanie.
- Przebywanie w pomieszczeniach o temperaturze powyżej 35°C może powodować poważne skutki w postaci zaburzeń kardiologicznych.

Analizy charakterystyki termicznej pomieszczeń, w kontekście bilansu energetycznego wykonała grupa naukowców z kilku krajów Europy. Analizę przeprowadzono począwszy od projektu, po opomiarowanie budynków po ich wybudowaniu, a wyniki te zamieszczono w książce *Energy balance and temperature characteristics*, Protocol Volume No. 5 of the Research Group for Cost-efficient Passive Houses²⁶. Rezultaty te potwierdzają wyniki analiz opisanych powyżej.

Nie ma zatem jednej uniwersalnej wartości maksymalnej dla określenia temperatury komfortu cieplnego. Waha się ona od 25°C do 27°C. Przyjęcie górnej granicy temperatury komfortu cieplnego jest kluczowe dla projektowania (optymalizacji) budynku mieszkalnego. W programach obliczeniowych do projektowania instalacji do celów ogrzewania, chłodzenia przyjmuje się, że dla obciążenia cieplnego jest to 26°C, zaś dla oceny komfortu cieplnego w pomieszczeniach maksymalna temperatura to 25°C.

²⁴ I. Sudoł-Szopińska, A. Chojnacka, *Praktyczne aspekty oceny narażenia pracowników zatrudnionych w warunkach środowiska zimnego za pomocą wskaźników WCI i IREQ*, op.cit. s. 19.

²⁵ I. Sudoł-Szopińska, A. Sobolewski, A. Chojnacka, *Ocena obciążenia termicznego pracowników za pomocą wskaźnika WBGT - aspekty praktyczne*, op.cit., s. 17.

²⁶ W. Feist, T. Logo, *Energy balance and temperature characteristics*, Protocol Volume No. 5 of the Research Group for Cost-efficient Passive Houses, 1st Edition, Passive House Institute Darmstadt 1997.

1. WPROWADZENIE

1.1. Uzasadnienie wyboru tematu pracy i przedmiotu badań

W 1988 autorka rozpoczęła pracę naukowo-dydaktyczną w Zakładzie Fizyki Budowli Instytutu Technologii i Organizacji Budownictwa Politechniki Krakowskiej (obecnie Katedra Budownictwa i Fizyki Budowli). Podczas studiów interesowała się zagadnieniami budownictwa proekologicznego i została włączona do aktywnej pracy w granty badawcze i ekspertyzy dotyczące oszczędności energii budownictwie. Wiedzę nabytą podczas studiów na dwóch specjalnościach (Konstrukcje Budowlane oraz Technologia i Organizacja Budownictwa) rozszerzyła o zainteresowania diagnostyką ciepłno-wilgotnościową przegród budowlanych, uczestnicząc w kursie w Instytucie Techniki Budowlanej. Praktyka zawodowa do uzyskania uprawnień audytora energetycznego oraz certyfikacji energetycznej budynków oparta była z jednej strony o zrealizowane audyty termomodernizacyjne obiektów wielkokubaturowych, zarówno takich, jak szpitale, czy budownictwo wielorodzinne, jak i budynki jednorodzinne, a z drugiej - o szkolenia w audycie energetycznym budynków wielkokubaturowych i mieszkalnych na Akademii Górniczo-Hutniczej, Krajowej Agencji Poszanowania Energii i także Narodowej Agencji Poszanowania Energii.

Ewolucja zainteresowań w kierunku wzajemnych oddziaływań środowiska i budynku wynikała z kontaktów ze specjalistami i naukowcami z dyscyplin: matematyka, fizyka, architektura, architektura krajobrazu i miało znaczący wpływ na rozpoczęcie pracy badawczej w powyższej tematyce. Dla efektywniejszego wykorzystania tych narzędzi autorka podjęła naukę na studiach podyplomowych, aby lepiej zrozumieć problematykę tych procesów i zdobyć wiedzę, która umożliwiła usprawnienie pracy badawczej. Było to konsekwentną kontynuacją rozwoju naukowego, a wyrażało się poprzez uczestniczenie w studiach podyplomowych „Ochrona środowiska w obszarach zurbanizowanych i BHP” oraz „Architektura i Budownictwo Zrównoważone” realizowanych na Wydziale Mechanicznym i Wydziale Architektury Politechniki Krakowskiej. Również liczne kontakty naukowe i udział w szkoleniach zaowocowały uzyskaniem uprawnień do projektowania i kształcenia w zakresie budownictwa pasywnego i energooszczędnego. Zarówno w czasie studiów, jak i po uzyskaniu stopnia magistra,

jednocześnie prowadziła badania weryfikujące przyjęte założenia teoretyczne i prezentowała je na licznych konferencjach krajowych i zagranicznych oraz w czasopiśmie naukowych.

Zaplecze naukowe, a także badawcze, jakie oferowała uczelnia skłoniły do podjęcia badań „in situ” z wykorzystaniem urządzeń do detekcji wad obudowy budynków (kamera termowizyjna), do weryfikacji ilości ciepła przepływającego przez przegrody budowlane poprzez pomiar gęstości strumienia ciepła (ciepłomierz), czy do badania komfortu cieplnego i różnicy ciśnień w instalacjach klimatyzacji i wentylacji, a więc określania jakości powietrza w pomieszczeniach (przyrząd wielofunkcyjny pomiarowy z wbudowanym cyfrowym zintegrowanym miernikiem klimatu BABUC).

Praca w Zakładzie Fizyki Budowli umożliwiła szersze poznawanie problemów i aspektów dominujących w interakcji budynek – środowisko. Nieinwazyjne analizowanie obiektu i modelowanie w sposób interaktywny przestrzeni otoczenia budynku i czynników wpływających na zapotrzebowanie na ciepło do celów ogrzewania i chłodzenia dla budynku skutkowało podjęciem dysertacji naukowej na temat metod naukowych stosowanych w rozwiązywaniu zagadnień, w których występuje wiele parametrów, czynników, zmiennych, a także kryteriów. To z kolei zaowocowało zgłębianiem wiedzy z zakresu matematycznej optymalizacji wielokryterialnej i wielopoziomowej. Wyniki uzyskiwane w trakcie wykonywania badań i analiz, prowadzone w celu zapewnienia rezydentom komfortu cieplnego, umożliwiły szersze poznawanie problemów i aspektów rządzących kształtowaniem otoczenia budynku. Z analizy cieplnej budynków związanej z zapotrzebowaniem na ciepło i komfortem cieplnym wyniknęło, iż istotnym elementem wymagającym kształtowania jest otoczenie budynku.

Badania, które wykonano, wskazały tematykę dysertacji doktorskiej, która to tematyka ma duże znaczenie dla ochrony zarówno środowiska naturalnego, jak i zasobów nośników energii i procesów im towarzyszących.

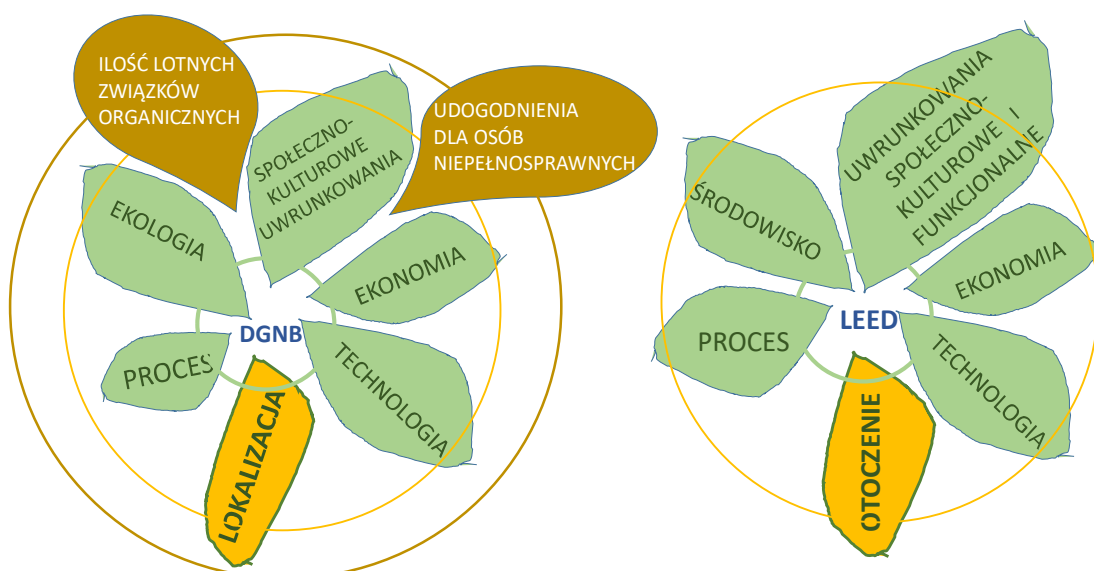
W Europie i na świecie istnieje szereg wielokryterialnych systemów oceny jakości nowoprojektowanych lub istniejących budynków, które są obecnie standardem w branży nieruchomości stosowanym przez inwestorów oraz deweloperów (np. LEED, BREEAM, DGBN). Ocenie podlegają takie zmienne decyzyjne jak:

- jakość środowiska wewnętrznego,
- efektywność energetyczna,

- dostępność środków transportu miejskiego,
- materiały budowlane,
- zarządzanie eksploatacją budynku,
- gospodarka wodna i odpadami,
- udogodnienia dostępności dla osób niepełnosprawnych.

W analizie otoczenia brane są pod uwagę czynniki (ilustracja 6):

- kulturowe,
- społeczne,
- ekonomiczne,
- techniczne.



il. 5. Parametry definiujące jakość budynku [Opracowanie własne] na podstawie LEED: <https://www.usgbc.org/leed> (dostęp 2.02.2024), DGNB: <https://www.dgnb.de/en/certification/> (dostęp 6.04.2024.)

Tradycyjne formy, w prosty sposób dopasowane, a wynikające z lokalnych warunków zarówno klimatycznych, jak i geograficznych, są jednym z czynników, jedną ze zmiennych decyzyjnych. Zarówno w procedurze DGNB jak i LEED wprowadzono zmienną odnoszącą się do architektury krajobrazu, a nazwaną „lokalizacja” czy „otoczenie”.

Podstawowa strategia w sferze zużycia energii i komfortu cieplnego, na co zwraca uwagę autorka publikacji T. Kusionowicz²⁷, opiera się na dążeniu do zacielenia budynków w klimacie gorącym oraz do maksymalizacji uzysku ciepła z otoczenia i ograniczenia jego utraty z pomieszczeń w chłodnym klimacie. W naszym klimacie te dwa podejścia są integralne. W skali urbanistycznej odniesienie do poziomów nasłonecznienia przedstawione w publikacji „*Problemy projektowania budynków mieszkalnych a zdrowie człowieka: wybrane zagadnienia*” objawia się układaniem założeń na osi wschód-zachód²⁸. W skali pojedynczych budynków natomiast, o czym Ł. Wesołowski napisał - na przykład poprzez sytuowanie reprezentacyjnych, zielonych przestrzeni po stronie południowej, a podnoszących temperaturę instalacji technicznych i parkingów – po stronie północnej²⁹. W strategii LCA również uwzględniono ocenę otoczenia budynku, ale głównie na etapie użytkowania budynku. L. Runkiewicz, J. Sieczkowski omówili zagrożenie dla środowiska wynikające ze sposobu eksploatacji³⁰, ale już w trakcie użytkowania budynku, nie na etapie projektowania (zgodnie ze schematem przedstawionym na ilustracji 1). Są to pojedyncze przypadki uwzględniające wpływ „lokalizacji” lub „otoczenia” na jakość budynku.

Zauważalne jest iż w dostępnych opracowaniach naukowych oraz regulacjach formalno-prawnych nie badano dotychczas odniesienia - wpływu elementów przyrodniczych wewnątrz krajobrazowych na zapotrzebowanie na energię do celów ogrzewania lub chłodzenia w budynkach i komfort rezydentów oraz zależności między pokrojem i wysokością drzew oraz ich ażurowością a parametrami energetycznymi budynku. W szczególności występuje brak włączenia na etapie projektowania budynku drzew do bilansu energii użytkowej do ogrzewania budynku, analiz wpływu zieleni na komfort cieplny budynku rozumianych jako parametr uwzględniany

²⁷ T. Kusionowicz, *Praktyczne aspekty optymalizacji projektowania na przykładzie realizacji zespołu mieszkaniowego w Krakowie*, Problemy projektowania architektoniczno-budowlanego w aktualnych warunkach społeczno-ekonomicznych, red. Jan Kurek, T. 2, wyd. PK, Kraków 1995, 65-70.

²⁸ T. Kusionowicz, *Problemy projektowania budynków mieszkalnych a zdrowie człowieka: wybrane zagadnienia*, Wydawnictwo PK, Kraków 2008, s. 182-193.

²⁹ Ł. Wesołowski, *Wpływ przeszklonych ścian osłonowych na kształtowanie warunków użytkowych i środowiskowych w pomieszczeniach mieszkalnych*, rozprawa doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków 2013, s. 40-60.

³⁰ L. Runkiewicz, J. Sieczkowski, *Zagrożenia środowiskowe powodowane błędami inwestycyjnymi*, w: *Ekologia a budownictwo*, pod red. L. Runkiewicza i T. Błaszczczyńskiego, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2016, s. 144.

w bilansie cieplnym (energii użytkowej oraz temperatury komfortu wewnętrznego), bilansów cieplnych energii użytkowej skorelowanych ze wzrostem drzewa, parametru zacienienia dla budynku od drzew, metod obliczeniowych uwzględniających ażurowość drzew, badań ażurowości drzew pod kątem jej wpływu na bilans energii potrzebnej do ogrzewania budynku, badań i analiz wieloletniego bilansu energii użytkowej z uwzględnieniem zmiennego parametru zacienienia od drzew., oprogramowania, do którego można importować przestrzenną chmurę punktów z teledetekcji.

Analiza dostępnych wyników prac naukowych pokazuje brak opracowań i wytycznych do kształtowania elementów przyrodniczych wewnątrz krajobrazowych zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju w zakresie oszczędności energii zużywanej do ogrzewania lub chłodzenia budynków. Wynika, z niej również, że zarówno w modelowaniu przepływu ciepła, zarządzaniu energią w budynkach, jak i numerycznych metodach mini- maksymalizacji energii oraz regulacjach formalno-prawnych nie znaleziono odniesienia, w bilansowaniu zużycia energii w budynkach, do wpływu wzrostu zieleni na komfort rezydentów oraz zapotrzebowanie na ciepło w budynkach. W tym kontekście zdefiniowano lukę badawczą. Obejmuje ona, w kontekście architektury krajobrazu, brak włączenia zieleni, ze szczególnym uwzględnieniem drzew, do modelowania zapotrzebowania na ciepło dla budynków, zarówno do celów ogrzewania jak i chłodzenia. „*Budynek pozostaje w stałej relacji ze swym otoczeniem, nigdy nie jest od niego odizolowany*”³¹.

Ponieważ istniejące procedury nie są wystarczające do określenia wpływu drzew, otaczających budynek, na zagadnienia cieplne z nim związane, to upoważnia do podjęcia tematu: *Wnętrze krajobrazowe a parametry energetyczne budynku. Optymalizacja wielokryterialna i wielopoziomowa w projektach architektury krajobrazu*, który tę lukę może wypełnić i ustanowić przyczynek do dalszych badań na tym polu.

³¹ R. Schurma, PLGBC- *Polskie Stowarzyszenie Budownictwa Ekologicznego*, Visio Architects and Consultants prowadzi działalność w obszarze zrównoważonego konsultingu, architektury oraz tworzenia Kart Zielonych Produktów, LEED, BREEAM, DGNB, EU GREENBUILDING, <https://plgbc.org.pl>, (dostęp 31.03.2023).

1.2. Cele pracy

Cel główny

Podstawowym celem badawczym pracy jest określenie zależności pomiędzy wybranymi elementami przyrodniczymi architektury krajobrazu a budynkiem, rozumianymi jako wpływ projektu zieleni na zapotrzebowanie cieplne budynku w funkcji czasu, zależne od rodzaju drzewostanu i jego wieku.

Cele pośrednie

Celami pośrednimi są:

- Określenie wpływu przezierności zieleni otaczającej budynek mieszkalny (jednorodzinny) na jego zapotrzebowanie cieplne.
- Określenie wskaźników przezierności (doprecyzowanie ażurowości drzew) dla wybranych gatunków drzew.
- Wskazanie narzędzia do zintegrowanego projektowania wybranych drzewostanów towarzyszących budynkowi i jego bilansem cieplnym odniesionym do czasu użytkowania, a tym samym trwałości budynku, lub czasu wzrostu, po którym drzewostan osiąga formę dojrzałą.

1.3. Problem badawczy i teza pracy

Problemem badawczym jest brak metody obliczania wpływu zieleni otaczającej (w szczególności drzew) na zapotrzebowanie na energię do celów ogrzewania budynku i zdefiniowanego parametru charakteryzującego drzewo - współczynnika przezierności oraz brak kompleksowych badań w tym zakresie. Zebrane doświadczenia i obserwacje autorki pozwalają na postawienie następującej tezy:

Projektowanie wielokryterialne i wielopoziomowe jest narzędziem umożliwiającym wprowadzenie kryterium kształtowania zieleni (ze szczególnym uwzględnieniem drzew) do optymalizacji zużycia energii i komfortu cieplnego pomieszczeń budynków.

W celu przeprowadzenia dowodu postawionej tezy w pracy został wykonany przegląd analiz wielokryterialnych a każda z nich została rozpatrzona pod kątem użytych kryteriów do oceny budynku. Przedmiotem analizy są: dom

jednorodzinny parterowy wolno stojący, zieleni wysoka – drzewa w najbliższym otoczeniu domu jednorodzinnego, typ i pokrój drzewa, jego wzrost w czasie oraz usytuowanie względem stron świata.

1.4. Zakres pracy

1.4.1. Zakres merytoryczny i ograniczenia tematu

„Praca poszerza i pogłębia wiedzę o harmonijnym kształtowaniu relacji Człowiek - Środowisko, wpisując się w nurt opracowań przydatnych z punktu widzenia współczesnych dążeń projektowania architektury energooszczędnej, ” zarówno wizjonerskich rozwiązań aktualnych do dzisiaj³² jak i współczesnych propozycji ich wprowadzania w istniejącą architekturę³³.

Przedmiot badań dotyczył oddziaływania układu oraz doboru zieleni wysokiej w ogrodzie przydomowym na bilans cieplny budynku. Problem został przeanalizowany w kontekście cyklu życia drzew i obejmował wszystkie fazy ich wzrostu, począwszy od nasadzenia młodych roślin aż po osiągnięcie przez nie form dojrzałych. Analizy zostały przeprowadzone dla zoptymalizowanego pod względem energetycznym budynku wolno stojącego jednorodzinne parterowego. Autorka przebadala różne schematy nasadzeń uwzględniając typy drzew (liściaste, iglaste), ich etapy rozwoju oraz sezonowość (stan ulistniony oraz bezlistny). Wprowadziła współczynnik „przezierności” (ażurowości) roślin (JOLI Factor Programming), który ma znaczący wpływ na zacienienie budynku przez drzewa.

Z badań wyłączono analizę gatunków drzew introdukowanych do warunków Polski ani rodzimych dla stref klimatycznych innych niż umiarkowana przejściowa. Nie przewiduje się analizy dla budynków o funkcjach takich jak: mieszkalny wielorodzinny, użyteczności publicznej, hala magazynowa lub produkcyjna. Analiza nie odnosi się także (ze względu na rozległość tematu) do zagadnień kreacji

³² *„Ekologiczne miasta, osiedla, budynki, której autorami są Tadeusz Sumień i Anna Wegner-Sumień. To obszerna pozycja przedstawia kompleksową teorię ekologicznych struktur osadniczych oraz szereg rozwiązań technicznych stosowanych w ekologicznej architekturze i urbanistyce”, [za:] J. Kamiński, Osiedle ekologiczne a krajobraz, praca doktorska, Politechnika Warszawska, 2014, s.17.*

³³ *„Podjęto problematykę istniejących kwartałów mieszkaniowych w miastach, a ściślej ich możliwości przekształceń mających na celu uzyskanie korzystniejszych rozwiązań funkcjonalno-przestrzennych, w tym ekologicznych i energooszczędnych” [za:] B. Szuba, Energooszczędny kwartał mieszkaniowy, Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym, Vol. 8, 1/2019, wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2019, s.47-57.*

konserwatorskiej w krajobrazie kulturowym oraz do terenów krajobrazów zaniechanych, jak i ogrodów i parków o charakterze publicznym.

1.4.2. Zakres terytorialny

Zakres terytorialny w pracy dotyczy dwóch zagadnień: określenia zakresu terytorialnego badań literaturowych dla określenia stanu badań i uściślenia zakresu terytorialnego przyjętego dla występowania drzew, których parametry są wykorzystane do obliczeń w autorskich badaniach.

Przeglądu literaturowego nie ograniczano z tego powodu, gdyż nie ma znaczenia dla badań naukowych z jakiego kraju pochodzi naukowiec ani w jakim kraju swoje badania wykonuje i publikuje. Również badania wykonywane w różnych strefach klimatycznych mogą być dla innych badaczy inspirujące. Zarówno w strefie klimatycznej umiarkowanej ale i strefy gorącej, bowiem w każdej z nich można znaleźć naukowców, których wyniki badawcze zawierają istotne informacje przydatne w zastosowaniach do ochrony zieleni, krajobrazu a także analizy wnętrza krajobrazowych. W każdej z tych stref następuje rozwój i wdrażanie metod ograniczania zużycia energii do celów ogrzewania lub chłodzenia budynków mieszkalnych. Tak więc przegląd publikacji ukierunkowany był na sprawdzenie możliwości implementacji metod stosowanych przez badaczy, do strefy klimatu umiarkowanego lub sprawdzenia uniwersalności metody badawczej, obliczeniowej.

Natomiast w części praktycznej tego opracowania analiza dotyczyła strefy klimatu umiarkowanego o cechach przejściowych.

1.4.3. Zakres czasowy

Zakres czasowy w pracy dotyczy również dwóch zagadnień: określenia zakresu czasowego badań literaturowych dla określenia stanu badań i uściślenia przedziału czasowego przyjętego do obliczeń w autorskich badaniach.

Określając zakres czasowy badań literaturowych kierowano się kryteriami wyboru ustalonymi zgodnie z tematem pracy, a co za tym idzie uwzględniono słowa kluczowe: **metody wielokryterialne** (metody eksperckie, metody zrównoważone, certyfikaty i audyty zrównoważone, metody matematyczne), **analizy energetyczne** (zużycie energii w budynkach, komfort cieplny, parametry energetyczne budynku), **analizy krajobrazowe** (wnętrza krajobrazowe, modelowanie stanu drzew, modelowanie ażurowości drzew, numeryczne wskaźniki w analizach krajobrazu) ,

programy do optymalizacji energetycznej budynku oraz programy do modelowania drzew i ich przezierności. Przy zastosowaniu powyższego kryterium zakres czasowy badań literaturowych obejmuje zarówno publikacje z drugiej połowy XX wieku, jak i obecnie kontynuowane badania naukowe. Przyjęcie tego przedziału czasowego wynika z etapu ewolucji wiedzy. Uzyskany w wyniku tych działań wykaz - spis literatury, jest uzasadniony obszarem badań przedstawionym w pracy. Niektóre zaprezentowane pozycje literaturowe pomimo upływu lat od ich opublikowania pozostają nadal ważnymi i znaczącymi. Wynika to z tego, że lata siedemdziesiąte można określić jako czas rozwoju zastosowań matematyki w różnych dziedzinach naukowych. Możliwości rozwoju modelowania komputerowego są możliwe dzięki rewolucji technologicznej- stworzeniu pierwszej maszyny matematycznej. Także w tamtym czasie nastąpił rozkwit idei, koncepcji kształtowania krajobrazu. W krajach anglosaskich na lata 60-te ubiegłego wieku datowany jest rozwój metod formowania krajobrazu. Z tego powodu autorka odnosi się do prac naukowych ubiegłego wieku.

Rozpoczynając badania własne autorka przyjęła, że czas analizy bilansu energetycznego jest zależny od trwałości budynku i czasu wzrostu drzewa.

W procedurach rozwoju zrównoważonego, certyfikatach energetycznych przyjmuje się okres bilansowania energii jeden rok. Mimo iż nawet w procedurach LCA przyjmuje się cały czas życia budynku (komponentu budowlanego, materiału budowlanego, urządzeń z nim związanych, wyposażenia) tzw. „od kołyski po grób” czyli od pozyskania materiału lub nośnika energii do jego utylizacji lub ponownego wbudowania, to obliczenia zapotrzebowania energii do celów ogrzewania, ograniczają się do jednego roku kalendarzowego. Później można mówić o wielokrotności zużycia energii dla tego jednego roku. Tak więc można rozważać bilanse energetyczne w perspektywie długości życia budynku czyli do czasu jego rozbiórki. Jednakże obecnie, zgodnie z ideą zrównoważonego rozwoju, jest trend aby większość budynków poddawać termomodernizacji, remontom kapitalnym, czyli czas życia budynku mieszkalnego wydłuża się. Drugim komponentem jest długość życia, czas wzrostu drzew po jakim osiągną one dojrzałość, której osiągnięcie zależy od gatunku drzewa i warunków środowiskowych w których wzrasta. Można założyć, że po 20 latach drzewa osiągają średnio pewien poziom pełnego pokroju.

Z powyższego wynika, iż ustalenie perspektywy czasowej nie jest jednoznaczne i proste. Przyjęcie 20 lat dla bilansu energetycznego ze względu na czas wzrostu i w tym czasie zmian pokroju drzewa, wydaje się uzasadnione.

2. METODOLOGIA BADAŃ

2.1. Przyjęte metody badawcze

W pracy użyto następujące podstawowe metody badawcze³⁴: Historyczno-interpretacyjną, Logicznej argumentacji, Ilościowo-statystyczną, Modelowania i symulacji oraz Analizy przypadku (case studies) uzupełnione obserwacjami własnymi autorki poczynionymi we własnej pracy naukowej i praktyce projektowej.

Metoda badań interpretacyjnych³⁵ posłużyła do gromadzenia dokumentów i faktów dotyczących: analiz wielokryterialnych (metod eksperckich, metod zrównoważonych, certyfikatów i audytów energetycznych budynków, metod matematycznych), analiz zrównoważonych, analiz krajobrazowych oraz oprogramowania przydatnego do modelowania drzew i optymalizacji energetycznej budynku. Zastosowano następujące techniki: badania literaturowe i archiwalne, deskryptywna, zbieranie dokumentacji, fotografowanie, analizę opisową, wyjaśnienia, interpretację. Posłużono się narzędziami: literaturą przedmiotu, dokumentami drukowanymi i prezentowanymi na stronach www., fotografiami, aparatem fotograficznym i komputerem.

Metoda logicznej argumentacji³⁶ w przypadku badań nad architekturą to logika wyvodu oraz logika wyciągania wniosków (analiza i synteza). Celem analizy jest określenie zależności pomiędzy wybranymi elementami przyrodniczymi architektury krajobrazu a budynkiem, rozumianymi jako wpływ projektu zieleni na zapotrzebowanie cieplne budynku w funkcji czasu, zależne od rodzaju drzewostanu i jego wieku. Na podstawie wcześniej zaobserwowanych zjawisk. Synteza pojawia się na końcu rozważań. Na końcu pracy zamieszczono podsumowanie badań i wnioski z całości pracy. Posłużono się technikami: opisem, wyjaśnieniami, interpretacją logiczną oraz komparatystyką i użyto narzędzi: literatury przedmiotu, zestawień, tabel,

³⁴ *Metoda jest świadomie i konsekwentnie stosowanym sposobem postępowania dla osiągnięcia założonego celu przez zastosowanie określonego zestawu czynności i środków* [wg:] E. D. Niezabitowska, *Metody i techniki badawcze w architekturze*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2014.

³⁵ „dokładniejsze rozważania o charakterze interpretacyjnym pozwalają zrozumieć całokształt problemów i trendów rozwojowych na przestrzeni wieków czy też wydzielonych okresów.”, E. D. Niezabitowska, *Metody i techniki*, op. cit., s.187-194.

³⁶ *Wiedza w metodzie logicznej argumentacji jest kreowana przez logiczny opis (...)*. E. D. Niezabitowska, *Metody i techniki*, op. cit., s.184-186.

programów komputerowych i komputera. Efektem tej metody jest opis problemu – zdefiniowanie luki badawczej i zdefiniowanie zadania oraz analiza i wnioski.

Metoda modelowania i symulacji³⁷ użyto jej przy określeniu wpływu przezierności zieleni otaczającej budynek mieszkalny (jednorodzinny) na jego zapotrzebowanie cieplne i określeniu wskaźników przezierności (doprecyzowanie ażurowości drzew) dla wybranych gatunków drzew. Posłużono się technikami: symulacje komputerowe, matematyczne modele symulacyjne³⁸ eksperyment myślowy, opisem i wyjaśnieniami, oraz użyto narzędzi: skaner, aparat fotograficzny, komputer wraz z oprogramowaniem. Efektem tej metody był wybór najlepszych rozwiązań z punktu widzenia eksperckiego: uzyskanie wskaźnika przezierności drzew.

Metodę studium przypadku (case studies)³⁹ zastosowano dla parterowego domu jednorodzinnego otoczonego szpalerem drzew pod kątem ekspercko wybranych kryteriów: dla domu i drzew. Posłużono się tu następującymi technikami: opisem, wyjaśnieniami, interpretacją logiczną i użyto narzędzi: literatury przedmiotu, skanera, aparatu fotograficznego, projektowania wielokryterialnego i wielopoziomowego oraz komputera. Efektem tej metody było wskazanie narzędzia do zintegrowanego projektowania wybranych drzewostanów towarzyszących budynkowi i jego bilansem cieplnym odniesionym do czasu użytkowania, a tym samym trwałości budynku, lub czasu wzrostu, po którym drzewostan osiąga formę dojrzałą.

2.2. Organizacja materiału badawczego

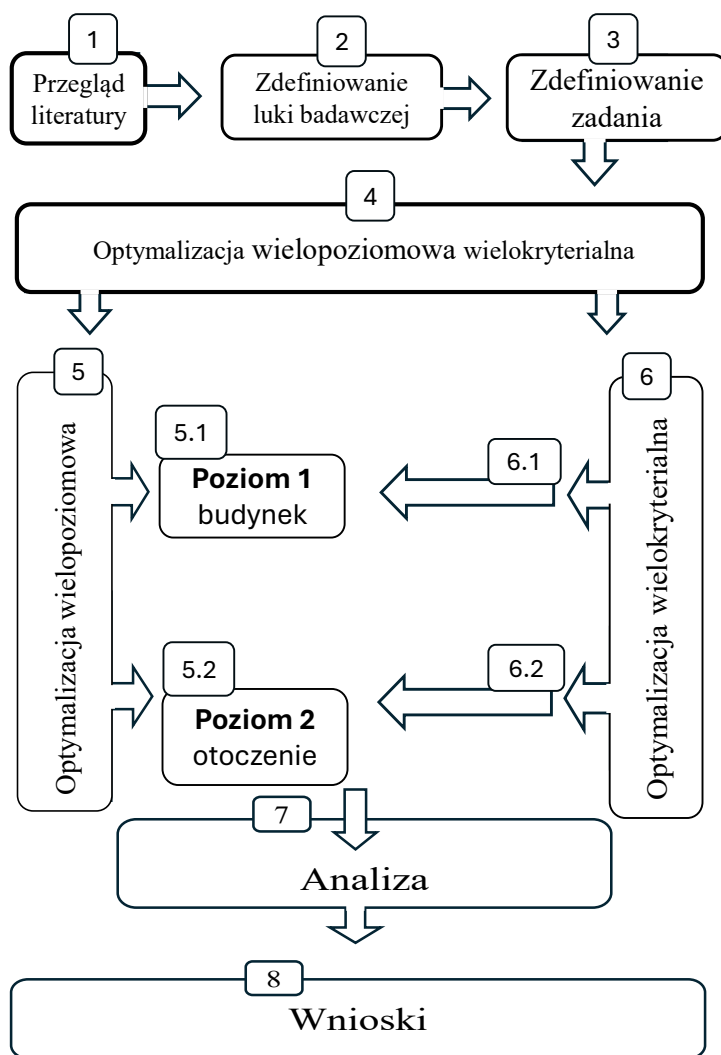
W pracy wykonano własne badania obejmujące: analizy, dokumentacje fotograficzne, notatki i przemyślenia. Posiłowano się również materiałami z wybranej literatury przedmiotu dostępnej w zbiorach bibliotekach fizycznych i cyfrowych (definicje, przepisy, wytyczne projektowe, założenia autorskie, fotografie drzew).

Kolejność użycia narzędzi badawczych w pracy przedstawiono na poniższym schemacie.

³⁷ Metoda modelowania i symulacji zawiera również badania zmierzające do opracowania programów komputerowych, E. D. Niezabitowska, *Metody i techniki...*, op. cit., s.200-206.

³⁸ *Matematyczne modele są systemami numerycznie kodowanymi, które ukazują relacje realnego świata w określonych liczbowo abstrakcyjnych wielkościach*, E. D. Niezabitowska, *Metody i techniki*, op. cit., s. 201-202.

³⁹ *Studium przypadku jest to badanie obiektu lub właściwie dobranych obiektów pod kątem wybranych kryteriów* (s.231) *W architekturze coraz częściej stosuje się tę metodę badawczą zarówno w badaniach historycznych jak i dotyczących funkcji (...)*. (s.222), E. D. Niezabitowska, *Metody i techniki*, op. cit., s. 222-231.



il. 6. Schemat narzędzi badawczych użytych w pracy. [Opracowanie własne].

Kolejno wykonano (punktacja zgodna z numeracją ze schematem- ilustracja 7) :

1. **Rozeznanie zagadnień – przegląd literatury**
2. **Zdefiniowanie luki badawczej**
3. **Zdefiniowanie zadania**
4. **Optymalizacja wielopoziomowa i wielokryterialna**
 - Wybór kryteriów oceny i ocena przydatności narzędzi do wykonania zadania
 - Wybór metod adekwatnych do rozwiązania zadania
 - Zdefiniowanie zmiennych decyzyjnych skolegowanych
 - Dokonanie wyboru modelu fizycznego oraz narzędzi obliczeniowych dla zapotrzebowania na ciepło w zakresie istotnym do optymalizacji budynku jednorodzinne mieszkalnego oraz zieleni wysokiej - drzew

5. **Podział zadania optymalizacji, na zadanie wielopoziomowe.** Na podstawie metod matematycznych zadanie rozdzielono na dwa poziomy optymalizacji: **pierwszy poziom to budynek (pkt. 5.1)**, drugi poziom to **budynek z jego otoczeniem drzewami (pkt 5.2)**
6. **Ze względu na wielokryterialność zadania** dokonano wyboru zmiennych decyzyjnych oraz określono **funkcje kryterialne i funkcję celu**
- Na podstawie prawie 30-letniej bazy badawczej oraz ankiet z audytów energetycznych dokonano subiektywnej standaryzacji kryteriów, z uwzględnieniem istotnej (ze względu na metody matematyczne i logikę) w korelacji (kryteriów) zmiennych decyzyjnych.
 - Dokonano dekompozycji zadania optymalizacji
 - Wyboru decydujących kryteriów i zmiennych decyzyjnych
 - Określono funkcję celu – dwóch minimów: minimum kosztu budowy (bez kosztu instalacji) i minimum energii użytkowej do celów ogrzewania pomieszczeń.
 - Określono zmienne decyzyjne
- 5.1. Wykonano optymalizację budynku ze względu na komfort cieplny.**
- Dokonano wyboru metod matematycznych rozwiązania zadania optymalizacji nieliniowej z ograniczeniami nierównościowymi
 - Optymalizowano grubość termoizolacji ścian
 - Optymalizowano powierzchnie przeszkleń na elewacjach
 - Optymalizowano proporcje boków pola podstawy budynku
- 5.2. Wykonano optymalizację otoczenia budynku**
- Podjęto próbę sposobu określenia współczynnika przezierności
 - Wykonano skaniny drzew i budynków stanowiących, w tym zadaniu, tło i bazę odniesienia; jednocześnie wykonywano pomiary odległości, wysokości budynków oraz drzew
 - Dokonano weryfikacji pomiarów odległości, wysokości budynków oraz drzew poprzez koordynaty skaningu
 - Wykonano badania skaningu w dwóch przedziałach czasowych
 - Wykonywanie dokumentacji fotograficznej drzew i im towarzyszących budynków (w czasie skaningu, oraz w kolejnych latach od pierwszych pomiarów) z jednoczesnym pomiarem odległości i wysokości

- Wykonano dokumentacji fotograficznej drzew i im towarzyszących innych niż budynki punktów odniesienia (w czasie skaningu, oraz w kolejnych latach od pierwszych pomiarów) z jednoczesnym pomiarem odległości i wysokości
- Dokonano wyboru perspektywy czasu dla (przedmiotowych) obliczeń. Dokonano przeglądu bibliografii pod kątem tempa i czasu wzrostu drzew. Dokonano własnej obserwacji tempa wzrostu wybranych drzew (dostępność in situ materiału badawczego)
- W celu określenia współczynnika przezierności wybranych egzemplarzy zieleni wysokiej (drzew), wykonywano fotografie dla porównania przyjętego sposobu określania współczynnika przezierności (na różnych etapach wzrostu)
- Do obliczeń od pierwszego do ostatniego roku wzrostu drzewa (fazy dojrzałej) przyjęto termin ściana konkretna⁴⁰
- Wykonano obliczenia zapotrzebowania na ciepło dla celów ogrzewania z uwzględnieniem drzew scharakteryzowanych przez współczynnik przezierności
- Wybrano warianty obliczeń zapotrzebowania na ciepło do celów ogrzewania budynku uwzględniających drzewa.

7. Przeprowadzono analizy

- Wykonano analizy dla różnych wariantów zieleni wysokiej (drzew), Drzew o różnym współczynnikiem przezierności i wariantowym usytuowaniu
- Dokonano analiz uzyskanych wyników obliczeń
- Oszacowano wpływ współczynnika przezierności na energię użytkową do celów ogrzewania budynku poprzez krzywą regresji

8. Sformułowano wnioski

Przedmiotem badań jest wnętrze krajobrazowe rozumiane jako najbliższe otoczenie - drzewa budynku mieszkalnego wolno stojącego parterowego.

Zadanie badawcze podzielono na dwie części, pierwszą z nich jest zadanie analizy optymalizacyjnej budynku w kontekście zieleni jako najbliższego otoczenia budynku, drugą zaś analiza rozwiązań zadań optymalizacyjnych dla budynku mieszkalnego oraz wnętrza krajobrazowego jako otoczenia tego budynku.

⁴⁰ Na podstawie wykonanej analizy sposobu określenia i definiowania ścian wnętrza krajobrazowych (metoda JARK-WAK prof. J. Bogdanowskiego) s. 37.

Pierwsza część analizy dotyczy przeglądu i zestawienia badań naukowych z zakresu analizy krajobrazu, kompozycji zieleni (ze szczególnym uwzględnieniem drzew) we wnętrzach krajobrazowych, analiz krajobrazowych otoczenia budynku. Technika deskryptywna przeglądu publikacji naukowych dotyczyła poszukiwania odpowiedzi na pytanie czy i w jaki ewentualnie sposób zieleni jest włączana w analizy bilansu energetycznego budynków. Analizy zieleni dotyczyły także sposobów oceny ich stanu oraz obiektywnych metod oceny ich stanu zdrowia. Przeszukiwanie publikacji miało na celu znalezienie i wybranie niektórych gatunków drzew i ich pokroju, układu drzew wokół budynku. Przeglądowi poddano metody stosowane w analizach ażurowości drzew, ich pokroju jako zależności od tempa wzrostu oraz wzrostu do formy dojrzałej.

W drugiej części pracy badawczej analizie poddano metody optymalizacyjne. W przeglądzie publikacji, książek, opracowań zastosowano metodę przeszukiwania z elementami komparatystryki. Dokonano więc analizy metod optymalizacyjnych adekwatnych i możliwych do zastosowania w rozwiązaniu zadania badawczego. Dokonano oceny metod optymalizacyjnych, w poszukiwaniu metod szybko zbieżnych adekwatnych do problemu badawczego jakim jest zadanie optymalizacyjne z ograniczeniami nierównościami.

Tak przeanalizowany materiał badawczy może stanowić podbudowę do zrozumienia zasady autorskiej metody badawczej i jej wyników. Może także stanowić bazę do zrozumienia wyników, otrzymanych w wyniku użycia opracowanego przez autorkę, własnego oprogramowania służącego do analiz wnętrza krajobrazowych jako składowej (zmiennej w czasie) bilansu zużycia energii w budynkach.

Interpretacja wyników została zaproponowana przez modelowanie, symulacje, ich weryfikację obiektywnymi technikami komparatywnymi. W części praktycznej przedstawiono zależności, wykresy zarówno słupkowe jak i liniowe, a także krzywe regresji. Zaproponowana przez autorkę metoda badawcza może być określona jako modelowanie na styku interdyscyplinarnej wiedzy.

2.3. Struktura pracy

Tytuł pracy: *Wnętrze krajobrazowe a parametry energetyczne budynku. Optymalizacja wielokryterialna i wielopoziomowa* jest nieco szerzej zakrojony niż jej zawartość. Tytułowa optymalizacja nie jest rozpatrywana szerzej w projektach architektury krajobrazu. Zagadnienia zawarte w pracy przedstawiono na przykładzie domu jednorodzinnego i jego bezpośredniego otoczenia – drzew (liściastych lub iglastych).

Opracowanie składa się ze *Słowa wstępnego*, sześciu rozdziałów : 1. *Wprowadzenia*, 2. *Metodologii badań*, 3. *Stanu badań*, 4. *Przydatne oprogramowanie do modelowania drzew oraz optymalizacji energetycznej budynku*, 6. *Wyniki badań i wnioski* oraz *Bibliografii*, *Zestawienia ilustracji i tabel*, *Streszczenia* i *Aneksu*. W *Słowie wstępnym* omówiono zagadnienia zagospodarowania przestrzennego wokół budynku mieszkalnego oraz parametr komfortu termicznego jakim jest temperatura, która decyduje o samopoczuciu rezydentów

W rozdziale pierwszym przedstawiono uzasadnienie wyboru tematu i przedmiotu pracy. Określone zostały cele pracy, zarówno cel główny jak i pośrednie cele. Określono problem badawczy i postawiono tezę pracy oraz sprecyzowano zakres merytoryczny, terytorialny, czasowy i wymienione zostały ograniczenia pracy.

W rozdziale drugim przedstawiono metodologię badań. Opisano przyjęte metody badawcze i organizację materiału badawczego oraz strukturę pracy.

W rozdziale trzecim opisano stan badań. Kolejno zaprezentowano wybrane podstawowe skróty i oznaczenia użyte w pracy. Załączono dwie tabele. Pierwsza z nich z zestawieniem wybranych skrótów nazw wg kolejności występowania w dysertacji oraz drugą zestawiającą oznaczenia użyte w pracy w kolejności alfabetycznej. Następnie przedstawiono wyniki badań nad **analizami wielokryterialnymi**, analizami zrównoważonymi i analizami krajobrazowymi. W części dotyczącej analiz wielokryterialnych omówiono metody eksperckie, metody zrównoważone, certyfikaty i audyty energetyczne oraz metody matematyczne. Omówiono jakie charakterystyki oraz parametry zawarte są w certyfikatach energetycznych budynków. Analiza dotyczyła procedur LEED, DGNB, BREEAM, GBS, LCA. W części poświęconej analizom energetycznym przedstawiono **parametry energetyczne budynku** i omówiono nie tylko komfort termiczny ale również komfort cieplny. Zaprezentowane zostały metody optymalizacyjne, które można zastosować do **zagadnienia optymalizacji budynków mieszkalnych**.

W zakres opisu metod krajobrazowych weszły analizy: przestrzenne krajobrazu, planów zagospodarowania przestrzennego w kontekście optymalizacji zużycia energii w budynkach mieszkalnych oraz określenia związane z charakterystyką **wnętrz krajobrazowych**. Bardziej szczegółowo omówiono aspekty zieleni w środowisku miejskim oraz jakie badania „in situ” stanu drzew są prowadzone, a także jakie są możliwości modelowania stanu drzew. Zaprezentowane zostały metody oceny stanu drzew w tym Leaf Area Index, modelowanie ażurowości drzew, przewodniki i katalogi do projektowania drzew.

Rozdział czwarty dotyczy analizy oprogramowania przydatnego do modelowania i wizualizacji drzew oraz do metod rozwiązywania zadań optymalizacyjnych. Głównym kryterium wyboru oprogramowania był jego koszt. W świetle ogromnej dostępności wielu programów do modelowania stanu drzew wybrano i opisano jedynie przykładowe programy: A Tree 3D w 3DS Max, Blender, Vectorworks Landmark, Leafscan, ImageJ. Spośród programów do optymalizacji zużycia energii w budynkach mieszkalnych, według kryterium kosztu, dostępności licencji oraz łatwości obsługi omówiono oprogramowanie: Camos - Computer Aided Multicriterion Optimization System, ECOTECT, ATHENA, DESIGN BUILDER, ENERGY PLUS, PHPP oraz własny autorski program JOLI Factor Programming – Joined Optimization of Landscape Interior Factor Programming.

W kolejnym piątym rozdziale omówiono wpływ struktury wnętrza krajobrazowego na bilans energetyczny budynku, a w nim zagadnienia etapów projektowania, dekompozycji zadania optymalizacji. Zaproponowano metody rozwiązania optymalizacyjnego dla wolno stojącego budynku parterowego mieszkalnego. Określono elementy przyrodnicze wnętrza krajobrazowego podlegającego analizie oraz metodę wielokryterialną projektu wnętrza krajobrazowego w kontekście komfortu użytkowania budynku. Omówiono i zastosowano współczynnik przezierności drzew. Na podstawie tej analizy wybrano i zaproponowano warianty i elementy optymalizacji przestrzennej.

W rozdziale szóstym przedstawiono wyniki badań. Zoptymalizowano budynek parterowy, mieszkalny, jednorodzinny. Zastosowano optymalizację wielokryterialną, wielopoziomową. Zmiennymi decyzyjnymi były powierzchnie okien na poszczególnych elewacjach, grubość termoizolacji, kształt budynku (przyjęto regularny kształt, optymalizowano proporcje boków podstawy budynku). Podstawowym założeniem było, aby w budynku nie było przekroczonych warunków

komfortu cieplnego - nie ma przegrzewania pomieszczeń w okresie letnim. Dla tego zoptymalizowanego budynku przeprowadzono analizy otoczenia w kontekście ich wpływu na bilans energetyczny budynku. Ściany wnętrza krajobrazowego tworzyły wybrane drzewa rodzime liściaste i iglaste. Analizy otoczenia, ze względu na nasłonecznienie, przeprowadzono dla układów ścian konkretnych usytuowanych w wariantach: północ-wschód-południe-zachód oraz wschód-zachód. Analizy wpływu drzew liściastych, jako najbliższego otoczenia budynku, na bilans energetyczny budynku przeprowadzono dla dwóch różnych współczynników zacienienia, a mianowicie zróżnicowano je dla okresu lata i okresu zimy. Analizy dla drzew zimozielonych przeprowadzono dla tego samego zacienienia w okresie lata i zimy. Komparatywna metoda polegała na analizie wartości zapotrzebowania energii do celów ogrzewania dla stałej wartości zacienienia oraz zmiennej w czasie wartości zacienienia wynikającej ze wzrostu drzew. Na podstawie przeglądu publikacji naukowych przyjęto 20-letni okres analizy bilansów energetycznych budynków. Na podstawie wyników modelowania zestawiono krzywe regresji dla drzew liściastych i iglastych. W tym rozdziale zawarto również podsumowanie i konkluzje końcowe, zastosowanie wyników badań w projektowaniu oraz perspektywy rozwoju badań.

Kolejno umieszczono *Bibliografię* oraz *Spis ilustracji i tabel*. Na końcu dysertacji zamieszczono *Streszczenia* w języku polskim i angielskim oraz *Aneks*.

3. STAN BADAŃ

Ze względu na interdyscyplinarność pracy, w której podjęto temat wpływu projektu zieleni we wnętrzu krajobrazowym na parametry energetyczne budynku, stan badań obejmuje zarówno zagadnienia dotyczące analiz wielokryterialny: analiz eksperckich, analiz zrównoważonych, certyfikatów i audytów energetycznych budynków, analiz matematycznych oraz analiz energetycznych oraz analiz krajobrazowych ze szczególnym uwzględnieniem wnętrz krajobrazowych, jak i metod badania zużycia ciepła przez obiekt architektoniczny oraz komfortu cieplnego pomieszczeń.

3.1. Podstawowe skróty i oznaczenia użyte w pracy

W pracy występują nazwy, oznaczenia, wzory i ich omówienia. W *Strukturze pracy* wskazano w jakiej części pracy zostały omówione tytułowe: wnętrza krajobrazowe, parametry energetyczne budynku, analizy wielokryterialne i optymalizacja. W tym miejscu dla ułatwienia rozumienia treści zaprezentowanych w dysertacji i uproszczenia poruszania się w jej strukturze załączono zestawienia wybranych skrótów nazw i oznaczeń.

Tabela 3. Zestawienie wybranych skrótów nazw według kolejności alfabetycznej. [Opracowanie własne]

Certyfikat, skrót, oznaczenie	Nazwa w języku angielskim, niemieckim, francuskim	Odpowiednik nazwy w języku polskim	Uwagi
ASE	Annual Sunlight Exposure	Roczna ekspozycja na światło słoneczne, nie stosuje się pełnej nazwy w języku polskim a skrót ASE	to liczba godzin w ciągu roku, przez które punkt na płaszczyźnie roboczej otrzymuje bezpośrednie światło słoneczne większe niż wartość progowa. Ta miara jest często używana wraz z sDA do ilościowego określenia ryzyka dyskomfortu wzrokowego spowodowanego oślnieniem
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning	Amerykańskie Stowarzyszenie Inżynierów Ogrzewnictwa, Chłodnictwa i Klimatyzacji	używa się skrótu AHRAE, cel: jest tworzenie i publikowanie standardów testowania i normalizacji oraz kryteriów wydajności dotyczących projektowania i konserwacji środowisk wewnętrznych. Normom nadaje się nazwę ASHRAE i numer. Normy określają minimalne wartości dla akceptowanej wydajności różnych produktów związanych z wentylacją, ich stosowanie jest bezwzględnie obowiązującą procedurą w systemie LEED
BRE	Building Research Establishment Global	nie stosuje się polskiego tłumaczenia nazwy	to "Instytut Badań Budowlanych", centrum nauki o budownictwie w Wielkiej Brytanii, którego właścicielem jest organizacja charytatywna BRE Trust. Jest to byłe krajowe laboratorium rządu Wielkiej Brytanii, sprywatyzowane w 1997 roku.

c.d. 1. tabeli zatytułowanej <i>Zestawienie wybranych skrótów nazw według kolejności alfabetycznej</i>			
BRE Global	British Research Establishment	nie podaje się	tłumaczenie: Brytyjski Instytut Badawczy
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method	nie podaje się	został wprowadzony w 1990 r. w Wielkiej Brytanii przez BRE Global
BTO	Building Technologies Office	brak	w tłumaczeniu dosłownym: Biuro Techniki Budowlanej, nie stosuje się tłumaczenia
CERN	Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire	Europejska Organizacja Badań Jądrowych, Ośrodek Badań Jądrowych pod Genewą	Pierwsza nazwa pochodzi z lat 50-tych, jest w nim akcelerator cząstek, zwany Wielkim Zderzaczem Hadronów
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen	nie podaje się	to skrót, który po przetłumaczeniu na język polski oznacza „Niemiecki Certyfikat Budownictwa Zrównoważonego”, Niemiecki system oceny wielokryterialnej budynków DGNB Certification System powstał w 2008 r. z inicjatywy German Sustainable Building Council (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V – DGNB: Niemiecka Rada ds. Zrównoważonego Budownictwa)
GBCI	Green Building Certification Institute	nie podaje się	w dosłownym tłumaczeniu: Instytut Certyfikacji Budownictwa Zrównoważonego, nie stosuje się polskiego tłumaczenia
GBS	Green Bond Standard	nie podaje się	Komisja Europejska 8 lipca 2021 (projekt), przepisy unijne z zakresu zielonych obligacji dotyczące dobrowolnego standardu ekologicznych obligacji, które mogą używane zarówno przez przedsiębiorstwa emitujące obligacje jak i władze publiczne (sovereign bonds). Cel: przeciwdziałanie greenwashing (bardzo rzadko używany skrót GW)
GW	Green washing	nie podaje się	pojęcie określa inwestycje ekologiczne tylko z nazwy, cel wprowadzenia procedur GBS: uzyskanie wiarygodnych narzędzi do wykazania, że pozyskane z emisji obligacji środki finansują zrównoważone przedsięwzięcia, zgodne z unijną taksonomią, a inwestorzy pewność, że finansują projekty ekologiczne
HVAC&R	Heating, Ventilation, Air, Conditioning	nie stosuje się polskiego dosłownego tłumaczenia akronimu. Ogrzewanie, Wentylacja, Powietrze, Klimatyzacja	Branża HVAC zaliczana jest to do gałęzi inżynierii sanitamej, gdzie oprócz ogrzewania, klimatyzacji i wentylacji, może obejmować również chłodzenie, a nawet izolację, skrót z dodanymi literkami R - refrigeration (chłodzenie HVAC&R) oraz I - insulation (izolacja HVAC&I)

c.d. 2. tabeli zatytułowanej Zestawienie wybranych skrótów nazw według kolejności alfabetycznej			
IREQ	required clothing insulation	nie podaje się	do oceny komfortu cieplnego środowiska zimnego, określa izolacyjność izolacyjność cieplną odzieży ochronnej, wymaganą w celu zapobiegania oziębieniu całego ciała
JFP	Joli Factor Programming	Współczynnik Joli, Optymalizacja wnętrz krajobrazowych	Autorka skłania się zdecydowanie do nazwy Joli Program = Joli Program
LCA	Life Cycle Assessment	nie podaje się	w dosłownym tłumaczeniu "Cykl życia wyrobu", Analiza LCA to metodologia oceny cyklu życia produktów i usług; w analizie krajobrazowych używany jest ten sam skrót ale dotyczy innej analizy, analizy krajobrazu. Nazwa Landscape Character Assessment- Ocena Charakteru Krajobrazu
LCI	The U.S. Life Cycle Inventory	nie podaje się	centralna baza danych związana z opracowywaniem i używaniem różnych komercyjnych materiałów budowlanych, komponentów i zespołów i całkowitym wpływem na energię i zasoby
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design	nie podaje się	założony w 1998 przez amerykańską organizację Green Building Council, system oceny jakości budynków używany przez inwestorów
PHI	w języku niemieckim: Passivehouse Institut, w języku angielskim: Passive House Insitut	nie podaje się	czasem używa się nazwy: Instytut Budownictwa Pasywnego
PHPP	w języku niemieckim: Passivhaus-Projektierungspaket, w języku angielskim: Passive House Planning Package	nie podaje się	czasem używana nazwa: "Pakiet do projektowania budynków pasywnych" i zgodnie z Polskim Instytutem Budownictwa Pasywnego może być stosowana, zaleca się stosowanie skrótu PHPP i nazwy w języku niemieckim lub angielskim stosowany do optymalizacji , projektowania, certyfikacji budynków nisko-energetycznych przez PHI
PIBP	Polski Instytut Budownictwa Pasywnego - Polish Passive House Institute	używa się nazwy w języku polskim i angielskim	polski oddział PHI -Passive House Institute-Instytut Budownictwa Pasywnego
PLGBC	Polish Green Building Council	Polskie Stowarzyszenie Budownictwa Ekologicznego	w dosłownym tłumaczeniu brzmi jako: Polska Rada Budownictwa Zielonego, natomiast stosuje się ją w sensie: Polskie Stowarzyszenie Budownictwa Ekologicznego PLGBC (Polish Green Building Council), niezależna organizacja pozarządowa, Oddział amerykańskiej GBC (C-Council- Rada) zajmującej się oceną jakości budynków
PMV	Predicted Mean Vote	nie podaje się	wskaźnik stosowany w opisie komfortu cieplnego w pomieszczeniach zamkniętych
PPD	Predicted Percentage Dissatisfied	nie podaje się	wskaźnik, prognoza liczby osób odczuwających brak komfortu cieplnego
sDA	Daylight Autonomy	Światło naturalne, jego udział w dziennym zapotrzebowaniu aby wykonać pracę bez sztucznego oświetlenia. Nie stosuje się tej długiej nazwy a skrót.	Określa stopień, w jakim przestrzeń ma wystarczającą ilość naturalnego światła dziennego, aby umożliwić wykonanie przypisanej czynności bez potrzeby oświetlenia elektrycznego
USGBC	United States Green Building Council	nie podaje się	Stowarzyszenie Budownictwa Zrównoważonego USA
WCI	wind chill index	nie podaje się	do oceny komfortu cieplnego środowiska zimnego, opisuje wpływ miejscowego chłodzenia organizmu przez zimny strumień powietrza
WGBT	wet bulb globe temperature	nie podaje się	wskaźnik obciążenia termicznego, który może być jednym z czynników szkodliwych lub uciążliwych na stanowisku pracy

Tabela 4. Oznaczenia użyte w pracy w kolejności alfabetycznej [Opracowanie własne]

L.p.	Oznaczenie	Opis
1	A_i	pole powierzchni: ściany, okna, drzwi balkonowych lub powierzchni przeszklonej w świetle otworu w przegrodzie, [m ²]
2	a^i	punkt graniczny przedziału
3	b^i	punkt graniczny przedziału
4	$b_k(x)$	funkcja kary
5	C_d	cena jednostkowa dachu w optymalizacji CAMOS
6	C_f	cena jednostkowa fasady (elewacji) w optymalizacji CAMOS
7	CF_t	cash flow - przepływy gotówki, [zł]
8	C_i	udział powierzchni oszklenia do całkowitego pola powierzchni okna, [-]
9	c_j	bariera (kryterium twarde)
10	C_k	cena jednostkowa konstrukcji w optymalizacji CAMOS
11	c_{lo}	izolacyjność termiczna odzieży
12	C_o	cena jednostkowa okna w optymalizacji CAMOS
13	C_p	cena jednostkowa podłogi w optymalizacji CAMOS
14	c_r	parametr - koszt dodatkowy w optymalizacji Osyczka
15	C_s	cena jednostkowa ściany w optymalizacji CAMOS
16	C_t	cena jednostkowa termoizolacji w optymalizacji CAMOS
17	d	grubość warstwy materiału w komponencie budowlanym, [m]
18	d_e	grubość ekonomiczna warstwy komponentu budowlanego, [m]
19	d^s_i	interwał
20	dz	średnica zastępcza, wysokość [m]
21	E	kierunek wschodni
22	$F(1)$	minimum kosztu obudowy optymalizacja CAMOS
23	$F(2)$	minimum zapotrzebowania na energię optymalizacja CAMOS
24	$f(x)$	wektor funkcji celu
25	F_1	funkcja kryterialna - minimum kosztów ogrzewania
26	$F_1 F_2$	funkcja celu
27	F_2	funkcja kryterialna - minimum kosztów obudowy budynku
28	$f_{R,si}$	współczynnik temperaturowy na powierzchni wewnętrznej przegrody zewnętrznej
29	F_{sh}	czynnik redukcyjny ze względu na zacinienie od przegród zewnętrznych wyznaczany wg PN dotyczącej energetycznych właściwości użytkowych budynków
30	$F_{sh,gl}$	czynnik redukcyjny ze względu na zacinienie dla ruchomych urządzeń zacieniających wyznaczany wg PN dotyczącej energetycznych właściwości użytkowych budynków
31	g_{gl}	całkowita przepuszczalność energii promieniowania słonecznego dla przezroczystej części okna, drzwi balkonowych lub powierzchni przeszklonej

cd. 1. Tabeli zatytułowanej <i>Oznaczenia użyte w pracy w kolejności alfabetycznej</i> <i>[opracowanie własne]</i>		
32	G_j	operator Heaviside'a
33	$G(i)$	np. $G(1)$ - ograniczenie nierównościowe w optymalizacji Osyczka
34	$g_j(x)$	wektor ograniczeń nierównościowych
35	$h_j(x)$	wektor ograniczeń równościowych
36	I_0	nakłady początkowe (inwestycyjne), [zł]
37	I_i	energia promieniowania słonecznego padająca w danym miesiącu na przegrodę
38	InSAR	Interferometric Synthetic Aperture Radar- interferometria radarowa służy do tworzenia cyfrowego modelu terenu na podstawie dwóch obrazów radarowych
39	jd_i	nazwa wariant optymalizacji np. jd_1
40	JF	współczynnik przezierności
41	K	liczba funkcji celu w optymalizacji CAMOS
42	$K(y,m)$	funkcja celu (wartościowania) z ograniczeniami
43	$Kr(y,m)$	funkcja celu
44	LIDAR	Technika Laserowego Skanowania Lotniczego
45	m	liczba barier (kryteriów twardych)
46	M	liczba ograniczeń nierównościowych w optymalizacji
47	m	zbiór zmiennych decyzyjnych
48	MP	liczba ograniczeń równościowych w optymalizacji CAMOS
49	n	liczba kryteriów
50	N	kierunek północny
51	N	liczba zmiennych decyzyjnych w optymalizacji CAMOS
52	η	sprawność systemu ogrzewania
53	NPV	Wartość Bieżąca Netto - Net Present Value
54	Nu	liczba Nusselta, [-]
55	$OP-i$	okno lub drzwi w ścianach
56	P	parametr w optymalizacji CAMOS
57	$P[f(x)]$	funkcja preferencji (funkcja zastępcza)
58	PIR	poliizocyjanurat, pianka termoizolacyjna
59	PMV	przewidywana ocena średnia (w ocenie komfortu cieplnego pomieszczenia)
60	PPD	przewidywany udział niezadowolonych (w ocenie komfortu cieplnego pomieszczenia)
61	$Q_{H,gn,s,n}$	całkowite zyski ciepła w strefie ogrzewanej w n-tym miesiącu, [kWh]
62	$Q_{H,ht,s,n}$	całkowita ilość ciepła przeniesionego ze strefy ogrzewanej w n-tym miesiącu, [kWh]
63	$Q_{H,nd,s}$	zapotrzebowanie energii na sezon do celów ogrzewania, [kWh]
64	$Q_{H,nd,s,n}$	zapotrzebowanie energii miesięcznej do celów ogrzewania i wentylacji w strefie ogrzewanej, [kWh]
65	$Q_{int,H}$	miesięczne wewnętrzne zyski ciepła, [kWh/mies.]
66	$Q_{sol,H,i}$	miesięczne zyski ciepła od promieniowania słonecznego przez okna, drzwi balkonowe lub powierzchnie przeszklone, [kWh/mies]
67	$Q_{u,H}$	zapotrzebowanie energii użytkowej do celów ogrzewania

cd. 2. Tabeli zatytułowanej <i>Oznaczenia użyte w pracy w kolejności alfabetycznej.</i> [Opracowanie własne].		
71	R	opór cieplny komponentu budowlanego, projektowany opór cieplny [m^2K/W], według PN EN ISO: 6946:2008
72	R	w programie obliczeniowym długość kroku algorytmu obliczeniowego tzw. złotego podziału, do zbieżności funkcji; według środowiska obliczeniowego programu Osyczka-język programowania FORTRAN, optymalizacja Osyczka
73	r	mnożnik dodatni (kontrola wysokości kary)
74	R^2	miara dopasowania modelu linii trendu
75	r_B	współczynnik zacienienia przez ościeże okna lub inne elementy pionowe
76	r_d	stopa dyskonta, [%]
77	r_G	współczynnik zacienienia przez wystające poziome elementy nad oknem
78	r_H	współczynnik zacienienia okna przez szereg budynków
79	r_{in}	współczynnik zacienienia dla innych elementów zacinających
80	R_k	opór cieplny konstrukcji w optymalizacji CAMOS
81	R^n	zbiór domknięty
82	r_{rama}	współczynnik redukcyjny uwzględniający nieprzeźroczystą część powierzchni okna
83	r_{rama}	współczynnik redukcyjny uwzględniający nieprzeźroczystą część powierzchni okna
84	R^s_{min}	minimalna wartość parametru kryterium
85	R_{se}	opór przejmowania ciepła na powierzchni zewnętrznej przegrody
86	R^s_i	minimalna i maksymalną wartość parametru kryterium
87	R_{si}	opór przejmowania ciepła na powierzchni wewnętrznej przegrody
88	r_{skos}	współczynnik redukcyjny uwzględniający zmniejszone przepuszczanie promieniowania słonecznego przy ukośnym padaniu promieni
89	R^s_{max}	maksymalna wartość parametru kryterium
90	R_T	całkowity opór cieplny
91	r_z	współczynnik redukcyjny uwzględniający zacienienie przez sąsiednie budynki, wystające elementy budynku itp.
92	r_{zab}	współczynnik redukcyjny uwzględniający zabrudzenia
93	S	kierunek południowy
94	S	parametr dotyczący dachu budynku w metodzie Osyczka
95	Sdp	parametr dotyczący podłogi budynku w metodzie Osyczka
96	SE	natężenie promieniowania z kierunku wschodniego
97	SN	natężenie promieniowania z kierunku północnego
98	Sp	przydatność
99	$SPBT$	Prosty Czas Zwrotu (Simple Pay back Time) [lata]
100	Sr	parametr zmniejszający starty wentylacji
101	SS	natężenie promieniowania z kierunku południowego
102	SW	natężenie promieniowania z kierunku zachodniego

cd. 3. Tabeli zatytułowanej <i>Oznaczenia użyte w pracy w kolejności alfabetycznej.</i> [Opracowanie własne].		
103	t	kolejny rok
104	TLS	Terrestrial Laser Scanner - Nziemny Skaninig Laserowy
105	Tr	udział elewacji w powierzchni uwzględnianej do zapotrzebowania na ciepło do celów ogrzewania
106	U	współczynnik przenikania ciepła [W/m ² K]
107	U_d	współczynnik przenikania ciepła drzwi [W/m ² K]
108	U_p	współczynnik przenikania ciepła podłogi na gruncie U_{eq} [W/m ² K]
109	W	kierunek zachodni
110	$WBGT$	czujnik do pomiaru parametrów komfortu cieplnego
111	WCI	wind chill index- wskaźnik odczuwalności wiatru
112	w_i	waga kryterium w metodzie: ważona kombinacja liniowa (Wright Linear Combinatio - WLC)
113	WT	W sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 z późn. Zmianami
114	x	wektor zmiennych decyzyjnych
115	$x(1)$	zmienna decyzyjna, udział przeszklenia na elewacji południowej
116	$x(2)$	zmienna decyzyjna, udział przeszklenia na elewacji wschodniej
117	$x(3)$	zmienna decyzyjna, udział przeszklenia na elewacji północnej
118	$x(4)$	zmienna decyzyjna, udział przeszklenia na elewacji zachodniej
119	$x(5)$	zmienna decyzyjna, opór cieplny R [m ² K/W]
120	$x(6)$	zmienna decyzyjna, simplex boków podstawy budynku, proporcja
121	x_i	wartość kryterium po standaryzacji w metodzie: ważona kombinacja liniowa (Wright Linear Combinatio - WLC)
122	x^s_i	parametr odpowiadający danemu parametrowi po standaryzacji
123	Zas	współczynnik zacienienia części elewacji (wcięcie elewacji na kierunku południowym)
124	$Zas1$	udział współczynnika zacienienia części elewacji (wcięcie elewacji na kierunku południowym)
125	$Zas4$	udział współczynnika zacienienia części elewacji (wcięcie elewacji na kierunku północnym)
126	Zaw	współczynnik zacienienia części elewacji (wcięcie elewacji na kierunku zachodnim)
127	α	długość kroku algorytmu obliczeniowego tzw. złotego podziału, do zbieżności funkcji
128	α_w	współczynnik wnikania [W/m ² K]
129	ΔK_e	oszczędność kosztów zapotrzebowania energii do celów ogrzewania, [zł]
130	$\eta_{H,gn,s,n}$	współczynnik wykorzystania zysków ciepła w strefie ogrzewanej w n-tym miesiącu
131	λ	współczynnik przewodzenia ciepła komponentu budowlanego, [W/mK]
132	ρ_i	liczba losowa <0;1>

3.2. Analizy wielokryterialne

„Analizy wielokryterialne (MCE, Multi-Criteria Evaluation) mają na celu wsparcie procesu podejmowania decyzji i oparte są o zestaw różnorodnych kryteriów.

Kryteria występujące w analizie MCE mogą mieć charakter twardey bądź miękkiej. Stosując kryteria twarde uzyskuje się informację na temat tego czy dany obszar spełnia lub nie spełnia postawionych warunków. Stosując miękkie kryteria otrzymuje się informację na temat stopnia przydatności danego obszaru dla określonego w trakcie analizy celu. „⁴¹

3.2.1. Metody eksperckie

Raport Brundtlanda to publikacja wydana w 1987 roku przez Światową Komisję ds. Środowiska i Rozwoju (WCED- World Commission of Environment and Development) nazywana także: Our Common Future 1987⁴². Prace komisji kierowane były przez premier Norwegii Gro Harlem Brundtland i sponsorowane przez Organizację Narodów Zjednoczonych (ONZ). WCED analizowała trzy główne obszary: równość społeczna, przyczyny degradacji środowiska, wzrost gospodarczy i problemy środowiskowe. Komisja opracowała rozwiązania polityczne, które integrowały te trzy obszary, poprzez wprowadzenie koncepcji zrównoważonego rozwoju, opisała jakimi metodami można osiągnąć taki rozwój.

Z tego raportu wynika iż „*miasta przyszłości powinno być integralnie powiązane z tezami rozwoju zrównoważonego (Our Common Future, 1987). Miasta przyszłości mają cechować się wzrostem dobrobytu i jakości życia ich mieszkańców, a także harmonijnie łączyć środowisko zurbanizowane ze środowiskiem naturalnym. W latach osiemdziesiątych XX wieku oraz w okresie późniejszym powstawały metody oceny budynków w aspekcie zrównoważonego rozwoju.*”⁴³

Realizacja inwestycji budowlanych to oddziaływanie na środowisko. Z tego powodu kryterium oceny powinno odnosić się do skutków ingerencji w środowisko. Europejska Referencyjna Architektura Interoperacyjności (EIRA)

⁴¹ <http://www.datagis.pl/strona/analizy-wielokryterialne> (dostęp 21.03.2024)

⁴² <https://www.britannica.com/topic/Brundtland-Report>, (dostęp 4.04.2024)

⁴³ L. W. Kamionka., *Multi-Criteria Assessment Methods and Their Impact on the Ecological Quality of the Built Environment*, TEKA Komisji Urbanistyki i Architektury O/PAN w Krakowie, Kraków 2023, s. 277-300.

to procedura oceny oddziaływania na środowisko⁴⁴, zapewniająca wspólną terminologię i definiująca najistotniejsze architektoniczne elementy składowe. Obowiązuje w Polsce od 2008 roku a w systemie dane zawarte są w plikach pod nazwą Architektoniczne Bloki Budowlane (ABB - *architectural buildings blocks*)⁴⁵. A. Rausch i C. Deiters⁴⁶ przedstawili jak komponować elementy architektoniczne i jak sprawdzać ich pewność. Programowanie EIRA jest niezbędna do budowy interoperacyjnych systemów e- administracji.

EIRA może służyć do ponownej oceny obiektów budowlanych. Na etapie planowania inwestycji budowlanych często do oceny realizacji inwestycji budowlanej stosuje się wiele kryteriów: mierzalne i niemierzalne.

Jako metody wyboru rozwiązania optymalnego stosuje się m.in. Internal Shannon`s entropy – Shannon`a Metoda Przedziałowa Entropii Shannon`a⁴⁷. Metoda entropii Shannona jest metodą uzyskiwania wag dla problemu MADM⁴⁸, zwłaszcza gdy uzyskanie odpowiedniej wagi w oparciu o preferencje i eksperymenty nie są możliwe oraz gdy dane nie są ciągłe⁴⁹.

Ponieważ każde kryterium ma inne znaczenie, nie można założyć, że wszystkie mają tę samą wagę, w związku z czym znalezienie odpowiedniej wagi dla każdego kryterium

⁴⁴ J. Harasymiuk, E. Szafranko, K. Walentynowicz, *Ponowna ocena oddziaływania inwestycji budowlanej na środowisko*, Inżynieria Przedsięwzięć Budowlanych, Materiały Budowlane, SIGMA-NOT, Warszawa 2022, s. 79-81.

⁴⁵ <https://www.gov.pl/web/ia/nowa-wersja-eira> (dostęp 20.02.2024).

⁴⁶ A. Rausch, C. Deiters, *A Constructive Approach to Compositional Architecture Design*, Software; Architecture on the 5th European Conference, ECSA 2011, dblp-schloss DAGSTUHL; Leibniz-Zentrum für Informatik, Essen 2011.

⁴⁷ Hosseinzadeh Lotfi F., Fallahnejad R., *Imprecise Shannon`s Entropy and Multi Attribute Decision Making*, Entropy, Tehran 2010, s. 53-62.

⁴⁸ Wieloatrybutowe podejmowanie decyzji (MADM - Multi Attribute Decision Making- Podejmowanie decyzji na podstawie wielu atrybutów (MADM) to proces podejmowania decyzji dotyczących preferencji poprzez ocenę skończonej liczby wcześniej określonych alternatyw w ramach wielu i zwykle sprzecznych atrybutów. Dokonuje się porównań między atrybutami. Podejmowanie Decyzji z Wieloma Atrybutami) – metoda ma zastosowanie gdy zbiór wszystkich dopuszczalnych decyzji jest zbiorem dyskretnym, zawierającym skończoną, określoną z góry liczbę możliwych wariantów rozwiązania.

⁴⁹ Kacprzak D., *Metoda SAW Z Przedziałowymi Danymi i Wagami Uzyskanymi za Pomocą Przedziałowej Entropii Shannona*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, Katowice 2018, s. 144-155. Opisuje metodę oraz przedstawia narzędzia modelowania matematycznego do rozwiązania zadania z danymi przedziałowymi i wagami obiektywnymi.

jest jednym z głównych punktów MADM⁵⁰. Sposób wyznaczania wag można podzielić na dwie grupy:

- wagi subiektywne
- obiektywne.

Subiektywne wagi ustalane są wyłącznie według preferencji decydentów. Do tej kategorii zaliczają się

- metody AHP⁵¹,
- metoda ważonych najmniejszych kwadratów⁵²
- metoda Delphi⁵³

Stosuje się metody:

- analiza preferencji
- teoria użyteczności
- teoria wyboru społecznego
- teoria decyzji komisji
- teoria głosowania
- teoria gry
- analiza ocen eksperckich

⁵⁰ F. Hosseinzadeh Lotfi, R. Fallahnejad, *Imprecise Shannon's Entropy and Multi Attribute Decision Making*, op. cit., s. 54-62. [tłum. własne]

⁵¹ Saaty T.L., *The analytic hierarchy process what it is and how it is used*, Volume 9, Issues 3–5, Elsevier 1987, s.162. Autor rozwiązał podstawowy problem teorii zbiorów rozmytych, używając metody wektorów własnych do określenia wag przynależności każdego elementu do zbioru.

⁵² A. T. W. Chu, R. E. Kalaba, K. Spingarn, A comparison of two methods for determining the weights of belonging to fuzzy sets, *Journal of Optimization Theory and Application*, vol. 27, Springer 1979, s. 531-538. W artykule zastosowano ważoną metodę najmniejszych kwadratów do wyznaczenia wag. Metoda ta ma tę zaletę, że polega na rozwiązywaniu zbioru jednoczesnych liniowych równań algebraicznych, a zatem jest koncepcyjnie łatwiejsza do zrozumienia niż metoda wektorów własnych. Rozwiązania numeryczne otrzymuje się zarówno metodą wektorów własnych, jak i metodą ważonych najmniejszych kwadratów. Bazuje na teorii zbiorów rozmytych.

⁵³ C.L. Hwang, M. J. Lin, *Group Decision Making under Multiple Criteria: Methods and Applications*, Springer, Germany, Berlin 1987, s. 374-354. Autorzy omówili metody grupowego podejmowania decyzji na podstawie wielu atrybutów. Praca systematyzuje cechy i możliwości zastosowania metod takich jak: analiza preferencji. teoria użyteczności. teoria wyboru społecznego. teoria decyzji komisji. teoria głosowania. teoria gry. analiza ocen eksperckich. agregacja czynników jakościowych. teoria równowagi ekonomicznej.

- agregacja czynników jakościowych
- teoria równowagi ekonomicznej.

Metody obiektywne wyznaczają wagi poprzez rozwiązywanie modeli matematycznych bez uwzględnienia preferencji decydenta np.

- metoda entropii
- programowanie wielocelowe⁵⁴,
- analiza elementów głównych

Ponieważ w najbardziej realnych problemach, należy wziąć pod uwagę wiedzę i osąd decydenta, preferowane może być ważenie subiektywne, ale gdy uzyskanie takich wiarygodnych wag subiektywnych jest trudne, przydatne jest zastosowanie wag obiektywnych. Jedną z obiektywnych miar ważących zaproponowaną przez badaczy jest koncepcja entropii Shannona⁵⁵, ⁵⁶. Pojęcie entropii Shannona odgrywa ważną rolę w teorii informacji i jest używane w odniesieniu do ogólnej miary niepewności. W modelach transportu entropia jest miarą rozproszenia podróży pomiędzy punktem początkowym i docelowym⁵⁷. W fizyce słowo entropia ma ważne implikacje fizyczne, takie jak wielkość „nieporządku” układu [przypis 15: S. Islam, T.K. Roy]]. Również entropia związana ze zdarzeniem jest miarą stopnia losowości zdarzenia. Entropię uznawano także za miarę niejasności⁵⁸. W MADM im większa jest wartość entropii

⁵⁴ E.U. Choo, W. C. Wedley, *Optimal criterion weights in repetitive multicriteria decision-making*. the Journal of the Operational Research Society, vol. 36, 1985, s. 983–992.

⁵⁵ F. Hosseinzadeh Lotfi, R. Fallahnejad, *Imprecise Shannon's Entropy and Multi Attribute Decision Making*, op.cit. [tłum. własne].

⁵⁶ C.E. Shannon, *A mathematical theory of communication*. Bell System Technical Journal vol. 27 1948, s. 379–423.

⁵⁷ S. Islam, T.K. Roy, *A new fuzzy multi-objective programming: Entropy based geometric programming and its application of transportation problems*. European Journal of Operational Research Vol. 173, 2006, s. 387–404. W tym artykule przedstawiono rozmyte programowanie matematyczne z uogólnioną liczbą rozmytą jako współczynnikami obiektywnymi. Zdefiniowana została funkcji celu (kosztu) z ograniczeniami. Zastosowano rozmyte programowanie matematyczne. Zadanie trapezoidalne liczb rozmytych zredukowano do problemu programowania geometrycznego. Znaleziono optymalne w sensie Pareto rozwiązanie modelu transportu. Aby zilustrować problem, podano przykłady numeryczne. (W zadaniach transportu występuje dodatkowa funkcja celu entropii).

⁵⁸ B. Güneralpa, G. Gertnera, G. Mendozaa, A. Anderson, *Evaluating probabilistic data with a possibilistic criterion in land-restoration decision-making: Effects on the precision of results*, Fuzzy Set and Systems vol. 158, 2007, s. 1546–1560. W metodzie przeprowadzona została analiza probabilistyczna.

odpowiadającej specjalnemu atrybutowi, co implikuje mniejszą wagę atrybutu, tym mniejsza jest zdolność rozróżniająca tego atrybutu w procesie decyzyjnym.⁵⁹

Strukturę wariantów dla przypadków nieciągłych danych według kryteriów entropii Shannona przedstawiono w tabeli nr 5:

Tabela 5. Struktura wariantów i kryteriów. [Opracowanie własne] [za]: F. Hosseinzadeh Lotfi, R. Fallahnejad, *Imprecise Shannon's Entropy and Multi Attribute Decision Making, Entropy, Tehran 2010, s. 53-62.*

Struktura alternatywnej wydajności, gdy dane są interwałowe				
	Kryterium 1	Kryterium 2	...	Kryterium n
Variant 1	$[x_{11}^l, x_{11}^u]$	$[x_{12}^l, x_{12}^u]$...	$[x_{1n}^l, x_{1n}^u]$
Variant 2	$[x_{21}^l, x_{21}^u]$	$[x_{22}^l, x_{22}^u]$...	$[x_{2n}^l, x_{2n}^u]$
⋮	⋮	⋮		⋮
Variant 3	$[x_{m1}^l, x_{m1}^u]$	$[x_{m2}^l, x_{m2}^u]$...	$[x_{mn}^l, x_{mn}^u]$
	$[w_1^l, w_1^u]$	$[w_2^l, w_2^u]$...	$[w_n^l, w_n^u]$

Metody stosowane do rozwiązywania zadań wielokryterialnych: AHP⁶⁰, MCE⁶¹ (Multi-Criteria Evaluation- Wielokryterialna Ocena), MUAT⁶² (Multi Attribute Utility Theory), rozwiązanie eksperckie. Do mierzalnych kryteriów oceny

⁵⁹ F. Hosseinzadeh Lotfi, R. Fallahnejad, *Imprecise Shannon's Entropy and Multi Attribute Decision Making*, op.cit, s. 53-62. [tłum. własne]

⁶⁰ AHP - Association for Healthcare and Philanthropy- Stowarzyszenie Opieki Zdrowotnej i Filantropii. Certyfikat może wykonywać nie tylko każdy zatrudniony (specjalista , konsultant) w dziale rozwoju i zarządzania zasobami opieki zdrowotnej, ale także specjaliści zatrudnieni w innych niż opieka zdrowotna dziedzinach a pokrewnych np. marketing, public relations, pozyskiwania funduszy, w celu zdobycia lub utrzymania kwalifikacji zawodowych w dziedzinie opieki zdrowotnej. Stowarzyszenie założone w 1975 roku, pozwala członkom osiągnąć uznanie zawodowe poprzez dokumentowanie doświadczenia i sprawdzanie wiedzy w zakresie rozwoju zasobów opieki zdrowotnej. Obecnie w programie istnieją dwa poziomy osiągnięć: Certified Fundraising Executive (CFRE- Certyfikowany Specjalista ds. Pozyskiwania Funduszy) i Fellow (FAHP- Specjalista Stowarzyszenia Filantropii Opieki Zdrowotnej). CFRE - Certyfikowany specjalista ds. pozyskiwania funduszy -to ujednoczony program uwierzytelniania specjalnie dla menedżerów zajmujących się pozyskiwaniem funduszy. Stworzony jako ogólnobranżowy proces uwiarygadniania identyfikowania praktyk spełniających standardy zawodu fundraisera. FAHP- Członek Stowarzyszenia Filantropii Opieki Zdrowotnej- to najwyższe rangą poświadczenie zawodowe. Poświadcza wysoki poziom osiągnięć i wiedzy specjalistycznej w zakresie filantropii zdrowotnej. Poświadcza społeczeństwu, oznaczenie to, daje pewność, że ich datki są w rękach profesjonalisty. Oznaczenie AHP Fellow w CV informuje obecnych i przyszłych pracodawców, że osoba posiadająca to oznaczenie, spełniła uznany standard doskonałości i osiągnęła szczyt w swoim zawodzie. Elitarne oznaczenie przyznane około 2 % osób stowarzyszonych w AHP. <https://attendseco.com/ahpaccreditations/> (dostęp 4.04.2024).

⁶¹ <http://www.datagis.pl/strona/analizy-wielokryterialne>

⁶² K. Rysz, *Multi-criteria assessment as a tool supporting the spatial planning process*, rozprawa doktorska, Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach, Katowice 2021. Odniesiono się do opracowań specjalistycznych – ekofizjograficznych. Analizowano możliwość dostosowania, zaproponowanego autorskiego modelu, do wielu obszarów. Rozważano implementację zaproponowanego modelu w konkretnych studiach przypadku dla wybranych obszarów. Przedstawiono możliwość dodawania lub usuwania poszczególnych kryteriów dla planów zagospodarowania przestrzennego.

wpływu na środowisko w audycie termomodernizacyjnym i remontowym stosuje się wskaźniki ekonomiczne takie jak SPBT. W grantach unijnych lub lokalnych programach stosuje się także NPV⁶³, IRR. Działania te mają na celu doradztwo inwestorowi w podjęciu decyzji. Przeprowadzana jest ocena wariantów ich realizacji. Stosowane są oceny wielokryterialne.

Autor M. Książek⁶⁴ przeanalizowała następujące grupy metod oceny wielokryterialnej:

- metody matematyczne (standaryzacja, normowanie, metoda J. Neuman`a i O. *Morgenstern`a*),
- PATTERN, formuły ocen syntetycznych),
- metody geometryczne (sieci pajęczej, wektora wypadkowego),
- metody taksonomiczne (taksonomiczna miara rozwoju, metoda Czekanowskiego, taksonomii wrocławskiej),
- metody kwantytatywne (indeksowej oceny jakości, globalnego miernika jakości, efektu ekonomicznego, kompleksowego wskaźnika jakości, uśrednionych znamion, jakości, ekspertów).

Wśród zaawansowanych matematycznie metod oceny wielokryterialnej dogłębnej analizie poddała metodę ELECTRE, metodę AHP, metodę punktu idealnego, metodę entropii oraz metodę wykorzystującą elementy logiki rozmytej.

Etapy przeprowadzenia analizy wielokryterialnej⁶⁵:

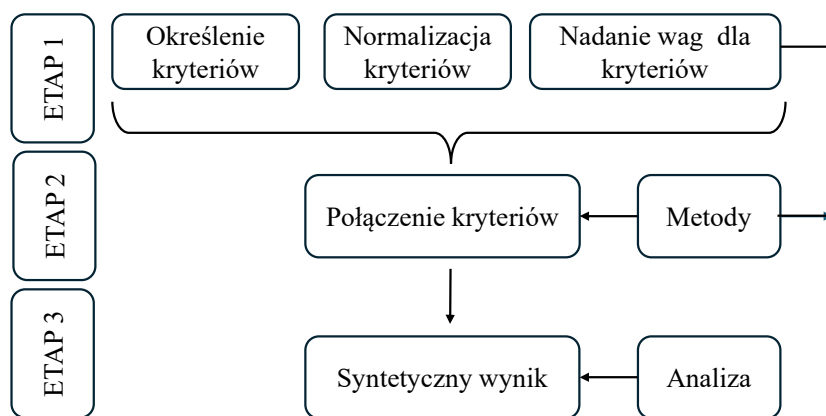
- określenie kryteriów prowadzących do osiągnięcia zaplanowanego celu,
- normalizacja kryteriów,
- nadanie kryteriom wag,
- połączenie kryteriów i uzyskanie syntetycznego wyniku.

Schemat obrazujący etapy analizy wielokryterialnej przedstawiono na ilustracji 8.

⁶³ A. P. Thirlwall, *Growth and Development*, Publisher. Lynne Rienner Pub, Boulder 1995, s. 190. Autor przyjął założenie, że koszty i korzyści oceniane poprzez NPV (Net Present Value- Wartość Bieżącą Netto) są opłacalne gdy NPV jest większe od zera. z ogólnego społeczno-gospodarczego punktu widzenia oznacza to iż, inwestycja jest opłacalna, gdy korzyści społeczne projektu przewyższą koszty społeczne.

⁶⁴ M. Książek, *Wielokryterialna ocena rozwiązań projektowych budynków*. Rozprawa doktorska. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2010.

⁶⁵ <http://www.datagis.pl/strona/analizy-wielokryterialne> (dostęp 21.03.2024)



il. 7. Etapy przeprowadzania analizy wielokryterialnej [Opracowanie własne] na podstawie <http://www.datagis.pl/strona/analizy-wielokryterialne> (dostęp 21.03.2024).

Analiza metod wielokryterialnych oceny budynków w aspekcie tzw. rozwoju zrównoważonego.

Kontrola procesu projektowego budynków „nie może się już opierać wyłącznie na tradycyjnych podstawach, takich jak intuicja projektantów, ich talent i praktyczne doświadczenie. Kwalifikacje te muszą być wspomagane przez obiektywną wiedzę naukową. W latach 80. dokonano naukowej analizy zagadnień związanych z jakością środowiska zbudowanego oraz z jakością podejmowanych w tym aspekcie decyzji. ... Projektowanie i realizacja budowli w zgodzie z zasadami zrównoważonego rozwoju odgrywają ważną rolę. Znaczenie metod oceny budynków systematycznie i znamienne wzrasta. Wytyczne Wspólnoty Europejskiej na rok 2020 wyrażone w tzw. Zielonej Księdze Efektywności Energetycznej / Green Paper on Energy Efficiency (2005) zakładały:⁶⁶ między innymi realizację potencjalnych oszczędności na poziomie 22% w budynkach w zakresie energii zużytej na ogrzewanie, klimatyzację, ciepłą wodę i oświetlenie. ... Analizując próby skodyfikowania i zdefiniowania standardów oceny budynków należy pamiętać, że opracowane metody i programy certyfikacyjne podlegają ciągłemu rozwojowi i doskonaleniu⁶⁷.

Metodę AHP opisuje autor J. Kulczak⁶⁸. Pozycja cenna w bibliografii.

⁶⁶ L. W. Kamionka., *Multi-Criteria Assessment Methods and Their Impact on the Ecological Quality of the Built Environment*, op. cit. s. 279.

⁶⁷ L. W. Kamionka., *Multi-Criteria Assessment Methods and Their Impact on the Ecological Quality of the Built Environment*, op. cit. s. 279.

⁶⁸ J. Kulczak, *Metoda szeregowania priorytetów (Analytical Hierarchy Process – AHP)*. <https://jacekluczak.pl/images/download/JMroz5.4.pdf> (dostęp 21.03.2024). Zastosowanie metody AHP wymaga aktywnego udziału członków zespołu, a wynikiem jest ich subiektywna ocena wyodrębnionych kryteriów, ponieważ wykorzystuje się ich wiedzę i doświadczenie. Metoda ta nazywana także Metodą Szeregowania Priorytetów może być stosowana w różnych dziedzinach, a pomocna gdy w decyzji należy uwzględniać kryteria ilościowe i jakościowe. W przypadku wielu

P. Haupt, J.a Gil-Mastalerczyk, E Gardyńska-Kieliś⁶⁹ używając analizy wielokryterialnej (według AHP) zestawili kryteria według listy skali ocen. Przykładowymi kryteriami, które w ocenie zrównoważonej mają wysoką rangę są: Innowacje dla osób z niepełnosprawnością, główne bariery architektoniczne w przestrzeni publicznej, możliwość zwiększenia dostępności budynków użyteczności publicznej. Skala ocen od ujemnych po dodatnie wartości- ocena negatywnych skutków w przypadku braku realizacji kryterium.

Jedną z metod podlegającą ciągłemu rozwojowi jest etykieta HQE (Haute Qualite Environmentale – Wysoka Jakość Środowiskowa, utworzona we Francji w 1996 roku) potwierdzająca osiągnięcie przez właściciela projektu założeń dla zrównoważonego budynku lub obszaru. HQE dotyczy budynków mieszkalnych, komercyjnych, użyteczności publicznej i usługowych, a także założeń urbanistycznych dzielnic, klastrow, kampusów. Zagadnienia te opisuje D. Bidou⁷⁰. HQE dotyczy także sposobu prowadzenia procesu budowy. Firma Cerway¹¹ jako jedyna we Francji wystawia etykiety zgodności ze schematami HQE. Na przykład Accessibility Label (Etykieta Dostępności - w innych certyfikatach nosząca nazwę kryterium społeczne) jest gwarancją, że budynek będzie dostosowany do potrzeb wszystkich jego użytkowników, w tym osób starszych, kobiet w ciąży lub osób z niepełnosprawnością. Familie Labels 'Environment' tj. Etykiety rodzinne „Środowisko” są dowodem na to, że budynek ma dobrze rozwiązane kwestie środowiskowe, te które są dla inwestora priorytetowe. Analizowanymi kryteriami ukierunkowanymi na człowieka są: orientacja mieszkań względem stron świata, optymalizacja ilości światła dziennego i widoków, antyalergiczne materiały, parametry izolacji termicznej i akustycznej mieszkań, jakość przestrzeni i powietrza oraz komfort zapachowy, bezpieczeństwo mieszkańców, zagospodarowanie działki – przyjazne środowisko⁷¹. Standaryzacją procedur obliczeniowych bazujących

alternatywnych rozwiązań metoda znajduje zastosowanie do podejmowania decyzji. Może być stosowana do analizy kosztów, ryzyka i standaryzacji kryteriów. Metoda bardzo przydatna dla zespołowego podejmowania decyzji. Przydatna również gdy trzeba ograniczyć dominantę lidera projektu. Artykuł bardzo pomocny bowiem zawiera przykłady rozwiązań.

⁶⁹ P. Haupt, J. Gil-Mastalerczyk, E. Gardyńska-Kieliś, *Multi-Criteria Evaluation of Accessibility of Contemporary Public Utility Buildings – on the Example of Kielce*, wyd. Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2024, s. 18-33. Bazując na metodzie MCE przeprowadzono rzeczową analizę wybranych obiektów użyteczności publicznej zlokalizowanych w Kielcach.

⁷⁰ D. Bidou, *the HQE approach: Realities and perspectives of building environmental quality*, Management of Environmental Quality, 17(5), Augsburg 2006, pp. 587–592.

⁷¹ <https://certivea.fr/solutions/labels-environnement/> (dostęp 21.03.2024).

na standardach ISO tworzył między innymi A. s. Morris ⁷². W Polsce dwa lata wcześniej, bo od 1994 roku, tworzeniem, weryfikacją procedur zrównoważonych, audytem termomodernizacyjnym, energooszczędnością w budownictwie zajmował się A. Panek. Prezes i współzałożyciel Narodowej Agencji Poszanowania Energii.⁷³ Narodowa Agencja Poszanowania Energii S.A. w Warszawie, aby zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju promować energooszczędne inwestycje i racjonalne wykorzystanie energii. NAPE pełni także funkcję weryfikatora w Polskim Instrumencie Finansowania Zrównoważonej Energii dla małych i średnich przedsiębiorstw PolSEFF (Polish Sustainable Energy Financing Facility - Polski Instrument Finansowania Zrównoważonej Energii). Schematy, etykiety podlegają zmianom. Tworzone są metody autorskie ocen środowiskowych. L.W. Kamionka aby ocenić jakość ekologiczną przestrzeni zbudowanej, w autorskim modelu oceny zrównoważonego budynku zaproponował siedem głównych kryteriów, dla których ustalił punktowe wartości. *Przykładowo w kryterium „proekologiczne użytkowanie terenu” wyróżniono trzy podstawowe warunki, w których można otrzymać określoną ilość punktów: Warunek 1 wybór terenu w aspekcie ekologicznym — 6 punktów, gdzie oceniano: jakość środowiska przyrodniczo-kulturowego, kontekst przyrodniczo-kulturowy — od 0 do 4 punktów, aspekt rewitalizacji terenu — od 0 do 2 punktów*⁷⁴.

W tej autorskiej metodzie siedmioma głównymi kryteriami oceniającymi są:

- proekologiczne użytkowanie terenu,
- efektywność energetyczna,
- efektywność gospodarki wodnej,
- efektywność użycia materiałów i surowców,
- preferencje lokalne, innowacyjność proekologiczna,
- komfort użytkowania,
- estetyka.

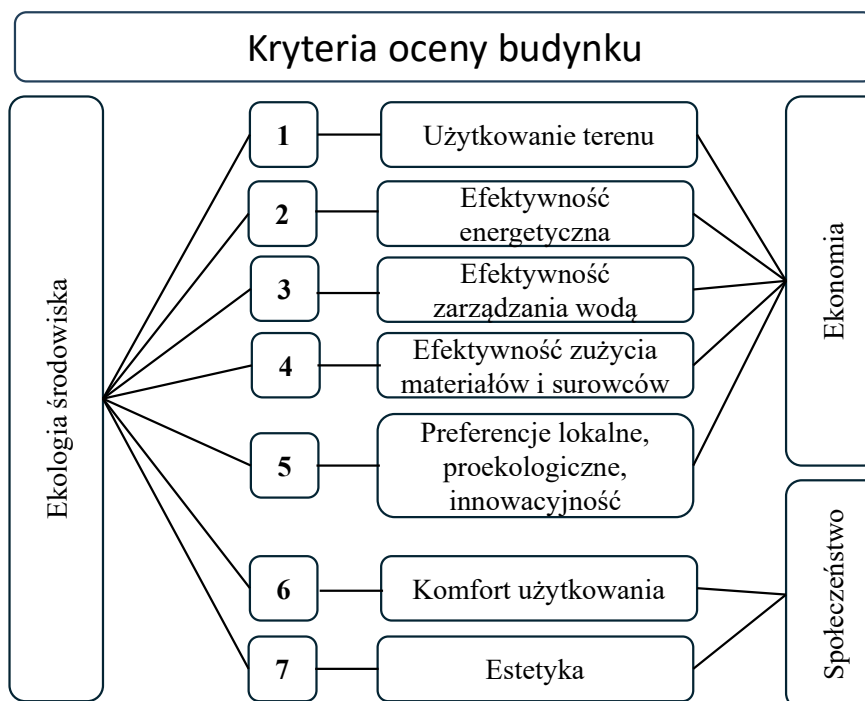
W metodzie oceny budynku zrównoważonego szczególnie silnie wyodrębnione zostało kryterium udziału społecznego tj. użytkownicy, mieszkańcy. Udział sektora społecznego w projektowaniu wpływa na komfort użytkowania

⁷² A. s. Morris, ISO 14000: *Environmental Management Standards Engineering and Financial Aspects*, Department of Automatic Control and Systems Engineering University of Sheffield, Sheffield 2004.

⁷³ A. Panek, *E-Audyty metoda oceny oddziaływania na środowisko obiektów budowlanych*, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa 2002.

⁷⁴ L. W. Kamionka., *Multi-Criteria Assessment Methods and Their Impact on the Ecological Quality of the Built Environment*, op. cit. s. 277-300.

budynku oraz walory estetyczne projektowanego obiektu architektury. *Czynnik społeczny wspomaga architekta w kreowaniu tych wartości. (Inwestor, jak wykazała praktyka, niejednokrotnie bardziej zainteresowany jest „sferą ekonomiczną”)*⁷⁵. Schemat ocenianych sektorów dla budynku zaprezentowano na ilustracji 9.



il. 8. Kryteria oceny budynku [Opracowanie własne], na podstawie: L. W. Kamionka., *Multi-Criteria Assessment Methods and Their Impact on The Ecological Quality of The Built Environment*, TEKA Komisji Urbanistyki i Architektury O/PAN w Krakowie, Kraków 2023, s. 287.

Powracając bezpośrednio do kwestii kryteriów to ideą metody MCE jest ustalenie wag poprzez oszacowanie ważności poszczególnych kryteriów i ustalenie stopnia ich spełnienia przez kolejne warianty projektu. Jedną z metod MCE jest tzw. ważona kombinacja liniowa (Wright Linear Combination - WLC) - analizy w modelu rastrowym, GEOINFORMACJA Metoda wielokryterialna (MCE/WLC)- lokalizacja inwestycji⁷⁶.

Kryteria przyjmowane w metodach wielokryterialnych.

Kryteria występujące w analizie MCE mogą mieć charakter twardy bądź miękki. Kryteria twarde dają informację na temat tego czy oceniane zadanie spełnia

⁷⁵ L. W. Kamionka., *Multi-Criteria Assessment Methods and Their Impact on the Ecological Quality of the Built Environment*, op. cit. s. 295.

⁷⁶ T. Pirowski, *Lokalizacja obiektu z zastosowaniem analizy wielokryterialnej – ważonej kombinacji liniowej, Metoda wielokryterialna (MCE/WLC)- lokalizacja inwestycji*, GEOINFORMACJA, AGH, Kraków, https://fotogrametria.agh.edu.pl/~tpirowsk/Analizy_w_modelu_rastrowym_GIN (dostęp 21.03.2024).

lub nie spełnia postawionych warunków. Na podstawie kryteriów miękkich otrzymuje się informację o stopniu przydatności ocenianego obszaru dla określonego w trakcie analizy celu.

Jednym z kryteriów, do którego przykładą się bardzo dużą wagę do kryterium dostępności i funkcjonowania w budynku jest certyfikacja niemiecka⁷⁷. Ze sposobów oceny środowiskowej budynków, jedyna spośród wszystkich metod, przykładająca tak rygorystyczne postępowanie, iż nie spełnienie tego kryterium, wyklucza dalsze postępowanie certyfikujące i budynek jest wycofywany z procedury certyfikacyjnej.

W metodzie MCE stosuje się trzy metody standaryzacji⁷⁸:

- 1) metoda nakładkowania (ang. Boolean⁷⁹) metoda twarda,
- 2) metoda liniowego wagowania (ang. Weight Linear Combination) metoda miękka,
- 3) metoda uporządkowanej średniej ważonej (ang. Ordered Weighted Average) – metoda miękka.

W analizie WLC można posłużyć się zarówno kryteriami twardymi (tzw. barierami), które wskazują zadania spełniające lub nie spełniające zadane warunki oraz kryteriami miękkimi (tzw. czynnikami) różnicującymi przydatność badanego zadania pod względem określonego warunku. Metoda WLC polega na wykonaniu iloczynu poszczególnych barier a następnie przemnożeniu (tzw. przecięciu) przez wagowaną sumę kryteriów miękkich (wzór 1 na podstawie ⁸⁰).

$$S = \sum_{i=1}^{i=n} w_i \cdot x_i \cdot \prod_{j=1}^{j=m} c_j \quad (1)$$

gdzie:

S – przydatność

w_i – waga kryterium

x_i – wartość kryterium po standaryzacji

⁷⁷ R. Skovgaard Møller, M. K. Rhodes, T. S. Larsen, R. S. Møller, *DGNB BUILDING CERTIFICATION COMPANION: SUSTAINABILITY TOOL FOR ASSESSMENT, PLANNING, LEARNING, AND ENGAGING (STAPLE)*, 2056-3280 (online), et al., *Int. J. of Energy Prod. & Mgmt.*, Vol. 3, No. 1, WIT Press 2018, s. 57–68. <https://www.witpress.com/elibrary/eq-volumes/3/1/2161> (dostęp 21.03.2024).

⁷⁸ J. R. Eastman, *Guide to GIS and Image Processing*, Vol. 2, Clark Labs Clark University, IDRISI 32 Release 2, Worcester, USA 2001.

⁷⁹ B. Hejmanowska, E. Hnat, *Wielokryterialna analiza lokalizacji zabudowy na przykładzie gminy Podegrodzie*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Zarząd Główny Stowarzyszenia Geodetów Polskich, AGH, Warszawa 2009, s.109-121.

n_i – liczba kryteriów

c_j – bariera

m_j – liczba barier

Standaryzacja dla parametru x_i^s (wzór 2 na podstawie⁸⁰):

$$x_i^s = \frac{R_i^s - R_{min}^s}{R_{max}^s - R_{min}^s} \cdot d^s \quad (2)$$

gdzie:

x_i^s -parametr odpowiadający danemu stanowi po standaryzacji,

$R^s i$ -minimalna i maksymalną wartość parametru kryterium,

$R^s min$ -minimalna wartość parametru kryterium,

$R^s max$ - maksymalna wartość parametru kryterium

d^s_i - interwał.

Autor E. Szafranko⁸⁰ konkluduje, iż procedura MCE z twardymi i miękkimi kryteriami może być z powodzeniem stosowana w celu analizy kryteriów mierzalnych i niemierzalnych. Wykazuje, że metoda ta pozwala na bezpośrednie porównanie wszystkich ustalonych w trakcie analizy dostępnych rozwiązań kryteriów. E. Szafranko opisuje również rangę wag przypisywanych poszczególnym kryteriom⁸¹.

W pracy⁸² B. Hejmanowska, E. Hnat przeprowadzają analizę opartą na wykorzystaniu metody wielokryterialnej. Z trzech rodzajów tej analizy przetestowano metodę nakładkowania (ang. Boolean) będącą metodą twardą oraz metodę liniowego wagowania (ang. WLC Weighted Linear Combination) należącą do metod miękkich. Wybór kryteriów do analiz został przeprowadzony w oparciu o zebraną dokumentację w postaci przepisów prawnych oraz konsultacje z planistami. Istotne dla wyniku pracy było to, aby kryteria były adekwatne do czynników branych

⁸⁰ E. Szafranko, *Możliwości zastosowania metod analizy wielokryterialnej przy doborze rozwiązań materiałowo-technologicznych w konstrukcjach budowlanych*, Materiały Budowlane, Warszawa, 2015, s. 50.

⁸¹ E. Szafranko, w artykule zatytułowanym *Możliwości Wykorzystania analizy Wielokryterialnej w Procesie Inwestycyjno-Budowlanym*, przeprowadza analizę, z której wynika, że *Ważne jest właściwe zdefiniowanie kryteriów uwzględnianych w analizie. Ten etap może też przebiegać różnie a ocena, przeprowadzona w oparciu o opinie ekspertów przeprowadzana jest na podstawie ankiet przygotowanych specjalnie dla każdej z metod, z uwzględnieniem ich specyfiki*, Inżynieria i Budownictwo (7), Warszawa 2016, s. 179-185.

⁸²B. Hejmanowska, E. Hnat, *Wielokryterialna analiza lokalizacji zabudowy na przykładzie gminy Podegrodzie*, op. cit., s. 109-121.

pod uwagę w trakcie tworzenia studium. Z analizy wyników poszczególnych wariantów wynika, że analiza WLC jest bardziej odpowiednia do ustalania tendencji występującej w lokalizacji terenów zabudowanych. Do wspomagania procesu tworzenia studium korzystniej jest zastosować metodę Boolean. Analizy metody twardej pokazały różnorodność zastosowania analiz przestrzennych w planowaniu, jak też możliwość zautomatyzowania niektórych etapów tworzenia studium (co jest bardzo przydatne dla tworzenia Architektonicznych Bloków Budowlanych w EIRA).

Autorki J. Harasymiuk, E. Szafranko, K. Walentynowicz⁸³ wykonały analizę metody MCA w odniesieniu do e-programu EIRA.

Jednym z zastosowań MCA jest wybór materiału budowlanego, którą to analizę przeprowadziły M. Apollo, B. Grzyl⁸⁴. Wyniki z metody MCA użyto do analizy w metodzie długoterminowej Life Cycle Cost – LCC- kosztu cyklu życia.

Metoda MUAT -Multi Attribute. Utility Theory - Wiele atrybutów. Do rozwiązywania zadań wieloatrybutowych podstawę teoretyczną przedstawili J. Von Neumann i O.Morgenstern⁸⁵. Autorzy sformułowali problem analizy matematycznej dla zagadnień ekonomicznych, przedstawili cele systemu, sformułowali pojęcie użyteczności oraz opis struktury teorii. Zaproponowany przez

⁸³ J. Harasymiuk, E. Szafranko, K. Walentynowicz, *Ponowna ocena oddziaływania inwestycji budowlanej na środowisko*, op. cit., s. 79. Przeprowadzona została analiza w kontekście realizacji budowlanych, które wiążą się z ingerencją w otaczające środowisko. Jest to przyczynek do tego aby analizy odnosiły się do skutków i oceny tychże w oddziaływaniu na środowisko. Procedura (EIRA) obowiązująca w Polsce od 2008 r., porządkuje sektor budownictwa, jednakże w literaturze brak jest wystarczającej ilości informacji na temat ponownej oceny oddziaływania na środowisko. Lukę tę mają wypełnić badania przeprowadzone przez autorki tego artykułu naukowego. Celem autorek więc było opracowanie uogólnionego postępowania w procedurze oceny. Wskazano rodzaje przedsięwzięć budowlanych, które powinny być objęte obowiązkową ponowną oceną oraz zdefiniowanie źródła narzucania takiego obowiązku inwestorom w województwie podlaskim. Dokonano analizy raportów środowiskowych przedkładanych w ramach ponownej oceny, z której to analizy wynikała konieczność wprowadzenia poprawek w dokumentacji złożonej w celu uzyskania zgody na realizację przedsięwzięć.

⁸⁴ M. Apollo, B. Grzyl, *Zastosowanie analizy wielokryterialnej do oceny i wyboru rozwiązania pokrycia dachowego Application of multi-criteria analysis to evaluate and select a roofing solution*, Materiały Budowlane, 8/2022 (nr 600), Warszawa 2022.

⁷² J. von Neumann, *Theory games and economic behavior - J. von Neumann and O. Morgenstern*, INTERBOOKS 2021.

autorów opis formalny teorii gier strategicznych i zachowań wywarł ogromny wpływ na myśl ekonomiczną w minionych latach, konkluduje Peter C. Fishburn⁸⁶

R. Aumann⁸⁷ wprowadza w teorii gier sposób rozwiązania zadania atrybutowego poprzez Optimum Pareto⁸⁸. Optimum Pareto jest terminem ekonomicznym oznaczającym taki podział dóbr, że nie można poprawić sytuacji jednego podmiotu, nie pogarszając jednocześnie sytuacji pozostałych. Odnosząc to do teorii gier, jest to sytuacja, w której nie da się zwiększyć wygranej jednego gracza tak, by wygrane pozostałych nie spadły.

Funkcja użyteczności opiera się na dwóch analizach: psychologicznych modelach pomiaru i procedurach skalowania. Można je zastosować do oceny alternatyw mających wiele atrybutów istotnych dla wartości. Te dwa podejścia dostarczają aksjomatycznego uzasadnienia istnienia funkcji użyteczności względem alternatyw o wielu atrybutach, które można rozłożyć na funkcje użyteczności o pojedynczym atrybucie⁸⁹) (wzór 3 na podstawie⁸⁹).

$$U^1(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_m) = \sum_{j=1}^m p_j \sum_{i=1}^n u_i(x_{ij}) \quad (3)$$

gdzie:

$X = (x_1, x_2, x_3 \dots x_m)$ - alternatywa ryzyka,

P_j - prawdopodobieństwo zdarzenia,

u_i - funkcja użyteczności,

U^1 - oczekiwana użyteczność,

X_{ij} - stan atrybutu.

U^1 jest ryzykowną alternatywą, dla której przypisany wynik X_j jest otrzymywany, jeśli zajdzie zdarzenie E_j , P_j jest prawdopodobieństwem tego zdarzenia,

⁸⁶ P. C. Fishburn, *Retrospective on the utility theory of von Neumann and Morgenstern*, Journal of Risk and Uncertainty vol. 1989, s. 127–157. <https://ideologia.pl/teoria-gier/> (dostęp 21.03.2024)

⁸⁷ Żakowski J., *Z noblistą prof. Robertem Aumannem o grach społecznych, wywiad z noblistą Robertem Aumannem, matematykiem, który otrzymał Nobla za teorię gier w naukach o ekonomii*, „Polityka” 2008. <https://www.polityka.pl/tygodnikpolityka/spoleczenstwo/259140,1,z-noblista-prof-robertem-aumannem-o-grach-spoecznych.read> (dostęp 22.03.2024).

⁸⁸ R. J. Aumann, A. Heifetz *Incomplete information*, Elsevier - Handbook of Game Theory with Economic Applications, Chapter 43, Volume 3, 2002, s. 1665-1686. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1574000502030060>. (dostęp 21.04.2024).

⁸⁹ D. von Winterfeld, G. W. Fischer, *Multi-attribute utility theory: models and assessment procedures*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht·Holland 1975, s. 7-85.

x_{ij} to stan i -tego atrybutu wyniku x_j' , U_i to użyteczność funkcji nad i -tym atrybutem, a U^1 jest oczekiwaną użytecznością dla ryzyka alternatywny.

Metoda MUAT daje dobre rozwiązania, jak twierdzi autorka E. Szafranko⁹⁰ gdy brak kompletności informacji o środowisku, w którym ma być realizowane przedsięwzięcie. W artykule zatytułowanym *Ways to Determine Criteria in Multi-Criteria Methods Applied to Assessment of Variants of a Planned Building Investment*⁹¹ omówiono i porównano metody ocen wielokryterialnych.

Metoda wskaźnikowa - Indicator Metod (IM):

wykorzystane są matryce, w których poszczególne oddziaływania na środowisko opisywane są za pomocą wag określających istotność wpływu na środowisko. Metodę tę od pozostałych odróżnia to, że ocenia się także negatywne

⁹⁰ E. Szafranko, *Ways to Determine Criteria in Multi-Criteria Methods Applied to Assessment of Variants of a Planned Building Investment*, Czasopismo Techniczne, wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2014, s. 42-47. Autorka syntetycznie omawia zasady implementowania różnych metod wielokryterialnych. Implementowanie metody MUAT ma uzasadnienie szczególnie tam gdzie dane wejściowe dane dotyczące środowiska naturalnego, w którym zostanie zlokalizowana inwestycja, są niekompletne. Metoda ma uzasadnienie także wtedy gdy, osoba przeprowadzająca analizę oddziaływania na środowisko znajduje się pod presją toczących się wydarzeń i ich konsekwencji, których wystąpienie jest niepewne i trudne do przewidzenia. W pierwszym etapie metody określa się mierzalne parametry środowiska na przykład poziom hałasu, ilość spalin i odpowiednio dobiera się miary. Miary obliczane są na podstawie modeli wieloletnich lub prognoz. Drugim etapem jest ustalenie funkcji użyteczności, korelacji między cechami środowiska, określenie wag dla każdego parametru środowiska. Implementowanie metody MCE ma uzasadnienie wtedy gdy określa się kryteria, poprzez które osiąga się określone cele. Wyróżnia się dwie grupy kryteriów a mianowicie miękkie i twarde. Wynik uzyskany przy zastosowaniu kryteriów miękkich nie jest tak jednoznaczny i precyzyjny jak w przypadku kryteriów twardych. Metoda AHP opiera się na założeniu, że cel główny zostanie osiągnięty w drodze realizacji celów cząstkowych. Dekompozycja zadania polega na określeniu kryteriów, potem ich ocenie, następnie ustaleniu wag uwzględniających priorytety cząstkowe. Wszystkie te metody polegają na oszacowaniu ważności zdefiniowanych kryteriów przez wielu ekspertów. Ich udział i liczne opinie są potrzebne ze względu na odmienne postrzeganie rzeczywistości i zachodzących procesów. Opinie ekspertów bywają różne (ze względu na odmienne postrzeganie zmiennych w rzeczywistych procesów), podporządkowane są różnym systemom wartości a więc i priorytetom, wynikają z różnego wykształcenia a więc zakresu wiedzy i doświadczenia.

⁹¹ E. Szafranko, *Ways to Determine Criteria in Multi-Criteria Methods Applied to Assessment of Variants of a Planned Building Investment*, op. cit, s. 41-48. W artykule zaprezentowano metody właściwego doboru kryteriów oceny wariantów inwestycji budowlanej dla różnych kryteriów i różnych metod analizy. W praktyce wybrane warianty w różnym stopniu spełniają oczekiwane cele, dlatego zaprezentowano metody właściwego doboru kryteriów oceny wariantów inwestycji budowlanej dla różnych kryteriów i różnych metod analizy. Stosuje się w tym celu metody programowania liniowego, nieliniowego, parametrycznego, stochastycznego. Analiza kryterialna daje możliwość doboru spójnej grupy kryteriów, jednocześnie ułatwia tworzenie, uzasadnienie procesu decyzyjnego. Autorka zwraca uwagę na ewentualność wyboru jednokryterialnej oceny nie zawierającej wszystkich preferencji.

skutki inwestycji i w związku z tym kryteria ocenia się w skali z ujemnymi wartościami.

W praktyce stosowane są także wskaźniki dla określonych rodzajów nośników energii - opracowywane są tzw. wskaźniki produktowe wynikające z emisji poszczególnych zanieczyszczeń przypadającej na jednostkę produkcji energii. Wskaźniki te mogą być wykorzystywane do wyliczania osiągniętej, w wyniku przeprowadzonej termomodernizacji budynku, redukcji emisji zanieczyszczeń. Służą do oceny emisyjności instalacji w porównaniu do średniego wskaźnika krajowego⁹². Wskaźniki emisji oraz formuły matematyczne do obliczania emisji zależą między innymi od nośnika energii i instalacji⁹³.

M. Mrówczyńska, M. Skiba, A. Bazan-Krzywoszańska, M. Sztubecka przy tworzeniu scenariuszy oceny budynków wielorodzinnych (pod kątem ich energooszczędności) zastosowały metodę modelowania opartą na radialnych sztucznych sieciach neuronowych⁹⁴. Metoda polega na odwzorowaniu zbioru wejściowego na zbiór wyjściowy poprzez dopasowywanie wielu indywidualnych funkcji aproksymujących do wartości zadanych.

Optymalizacja wielokryterialnego procesu decyzyjnego opartego na wiedzy eksperckiej wnioskowania rozmytego została użyta przez autorów M. Mrówczyńska, M. Skiba, A. Leśniak, A. Bazan-Krzywoszańska, F. Janowiec, M. Sztubecka, R. Grech, J.K. Kazak⁹⁵. W analizie Analytical Hierarchical Process -AHP użyto System Informacji Geograficznej i sieci Bayesa oraz rachunek macierzowy.

⁹² Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami KOBiZE
<https://www.kobize.pl/pl/fileCategory/id/28/wskazniki-emisyjnosci> (dostęp 20.03.2024).

⁹³ Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (WFOŚiGW) Poznań, Metoda wskaźnikowa stosowana jest także do obliczania wyniku podjętych działań termomodernizacyjnych lub remontowych przeprowadzanych dla budynków mieszkalnych, użyteczności publicznej, instalacji, systemów technicznych. W przypadku wystąpienia z wnioskiem o grant dofinansowania, inwestycji stosowana to obliczania emisji zredukowanej lub unikniętej.
<https://www.wfosgw.poznan.pl/wp-content/uploads/2018/01/Definicja-i-wz%C3%B3r-efektu-OA-2018.pdf>. (dostęp 14.05.2023)

⁹⁴ M. Mrówczyńska, M. Skiba, A. Bazan-Krzywoszańska, M. Sztubecka, *Household standards and socio-economic aspects as a factor determining energy consumption in the city*, Elsevier, 2020, s. 4-8.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261920301926> (dostęp 12.05.2024)

⁹⁵ M. Mrówczyńska, M. Skiba, A. Leśniak, A. Bazan-Krzywoszańska, F. Janowiec, M. Sztubecka, R. Grech, J.K. Kazak, *A new fuzzy model of multi-criteria decision support based on Bayesian networks for the urban areas decarbonization planning*, Energy Conversion and Management, Elsevier, 2022, s. 14-17. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890422008251> (dostęp 15.04.2024).

Sieć Bayesa (BN) jest probabilistycznym modelem graficznym, który reprezentuje wiedzę o dziedzinie niepewnej, w której każdy węzeł odpowiada zmiennej losowej, a każda krawędź reprezentuje prawdopodobieństwo warunkowe dla odpowiednich zmiennych losowych (BN nazywane są także sieciami przekonań lub sieciami Bayesa – oprogramowanie, środowisko pracy – Bayes Fussion LLC⁹⁶.) Metoda znalazła zastosowanie w poprawie efektywności energetycznej miast i ograniczenia emisji CO₂ przy wykorzystaniu energii odnawialnej w perspektywie realizacji pakietów Fit for 55. Jednym z kryteriów ocen krajobrazu (parków zdrojowych) jest hałas. Celem artykułu⁹⁷ jest wskazanie głównych kryteriów wpływających na postrzeganie krajobrazu parków zdrojowych. W metodach ściśle matematycznych entropia informacyjna jest zastrzeżona dla rachunku prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia. W artykule dokonano wyboru kryteriów określających ocenę krajobrazu, które wpływają na postrzeganie zieleni uzdrowskiej. Wynik tej analizy może pomóc w określeniu sposobu kształtowania i rozwoju parków zdrojowych. *Istotnym kryterium jest natężenie dźwięku- określane jako hałas (dla obszarów uzdrowskich max wartość wynosi 55dB⁹⁸.*

Metoda analizy kosztów i korzyści (CBA - Cost-benefit analysis) to metoda, w której wszystkie oddziaływania⁹⁹ są przeliczane na wartość pieniężną. Zasadnicza

⁹⁶https://www.bayesfusion.com/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw97SzBhDaARIsAFHXUWC40S6HZgjY-ZvqAWfLjNetHPP-WJy6EBRI6BgoNZS_6COWDSBrfk8aAtUDEALw_wcB. (dostęp 12.04.2024)

⁹⁷ M. Sztubecka, A. Maciejko, M. Skiba, *the Landscape of the Spa Parks Creation through Components Influencing Environmental Perception Using Multi-Criteria Analysis*, Sustainability, 2022.

⁹⁸ Prawo Ochrony Środowiska (POŚ) Dz. U. z 2001 r. Nr 62, poz. 627, ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. z późn. zm. (rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 r. W sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku Dz. U. z 2014 r., poz. 112). *Ocenę poziomów dźwięku w środowisku, np. pochodzących od istniejących obiektów (dróg, fabryk czy urządzeń chłodniczych na obiektach handlowych), wykonuje się przy pomocy terenowych pomiarów hałasu. W większości przypadków wymagania związane z potrzebą realizacji pomiarów hałasu wynikają bezpośrednio z zapisów decyzji środowiskowej danego przedsięwzięcia. Wtedy to inwestor ma obowiązek przeprowadzenia badań akustycznych po uruchomieniu instalacji w jej pełnym obciążeniu. Jeśli natomiast zakład (instalacja) pracuje na warunkach tzw. pozwolenia zintegrowanego, zarządzający obiektem ma obowiązek przeprowadzenia badań akustycznych co 2 lata.* <https://eko-pomiar.com.pl/normy-halasu-w-srodowisku/> (dostęp 15.04.2024)- dotyczy kryteriów oceny zadań po jego realizacji, podobnie w certyfikacji LEED, w której pomiar wykonuje się po pierwszym roku a w przypadku deklaracji opomiarowania ciągłego – pomiary w kolejnych latach.

⁹⁹ Ustawa z dnia 3 października 2008 r. *O udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko*, Dz. U. 2008 nr 199 poz. 122.

zaletą i cechą tej metody to większa obiektywność oceny w porównaniu do metod opartych na wagach mniej lub bardziej trafnie oszacowanych.

Główną różnicą, gdy porównywać tradycyjną prywatną analizę efektywności z cost-benefit analysis, stanowi to, iż ta ostatnia zajmuje się tzw. wpływem zewnętrznym czy efektami zewnętrznymi projektu inwestycyjnego. Efekt zewnętrzny rozumiany jest jako wpływ inwestycji na środowisko naturalne, znaczenie przedsięwzięcia dla regionu, gospodarki narodowej, efekty danego projektu odnoszące się do skali międzynarodowej. Idea systemu kosztów i korzyści nakazuje ujmowanie tych efektów, mimo iż, wdrażanie tej zasady w praktyce wiąże się z wieloma trudnościami i kontrowersjami. Jak więc twierdzi A. Janc zasadniczo analiza kosztów i korzyści jest systemem ocen efektywności, dzięki któremu jest możliwe podejmowanie decyzji odpowiadających globalnym preferencjom społeczno-gospodarczym¹⁰⁰. Informacje dotyczące metod analiz ekonomicznych zawarto w (obowiązkowej, bestsellerowej) lekturze autorstwa Tony'ego Thirlwalla i Penélope Pacheco-López¹⁰¹.

Na podstawie przeprowadzonych analiz autorka badań M. Książek¹⁰² konkluduje, że:

„1. trudność w ocenie inwestycji wynika głównie ze stopnia skomplikowania zadania decyzyjnego, złożoności wariantów i preferencji oceniającego.

2. ocena przedsięwzięcia inwestycyjnego jest podejmowana w celu wyboru najkorzystniejszego spośród różnych wariantów rozwiązań technicznych, użytkowych i ekonomicznych. W fazie planowania i przygotowania inwestycji często zdarza się,

¹⁰⁰ A. Janc, *Analiza Kosztów i Korzyści w Ocenie Przedsięwzięć Inwestycyjnych*, *Ruch Prawniczy, Ekonomiczny i Socjologiczny*, R o k X L V I — zeszyt 3, wyd. Uniwersytetu Poznańskiego, Poznań 1984, s. 143-155.

¹⁰¹ A. T. Thirlwall, P., Pacheco-López, *Economics of development: theory and evidence*, Bloomsbury Publishing, Oxford 2017. Książka zawiera wprowadzenie do dziedziny rozwoju ekonomii. Zapewnia szeroką analizę tematu zapisaną w klarowny sposób. Metodologia ekonomii wszechstronna opisana, z powodzeniem reprezentuje różne szkoły myślenia. Jest to idealny podręcznik dla analiz dotyczących kapitału ludzkiego: edukacji, żywienia, zdrowia i roli kobiet w rozwoju, celów zrównoważonego rozwoju, pomiaru ubóstwa i wielowymiarowego wskaźnika ubóstwa. Omówiono w niej randomizowane badania kontrolne, rolę zmian strukturalnych w rozwoju gospodarczym, nowe możliwości pożyczkowe Międzynarodowych Funduszy Walutowych. Zasoby internetowe towarzyszące temu tytułowi można znaleźć na stronie Bloomsbury online resources. com/ekonomia-rozwoju. Zasoby te mają na celu wspieranie nauczania i uczenia się podczas korzystania z tego podręcznika i są dostępne bezpłatnie. <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=resources.+com%2Fekonomia-rozwoju> (dostęp 8.05.2024)

¹⁰² M. Książek, *Multi Assessment of Selected Solutions for the Building Structural Walls*, *Procedia Engineering* vol. 91, Elsevier 2014, s. 407-411. [tłum. własne].

iż parametry charakteryzujące poszczególne warianty mają charakter przybliżony, trudno mierzalny i subiektywny. Również oceny spełnienia niektórych kryteriów mają charakter przybliżony, trudno mierzalny i subiektywny, co wyraża się w między innymi takich stwierdzeniach, jak: „dobry”, „znacznie lepszy”, itp.

*Autor L. W. Kamionka stwierdza, że: *Metoda oceny punktowej nie jest doskonała, zastrzeżenia może budzić uznaniowość w przydzielaniu punktów, ale należy zauważyć, że procedury certyfikacyjne o znaczeniu międzynarodowym, jak LEED czy BREEAM, również posługują się w ocenie metodą punktową jako spełniając praktyczne założenia. Zaprezentowane metody oceny, również metody autorskie, powinny podlegać sukcesywnym procesom weryfikacyjnym*”¹⁰³.*

Wszystkie analizowane metody sprzyjają poprawie parametrów środowiska równoważonego i jego jakości. Do najbardziej dynamicznie rozwijających się metod, które osiągnęły znaczenie światowe należą metody certyfikacji dla budynków o funkcji obiektu użyteczności publicznej, hotelowej itp. (Zamieszczono w tabeli nr 6 i nr 7. oraz w Aneksie nr 1 dla pozostałych certyfikatów utworzonych dla tzw. rozwoju zrównoważonego.)

¹⁰³ L. W. Kamionka., *Multi-Criteria Assessment Methods and Their Impact on the Ecological Quality of the Built Environment*, op. cit. s. 298.

3.2.2. Procedury tzw. rozwoju zrównoważonego

Tabela 6. Część pierwsza. Certyfikaty według tzw. rozwoju zrównoważonego, uszeregowane wg daty wprowadzenia, dla budynków o funkcji: usługowe, hotele, turystyczne, biurowe, handlowe, szkolne, winiarnie, magazynowe, medyczne, przemysłowe, biura, oraz nowe, użytkowane i poddane renowacji [Opracowanie własne] na podstawie¹⁰⁴

Lp.	Certyfikat	Nazwa	Data wprowadzenia	Kraj wprowadzenia, w jakim kraju obowiązuje	Typy budynków, etapy cyklu życia	Obszary oceny, kryteria, ilość punktów, ocenie	% udział w
	2	3	4	5	6	7	
1	Energy Star EPA	Environmental Protection Agency, Agencja Ochrony Środowiska	1992	tylko USA	usługowe, użytkowane	zużycie energii	
2	Green Key Foundation for Environmental Education	Fundacja Green Key na rzecz Edukacji Ekologicznej	1998	Dania	hotele, restauracje i inne budynki turystyczne, użytkowane	zaangażowanie pracowników, zarządzanie środowiskowe, informacje dla gości, woda, energia, czystość, jedzenie, odpady, administracja, środowisko wewnętrzne, tereny zielone, zielona aktywność, odpowiedzialność społeczna	
3	LEED	Leadership in Energy and Environmental Design	1998	USA	biurowe, handlowe, przemysłowe, hotelowe, szkolne, nowe, użytkowane, renowacje;	atmosfera 35pkt, zrównoważona lokalizacja 26pkt, jakość środowiska wewnętrznego 15pkt, energia i materiały i zasoby 14pkt, efektywne wykorzystanie zasobów wodnych 10pkt, innowacyjność projektu 6pkt, priorytety regionalne 4pkt	
4	CasaClima		2002	Włochy	usługowe, hotele, szkoły, winiarnie; nowe, renowacje	efektywność energetyczna, wpływ użytych materiałów na środowisko, woda, wysoka jakość powietrza i stosowanie materiałów niskiemisyjnych, ochrona przed radonem, wykorzystanie światła naturalnego, akustyka	
5	SBC	Smart Building Collective, Ramy Intelligentnych Budynków	2006	Holandia	biurowe, handlowe, magazynowe, medyczne, szkolne, nowe, użytkowane, pozostałe	użytkowane budynku, wydajność, środowisko, zdrowie, bezpieczeństwo i ochrona, zachowanie użytkowników i współpraca, integracja i łączność	

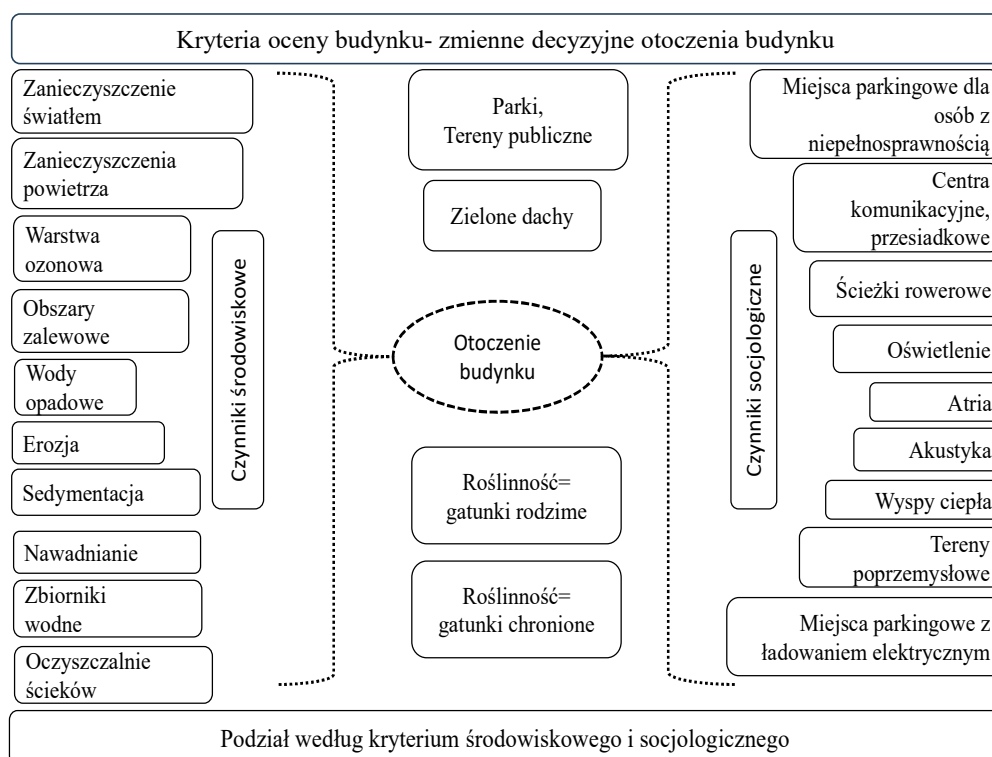
¹⁰⁴ <https://www.energystar.gov>, <https://www.greenkey.global/join-fee>, <https://www.usgbc.org/leed>, <https://www.agenziacasaclima.it/en/welcome-1.html>, <https://smartbuildingcollective.com/sbc-framework>, <https://www.agenziacasaclima.it/en/welcome-1.html>, <https://www.iiba.org/business-analysis-certifications/ecba/>, <https://www.gresb.com/nl-en/>, <https://lebanon-gbc.org> (dostęp 23.04.2024)

Tabela 7. Część druga (tabeli 6). Certyfikaty według tzw. rozwoju zrównoważonego, uszeregowane wg daty wprowadzenia, dla budynków o funkcji: usługowe, hotele, turystyczne, biurowe, handlowe, szkolne, winiarnie, magazynowe, medyczne, przemysłowe, biura, oraz nowe, użytkowane i poddane renowacji [Opracowanie własne] na podstawie¹⁰⁵

6	Boma 360	Building Owners and Managers Association, Stowarzyszenie Właścicieli i Zarządców Budynków	2009	USA/Kanada; (międzynarodowy)	biurowe, przemysłowe; użytkowane	ochrona środowiska (zrównoważony rozwój) 26pkt, bezpieczeństwo (zarządzanie ryzykiem) 24pkt, szkolenia i edukacja 21pkt, energia 21pkt, eksploatacja i zarządzanie budynkami 16pkt, relacje z najemcami/zaangażowanie społeczne 11pkt
7	ESBA	Entry Certificate in Business Analysis, Certyfikat Otwartej Analizy Biznesowej	2011	EU	biura biznesu, zarządzania	nieodnawialna energia pierwotna, użycie odnawialnej energii pierwotnej, emisja CO ₂ , jakość powietrza, komfort termiczny, LCC (LIFE CYCLE COSTING-KOSZTY CYKLU ŻYCIA), recykling materiałów, zużycie wody, odpady, zaangażowanie użytkowników budynku, monitoring, optymalizacja pracy
8	GRESB, Global Real Estate Sustainability Benchmark	Globalny Wskaźnik Zrównoważonego Rozwoju Rynku Nieruchomości	2012	Kanada; międzynarodowy (64 kraje)	nieruchomości, infrastruktura; użytkowane	ZARZĄDZANIE 40%: przywództwo, polityka, raportowanie, zarządzanie ryzykiem, zaangażowanie interesariusz), WYDAJNOŚĆ 60%: wdrożenie, wyniki, zdrowie i bezpieczeństwo, energia, emisja gazów cieplarnianych, zanieczyszczenie powietrza, woda, odpady, różnorodność biologiczna, pracownicy, klienci, certyfikaty, system nagród
9	ARZ Building Rating System, Lebanon GBC, (Lebanon Green Building Council)	Stowarzyszenie Zielonego Budownictwa Libanu	2012	tylko Liban	usługowe; w przyszłości także szkoły	ciepło 38pkt, przegrody budynku 36pkt, energia elektryczna 33pkt, zarządzanie 11pkt, jakość powietrza 9pkt, woda 9pkt, materiały 8pkt, efektywność energetyczna 6pkt, obszary dodatkowe 16pkt

¹⁰⁵ . <https://www.agenziacasaclima.it/en/welcome-1.html>, <https://www.iiba.org/business-analysis-certifications/ecba/>, <https://www.gresb.com/nl-en/>, <https://lebanon-gbc.org/>. (dostęp 23.04.2024).

Ocena energetyczna obiektów budowlanych integralnie związanych ze środowiskiem w wielu krajach jest standardem obligatoryjnym (il.10). W Polsce jest procedurą dobrowolną, świadczącą o prestiżu budynku, a nie procedurą wymaganą na drodze formalno-prawnej. W naszym kraju jest obligatoryjna „Certyfikacja energetyczna budynków” dotycząca wyłącznie bilansu energetycznego budynków. Audyt energetyczny jest procedurą dobrowolną, stosowaną gdy ocenie ma podlegać inwestycja np. termomodernizacji budynku mieszkalnego.



il. 9. Kryteria oceny budynku – zmienne decyzyjne otoczenia budynku. Podział wg kryterium środowiskowego i socjologicznego [Opracowanie własne]

Badania in-situ budynku mieszkalnego poddanego termomodernizacji wykonali A. Ujma i A. Lis. Wyniki badań zaprezentowali w artykule pt.: *Ocena efektów termomodernizacji wybranych obiektów użyteczności publicznej*¹⁰⁶. Na podstawie wyników pomiarów oceniono efekty termomodernizacji budynku oświatowo-mieszkalnego. Analizę wykonano w oparciu o monitoring zużycia i kosztów opału, energii, wody. Celem badania była weryfikacja in-situ założonych

¹⁰⁶ A. Ujma, A. Lis, *Ocena efektów termomodernizacji wybranych obiektów użyteczności publicznej*, Politechnika Warszawska Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii w Płocku, Płock 2014, s. 43-54.

w audycie termomodernizacyjnym efektów energetycznych i ekonomicznych. Oceniono również poprawę takich parametrów jak: warunki użytkowania budynków, mikroklimat wewnątrz i komfort cieplny w pomieszczeniach, ograniczenie emisji substancji antropogenicznego pochodzenia. Zwrócono uwagę na parametr trudno- mierzalny: propagowanie i rozpowszechnienie zasad kompleksowej termomodernizacji.

Na uwagę zasługuje Green FM. Jest to usługa wspomagająca proces zarządzania energią w budynku poprzez analizę funkcjonowania obiektu, parametrów wewnętrznych oraz rzeczywistego zużycia energii. Ocena zużycia energii w Green FM może przebiegać dla jednego z dwóch wariantów: podstawowego i rozszerzonego.

Wariant Podstawowy:

Dane pochodzące z systemów BMS (Building Management System – System Zarządzania Budynkiem) stanowią bazę do analizy pod kątem poprawności funkcjonowania systemów sterowania ze szczególnym uwzględnieniem efektywności energetycznej. Comiesięczny raport zawiera informacje o danych pogodowych, sposobie użytkowania budynku, oraz wyniki zużycia energii elektrycznej, energii do celów ogrzewania i chłodzenia oraz pozostałych mediów.

Wariant Rozszerzony:

Zawiera dodatkowo dane świadczące o podwyższonym zużyciu energii, zauważone nieprawidłowości w działaniu systemów i jednocześnie propozycje ich usunięcia.

Usługę tę zarządzania energią można stosować na całym świecie i może być używana do implementowana do każdego z weryfikacji zużycia energii po pierwszym roku eksploatacji.

LEED



Stworzony przez USGBC (U.S. Green Building Council). System certyfikacji LEED przeprowadzany przez Green Building Certification Institute (GBCI) stosowany jest na skalę światową, często również w Polsce.

System certyfikacji LEED oparty jest na siedmiu głównych kategoriach oceny nazwanych kryterialnymi punktami. W każdym kryterium są podkryteria, szczegółowo opisujące standardy oraz wymagania krytyczne (warunkujące czy dany budynek może w ogóle zostać zakwalifikowany do procedury certyfikacyjnej).

Wymagania krytyczne to:

- zrównoważona lokalizacja,
- efektywne wykorzystanie zasobów wodnych,
- energia i atmosfera,
- materiały i zasoby,
- jakość środowiska wewnętrznego.

Ważność tych wymagań krytycznych jest taka sama. Ocenia się je w systemie zero-jedynkowym (TAK-spełnia, bądź NIE-nie spełnia). Niespełnienie choćby tylko jednego z wymagań krytycznych uniemożliwia przystąpienie do oceniania. Natomiast w przypadku, gdy wszystkie wymagania krytyczne są spełnione na TAK możliwe jest przystąpienie do oceniania. Aby uzyskać wysoką ocenę dla budynku, należy spełnić większość wymagań głównych grup kryterialnych.

LEED jest to zmieniający się system oceniania dostosowany do wszystkich rodzajów budynków komercyjnych oraz mieszkalnych. W projektowaniu obowiązują standardy i normy ASHRAE. „ASHRE Fundamentals” obejmuje podstawowe zasady i dane wykorzystywane w branży HVAC&R, zawiera rozdziały, w których zamieszczone są informacje inżynierskie, parametry podstawowych materiałów budowlanych, dane klimatyczne, obliczenia obciążenia i energii. Zamieszczono również formuły i informacje do projektowania kanałów i rur, zawarto informacje o zrównoważonym rozwój, a także tabele referencyjne ze skrótami i symbolami, konwersje jednostek fizycznych, właściwości fizyczne materiałów¹⁰⁷. Jedynym wyjątkiem jest możliwość zawarcia w sprawozdaniu certyfikatu drewna, pochodzącego z polskich lasów państwowych.

¹⁰⁷ Ashrae Handbook Fundamentals: Inch-Pound Edition (*ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS INCH-POUND SYSTEM*), wyd. Robert Pearsons, 2001.



Niemiecki Certyfikat Budownictwa Zrównoważonego, opracowany przez Niemieckie Stowarzyszenie Budownictwa Zrównoważonego (DGNB) wraz z Federalnym Ministerstwem Transportu, Budownictwa i Rozwoju Miasta (BMVBS) jest przez DGNB stosowany na skalę europejską, również w Polsce.

Jest procedurą do planowania i oceny budynków. W tej procedurze przeprowadza się oceny sześciu kryteriów takich jak:

- ekologia,
- ekonomia,
- czynnik społeczno-kulturowy,
- technologia,
- procesy,
- lokalizacja.

Certyfikacja ta może być stosowana dla każdego rodzaju budynku.

W certyfikacji DGNB wymagania krytyczne są tylko dwa, za to niespełnienie choćby jednego z nich wyklucza dalszą certyfikację budynku. Wymaganiami tymi są:

- ilość lotnych związków organicznych w powietrzu,
- udogodnienia dla osób z niepełnosprawnościami.

System wyróżnia się spośród obecnie stosowanych certyfikacji szczególnie tym, że jako w jedynym bardzo dużą rangę przyłożono do udogodnień dla osób z niepełnosprawnościami.



Certyfikat BREEAM przyznawany jest przez Building Research Establishment Global (BRE) tylko i wyłącznie na podstawie materiałów i raportu przygotowanych przez licencjonowanego audytora (wymaganie formalne), który w trakcie procesu certyfikacji współpracuje z zarządcą oraz obsługą techniczną budynku. Zarówno budynek jak i zarządca budynku mogą otrzymać certyfikat BREEAM na jednym z sześciu poziomów, w zależności od liczby uzyskanych

punktów. Przy czym im poziom chce się osiągnąć wyższy poziom oceny, to trzeba spełnić więcej wymagań kryterialnych. Im wyższy poziom tym wyższe wymagania dla tych samych punktów kryterialnych.

GBS (Green Building Standard)



GBS (Green Building Standard) to polski system certyfikacji z oficjalnym poparciem Ministerstwa Środowiska. Certyfikat ten jest oceniany i przyznawany przez Ogólnokrajowe Stowarzyszenie Wspierania Budownictwa Zrównoważonego (OSWBZ.org). Stosowanie tej procedury jest dobrowolne.

Założeniem systemu jest podkreślenie znaczenia zdrowia, komfortu użytkowników jako dominującego celu kreowania środowiska wewnątrz budynków przy jednocześnie zmniejszonym zużyciu energii w stosunku do minimalnych wymagań zawartych w Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju¹⁰⁸ z dnia 15 kwietnia 2022 roku. Te minimalne wymagania to spełnienie warunku dotyczącego wartości zużycia energii pierwotnej. Procesowi certyfikacji mogą zostać poddane budynki nowoprojektowane oraz budynki po gruntownej renowacji.

Cykl życia produktu - LCA (Life-cycle assessment)

LCA - jest to sposób zarządzania ryzykiem. Ma na celu ocenę potencjalnego ryzyka, czyli zagrożenia np. dla środowiska i oszacowanie konsekwencji jakie niesie ze sobą wytworzenie, użytkowanie i utylizacja. Proponowany schemat modyfikujący podstawowe założenia LCA¹⁰⁹ zawiera rysunek numer 2. Emisja zanieczyszczeń występuje zarówno na etapie wydobycia surowca, jak i wytwarzania produktu, a następnie w czasie jego transportu, użytkowania i odzysku materiałów.

W to podejście wpisują się także procedury zrównoważonego rozwoju np. dla budynków mieszkalnych, szkół, urzędów. Zawarte są w procedurach LEED.

¹⁰⁸ Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 15 kwietnia 2022 roku, *W sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*, Dz.U. 2022 poz. 1225.

¹⁰⁹ ISO 14040:2006 *Environmental management – Life Cycle Assessment – Principles and framework*.

WELL¹¹⁰- WELL Building Standard jest to standard wielokryterialnej certyfikacji budynków, opracowany w latach 2007-2014 przez amerykańską firmę Delos. Operatorem systemu jest IWBI - International WELL Building Institute. W dosłownym tłumaczeniu (WELL -Dobry Standard Budynku oraz Instytut Budownictwa WELL (nie tłumaczy się tych nazw, stosuje się nazwę w języku angielskim). Weryfikacją certyfikowanych obiektów zajmuje się GBCI - Green Business Certification Inc. w Certyfikat Zielonego Biznesu Inc. (nazwy nie tłumaczy się). Priorytetem certyfikacji jest zachowanie dla rezydenta balansu między jego komfortem, ergonomią pracy, zdrowiem i produktywnością. System WELL wynika z faktu iż wiarygodną oceną przestrzeni, w której przebywa, jest samopoczucie człowieka na System WELL można określić jako poradnik, budowania i organizowania przestrzeni, w której ludzie będąc w komfortowej dla siebie przestrzeni, będą bardziej produktywnie pracować¹¹¹. Wytyczne certyfikacji są połączeniem dobrych praktyk projektowych, czynników behawioralnych oraz zdrowotnych z badaniami naukowymi i statystykami. Wynika to z faktu, że najbardziej wiarygodną oceną danej przestrzeni zawsze będzie człowiek oraz jego samopoczucie na koniec dnia, który w niej spędził. Kryteria koncentrują się głównie na poczuciu komfortu abstrahując od kosztu jakim to ma być osiągnięte.

Coraz częściej certyfikat WELL staje się dopełnieniem innych, wiodących systemów certyfikacji na rynku, takich jak BREEAM, LEED. Wiele wytycznych i warunków powtarza się, dlatego często w prosty sposób można uzyskać certyfikat WELL w budynkach zrealizowanych zgodnie z wymaganiami wspomnianych wcześniej schematów. Dodatkowo systemy LEED czy BREEAM wykorzystują podobne rodzaje dowodów i dokumentów, a to zdecydowanie ułatwia procedury związane z uzyskaniem certyfikatu WELL. Standard WELL opracowano w taki sposób, aby można było go łączyć z innymi systemami, w szczególności z LEED, ale również z BREEAM. System ten ocenia parametry promujące dobre samopoczucie rezydentów takie jak: powietrze, woda, pożywienie, światło, sprawność systemów instalacji, komfort i umysł. W WELL v2 od 2018 roku ocenia się cztery dodatkowe kategorie: dźwięk, materiały, społeczność i innowacje. WELL jest systemem 108 kryteriów analizowanych w kontekście ich wpływu na zdrowie człowieka. Oceniany obiekt musi

¹¹⁰ <https://budownictwo.dekra.pl/zrownowazone-budownictwo/certyfikacja-well.html> (dostęp 17.04.2024)

¹¹¹ <https://www.inwestycje.plus/charakterystyka-systemu-well-certyfikat-well/> (dostęp 17.05.2024)

spełnić wszystkie warunki konieczne zawarte w poszczególnych kategoriach. Duża waga przypisana jest do komfortu akustycznego. Spełnienie warunków dodatkowych skutkuje wyższą oceną. Certyfikat, stworzony przez Międzynarodowy Instytut Budownictwa WELL, stosowany jest w 98 krajach. Stosowany jest przede wszystkim do oceny miejsc pracy i obiektów komercyjnych. Można go zastosować do oceny osiedli mieszkaniowych oraz placówek oświatowych, nowych oraz istniejących budynków, wydzielonych powierzchni biurowych. Po upływie trzech lat przestaje obowiązywać. Ponowna certyfikacja nie jest obowiązkowa.

Omówienie poszczególnych kryteriów:

- * **Powietrze** - minimalizowanie źródeł zanieczyszczeń oraz promowanie rozwiązań poprawiających jakość powietrza,
- * **Woda** - odnosi się do wody pitnej i jej jakości. Wskazuje się, że odpowiednie nawodnienie zwiększa produktywność rezydentów,
- * **odżywianie** –promocja zdrowej diety bogata w warzywa i owoce,
- * **światło** - optymalny dostęp do światła dziennego (znaczący wpływ na wydajność rezydentów,
- * **ruch** - włączanie aktywności fizycznej do codziennego życia co wiąże się z dostępem do miejsc pozwalających na odpowiednią ilość ruchu tj. schody, korytarze, programy motywacyjne i profesjonalne treningi fitness. W tej kategorii np. **biurka elektryczne z regulowaną wysokością** dające możliwość wykonywania pracy w pozycji siedzącej i stojącej, meble¹¹² są certyfikowane i dedykowane do budynków starających się o certyfikację WELL,
- * **komfort termiczny** - zapewnienie pracownikom odpowiedniej temperatury do pracy (co pozwala zwiększyć ich produktywność),
- * **umysł** - strategie i rozwiązania dbające o zdrowie psychiczne pracowników, przede wszystkim plany oraz terapie wspierające równowagę umysłową,
- * **dźwięk** - zastosowanie odpowiednich materiałów oraz akcesoriów np. **ścianki akustyczne**. Obniżenie poziomu dźwięku w biurze zwiększa produktywność pracowników,
- * **materiały** - wpływ chemikaliów na zdrowie pracowników,

¹¹² <https://maro.eu/wiedza/trendy-i-aktualnosci/certyfikat-well-na-czym-polega> (dostęp 18.05.2024).

- * **społeczność** w miejscu pracy - równy i łatwy dostęp do opieki zdrowotnej, zagwarantowanie pomocy w różnych sytuacjach życiowych pracowników,
- * **innowacje – przyznanie** budynkom i firmom punktów za unikalne rozwiązania dotychczas nie badane w pozostałych kategoriach.

Rodzaje certyfikacji obowiązujące w systemie:

- *Core and Shell - obiekty w stanie deweloperskim.
- *New and Existing Buildings - Budynki Nowe i Istniejące,
- *New and Existing Interiors - Nowe i Istniejące Wnętrza.

Certyfikat WELL można uzyskać na jednym z czterech poziomów

- Certified (Certyfikowany) 40 pkt,
- Silver (Srebrny) 50 pkt,
- Gold (Złoty) 60 pkt,
- Platinum (Platynowy) 80 pkt.).

3.2.3. Certyfikaty i audyty energetyczne budynków

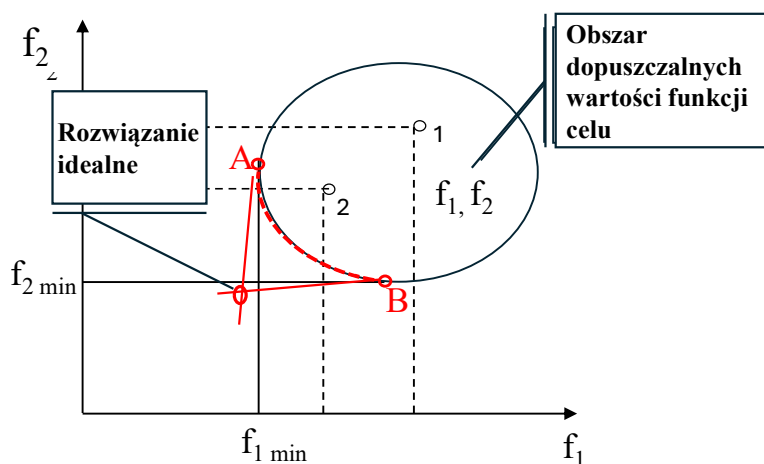
Świadectwo charakterystyki energetycznej budynku to certyfikat obligatoryjny w Polsce a dotyczący właścicieli, najemców, zarządców i osób posiadających spółdzielcze, własnościowe lub lokatorskie prawo do lokalu.

Obowiązek sporządzenia świadectwa energetycznego dla budynku lub jego części jest obowiązkowy tylko w przypadku jego sprzedaży, zbycia lub najmu. Obowiązek ten nie dotyczy osób budujących nowy dom na własny użytek. Świadectwa nie są wymagane także dla budynków przeznaczonych do mieszkania nie dłużej niż 4 miesiące w roku oraz domów wolno stojących o powierzchni użytkowej poniżej 50 m². Wystawione świadectwa pozostają ważne przez dekadę. Sporządzenie nowego certyfikatu jest konieczne, jeżeli przeprowadzone zostaną roboty budowlano-instalacyjne mające wpływ na zmianę charakterystyki energetycznej budynku. Projektowana charakterystyka energetyczna informująca o potencjalnym zużyciu energii jest wymagana do uzyskania pozwolenia na budowę lub rozbudowę.

3.2.4. Metody matematyczne

Zagadnienia optymalizacji wielokryterialnej¹¹³ rozwiązuje się w dwóch etapach. W pierwszym poszukuje się zbioru kompromisów, a w drugim ze zbioru kompromisów wybiera się rozwiązanie preferowane. W zadaniu optymalizacji zbiór zmiennych decyzyjnych jest ciągły.

Zasada Pareto: zwiększenie wartości funkcji f_1 powoduje zmniejszenie wartości funkcji f_2 . Jeżeli zadanie polega na minimalizacji funkcji f_1 i funkcji f_2 to rozwiązanie, któremu odpowiada punkt 2 jest lepsze od rozwiązania, któremu odpowiada punkt 1 (z punktu widzenia obu kryteriów). Wszystkie punkty, które leżą wewnątrz obszaru celów są gorsze od punktów leżących na brzegu tego obszaru. W taki sposób powstaje zbiór rozwiązań, na ilustracji nr 11, oznaczony łukiem A-B, które są lepsze od pozostałych, ale same nie mogą być poprawione w sensie obu kryteriów. To właśnie jest zbiór kompromisów. Wartości punktów na łuku A-B są ocenami niezdominowanymi. Poruszając się wzdłuż linii kompromisowej A-B widać, że powiększeniu wartości funkcji f_1 towarzyszy zmniejszenie wartości funkcji f_2 .



il. 10. Obszar celów, zbiór kompromisów. [Opracowanie własne] na podstawie S. Chyrczakowski, S. Jendo, H. Jędrzejuk, W. Marks, S. Owczarek, W. Paczkowski, praca wykonana z projektu badawczego nr 7TO7E 01410, KBN 1996-1998.

¹¹³ S. Chyrczakowski, S. Jendo, H. Jędrzejuk, W. Marks, S. Owczarek, W. Paczkowski, *Optymalizacja wielokryterialna budynków energooszczędnych*, praca wykonana z projektu badawczego nr 7TO7E 01410, KBN 1996-1998, s. 14-17.

Wyznaczanie współczynnika wnikania ciepła dla ściany płaskiej przyjmuje się zgodnie z modelem fizycznym Nusselta¹¹⁴ zawartym we wzorze 4.

$$Nu = d \cdot \alpha / \lambda \quad (4)$$

gdzie:

Nu - liczba Nusselta [-],

d – wysokość [m]

α – współczynnik wnikania [$W/m^2 \cdot K$]

λ – współczynnik przewodzenia ciepła [$W/m \cdot K$]

Poniżej opisano zagadnienia i ich podstawy teoretyczne dla zagadnień optymalizacji nieliniowej.

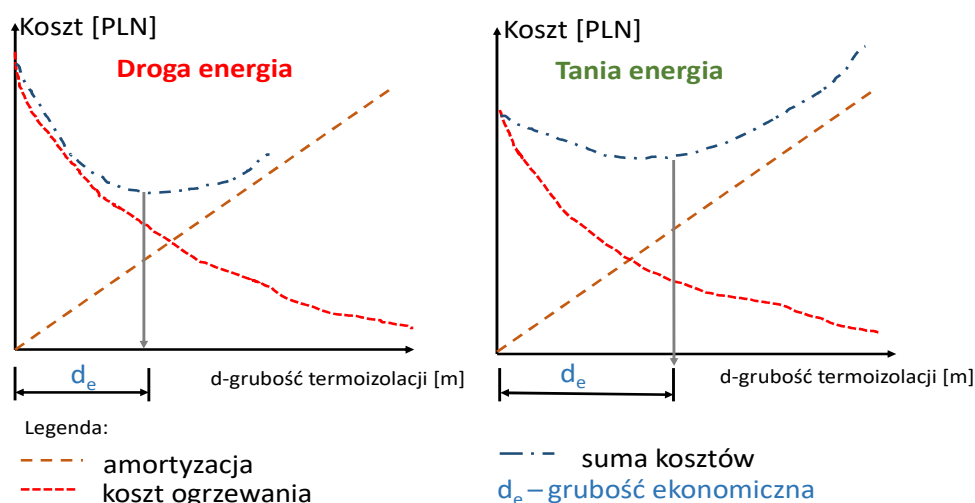
Grubość termoizolacji, ze względu na transport masy ciepła, określać można kierując się różnymi kryteriami. Prof. Tadeusz Hobler zaproponował aby przyjmować taką grubość, która jest ekonomicznie uzasadniona: za ekonomicznie uzasadnioną grubość termoizolacji cieplnej przegrody uważa się taką „przy zastosowaniu której suma kosztów amortyzacji i oprocentowania od włożonego kapitału oraz kosztów straty cieplnej daje minimum”¹¹⁵.

Optimum grubości termoizolacji, co T. Hobler podkreśla w swojej książce pt. *Ruch ciepła i wymienniki* zależy od cen energii, tak więc grubość jej jest różna¹¹⁶. Zależność tę przedstawiono na ilustracji 12.

¹¹⁴ T. Hobler, *Ruch ciepła i wymienniki*, wyd.3, WNT, Warszawa 1968, s. 94-95.

¹¹⁵ T. Hobler, *Ruch ciepła i wymienniki*, op.cit., s. 98-99.

¹¹⁶ T. Hobler, *Ruch ciepła i wymienniki*, op.cit., s. 99.



il. 11. Ekonomiczna grubość termoizolacji. [Opracowanie własne]

Za ekonomicznie uzasadnioną grubość termoizolacji uważa się też wyliczoną zgodnie ze wskaźnikiem ekonomicznym SPBT (Simple Pay Back Time - Prosty Czas Zwrotu), oraz NPV (Net Present Value – Wartość bieżąca Netto). Te wskaźniki ekonomiczne są opisane wzorami nr 5 i 6 (na podstawie¹¹⁷)

$$SPBT = \frac{I_0}{\Delta K_e} \quad (5)$$

gdzie:

I_0 - nakłady inwestycyjne ,zł

ΔK_e - oszczędność kosztów energii, zł

Wskaźnik SPBT cechuje duża poglądowość i prostota. Podstawową wadą jest to, że nie uwzględnia całego okresu funkcjonowania przedsięwzięcia, lecz skupia uwagę inwestora na jego fazie początkowej. Służy zazwyczaj do wstępnej oceny efektywności przedsięwzięcia dając poglądową ocenę czasu zamrożenia aktywów finansowych inwestora.

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0 \quad (6)$$

gdzie:

CF_t - cash flow – przepływy gotówki, zł,

t - kolejne lata,

r - stopa dyskonta

I_0 - nakłady początkowe, zł.

NPV to metoda oceny efektywności ekonomicznej inwestycji rzeczowej. Podstawową zaletą NPV jest to, że uwzględnia cały okres życia przedsięwzięcia i pokazuje realną wartość pieniądza w czasie. Wadą jest trudność w doborze okresu obserwacji. Jedną z przesłanek wyboru długości tego okresu może być okres przez jaki projekt generuje korzyści tj. do jego "śmierci ekonomicznej" czy bardziej jednoznacznie - okres pełnego zamortyzowania zakupionych maszyn i urządzeń np. 5, 10, 15, 20 lat. Stopa dyskonta to stopa (wielkość) zrzeczenia się przyszłych środków finansowych na rzecz aktualnie dostępnych środków.

Powyższą opinię podziela R. Stachniewicz w artykule *Metody oceny efektywnej grubości docieplania ścian zewnętrznych*, w którym to artykule w celu określenia efektywnej grubości termoizolacji przy użyciu SPBT oraz NPV analizował wpływ cen 5 nośników energii na koszty ogrzewania budynku jednorodzinne. Wskazał iż różnice w grubości termoizolacji wyliczone według tych wskaźników wynikają między innymi z tego że, SPBT wylicza się dla jednego roku a NPV obejmuje określony okres funkcjonowania inwestycji¹¹⁷.

Autorzy W. F. Diemianow, W. N. Małoziemow w książce pt. *Wstęp do metod minimaksymalizacji* omówili między innymi metody optymalizacji z ograniczeniami¹¹⁸, podali także jest także model matematyczny uogólnionego problemu programowania nieliniowego¹¹⁹, opisane zostały mnożniki Lagrange'a i twierdzenie Kuhna-Tuckera¹²⁰.

Jednak jak podają autorzy M. A. Brandt, W. Dzieńszewski, J. Gierliński, J. Holnicki-Szuls, S. Jedno, W. Marks, A. Niemierko, S. Owczarek, A. Stachowicz „*Ogólne zagadnienie programowania nieliniowego nie zostało do tej pory rozwiązane. Istnieje wiele metod, które pozwalają wyznaczyć poszukiwane ekstremum z pewną dokładnością. Znalezienie absolutnego minimum jest jednak w ogólnym przypadku trudne i bardzo pracochłonne. Znane są natomiast efektywne metody poszukiwania minimum funkcji z ograniczeniami, w przypadku gdy funkcja celu $F(x)$ i wszystkie ograniczenia $f_j(x)$ są funkcjami wypukłymi. Zagadnienie to nazywamy*

¹¹⁷ R. Stachniewicz, *Metody oceny efektywnej grubości docieplania ścian zewnętrznych*, wyd. Politechniki Białostockiej, Białystok 2012, s. 103-108.

¹¹⁸ W. F. Diemianow, W. N. Małoziemow, *Wstęp do metod minimaksymalizacji*, WNT, Warszawa 1975, s. 141-161.

¹¹⁹ W. F. Diemianow, W. N. Małoziemow, *Wstęp do metod minimaksymalizacji*, ibidem, s. 169-190.

¹²⁰ W. F. Diemianow, W. N. Małoziemow, *Wstęp do metod minimaksymalizacji*, ibidem, s. 191-225.

programowaniem wypukłym”¹²¹. Tak więc wiedza z zakresu wyboru metod optymalizacji jest kluczowa do przyjęcia poprawnego sposobu rozwiązywania zadań nieliniowych z ograniczeniami nierównościami.

W książce dotyczącej projektowania konstrukcji pt. *Podstawy optymalizacji elementów konstrukcji budowlanych*¹²², podane są podstawy teoretyczne zagadnień optymalizacyjnych. Uogólnieniem klasycznej metody mnożników Lagrange’a w programowaniu nieliniowym jest twierdzenie Kuhna-Tuckera na przypadek, w którym ograniczenia mają postać równości i nierówności. Wzory i zależności zostały opisane w rozdziale 5. W modelu matematycznym minimum funkcjonału określone są warunki dostateczne minimum słabego oraz warunki dostateczne minimum silnego.

Porównanie algorytmów zbieżności poszukiwania minimum funkcji celu bez ograniczeń przeprowadza się metodami:

- stabilności opracowane przez Kalmana zaprezentowali L. Horwitz, P. E. Sarachik w książce pt. *Davidons method in Hilbert space*¹²³, oraz
- metody poszukiwania minimum w kierunku omówili autorzy W. Findensein, J. Szymanowski, A. Wierzbicki¹²⁴, (metody geometryczne, aproksymacyjne, mieszane),
- metoda złotego podziału - bezgradientowa (ilustracja 25),
- metoda aproksymacji kwadratowej – bezgradientowa,
- metody gradientowe poszukiwania minimum w kierunku,
- metody poszukiwań prostych (Hooka i Jeevesa, Rosenbrocka, Nelderera i Meada),
- metody podstawowe kierunków poprawy (Gaussa-Sidela-GA, największego spadku -NS, zmodyfikowana metoda Newtona -NZ),
- metody mieszane kierunków poprawy (bezgradientowa kierunków

¹²¹ M. A. Brandt, W. Dzieniszewski, J. Gierliński, J. Holnicki-Szuls, S. Jedno, W. Marks, A. Niemierko, S. Owczarek, A. Stachowicz, *Podstawy optymalizacji elementów konstrukcji budowlanych*, PWN, Warszawa 1978, s. 40-41.

¹²² M. A. Brandt, W. Dzieniszewski, S. Jedno, W. Marks, S. Owczarek, Z. Wasiutyński, *Kryteria i metody optymalizacji konstrukcji*, PWN, Warszawa 1977, s. 256-257.

¹²³ L. Horwitz, P. E. Sarachik, *Davidons method in Hilbert space*, SIAM J. Appl. Math., Vol.16, 1968, s. 676-696.

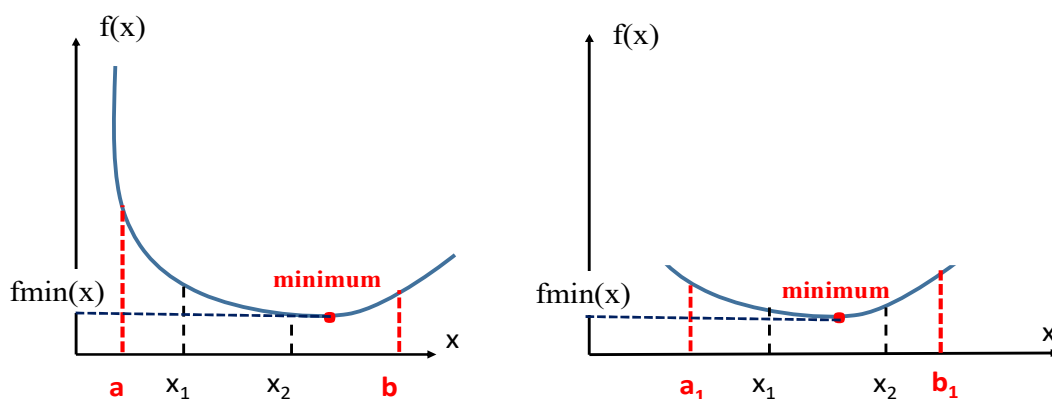
¹²⁴ W. Findensein, J. Szymanowski, A. Wierzbicki, *Metody obliczeniowe optymalizacji*, PWN, Warszawa 1974, s. 162-236.

sprężonych, Powella – P1, P2, gradientu sprzężonego, Fletchera i Reevesa, zmiennej metryki, Fletchera – Powella – Davidona F-P-D).

Autorzy W. Findeisen, J. Szymanowski, A. Wierzbicki książki pt. *Metody obliczeniowe optymalizacji*¹²⁵ po analizach i porównaniu metod stwierdzili: „Reasumując ... można stwierdzić, że najbardziej zalecanymi metodami optymalizacji są metody zmiennej metryki, a w szczególności w wersji Fletchera – Powella – Davidona”.

Poszukiwanie minimum funkcji.

W jaki sposób jest realizowana metoda złotego podziału bezgradientowa przedstawiono na ilustracji 13. Funkcja $f(x)$ jest funkcją unimodalną jeżeli w przedziale $a \leq x \leq b$ ma jeden punkt stacjonarny. Żeby znaleźć ten punkt stacjonarny (minimum funkcji) należy obliczyć wartość funkcji w dwóch punktach. Z przedziału $[a;b]$ należy wyznaczać podprzedziały w taki sposób, że w kolejnej iteracji podprzedział będzie zmniejszany o stałą wartość α . Zależność wyznaczenia minimum wzór nr 7, 8 i 9 na podstawie¹²⁵.



il. 12. Graficzne przedstawienie metody złotego podziału. [Opracowanie własne]

$$\frac{x_2^i - a^i}{b^i - a^i} = \frac{b^i - x_1^i}{b^i - a^i} = \alpha \rightarrow x_1^i - a^i = b^i - x_2^i \quad (7)$$

gdzie:

punkty a, b to punkty graniczne przedziału, punkty a_1, b_1 to punkty graniczne podprzedziału. Zauważa się w ten sposób podprzedział. Punkty x_i (zmiennie) to punkty ograniczające punkt stacjonarny. Tym punktem stacjonarnym może to być tzw. punkt

¹²⁵ W. Findeisen, J. Szymanowski, A. Wierzbicki, *Metody obliczeniowe optymalizacji*, op. cit., s. 237.

siodłowy, który jest w metodzie optymalizacyjnej minimum globalnym. Określa się też wymaganą dokładność bezwzględną obliczeń. Algorytm obliczeń może być następujący (wzory numer 8 i numer 9):

Jeśli $f(x_2^i) > f(x_1^i)$, to:

$$\left. \begin{aligned} b^{i+1} &= x_2^i \\ x_2^i &= x_1^i \\ x_1^{i+1} &= \alpha \cdot a^i + (1 - \alpha) \cdot b^{i+1} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

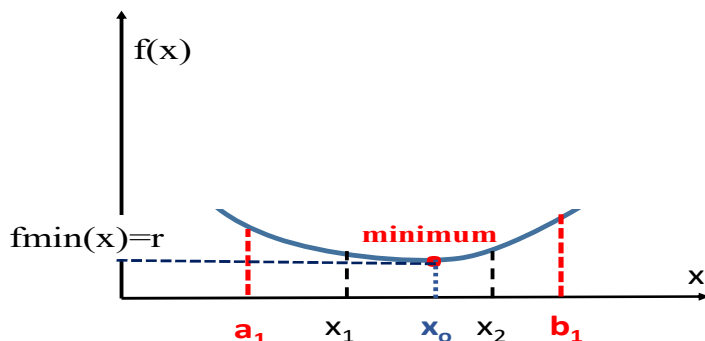
Jeśli $f(x_2^i) \leq f(x_1^i)$, to:

$$\left. \begin{aligned} a^{i+1} &= x_1^i \\ x_1^{i+1} &= x_2^i \\ x_2^{i+1} &= \alpha \cdot b^i + (1 - \alpha) \cdot a^{i+1} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Obrazowo opisując krok algorytmu to: zbliżamy się z lewej strony (wzór 8) i prawej strony (wzór 9) do punktu stałego (minimum). W każdym kolejnym kroku zmniejszając odległość między różnicą wartości zmiennej x^i a punktami granicznymi podprzedziału $[a_1, b_1]$. Punkt siodłowy to wartość zmiennej decyzyjnej, dla której funkcja osiąga minimum lokalne lub globalne.

Zbieżność funkcji.

W celu uzyskania wyniku obliczeń należy zdefiniować pojęcie zbieżności funkcji (granica funkcji). Określa to definicja Cauch`ego (na ilustracji 14 ¹²⁵) :



il. 13. Graficzne przedstawienie definicji Cauch`ego - metody poszukiwania zbieżności funkcji. [Opracowanie własne]

Dla każdej liczby α (tak jak wyżej to ten sam parametr) istnieje taki podprzedział wokół x_0 (poszukiwana minimalna wartość funkcji kryterialnej, np. punkt siodłowy), że wartości funkcji w tym podprzedziale nie odbiega od granicy o więcej niż o α . Inaczej rzecz ujmując funkcja $f(x)$ ma granicę w punkcie x_0 wynoszącą r , i to jest wartość minimalna.

Punkt siodłowy to punkt stacjonarny funkcji $f = f(x, y)$, w którym funkcja ta nie osiąga ekstremum lokalnego, a ekstremum globalne.

Jest to najmniejsza wartość funkcji $F1$ bez pogarszania parametrów funkcji $F2$, czyli wartości najbliższe wartościom ze zbioru rozwiązań dopuszczalnych.

Poszukiwanie minimum funkcji celu bez ograniczeń może być stosowane gdy brak narzuconych wymagań (np. wynikających z Warunków Zabudowy) dotyczących wymiarów maksymalnych lub innych wymagań formalnych. Takie rozwiązania w budownictwie trudno znaleźć. W rozważaniach teoretycznych budynek o nieskończonej długości wydaje się mało prawdopodobny do zrealizowania. Ogranicza nas tylko wyobraźnia.

Metody rozwiązywania zadania programowania nieliniowego z ograniczeniami za pomocą funkcji kary

Rozważane są więc metody rozwiązywania zadania programowania nieliniowego z ograniczeniami za pomocą funkcji kary:

- Schmita i Foxa,
- Rosenbrocka,
- Carrolla,
- zmodyfikowana Powella.

Metody z zastosowaniem modyfikacji kierunków:

- kierunków dopuszczalnych,
- rzutu ortogonalnego.

Metoda Complex (z tzw. ograniczeniami funkcyjnymi) omówiona przez autorów W. Findeisen, J. Szymanowski, A. Wierzbicki w książce pt. *Teoria i metody obliczeniowe optymalizacji*¹²⁶.

¹²⁶ W. Findeisen, J. Szymanowski, A. Wierzbicki, *Teoria i metody obliczeniowe optymalizacji*, op. cit., s. 240-279.

Ogólna koncepcja metod rozwiązywania programowania nieliniowego za pomocą funkcji kary jest następująca¹²⁶ (wzory 10 i 11)¹²⁶:

Szukane: \dot{x} dla którego

$$f(\dot{x}) = \min_{x \in X_0} f(x) \quad (10)$$

gdzie:

$X_0 = \{x: g_i(x) \leq 0, i=1, \dots, m\}$ g_i (ograniczenia)

$f(x)$ - jest funkcją różniczkowalną

$X_0 \subset \mathbb{R}^n$ jest zbiorem domkniętym.

Koncepcja metody funkcji kary polega na generowaniu ciągu punktów $\{\dot{x}^k\}$, które są rozwiązaniami zadań minimalizacji bez ograniczeń typu

$$P_k(\dot{x}^k) = \min_{x \in \mathbb{R}^n} P_k(x) = f(x) + b_k(x), \quad k = 0, 1, \dots \quad (11)$$

gdzie:

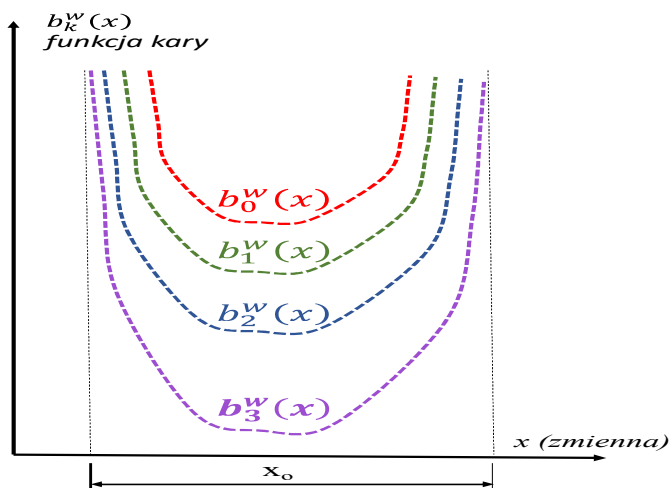
$f(x)$ - funkcja kryterialna

$b_k(x)$ – funkcje kary,

$\dot{x}^k \rightarrow \dot{x} \in X_0$, przy $k \rightarrow \infty$

x jest rozwiązaniem optymalnym zadania programowania nieliniowego.

Ilustrację graficzną zasady tworzenia wewnętrznych funkcji kary, zgodnie opracowaniem autorstwa W. Findeisen, J. Szymanowski, A. Wierzbicki¹²⁷ przedstawiono na ilustracji 15.



il. 14. Graficzne przedstawienie zasady tworzenia ciągu wewnętrznych funkcji kary. [Opracowanie własne] na podstawie: T. Hobler, *Ruch ciepła i wymienniki*, wyd.3, WNT, Warszawa 1968, s. 94-95

¹²⁷ W. Findeisen, J. Szymanowski, A. Wierzbicki, *Metody Teoria i metody obliczeniowe optymalizacji*, op. cit., s. 246.

Podsumowując tę część: nie ma obecnie uniwersalnej metody poszukiwania ekstremum z ograniczeniami, która spełniałaby wszystkie wymagania projektanta, użytkownika.

Autorzy opracowania pt. *Teoria i metody obliczeniowe optymalizacji* podsumowali prezentację wyboru metody poszukiwania minimum funkcji kryterialnej optymalizacji: „Wyboru metody można więc dokonać dopiero wtedy, gdy zostanie sformułowane konkretne zadanie oraz cel, jakiemu ma służyć”¹²⁸.

W zadaniach Poszukiwania Ekstremum Z Ograniczeniami PEZOG należy brać pod uwagę także szybkość zbieżności, możliwość że w czasie obliczeń naruszone zostaną ograniczenia, niezawodność metody. Tak więc wybór metody przestaje być sprawą prostą i wymaga dogłębnej analizy.

Dekompozycja i koordynacja zadania optymalizacyjnego

Kolejnym bardzo ważnym zadaniem optymalizacyjnym jest dekompozycja i koordynacja zadania.

Przedstawione przez W. Findeisen, J. Szymanowski, A. Wierzbicki¹²⁹ metody rozwiązywania zadania zdekomponowanego czyli metody koordynacji:

- dwuetapowa minimalizacja, bezgradientowa (MB),
- dwuetapowa minimalizacja, gradientowa (MG),
- koordynacji z użyciem funkcji kary (MK),
- cen (MC).

W powyższych rozważaniach model funkcji kary wydaje się najbardziej zalecaną metodą, jednak nie we wszystkich przypadkach należy używać metody kar. A. Stachowicz¹³⁰ rozważył inną metodę rozwiązania zadania optymalizacji nieliniowej a mianowicie przez rozwarstwienie i dekompozycję zadania zerowego.

M. H. De Groot w książce pt. *Optimal statistical decisions*¹³¹ przeanalizował problemy decyzyjne dla przestrzeni parametrów i wynika z niej, że decyzja

¹²⁸ W. Findeisen, J. Szymanowski, A. Wierzbicki, *Teoria i metody obliczeniowe optymalizacji*, op. cit., s. 284.

¹²⁹ W. Findeisen, J. Szymanowski, A. Wierzbicki, *Teoria i metody obliczeniowe optymalizacji*, op. cit., s. 286-334.

¹³⁰ A. Stachowicz, *Optymalne kształtowanie konstrukcji z zastosowaniem metod optymalizacji wielopoziomowej*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, z.54, zeszyt naukowy nr 4, Kraków 1977, s. 30-36.

¹³¹ M. H. De Groot, *Optimal statistical decisions*, McGraw-Hill Inc., New York City 1981, s. 114-1115.

bayesowska minimalizuje wartość funkcji oraz że zmienne „wektory” bayesowskie muszą należeć do zbioru wypukłego.

Zadanie optymalizacji rozważane jest jako zdekomponowane rozważał także L. Mikulski w książce pt. *Teoria sterowania w problemach optymalizacji konstrukcji i systemów*¹³².

Współautorzy: J. Białogrodzki, P. Borowiecki, T. Dzido, H. Furmańczyk, K. Giaro, R. Janczewski, M. Kubale, M. Małafiejski, K. Manuszewski, A. Nadolski, K. Piwakowski, D. Szyfelbein, P. Żyliński w książce pt. *Optymalizacja dyskretna. Modele i metody kolorowania grafów*¹³³ dowodzą iż, można wybór optymalnego wariantu (spośród wielu minimów dla funkcji kryterialnych) próbować rozwiązać metodą kolorowania grafów.

Numeryczne metody rozwiązywania zadań nieliniowych zaprezentowano w *Numerical Recipes*¹³⁴:

- rozwiązywania zadań funkcji f(minimum, maksimum)¹³⁵,
- zadań dekompozycji nieliniowego programowania¹³⁶.

3.3. Analizy energetyczne

3.3.1 Konieczność redukcji zużycia energii

Ograniczenie zużycia energii koniecznej do ogrzewania budynków mieszkalnych w Europie Zachodniej było skutkiem kryzysu energetycznego lat 60 tych XX wieku (kryzys nie ominął także Polski).

Opinię światową po raz pierwszy zmobilizowały Raporty Rzymskie (1960-1976), wśród których najbardziej upowszechnionym jest Raport „Limith to Growth” (1972), stanowiący dramatyczny głos wybitnych przedstawicieli świata nauki o ochronę

¹³² L. Mikulski, *Teoria sterowania w problemach optymalizacji konstrukcji i systemów*, wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2007, s. 40-78.

¹³³ J. Białogrodzki, P. Borowiecki, T. Dzido, H. Furmańczyk, K. Giaro, R. Janczewski, M. Kubale, M. Małafiejski, K. Manuszewski, A. Nadolski, K. Piwakowski, D. Szyfelbein, P. Żyliński, *Optymalizacja dyskretna. Modele i metody kolorowania grafów*, WNT, Warszawa 2002, s. 62-63.

¹³⁴ W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, B. P., *Numerical Recipes*, Cambridge University Press, Third ed., 2007, s. 8-1195.

¹³⁵ W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, B. P. Flannery, *Numerical Recipes*, op. cit., s. 487- 555.

¹³⁶ W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, B. P. Flannery, *Numerical Recipes*, op. cit., s. 105- 106.

środowiska naturalnego. W 1969 roku odbyła się XXIV Sesja Generalna ONZ na temat aktualnego stanu środowiska na świecie, podczas której został przedstawiony przez Sekretarza Generalnego ONZ U. Thant'a raport ostrzegający przed postępującą degradacją środowiska. W raporcie Sekretarz ONZ postulował konieczność ochrony środowiska naturalnego i racjonalne korzystanie z jego bogactw.

W Polsce wagę problemu sygnalizował po raz pierwszy w latach 70-tych Instytut Techniki Budowlanej. Jednakże na pierwsze uregulowania prawne, ukierunkowane na ograniczenie zużycia energii i to przede wszystkim na etapie projektowania, zdecydowano się dopiero w 1982 roku.

Dużą rangę w skali międzynarodowej ma system oceny GBC (Green Building Challenge). Projekt GBC został zainicjowany przez National Research Council z Kanady w 1996 roku. Autorami pierwszej ramowej wersji metodyki oceny środowiska są R. Cole i N. Larsson.

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Europy ¹³⁷ dotycząca promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych a uchwalona w dniu 19 maja 2010 roku, określiła ramy czasowe wprowadzenia obligatoryjnych metod standaryzacji ekologicznych.

3.3.2. Analizy budynków pod kątem komfortu cieplnego

W podrozdziale 1.3 omówiono komfort stricte termiczny. Kolej na analizy energetyczne pomieszczeń budynków pod kątem ich komfortu cieplnego.

Komfort cieplny P.O. Fanger¹³⁸ opisał jako stan, „*zadowolenia z warunków cieplnych otoczenia. ...W stanie obojętnego odczuwania warunków cieplnych człowiek nie wymaga ani cieplejszych ani chłodniejszych warunków*” (zgodnie z ASHRE)¹³⁹. Oceny dokonuje się stosując wskaźnik PMV i PPD.

PMV to przewidywana średnia ocena użytkowników (Predictive Mean Vote), PPD to przewidywany odsetek niezadowolonych (Predicted Percentage of Dissatisfied).

¹³⁷ Dyrektywa 2009/28/WE, *W sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE*, op. cit., s. L153/13-L153/14.

¹³⁸ P.O. Fanger, *Komfort cieplny*, op. cit., s. 9-10.

¹³⁹ ASHRE, *Thermal comfort conditions*, Standard 55-64, New York 1966. (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

Ocena przewidywana zależy od:

- preferencji osobistych,
- ubrania, odżywiania,
- pory roku,
- wieku,
- płci.

Wskaźnik PMV, PPD zależy od:

- temperatury wewnętrznej
- temperatur powierzchni wewnętrznych,
- prędkości powietrza w pomieszczeniu,
- wilgotności powietrza wewnętrznego.

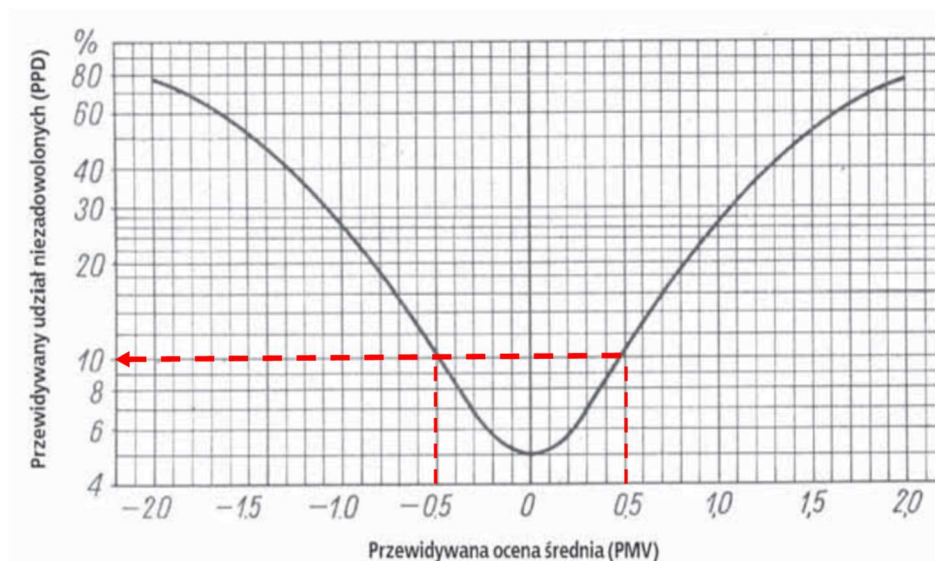
Zaleca się, aby wskaźnik PMV mieścił się w zakresie: $-0,5 < PMV < +0,5$.

Odpowiada to $PPD < 10\%$ (oznacza to, iż 10 % osób będzie niezadowolonych z warunków wewnętrznych pomieszczenia. Przedstawiono to na ilustracji 14. Analizy wpływu środowiska termicznego na człowieka omówiono w książce zatytułowanej *Thermal environments. The effects of hot, moderate and cold environments on human health, comfort and performance*¹⁴⁰. Rozkłady wskaźników PMV, PPD przedstawia ilustracja 16. Ocenę komfortu cieplnego stosując wskaźniki PMV oraz PPD¹⁴¹ (za pomocą których można ocenić procent osób zadowolonych lub niezadowolonych z warunków wewnętrznych pomieszczenia) można stosować w budynkach o różnych funkcjach: mieszkalnych, biurowych, przemysłowych, usługowych. Właściwie należy stosować te wskaźniki do oceny pomieszczeń, w których temperatura nie może przekroczyć ustalonej maksymalnej wartości¹⁴². Jest to doskonałe narzędzie do oceny zrealizowanego już budynku.

¹⁴⁰ K. H. Parson, *Thermal environments. The effects of hot, moderate and cold environments on human health, comfort and performance*, Taylor&Francis, Boca Raton 2003.

¹⁴¹ P.O. Fanger, *Komfort cieplny*, Arkady 1974, op. cit., s. 192-205.

¹⁴² PN-EN ISO 7730:2006(U): Ergonomia. Środowisko termicznie umiarkowane. *Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego*.



il. 15. Przewidywany procent niezadowolonych w funkcji przewidywanej średniej oceny.[Opracowanie własne].
Źródło: P.O. Fanger, *Komfort cieplny*, Arkady, Warszawa 1974, s.124

Pomiar tych parametrów jest możliwy już w trakcie wznoszenia budynku, natomiast na etapie projektowym podstawową oceną jest komfort termiczny. Narzędzia obliczeniowe dają taką możliwość. Analizie poddawane są pomieszczenia w budynkach o różnej funkcji.

E. Śliwińska analizie poddała przebywanie na chłodnych lub termoneutralnych stanowiskach w środowisku pracy¹⁴³. W opracowaniu omówiono także wpływ izolacyjności termicznej odzieży na komfort przebywania w pomieszczeniu.

Ocenę mikroklimatu pomieszczeń przez wskaźniki PMV i PPD opisał L. Śliwowski w publikacji pt. *Mikroklimat wewnątrz i komfort cieplny ludzi w pomieszczeniach*¹⁴⁴.

Ocenę warunków uprawiania sportu w hali sportowej na przykładzie pasywnej hali w Słomnikach, przeprowadziła A. Dudzińska. Zastosowana została metoda porównawcza a dotyczyła stosowania rolet lub łamaczy światła, lub przewietrzania¹⁴⁵.

¹⁴³ E. Śliwińska, *Komfort cieplny ludzi na chłodnych i termo neutralnych stanowiskach pracy*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1988.

¹⁴⁴ L. Śliwowski, *Mikroklimat wewnątrz i komfort cieplny ludzi w pomieszczeniach*, Politechnika Wrocławska, Wrocław 2000.

¹⁴⁵ A. Dudzińska, *Thermal comfort in the passive sport center in Słomniki*, Czasopismo Techniczne, Kraków 2012, s. 65-72.

Ocena mikroklimatu wewnętrznego przez kryterium zalecanej wilgotności względnej w pomieszczeniu zaprezentował W. Feist¹⁴⁶.

Analizy energetyczne budynków pod kątem komfortu cieplnego odnoszą się do zacienienia lub jego braku ze względu na sąsiednie budynki i wynikające stąd samopoczucie rezydentów. Analiza wewnętrznej temperatury oraz wskaźnika PMV przeprowadzana jest najczęściej przy zastosowaniu rolet, łamaczy światła montowanych na elewacjach budynków. Nie ma odniesienia do przyrodniczych elementów ścian wewnątrz krajobrazowych.

3.3.3 Optymalizacja zużycia energii w budynkach

Analizy zużycia energii w budynku przeprowadzane według kryteriów zawartych w procedurach Leadership in Energy and Environmental Design, Building Research Establishment Environmental Assessment Method, Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bau. Inwestor, starający się o certyfikację, może zadeklarować opomiarowanie zużycia energii do celów ogrzewania, chłodzenia, ciepłej wody użytkowej, oświetlenia, maszyn i urządzeń. Można więc porównywać zużycie energii wynikające z obliczeń z rzeczywistym. Jednak model obliczeniowy zużycia energii do celów ogrzewania dotyczy jednego roku. W modelu tym przyjmuje się stałą wartość zacienienia. Nie przeprowadza się analizy zmiennego zacienienia na skutek posadzenia drzew i ich wzrostu. Nie uwzględnia się zatem zmiennego zapotrzebowania energii, wynikającego ze zmieniającej się wartości zacienienia. Opomiarowanie budynku dotyczy kilku pierwszych lat. Jest to dowolna deklaracja inwestora. Deklaracja opomiarowania dotyczyć może pierwszego po zakończeniu inwestycji roku jak i kolejnych lat. Natomiast bilans energetyczny budynku, gdy rosną drzewa będzie zmienny. Tego nie przewiduje żadna procedura LEED, BREEAM, DGNB.

Procedura Life Cycle Assessment przewiduje środowiskową ocenę cyklu życia materiałów budowlanych stosowanych do wzniesienia budynku. Czas analizy to tzw. „od kołyski po grób”. Kryteria oceny zaznaczono na ilustracji 17. W tej procedurze nie ma kryteriów oceny czasu wzrostu drzew i ich wpływu na bilans energetyczny budynku w czasie.

¹⁴⁶ W. Feist, *Zalecenia dotyczące wilgotności powietrza wewnętrznego zimą w domach z instalacją wentylacyjną, zwłaszcza w domach pasywnych*, Passive House Institute, Darmstadt 2000.

Kryteria i ich kolejność w tej procedurze to:
(ilości energii potrzebne do):

- pozyskania surowców
- wyprodukowania materiału budowlanego
- montażu na budowie
- użytkowania
- rozbiórki
- odzysku lub utylizacji



il. 16. Kryteria oceny wyrobu budowlanego w ocenie LCA. [Opracowanie własne]

Czwarte w kolejności kryterium nie jest wydzielonym, osobnym etapem. Właściwie jest włączone do piątego etapu, uwzględnione jako stała wartość zacienienia, które jest stosowane w obliczeniach zapotrzebowania energii do celu ogrzewania. Zmiana zacienienia w czasie na skutek wzrostu zieleni nie jest uwzględniana. Zieleń np. drzewo w LCA uwzględnione jest w pierwszym etapie jako surowiec nie zaś czwartym jako otoczenie wpływające na zmienne zacienienie.

Z projektowaniem budynków oraz ich otoczenia wiąże się konieczność zdefiniowania parametrów ciepłno-wilgotnościowych materiałów budowlanych a także przegród budowlanych z nich projektowanych. Dla ustalenia przepływu ciepła przez przegrody tego budynku przyjęcie modelu fizycznego a w nim współczynników przejmowania ciepła na powierzchni. Dla ustalenia optymalnych grubości termoizolacji wybór metody matematycznej. Dla optymalizacji kształtu budynku modelu matematycznego. Dla ustalenia ilości energii końcowej parametrów instalacji ogrzewania pomieszczeń.

W. N. Bogosłowski w książce pt. *Procesy cieplne i wilgotnościowe w budynkach* zawarł podstawy teoretyczne dotyczące przepływu ciepła i wilgoci przez przegrodę budowlaną¹⁴⁷.

Instalacje ogrzewania, automatycznego sterowania w budynkach.

Dobór i funkcjonowanie systemów instalacji ogrzewania, chłodzenia i sterowania instalacjami w budynku jest ważny ze względu na zużycie energii do tego celu.

¹⁴⁷ W. N. Bogosłowski, *Procesy cieplne i wilgotnościowe w budynkach*, Arkady, 1985, s. 63-68.

Teoretyczne podstawy sterowania energią w budynkach opisał A. A. Feldbaum w książce pt. *Podstawy teorii optymalnych układów sterowania automatycznego*¹⁴⁸. To istotna pozycja w bibliotece na temat automatycznego sterowania.

H. Recknagel, E. Springer, W. Hofmann, H. Schramek to autorzy jednej z ważniejszych książek opisującej podstawowe zasady doboru, projektowania, użytkowania systemów ogrzewania i wentylacji pomieszczeń w budynkach mieszkalnych, biurowych. Poradnik zawiera także informacje o technice cieplnej, klimatyzacji, ciepłej wodzie użytkowej, chłodnictwie, ekologii. Praktyczno-techniczne informacje są poparte przykładami obliczeniowymi projektowania np. wentylacji dla pomieszczeń, obliczeniami dotyczącymi eksploatacji, a to wszystko spięte obliczeniami dotyczącymi szacowania kosztów (ograniczenia zużycie energii, zmniejszenia kosztów eksploatacyjnych. Przedstawiono nowoczesne techniki i technologie, energooszczędne¹⁴⁹.

Opisana klasyka projektowania i użytkowania, sterowania systemami ogrzewania, ciepłej wody użytkowej. Podstawowe, ważne informacje z zakresu funkcjonowania instalacji w książce *Teoria sterowania* autorstwa J. N. Rojtenberga¹⁵⁰.

W publikacji naukowej zatytułowanej *Ewaluacja kryterium ekologicznego i ekonomicznego ze względu na pojemność cieplną na przykładzie budynku biurowego* zawarto analizę wpływu pojemności cieplnej przegród budowlanych na bilans energetyczny budynku, przeprowadzonej na przykładzie budynku biurowego, wynika iż do efektywnego zarządzania energią zdecydowanie lepiej nadają się przegrody zbudowane z materiałów o małej pojemności cieplnej ze względu na fakt że, sterowanie systemami ogrzewania jest wtedy efektywniejsze¹⁵¹.

Bilanse energetyczne budynku, termiczne mostki cieplne, współczynniki przenikania ciepła.

S. Brzezińska w publikacji zawarła podstawowe zasady obliczania zapotrzebowania energii do celów ogrzewania budynków, zgodne z metodologią

¹⁴⁸ A. A. Feldbaum., *Podstawy teorii optymalnych układów sterowania automatycznego*, PWN, Warszawa 1967, s. 10-588.

¹⁴⁹ H. Recknagel, E. Springer, W. Hofmann, H. Schramek, *Ogrzewanie i klimatyzacja*, wyd. I, EWFE, Gdańsk 1994, s. 986-989.

¹⁵⁰ J. N. Rojtenberg, *Teoria sterowania*, Biblioteka Naukowa Inżyniera, PWN, Warszawa 1978, s. 2- 442.

¹⁵¹ J. Gintowt, *Ewaluacja kryterium ekologicznego i ekonomicznego ze względu na pojemność cieplną na przykładzie budynku biurowego*, Technical Transactions, Kraków 2012, s. 132-138.

obliczania bilansu energetycznego budynków (straty i zyski ciepła) oraz certyfikacją energetyczną, ochroną cieplną¹⁵².

W celu poprawnego wykonywania obliczeń zapotrzebowania energii do celów ogrzewania autorzy : A. Dylla, K. Pawłowski¹⁵³ sprawdzili wytyczne, standardy i zalecenia dotyczące obliczania współczynnika przenikania ciepła U [W/m^2K] (zgodność z normą *Komponenty budowlane i elementy budynku - Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania*)¹⁵⁴ i przeanalizowali jak zmienia się współczynnik U_k zawierający mostki termiczne. Sposób obliczania zawarty w normach: PN-EN ISO 102111-1¹⁵⁵ oraz PN-EN ISO 102111-2¹⁵⁶. W przepisach zawartych w dokumencie pod tytułem *W sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*¹⁵⁷ zawarte są wymagania dotyczące wartości maksymalnej U i oznaczono je jako U_{max} . Autorzy porównali zapisy wynikające z norm z przepisami w *Warunkach technicznych*. Dokładnie przeanalizowano obliczenia współczynników przenikania ciepła U_k , dotyczących poszczególnych elementów obudowy budynku, szczególnie dla węzłów konstrukcyjnych, dla których modelowanie liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ_i jest wymaganiem formalnym. Przedstawiono procedurę uproszczenia stosowanych sposobów obliczania oraz zaproponowano standaryzację kryterium doboru termoizolacyjności przegrody dla całego budynku.

K. Pawłowski w pracy doktorskiej pt. *Efektywność zewnętrznych przegród budowlanych i ich złączy w aspekcie cieplno-wilgotnościowym*¹⁵⁸ przeprowadził również analizę węzłów konstrukcyjnych i złączy komponentów budowlanych w aspekcie cieplno-wilgotnościowym, z której to analizy wynika jednoznacznie,

¹⁵² S. Brzezińska, *Obliczanie zapotrzebowania na ciepło*, wyd. Verlag Dashofer 2011.

¹⁵³ A. Dylla, K. Pawłowski, *Wady w procedurze obliczania współczynnika przenikania ciepła*, Czasopismo Techniczne, wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2007, s. 35-45.

¹⁵⁴ PN-EN ISO 6946:2017-10, *Komponenty budowlane i elementy budynku - Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania*.

¹⁵⁵ PN-EN ISO 102111-1, *Mostki cieplne w budynkach. Strumień cieplny i temperatura powierzchni. Ogólne metody obliczania*.

¹⁵⁶ PN-EN ISO 102111-2, *Mostki cieplne w budynkach. Obliczanie strumieni cieplnych i temperatury powierzchni. Liniowe mostki cieplne*.

¹⁵⁷ Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 15 kwietnia 2022 roku, *W sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*, Dz.U. 2022 poz. 1225.

¹⁵⁸ K. Pawłowski, *Efektywność zewnętrznych przegród budowlanych i ich złączy w aspekcie cieplno-wilgotnościowym*, rozprawa doktorska (promotor: A. Dylla), UPT, Bydgoszcz 2008.

że wyznaczenie wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła, nie jest wystarczające do poprawnej pracy złącza konstrukcyjnego. Spełnione muszą być warunki temperaturowe, takie aby nie dochodziło do kondensacji pary wodnej na skutek jej dyfuzji przez złącze przegrody zewnętrznej. Wyniki badań porównano z zaleceniami Instytutu Budownictwa Pasywnego z Darmstadt opracowane przez W. Ebel., W. Feist¹⁵⁹. Uzyskano zbieżne wnioski, co do modelu uwzględniania mostków termicznych.

Analizy bilansu cieplnego budynku.

Do obliczania obciążenia cieplnego zasady podano w normie pt. *Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego*¹⁶⁰ oraz w normie pt. *metodach obliczania zapotrzebowania na energię i obciążenia cieplnego ogrzewania i chłodzenia budynków*¹⁶¹, wartości temperatur obliczeniowych podane są w normie pt. *Ogrzewnictwo. Temperatuty obliczeniowe zewnętrzne*¹⁶².

Zasady, formuły obliczania współczynników przenoszenia ciepła zawarto w normie o numerze PN-EN ISO 13789:2017-10¹⁶³.

Obliczenia zużycia ciepła opisano w normie pt. *Energetyczne Właściwości Użytkowe Bud. Obliczanie Zużycia Energii Na Potrzeby Ogrzewania I Chłodzenia*¹⁶⁴.

W. Feist , T. Loga w protokole *Comparison of measurements and simulation, Energy balance and temperature characteristics*¹⁶⁵ przedstawili dogłębne analizy opracowane na podstawie wieloletnich pomiarów budynków jednorodzinnych, głównie w zabudowie szeregowej. Przeprowadzono symulacje komputerowe dla przepływu ciepła jako zadania odwróconego tzn. były znane (zmierzone) wartości

¹⁵⁹ W. Ebel., W. Feist, *Ergebnisse zum Stromverbrauch im Passivhaus Darmstadt- Kranichstein, in "Stromsparen im Passivhaus"*; protocolband Nr 7 zum Arbeitskreis Kostengünstige Passivhäuser, PHI, Darmstadt, 1997.

¹⁶⁰ PN-EN 12831:2006, *Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego*.

¹⁶¹ PN-EN ISO 52016-1, *metodach obliczania zapotrzebowania na energię i obciążenia cieplnego ogrzewania i chłodzenia budynków*.

¹⁶² PN-B-02403:1982, *Ogrzewnictwo. Temperatuty obliczeniowe zewnętrzne*.

¹⁶³ PN-EN ISO 13789:2017-10, *Ciepłne właściwości użytkowe budynków . Współczynniki ciepła przez przenikanie i wentylację. Metoda obliczania*.

¹⁶⁴ PN-EN ISO 13790 2009, *Energetyczne Właściwości Użytkowe Bud. Obliczanie Zużycia Energii Na Potrzeby Ogrzewania I Chłodzenia*.

¹⁶⁵ W. Feist , T. Loga, *Comparison of measurements and simulation, Energy balance and temperature characteristics*, Protocol Volume No. 5 of the Research Group for Cost-efficient Passive Houses, Passive House Institute, Darmstadt 1997.

temperatur na brzegach (powierzchniach przegród), znana gęstość strumienia ciepła przepływającego przez przegrodę (pomierzona na powierzchni) a wyznaczano pola temperaturowe wewnątrz przegród budynku. Na tej podstawie stworzono protokół bilansu energetycznego i charakterystyk cieplnych. Na tej podstawie wieloletnich badań teoretycznych, modelowania komputerowego oraz badań in-situ opracowano podręcznik do projektowania budownictwa pasywnego. Zawiera on istotne informacje, wytyczne oraz podstawy teoretyczne do projektowania budynków pasywnych. Jest to dobre i ważne narzędzie do analiz energetycznych¹⁶⁶. Autorami tego podręcznika zatytułowanego *Podstawy budownictwa pasywnego* są autorzy: W. Feist, J. Thumulla, U. Muzennberg, B.S. Darup¹⁶⁷.

W publikacji *Ocena metodologii obliczania charakterystyki energetycznej na przykładzie budynku mieszkalnego jednorodzinnego*¹⁶⁸ przeanalizowano metodologię obliczania bilansu energetycznego budynku. Na tej podstawie wskazano istotne błędy grube, dotyczące modelu akumulacji ciepła w przegrodach zewnętrznych. Błędy, zawarte w wytycznych do obliczania akumulacji ciepła w przegrodach, dotyczyły zysków od promieniowania słonecznego. Oznaczało to, że należy wykonywać jedno obliczenia zgodne z obowiązującą literą prawa, oraz drugie, zgodnie z aktualnym stanem wiedzy.

Publikacja autorstwa A. Dudzińskiej pod tytułem *Skuteczność osłon przeciwslonecznych w kształtowaniu komfortu cieplnego w pasywnym budynku użyteczności publicznej*¹⁶⁹ zawiera analizy wpływu nasłonecznienia na komfort cieplny w hali sportowej. Przeprowadzono, na tej podstawie, analizy skuteczności osłon przeciwslonecznych.

¹⁶⁶ Instytut Budownictwa Pasywnego w Darmstadt na podstawie pomiarów z kolejnych lat, tworzy kolejne użyteczne hand- book'i, które prezentowane są na corocznych konferencjach budownictwa pasywnego. W każdym kolejnym roku konferencja odbywa się w innym mieście w Niemczech na świecie. Na przykład: W. Feist, *Passive House in Darmstadt-Kranichstein*, 2nd Edition International Passive House Conference in Düsseldorf 1998.

¹⁶⁷ W. Feist, J. Thumulla, U. Muzennberg, B.S. Darup, *Podstawy budownictwa pasywnego*, op. cit., s. 9-148. (opracowanie wersji polskiej G. Schlagowski, Polski Instytut Budownictwa Pasywnego), Gdańsk 1983.

¹⁶⁸ D. Łątka, J. Gintowt., *Ocena metodologii obliczania charakterystyki energetycznej na przykładzie budynku mieszkalnego jednorodzinnego*, Uniwersytet Warmińsko- Mazurski, Olsztyn 2009, s. 417-419.

¹⁶⁹ A. Dudzińska, *Skuteczność osłon przeciwslonecznych w kształtowaniu komfortu cieplnego w pasywnym budynku użyteczności publicznej*, Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury 2015, z. 62, nr 2, s. 39-48.

Zasadę projektowania przegród budowlanych w celu uniknięcia krytycznej wilgotności na powierzchniach wewnętrznych przegród zewnętrznych budynków, definiuje norma zatytułowana *Cieplno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacji międzywarstwowej. Metody obliczania*. Ta norma jest istotna ze względu na ocenę ryzyka możliwości rozwoju pleśni¹⁷⁰ (SBS-Sick Building Syndrom-Syndrom Chorego Budynku).

W publikacji pt. *Oddziaływanie materiałów i technologii na zdrowie wykonawców i użytkowników* omówiono wpływ jakości powietrza wewnętrznego na stan zdrowia rezydentów, zwrócono uwagę na przyczyny chorób rezydentów takie jak: niedostateczna wentylacja, zbyt niska temperatura na powierzchni przegrody, zły jakości materiały wykończeniowe i materiały budowlane¹⁷¹. Takie analizy jakości powietrza wewnętrznego przeprowadza się jako obowiązkowe w procedurach np. LEED- dobór minimalnej grubości termoizolacji, w celu uniknięcia rozwoju pleśni na powierzchni wewnętrznej przegród zewnętrznych. W celu ustalenia ograniczeń na zmienne decyzyjne w optymalizacji grubości termoizolacji, przeprowadzono analizę izolacyjności termicznej przegród budowlanych ze względu na krytyczną wilgotność powierzchni. Podano uzasadnienie przyjmowania najmniejszej wartości grubości termoizolacji wynikającej z warunku f_{Rsi} współczynnika temperaturowego na powierzchni wewnętrznej przegrody zewnętrznej jako minimalnej dla dalszych rozważań optymalizacyjnych. Wykazano, iż przeważnie jest to najostrejszy warunek dotyczący minimalnych grubości termoizolacji w przegrodach zewnętrznych, co zostało udowodnione w publikacji pt. *Optymalna izolacyjność termiczna przegród budowlanych ze względu na krytyczną wilgotność powierzchni*¹⁷².

Taką analizę, możliwości rozwoju pleśni na powierzchni przegrody przeprowadzono i omówiono w publikacji pt. *The reasons of mould development*

¹⁷⁰ PN-EN ISO 13788:2018-05, *Cieplno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacji międzywarstwowej. Metody obliczania*.

¹⁷¹ A. Stachowicz, J. Gintowt, *Oddziaływanie materiałów i technologii na zdrowie wykonawców i użytkowników*, wyd. ITB oddział Bielsko-Biała, Ekologia a Budownictwo, Bielsko-Biała 1993, s. 145-151.

¹⁷² J. Gintowt, *Optymalna izolacyjność termiczna przegród budowlanych ze względu na krytyczną wilgotność powierzchni*, Renowacja Budynków i Modernizacja Obszarów Zabudowanych, Wyd. Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra 2005, s. 133-142.

on construction elements and regard to allergic illnesses due to moulds ale ze względu na stan zdrowia rezydentów¹⁷³.

W artykule naukowym pt. *Ocena mikologiczna wybranych obiektów budowlanych po awarii instalacji wodnej do ogrzewania* przedstawiono analizę wpływu stanu technicznego przegród po awarii instalacji ogrzewania na stan zdrowia rezydentów, przeprowadzoną na podstawie badań in situ pomieszczeń użytkowanych po awarii¹⁷⁴.

W publikacji pt. *Współczynnik temperaturowy na wewnętrznej powierzchni przegrody jako kryterium doboru grubości termoizolacji* omówiono ocenę izolacyjności termicznej przegrody budowlanej (ze względu na minimalną grubość termoizolacji) przy zastosowaniu współczynnika temperaturowego f_{Rsi} , którym się sprawdza czy nastąpi rozwój pleśni na powierzchni przegrody¹⁷⁵.

Obliczeniowe właściwości cieplno-wilgotnościowe materiałów budowlanych podano w normie *Materiały i wyroby budowlane. Właściwości cieplno-wilgotnościowe. Tabelaaryczne wartości obliczeniowe*¹⁷⁶.

Norma *Właściwości użytkowe w budownictwie. Określanie i obliczanie wskaźników powierzchniowych i kubaturowych*¹⁷⁷ zawiera ustalone zasady obliczania wskaźników powierzchniowych i kubaturowych oraz wprowadza związane z nimi terminy. Np. w przypadku gdy podłoga budynku znajduje się gruncie, to wysokość pomieszczenia (do obliczenia zapotrzebowania na ciepło) liczy się od posadzki.

W artykule pt. *Czas zwrotu kosztów docieplenia ścian budynków mieszkalnych*¹⁷⁸ przedstawiono wyliczenia opłacalności stosowania różnych

¹⁷³ J. Gintowt, *The reasons of mould development on construction elements and regard to allergic illnesses due to moulds*, Polish Journal of Environmental Studies Vol. 13, Supplement I (2004), s. 11-14.

¹⁷⁴ J. Gintowt, *Ocena mikologiczna wybranych obiektów budowlanych po awarii instalacji wodnej do ogrzewania*, Sekcja Budownictwa Ogólnego Komisji Urbanistyki Architektury o/PAN w Krakowie, Kraków 2003, s. 104-109.

¹⁷⁵ J. Gintowt, *Współczynnik temperaturowy na wewnętrznej powierzchni przegrody jako kryterium doboru grubości termoizolacji*, Kwartalnik Polskiego Towarzystwa Energetyki Słonecznej, Polska Energetyka Słoneczna, 2006, Warszawa 2006, s. 14-17.

¹⁷⁶ PN-EN 12524:2003, *Materiały i wyroby budowlane. Właściwości cieplno-wilgotnościowe. Tabelaaryczne wartości obliczeniowe*.

¹⁷⁷ PN ISO 9836:2022-07, *Właściwości użytkowe w budownictwie. Określanie i obliczanie Wskaźników powierzchniowych i kubaturowych*.

¹⁷⁸ J. Gintowt, *Czas zwrotu kosztów docieplenia ścian budynków mieszkalnych*, Konferencja Studentów i Młodych Pracowników Nauki, Kazimierz Dolny 1987.

technologii wznoszenia ścian budynków mieszkalnych: od tradycyjnych z glino-słomy po żelbetowe.

Kolejną analizę wyboru rozwiązania technologicznego wznoszenia budynku ze względu kryterium jakim jest operat oddziaływania na środowisko, przeprowadzili autorzy K. Cieśla, J. Gintowt¹⁷⁹. W operatach oddziaływania na środowisko analizuje się między innymi występowanie chronionych gatunków zwierząt i roślin.

W opracowaniu *The passive building as an environmental protection*¹⁸⁰ rozpatrywano jak, przyjmując oceny ogólne (tj. wskaźnik zużycia energii użytkowej, energii pierwotnej) dla budownictwa pasywnego, przez oceny szczegółowe (np. współczynnik przepuszczalności promieniowania słonecznego okien) można zmniejszyć negatywne antropogeniczne oddziaływanie na środowisko.

W czasopiśmie branżowym zaprezentowano artykuł pt. *Czas zwrotu kosztów docieplenia ścian budynków mieszkalnych jako element wyboru rozwiązania technologicznego*¹⁸¹. Przeprowadzono rozważania analityczne czy kryterium rozwiązania technologicznego ze względu na aspekt ekonomiczny SPBT, jest wystarczające do podejmowania decyzji o budowie domu.

W artykule naukowym *Ochrona środowiska a budownictwo pasywne*¹⁸² zawarto ocenę zagrożenia środowiskowego jakim jest emisja zanieczyszczeń na skutek wytwarzania energii, z paliw kopalnych, do celów ogrzewania w kontekście realizacji budynków nisko-emisyjnych.

Audyt Energetyczny na potrzeby termomodernizacji oraz oceny energetycznej budynków i analiza porównawcza podstawowych wzorów, procedur, zasad z efektem środowiskowym zostały omówione, w nagrodzonej przez JM Rektora Politechniki Krakowskiej, publikacji pt. *Audyt Energetyczny na potrzeby termomodernizacji oraz oceny energetycznej budynków*. Przeprowadzono rozważania nad słuszością przyjmowania niektórych parametrów jako obligatoryjnych w audytach

¹⁷⁹ K. Cieśla, J. Gintowt, *Analiza porównawcza elementów operatu oddziaływania na środowisko*, wyd. Akademia Podlaska, Siedlce 2009, s. 146-150.

¹⁸⁰ J. Gintowt, *The passive building as an environmental protection*, BUDOWA A ENERGIA 9, Koszyce 2009, s. 37-40.

¹⁸¹ J. Gintowt, *Czas zwrotu kosztów docieplenia ścian budynków mieszkalnych jako element wyboru rozwiązania technologicznego*, Przegląd Budowlany, 1995, s. 16-18.

¹⁸² J. Gintowt, *Ochrona środowiska a budownictwo pasywne*, Ekologia a Budownictwo, Wyd. PZITB oddział Bielsko-Biała, Bielsko-Biała 2009, s. 13-18.

energetycznych. Stworzono kompendium wiedzy na temat zasad występowania o dofinansowania do zadań termomodernizacyjnych¹⁸³.

Sprawdzono grubości dociepleń pod kątem możliwości rozwoju pleśni na powierzchni wewnętrznej przegrody zewnętrznej. Optymalna grubość termoizolacji wyliczona z warunku SPBT nie zawsze spełnia warunek, aby nie nastąpił rozwój pleśni. Warunek ten nazwano „jakością cieplną”, określa on bowiem minimalną temperaturę na powierzchni wewnętrznej przegrody zależną od grubości termoizolacji (oporu cieplnego przegrody). Ta analiza zaprezentowana została w artykule naukowym pt. *Ocena dociepleń obiektów budowlanych ze względu na kryterium jakości cieplnej*¹⁸⁴.

Publikacja pt.: *Optymalne projektowanie budynków o niskim zapotrzebowaniu na energię jako problem optymalizacji wielopoziomowej*¹⁸⁵ podaje dla wielu zadań optymalizacji kryteria matematyczne, ekonomiczne. Dla oceny matematycznej określono warunki i sposób rozwiązania zadań optymalizacji nieliniowej z ograniczeniami, dla oceny ekonomicznej podano niektóre wskaźniki ekonomiczne. Określone zostały parametry stałe, zmienne i dyskretne zadania optymalizacji.

W artykule *Low-energy Buildings Design as a case of Multilevel optimization*¹⁸⁶, przedstawiono zadanie dekompozycji optymalizacji wielokryterialnej minimummaksymalizacji. Określono funkcje celu: minimum kosztów inwestycyjnych, maksimum oszczędności kosztów ogrzewania. Analizę przeprowadzono na przykładzie budynku jednorodzinnego. Określone zostały zmienne decyzyjne, nierównościowe warunki ograniczające. W analizie rozwiązania nieliniowego zadania optymalizacji zastosowano metodę Kuhna-Tuckera oraz zasadę Pareto.

¹⁸³ J. Gintowt, Ł. Stanisław, B. Maludziński, Ł. Mika, *Audyt Energetyczny na potrzeby termomodernizacji oraz oceny energetycznej budynków*, praca zbiorowa pod redakcją Adama Tabora, TOM I, *Podstawy prawne, Certyfikacja i Termomodernizacja, Pompy ciepła, Wentylacja klimatyzacja*, J. Gintowt, Rozdział II: *Certyfikacja Energetyczna Budynków*, Wyd. Centrum Szkoleń i Organizacji Systemów Jakości Politechniki Krakowskiej, Kraków 2009 s. 233-338.

¹⁸⁴ J. Gintowt, *Ocena dociepleń obiektów budowlanych ze względu na kryterium jakości cieplnej*, ENERGODOM 2004 Zakopane, Czasopismo Techniczne, Kraków 2004, s. 499-504.

¹⁸⁵ A. Stachowicz, J. Gintowt, *Optymalne projektowanie budynków o niskim zapotrzebowaniu na energię jako problem optymalizacji wielopoziomowej*, *Fizyka Budowli w Teorii i praktyce*, Łódź 1995, s. 317-323.

¹⁸⁶ A. Stachowicz, J. Gintowt, *Low-energy Buildings Design as a case of Multilevel optimization*, BUDOWA A ENERGIA, Koszyce 1997, s. 351-354.

Przeprowadzono analizę porównawczą dwóch kryteriów do wyznaczenia optymalnej grubości termoizolacji: SPBT oraz Kuhna-Tuckera. Uzyskano różne wyniki, przy czym z warunku K-T grubość termoizolacji osiąga większą wartość¹⁸⁷.

Publikacja pt.: *Optymalizacja wielopoziomowa i wielokryterialna obiektów budowlanych*¹⁸⁸ prezentuje badania sposobu rozwiązania optymalizacji dla zadania nieliniowego z ograniczeniami nierównościami

W opracowaniu pt. *A new fuzzy model of multi-criteria decision support based on Bayesian networks for the urban areas decarbonization planning* opisano zadanie optymalizacji jako decyzji w procesach wielokryterialnych. Opisano rozwiązanie z wykorzystaniem teorii zbiorów rozmytych, Systemu Informacji Geograficznej i sieci Bayesa. Metody te zastosowano w analizie dekarbonizacji obszarów miejskich (trzy warianty odnawialnych źródeł energii)¹⁸⁹.

Autorki M. Mrówczyńska, M. Skiba, A. Bazan-Krzywoszańska, M. Sztubecka w artykule pt.: *A new fuzzy model of multi-criteria decision support based on Bayesian networks for the urban areas decarbonization planning*¹⁹⁰ przedstawiły rozwiązanie minimalizacji zużycia energii na obszarach zurbanizowanych przez zastosowanie radialnych sieci neuronowych.

W opracowaniu pt. *Kształt podstawy budynku a pasywne pozyskiwanie energii*¹⁹¹ przedstawiono rozwiązanie zadania dekompozycji optymalizacji wielokryterialnej na przykładzie kształtu i proporcji podstawy budynku parterowego jednorodzinne.

¹⁸⁷ J. Gintowt, P. Łysik, *Comparative analysis of the criteria used to select the optimal Energy savings variants in building. Selected issues*, Technical Transactions, Kraków 2014, s. 97-102.

¹⁸⁸ J. Gintowt, *Optymalizacja wielopoziomowa i wielokryterialna obiektów budowlanych*, Building Physics In Theory and Practice tom 1, Łódź 2005, s. 96-102.

¹⁸⁹ M. Mrówczyńska, M. Skiba, A. Leśniak, A. Bazan-Krzywoszańska, F. Janowiec, M. Sztubecka, R. Grech, J. K. Kazak, *A new fuzzy model of multi-criteria decision support based on Bayesian networks for the urban areas decarbonization planning*, Energy Conversion and Management, 2022, s. 14-17.

¹⁹⁰ M. Mrówczyńska, M. Skiba, A. Bazan-Krzywoszańska, M. Sztubecka, *Household standards and socio-economic aspects as a factor determining energy consumption in the city*, Elsevier 2020, s. 4-8.

¹⁹¹ J. Gintowt, A. Stachowicz, *Kształt podstawy budynku a pasywne pozyskiwanie energii*, Fizyka Budowli w teorii i Praktyce, Łódź, 2009, vol. II, s. 43-44.

W artykule autorów K. Klemm, W. Marks, A. J. Klemm zatytułowanym *Wpływ zmian w układzie zabudowy na przepływ powietrza*¹⁹² opisano przykład optymalizacji dwóch układów budynków ze względu na komfort wiatrowy. Przeprowadzono symulacje prędkości wiatru wokół budynków na płaskim terenie niezabudowanym. Do badań przyjęto model turbulencji k-ε, zastosowano programu symulacyjny FLUENT 4.3. Przeprowadzono analizę zastosowania wielokryterialnej metody optymalizacji w zadaniach doboru układu przestrzennego budynków. Do procedury optymalizacji wykorzystano program komputerowy CAMOS (Computer Aided Multicriterion Optimization System).

W pracy *Wpływ zmian w układzie zabudowy na przepływ powietrza*¹⁹³ poruszono problem wpływu rewitalizacji terenów przemysłowych na przepływy powietrza, które mogą wpływać na właściwości termiczne budynków.

W artykule pt. *Multicriteria optimization of buildings arrangement based on wind criteria*¹⁹⁴ przedstawiono problem wielokryterialnej optymalizacji lokalizacji zabudowy w oparciu o kryteria wiatrowe. Autorzy H. Jędrzejuk, K. Klemm, W. Marks problem sformułowali jako zadanie minimaksymalizacji. Minimalizowano obszary o zbyt dużej lub zbyt małej wietrzności. Maksymalizowano obszar o akceptowalnej i preferowanej prędkości wiatru. Zastosowano model turbulencji κ-ε. Obliczeń dokonano za pomocą programu symulacyjnego FLUENT 6. Jako rozwiązanie zadania przyjęto zasadę Pareto. Zastosowano program CAMOS.

W *Evolutional optimization of Energy-saving buildings*¹⁹⁵ zaprezentowano ewolucję sposobu modelowania zagadnień optymalizacji budynków energooszczędnych.

Przedmiotem analizy w publikacji pt.: *O korzyściach z optymalizacji budynków mieszkalnych*¹⁹⁶ było pokazanie korzyści, wynikających z optymalizacji

¹⁹² K. Klemm, W. Marks, A. J. Klemm, *Multicriteria optimisation of the building arrangement with application of numerical simulation*, Building and Environment Journal ISSN : 0360-1323, Building and Environmental Journal, 2000, s. 537-544.

¹⁹³ K. Klemm, *Wpływ zmian w układzie zabudowy na przepływ powietrza*, Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, Wyd. Politechniki Łódzkiej, Tom IV, zeszyt 2, 2011.

¹⁹⁴ H. Jędrzejuk, K. Klemm, W. Marks, *Multicriteria optimization of buildings arrangement based on wind criteria*, Archives of Civil Engineering , LIV, 4, 2008, s. 751-767.

¹⁹⁵ H. Jędrzejuk, W. Marks, *Evolutional optimization of Energy-saving buildings*, Archives of Civil Engineering , LI, 3, 2005, s. 395-413.

¹⁹⁶ H. Jędrzejuk, W. Marks, *O korzyściach z optymalizacji budynków mieszkalnych* , Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, wyd. Politechnika Łódzka, Tom II, Łódź, 2007, s. 109-112.

budynków mieszkalnych. Przyjęto następujące kryteria: minimum kosztów budowy budynków wraz kosztami instalacji i urządzeń grzewczych, minimum rocznych kosztów nośników energii w sezonie grzewczym, minimum zanieczyszczeń stałych i gazowych emitowanych do powietrza na skutek wytwarzania energii do celów ogrzewania. Analizę przeprowadzono na przykładzie istniejącego osiedla w Warszawie.

Autorka K. Klemm w artykule *Kompleksowa ocena warunków mikroklimatu w luźnych i zwartych strukturach urbanistycznych* zaprezentowała analizę komfortu cieplnego dla dwóch układów zabudowy mieszkaniowej: luźnej oraz zwartej struktury urbanistycznej¹⁹⁷.

W artykule *Optymalizacja wybranych kształtów podstawy budynków mieszkalnych jako zadanie optymalizacji wielokryterialnej*¹⁹⁸ analizowano nieregularny kształt podstawy budynku. W zadaniu optymalizacyjnym przyjęto funkcję celu określoną jako maksimum zysków wewnętrznych od nasłonecznienia. Założono iż temperatura wewnętrzna w pomieszczeniach budynku mieszkalnego nie może być wyższa niż temperatura komfortu cieplnego, przyjęta na poziomie 25 °C. Określone zostały warunki brzegowe nierównościowe.

Autorki J. Gintowt, B. Lossow-Samek¹⁹⁹ analizowały kryteria wyboru rozwiązania technologicznego wnoszenia ścian zewnętrznych budynku mieszkalnego ze względu na kryterium minimum kosztów inwestycyjnych i minimum kosztów ogrzewania. Porównano technologie: tradycyjną glino-słoma, technologię murową cegła i beton komórkowy, oraz technologię żelbetu.

W książce pt. *Badanie i projektowanie układów regulacji. Metody eksperymentalne i modelowe*²⁰⁰ opisano układy sterowania dynamicznego w metodach eksperymentalnych badawczych

¹⁹⁷ K. Klemm, *Kompleksowa ocena warunków mikroklimatu w luźnych i zwartych strukturach urbanistycznych*, Warszawa 2011, hps.biblos.pk.edu.pl- aktualizacja 31.05.2023 godz. 20:15

¹⁹⁸ A. Stachowicz, J. Gintowt, *Optymalizacja wybranych kształtów podstawy budynków mieszkalnych jako zadanie optymalizacji wielokryterialnej*, Budownictwo i Inżynieria Środowiska: Energia odnawialna, Innowacyjne rozwiązania, Materiały i Technologie dla Budownictwa, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, z. 47, Rzeszów 2008, s. 473-476.

¹⁹⁹ J. Gintowt, B. Lossow-Samek, *Energochłonność budynku jako element wyboru rozwiązania technologicznego na przykładzie budynku mieszkalnego*, Czasopismo Techniczne- ENERGODOM, Kraków 1993.

²⁰⁰ Z. Szopliński, *Badanie i projektowanie układów regulacji. Metody eksperymentalne i modelowe*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1975, s. 278.

T. Stefański w książce *Teoria sterowania. Układy dyskretne, nieliniowe, procesy stochastyczne oraz optymalizacja statyczna i dynamiczna*²⁰¹ opisał analizy optymalizacji kosztów ogrzewania. Na poziomie energii końcowej przyjął parametry systemów ogrzewania dla prostych układów sterowania oraz porównał ze skomplikowanymi układami dynamicznymi.

W opracowaniu *Obliczanie dobowych sum promieniowania słonecznego na płaszczyzny nachylone przy wykorzystaniu zależności dla współczynników przeźroczystości atmosfery*²⁰² autorki E. Kossecka, D. Bzowska przedstawiły metody obliczania dobowych sum promieniowania słonecznego na płaszczyzny nachylone przy wykorzystaniu zależności dla współczynników przeźroczystości atmosfery. Na podstawie tych wyników można ocenić wpływ lokalizacji budynku na jego bilans cieplny.

D. Chwieduk²⁰³ opisała wpływ nasłonecznienia na bilans energetyczny. Przedstawiła modele teoretyczne wraz z wynikami analizy dla pasywnego pozyskiwania energii.

D. Chwieduk zaproponowała także koncept uwzględniania wpływu promieniowania słonecznego na akumulację ciepła w przegrodach budynku i tym samym wpływ na bilans energetyczny budynku²⁰⁴.

W publikacji pt.: *Pasywne pozyskiwanie energii* przedstawiono model teoretyczny dla pasywnego pozyskiwania energii²⁰⁵, w którym znaczącą rolę dla akumulacji ciepła, zysków wewnętrznych mają systemy słoneczne zaprezentowane w publikacji *Systemy słoneczne w budownictwie jednorodzinym w Polsce*²⁰⁶.

²⁰¹ T. Stefański, *Teoria sterowania. Układy dyskretne, nieliniowe, procesy stochastyczne oraz optymalizacja statyczna i dynamiczna*, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 200, Tom II, passim.

²⁰² E. Kossecka, D. Bzowska, *Obliczanie dobowych sum promieniowania słonecznego na płaszczyzny nachylone przy wykorzystaniu zależności dla współczynników przeźroczystości atmosfery*, Materiały konferencyjne, KNT Łódź'93, Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, na prawach rękopisu, s. 45-52.

²⁰³ D. Chwieduk, *Pozyskiwanie oraz konwersja termicznej energii słonecznej w budynku*, IPPT PAN, Warszawa 2006, s. 14-245.

²⁰⁴ D. Chwieduk, *Recommendation for Energy concept of building*, Technical Transaction, wyd. Politechnika Krakowska 2012, s. 45-54.

²⁰⁵ J. Gintowt, *Pasywne pozyskiwanie energii*, Fizyka Budowli w teorii i Praktyce, vol. II, Łódź 2007, s. 61-66.

²⁰⁶ J. Gintowt, *Systemy słoneczne w budownictwie jednorodzinym w Polsce*, Janowice, wyd. Politechniki Krakowskiej 1993, s.79-84.

R. Kittler, J. Mikler²⁰⁷ szeroko przedstawili podstawy teoretyczne dla pasywnego pozyskiwania energii. Badania in situ, pozwoliły na opracowanie modelu teoretycznego dla bilansowania promieniowania słonecznego ze względu na astronomiczny azymut słońca i interpretację graficzną położenia słońca nad horyzontem. Opracowanie jest bardzo przydatne w przypadkach modelowania systemów słonecznych.

Przeprowadzono analizy pasywnego pozyskiwania energii w zależności od zanieczyszczenia pyłami powietrza i czystego nieba na przykładzie budynku jednorodzinnego. Porównano wyniki i oceniono efektywność kolektorów słonecznych ze względu na zanieczyszczenia antropogeniczne, wpływ na bilans energetyczny. Analiza zaprezentowana w publikacji pt. *Kolektory słoneczne - ocena projektu w programie RETScreen® International*²⁰⁸.

Artykuł pt.: *Wpływ izolacyjnych, dynamicznych i spektralnych właściwości przegród na bilans cieplny budynków energooszczędnych*²⁰⁹ dla budynków o wysokiej efektywności energetycznej prezentuje analizę wpływu rodzaju przegród zewnętrznych na bilans cieplny.

Podstawowe zależności, formuły do obliczania bilansu wymianianego powietrza podano w normie PN-78/B-03421 zatytułowanej *Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi*²¹⁰.

Analiza tzw. słabych miejsc w budynkach:

Ze względu na pozyskiwanie energii słonecznej, do oceny zysków wewnętrznych od nasłonecznienia, autorzy K. Cabała, S. Zaworski, J. Gintowt przeprowadzili analizy sposobu montażu okien na tzw. ciepły montaż i oceniono ich wpływ na bilans energetyczny budynku²¹¹.

²⁰⁷ R. Kittler, J. Mikler, *Zaklady využivania slnečného žiarenia*, VEDA, Bratislava 1986, s. 32-58.

²⁰⁸ A. Sznurawa, M. Migacz, J. Gintowt, *Kolektory słoneczne - ocena projektu w programie RETScreen® International*, Wyd. Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, 2012, s. 159-164.

²⁰⁹ T. Kisilewicz, *Wpływ izolacyjnych, dynamicznych i spektralnych właściwości przegród na bilans cieplny budynków energooszczędnych*, wyd. Politechnika Krakowska, Kraków 2008, s. 157-170.

²¹⁰ PN-78/B-03421: *Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi*.

²¹¹ K. Cabała, S. Zaworski, J. Gintowt, *The influence of fitting of a window on a heat transfer coefficient and an energy balance of a building*, Technical Transaction, Z 5-B/201, Kraków 2014, s. 33-38.

P. Hołownia w artykule naukowym pt. *Wpływ przestrzennych mostków termicznych na podstawowe parametry fizyczne jednowarstwowych przegród budowlanych*²¹² analizuje tzw. słabe miejsca w budynkach, jakimi między innymi są mostki termiczne. Elementy te badał jako obiekty przestrzenne i ocenił ich wpływ na jednowarstwowe przegrody budowlane, jakimi są np. przegrody realizowane w systemie szkieletowym, lub ściany obiektów zabytkowych. W przypadku tych ostatnich nie można ingerować w warstwę elewacyjną, która, ze względu na charakter zabytkowy, powinna zostać zachowana bez zmian.

Niektóre katalogi mostków termicznych, jako gotowe, typowe rozwiązania, mogą być stosowane na etapie projektowania przegród zewnętrznych budynków. Przykładem są przegrody budownictwa tradycyjnego zaprezentowane przez autorów J. A. Pogorzelski, J. Awksientjuk w publikacji pt. *Katalog mostków cieplnych, Budownictwo tradycyjne*²¹³.

Dla przegród dwuwarstwowych mostki termiczne mogą być modelowane numerycznie i na tej podstawie tworzone katalogi rozwiązań tak jak w przypadku katalogu pt. *Nowoczesne metody numeryczne w budowaniu katalogu mostków cieplnych, w ścianach dwuwarstwowych*²¹⁴.

P. Rynowski, T. J. Teleszewski zaprezentowali modelowanie temperatury w miejscu mostka termicznego, metodą elementów skończonych. Zastosowali metodę elementów brzegowych (opracowanie autorskie) w celu badania rozkładów pól temperatur i przepływu ciepła przez przegrody, co ma istotne znaczenie w analizie wyznaczenia optymalnej grubości termoizolacji²¹⁵.

M. Topolski, J. Żurek, J. Gintowt²¹⁶ analizę porównawczą wpływu mostków termicznych na bilans cieplny budynku, przeprowadzili na podstawie pomiarów in situ i przy użyciu modelowania programu FEM. Modelowanie 2D przepływu ciepła przez złącza konstrukcyjne, okazało się wystarczające do oceny rozkładów pól temperatur

²¹² P. Hołownia, *Wpływ przestrzennych mostków termicznych na podstawowe parametry fizyczne jednowarstwowych przegród budowlanych*, Czasopismo Techniczne, Kraków 2007, s. 83-90.

²¹³ J. A. Pogorzelski, J. Awksientjuk, *Katalog mostków cieplnych, Budownictwo tradycyjne*, ITB, Warszawa 2003.

²¹⁴ P. Rożek, *Nowoczesne metody numeryczne w budowaniu katalogu mostków cieplnych, w ścianach dwuwarstwowych*, Praca dyplomowa nr 6855, UPT, Bydgoszcz, 2007.

²¹⁵ P. Rynowski, T. J. Teleszewski, *Modelowanie pola temperatury mostków cieplnych przy wykorzystaniu metody elementów skończonych*, Civil and Environmental Engineering, wyd. Politechnika Białostocka, Białystok 2011, s. 85-90.

²¹⁶ M. Topolski, J. Żurek, J. Gintowt, *Collation of Qualitative research with quantitative FEM Research in terms of two dimensional heat flow*, Technical Transaction, Kraków 2014, s. 272-282.

na powierzchni tych węzłów. Wykonano analizy rozkładów pól temperatur wewnątrz węzłów konstrukcyjnych i weryfikowano wyniki na podstawie wartości temperatur zmierzonych in situ kamerą termowizyjną.

Cieplno-wilgotnościową analizę mostków termicznych P. Wouters, J. Schietecata, P. Standaert, K. Kasperkiewicz przeprowadzili dla typowych węzłów konstrukcyjnych. Dokonano oceny tych węzłów ze względu na możliwość rozwoju wystąpienia temperatury sprzyjającej rozwojowi pleśni²¹⁷.

Przykłady projektów i realizacji według zasad minimalizacji zużycia energii zgodnej z rozwojem zrównoważonym:

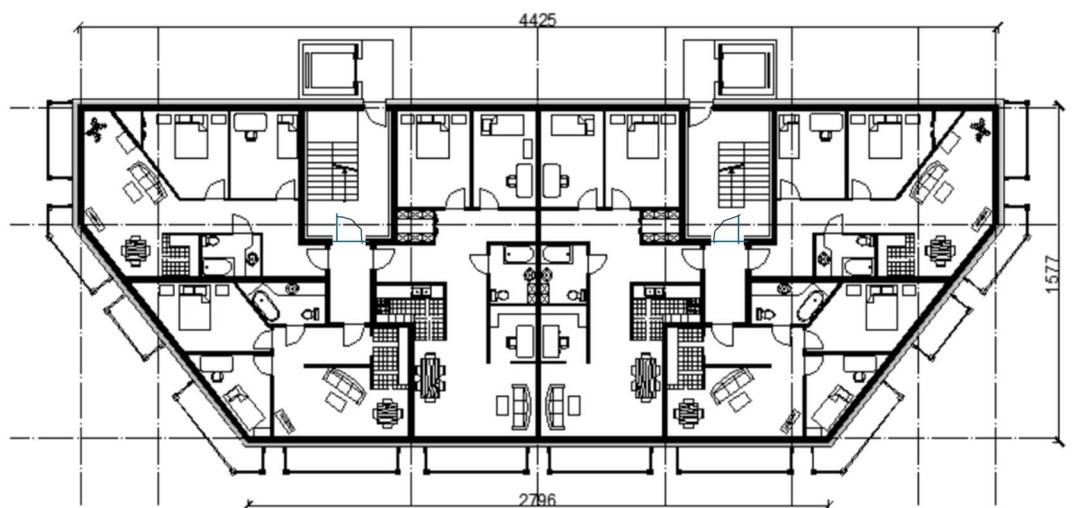
P. Jurkiewicz w artykule *Dom pasywny. Budowa domu pasywnego z zastosowaniem popularnych rozwiązań budowlanych*²¹⁸, przedstawił, opracowanie na wzór poradnika do projektowania domów pasywnych. Szczególną uwagę przyłożył do detali takich jak: połączenia w węzłach konstrukcyjnych, warunki cieplno-wilgotnościowe zapobiegające rozwojowi pleśni na powierzchniach przegród.

Autorki K. Krajewska, M. Śliwińska, J. Gintowt dla projektowanego kompleksu mieszkalnych budynków energooszczędnych, analizowały nasłonecznienie, usytuowanie i rodzaj okien. Kryterium analizy w tym przypadku to był komfort cieplny tak zaprojektowany aby nie dochodziło do przegrzewania pomieszczeń²¹⁹. Rzut powtarzalnej kondygnacji przedstawiono na ilustracji 18.

²¹⁷ P. Wouters, J. Schietecata, P. Standaert, K. Kasperkiewicz, *Cieplno-wilgotnościowa ocena mostków cieplnych*, ITB, Warszawa 2004.

²¹⁸ P. Jurkiewicz, *Dom pasywny. Budowa domu pasywnego z zastosowaniem popularnych rozwiązań budowlanych*, Murator plus.pl.18/10/2012.

²¹⁹ K. Krajewska, M. Śliwińska, J. Gintowt, *Designing of passive residential buildings – case study*, Technical Transactions, Kraków 2014, s. 131-136.



il. 17. Projekt apartamentowca. Rzut powtarzalnej kondygnacji. Źródło: K. Krajewska, M. Śliwińska, J. Gintowt, *Designing of passive residential buildings – case study*.

Analiza projektu wykonana przez P. Tabak, K. Stanuszek, J. Gintowt dla całego kompleksu „diamentowych apartamentów” uwzględniała wpływ zacienienia od zieleni lecz w bilansie energetycznym uwzględniono, tak jak wymagają tego wytyczne do projektowania domów o wysokiej efektywności energetycznej, jeden rok i stałą wartość zacienienia. Układ przestrzenny wraz z zagospodarowaniem zielenią przedstawiono na ilustracji 19²²⁰.

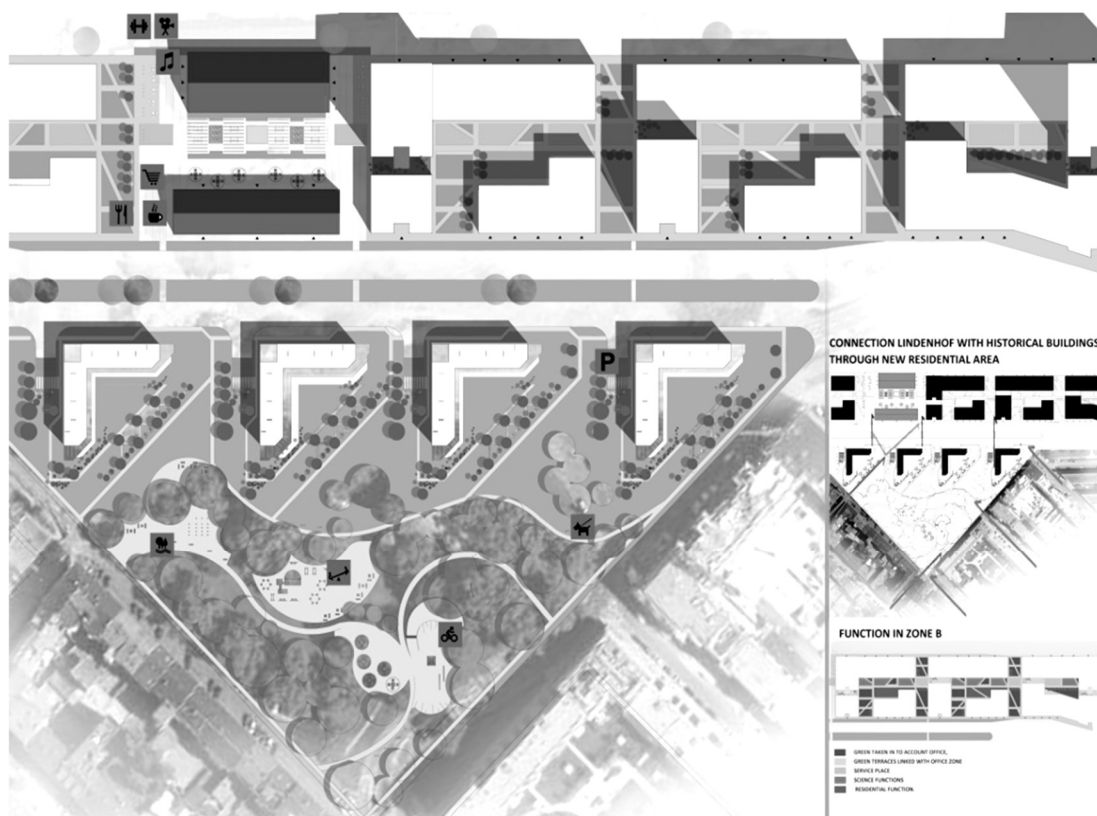
Podstawowe regulacje prawne kształtowania bilansu energetycznego budynku ze względu na ekologiczne aspekty oddziaływanie obiektu budowlanego na środowisko opisano w artykule pt. *Optimization of Low Energy Building in the Low Regulations*²²¹. Dotyczy to analizy emisji CO₂ w zależności od modyfikacji grubości i rodzaju materiału termoizolacyjnego.

Kryterium jakości akustycznej, jako jedno z głównych punktów kryterialnych w procedurze LEED, analizowali R. Polar, J. Gintowt w projekcie sali wykładowej. Przygotowano testy logatomowe, przeprowadzono ankiety, po analizie wyników zaprojektowano izolacyjność akustyczną sali wykładowej. Taki sam test przeprowadzono, dla porównania w lustrzanej sali wykładowej, ale bez izolacji akustycznej. Mimo wszystko wniosek płynący z tej analizy był zaskoczeniem

²²⁰ P. Tabak, K. Stanuszek, J. Gintowt, *Vision & reality – Glückstien quartier- conceptual design of a housing estate in the technology of passive house-project analysis*, Technical Transactions, Kraków 2014, s. 271-276.

²²¹ J. Gintowt, *Optimization of Low Energy Building in the Low Regulations*, International Conference, Technická univerzita v Košiciach- Stavebná fakulta, “BUDOWA A ENERGIA”, Podbanske, 2003, s. 71-74.

dla zespołu badaczy. Można przyjąć, iż optymalną grubości termoizolacji można przeprowadzać na podstawie testów logatomowych²²². Oczywiście inna jest podstawowa funkcja izolacji akustycznej, a inna izolacji termicznej, jednakże jednocześnie zachowane zostają właściwości izolacyjności termicznej.



il. 18. Osiedle mieszkaniowe "diamentowe apartamenty". Projekt realizowany w ramach konkursu. Źródło: P. Tabak, K. Stanuszek, J. Gintowt, *Vision & reality – Glückstien quartier- conceptual design of a housing estate in the technology of passive house-project analysis*.

3.4. Analizy krajobrazowe

Analizy krajobrazowe dotyczą zarówno badań zagospodarowania przestrzennego, jak i wewnątrz krajobrazowych. Przeprowadzono przegląd badań w tym zakresie. Ze względu na potrzebę wprowadzania zieleni w obszarach zurbanizowanych przeprowadzono analizę adaptacji drzew w tym środowisku.

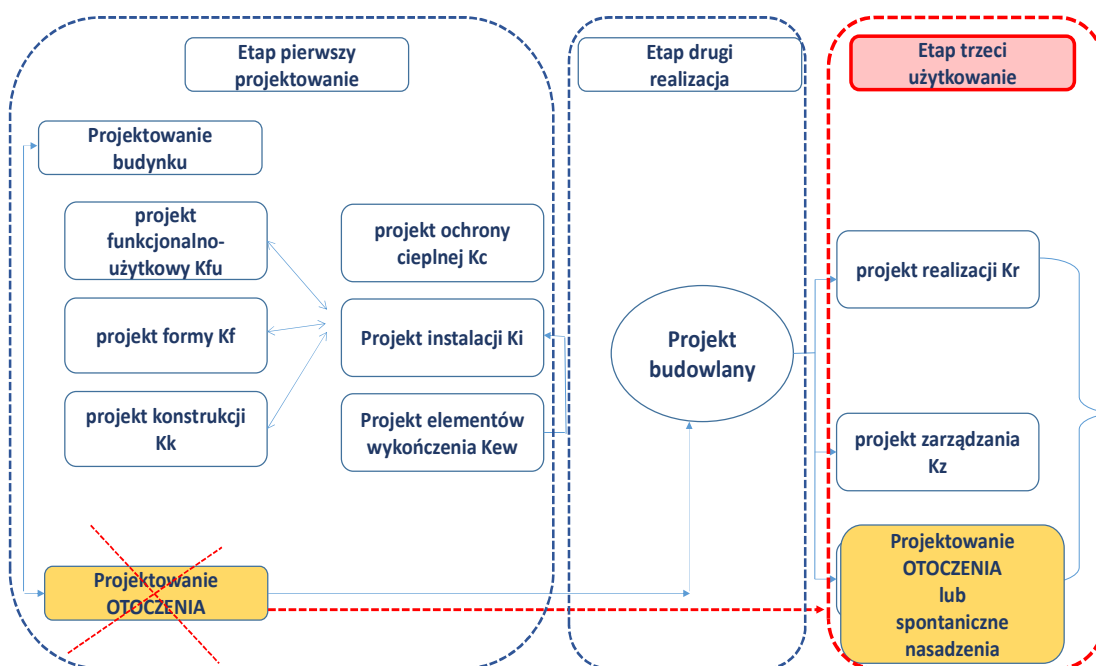
²²² R. Polar, J. Gintowt, *Effect of Reverberation on Speech. Intelligibility, Logatom test "in Situ*, Technical Transactions, Kraków 2014, s. 223-228.

3.4.1. Plany zagospodarowania przestrzennego a optymalizacja zużycia energii w budynkach

B. Podhalański²²³ zwrócił uwagę na fakt, iż w skali metropolitalnej zużywanie ogromnych ilości energii przez setki milionów użytkowników oraz transport tej energii, generuje konieczność oszczędzania energii. Autor konkluduje iż niezbędne jest minimalizowanie jej zużycia przez powszechniejsze stosowanie systemowego inteligentnego sterowania instalacjami w budynkach.

Autorzy M. Musiał, L. Lichołai, D. Katunský w publikacji *Modern Thermal Energy Storage Systems Dedicated to Autonomous Buildings*²²⁴ przedstawili aktualne wyniki badań dotyczące systemów magazynowania energii w budynkach autonomicznych. Wykonali również analizy ekonomiczne dla tych systemów w budynkach o wysokiej efektywności energetycznej.

W kontekście projektowania systemów instalacji, etap, na którym przeważnie w praktyce realizowany jest cały kompleks dom i jego otoczenie pokazano na ilustracji nr 20.



il. 19. Etapy realizacji budynku mieszkalnego i projektowania jego otoczenia w praktyce. [Opracowanie własne]

²²³ B. Podhalański, *Optymalizowanie zużycia energii w metropoliach*, Technical Transactions, Kraków 2014, s. 205-210.

²²⁴ M. Musiał, L. Lichołai, D. Katunský, *Modern Thermal Energy Storage Systems Dedicated to Autonomous Buildings*, MDPI energies 2023, s. 1-28.

W publikacji *Energy Concepts For Buildings. Methods of Presentation*²²⁵ przedstawiono koncepcję optymalizacji energetycznej budynków przez analizę dokumentacji projektowej ze szczególnym uwzględnieniem przyływu powietrza wentylacyjnego w budynkach.

Autor W. Celadyn²²⁶ zwraca uwagę na fakt, iż zazwyczaj pomijane są aspekty prawne w projektowaniu energooszczędnego budownictwa wykorzystującego energię odnawialną a związane ze specyficznymi wymaganiami przestrzennymi dla tych instalacji. Postuluje aby dla budynków wykorzystujących energię odnawialną, plany zagospodarowania przestrzennego zawierały parametry urbanistyczne adekwatne dla tego typu budownictwa.

W publikacji zatytułowanej *Diagnozowanie i projektowanie stylu krajobrazu, Problemy Ekologii Krajobrazu*²²⁷, zostało podkreślone, że diagnozowanie a także kształtowanie stylu krajobrazu posiadającego specyficzne, unikalne cechy indywidualne - genius loci to zadanie długoterminowe i trudne w projektowaniu.

M. Musiał, L. Lichołai w publikacji *The Impact of a Mobile Shading System and a Phase-Change Heat Store on the Thermal Functioning of a Transparent Building Partition*²²⁸, zaprezentowali wyniki badań in-situ nad zespolonymi oknami kompozytowymi ze zmiennofazowym akumulatorem ciepła i mobilną osłoną przeciwsłoneczną. Te badania ważne są ze względu na komfort cieplny rezydentów. Z wyników badań wynika jednoznacznie, że przegrzewanie pomieszczeń zmalało o około 30 %.

Analizy te, mimo iż, pojawia się w nich użycie pojęć takich jak: optymalizacja, energooszczędność, komfort cieplny, zieleń, wnętrza krajobrazowe, nie odnoszą się do wpływu drzew w czasie ich wzrostu na bilans energetyczny budynków zarówno wielorodzinnych jak i jednorodzinnych.

²²⁵ W. Celadyn, *Energy Concepts For Buildings. Methods of Presentation (Koncepcje energetyczne budynków. Metody prezentacji)*, Czasopismo Techniczne, Kraków 2011, s. 15-25.

²²⁶ W. Celadyn, *Architektura energooszczędna w planowaniu przestrzennym*, Czasopismo Techniczne, Kraków 2010, s. 111-120.

²²⁷ T. J. Chmielewski, *Diagnozowanie i projektowanie stylu krajobrazu*, Problemy Ekologii i Krajobrazu, Lublin 2012, s. 31-51.

²²⁸ M. Musiał, L. Lichołai, *The Impact of a Mobile Shading System and a Phase-Change Heat Store on the Thermal Functioning of a Transparent Building Partition*, MDPI Materials, 2021.

3.4.2. Analizy przestrzenne krajobrazu

W Katedrze Architektury Krajobrazu Politechniki Krakowskiej od lat prowadzone są badania i wdrażane są naukowe metody dotyczące krajobrazu i jego kształtowania. Ze względu na obszerny dorobek w tym zakresie naukowe osiągnięcia badaczy z tej katedry nazwano „Szkołą Krakowską”. Omówione zostaną więc analizy Szkoły Krakowskiej, a następnie badaczy z innych ośrodków naukowych.

W książce *Kompozycja i planowanie w architekturze krajobrazu*²²⁹ opisano podstawowe pojęcia, nazwy i zasady dotyczące planowania w architekturze krajobrazu. Autorzy J. Bogdanowski, M. Łuczyńska-Bruzda, Z. Novak²³⁰ wprowadzają nazewnictwo, pojęcia niezbędne w uporządkowaniu planowania architektury krajobrazu. Autor publikacji J. Bogdanowski²³¹ zaprezentował bogaty zasób pojęć podstawowych dotyczący metody określania jednostek wnętrza krajobrazowych.

A. Böhm w skrypcie pt. *Architektura krajobrazu, jej początki i rozwój*²³² szczegółowo omawia podstawy i początki architektury krajobrazu. Oceny krajobrazu dokonuje się między innymi na potrzeby planowania przestrzennego. W książce *Spatial planning for landscape architects: on the composition factor: a handbook for students of technical colleges*²³³ zaprezentowano podstawy planowania przestrzennego w architekturze krajobrazu.

A. Böhm przedstawił także analizę historii planów zagospodarowania przestrzennego w odniesieniu do tworzenia krajobrazu, czynników go tworzących przedstawił struktury i proces kształtowania rozwoju zrównoważonego (ładu zintegrowanego) z wpisanym w to mechanizmem funkcjonowania przyrody. Schematy określają powiązanie formułowania strategii, programowania przedsięwzięć sterujących z podejmowaniem decyzji strategicznych²³⁴.

²²⁹ J. Bogdanowski, *Kompozycja i planowanie w architekturze krajobrazu*, Ossolineum 1976.

²³⁰ J. Bogdanowski, M. Łuczyńska-Bruzda, Z. Novak, *Architektura krajobrazu*, PWN, Warszawa 1981.

²³¹ J. Bogdanowski, *Metoda jednostek i wnętrza architektoniczno-krajobrazowych (JARK-WAK) w studiach i projektowaniu (podstawowe wiadomości)*, wyd.4 Politechnika Krakowska, Kraków 1989- 1999.

²³² A. Böhm, *Architektura krajobrazu, jej początki i rozwój*, Politechnika Krakowska 1994.

²³³ A. Böhm, *Spatial planning for landscape architects: on the composition factor: a handbook for students of technical colleges*, wyd. Politechnika Krakowska, Kraków 2006.

²³⁴ A. Böhm, *Planowanie przestrzenne dla architektów krajobrazu : o czynniku kompozycji: podręcznik dla studentów wyższych szkół technicznych*, Wydawnictwo PK, Kraków, 2006, s. 153.

W artykule „*Parki przyszłości – o różnych koncepcjach kształtowania terenów zieleni w miastach*”²³⁵ zaprezentowano sposób kształtowania ciągłego, spójnego systemu terenów zieleni w mieście, zaspokajającego potrzeby mieszkańców. Omówiono zielone drogi (green ways) jako jedną z form modelowych form parków linearnych uważanych za „*korytarze ekologiczne*”.

Autorka S. Kuc²³⁶ publikacji naukowej pt. *Warunki wyboru technologii budowlanych we współczesnej architekturze krajobrazu* omówiła kryteria doboru nowych technologii, rozwiązań materiałowych w kontekście kreacji krajobrazu. Analizowała czynniki mające wpływ na podejmowanie decyzji w kształtowaniu obiektów architektury krajobrazu takich jak: miara nowoczesności technologii, kreatywność i trwałość oraz sposoby weryfikacji technologii. Zaproponowała termin „*Kryterium nowoczesności technologii*”²³⁷ rozumiane jako stopień przetworzenia, kolejność wprowadzania i częstotliwości występowania technologii.

Autorzy P. Ozimek, A. Ozimek opisali numeryczne modelowanie terenu w celu inwentaryzacji i ewaluacji zasobów krajobrazu. Zaprezentowali zagadnienie eliminowania subiektywizmu indywidualnych ocen, obiektywizacji wyników oceny i otrzymywania ich powtarzalności. Zaproponowali ocenę cech widoczności krajobrazu przy użyciu metod numerycznych²³⁸.

Chłonność widokowa zastosowana została jako narzędzie obiektywizujące do wskazywania lokalizacji krajobrazowych, które należałoby wyeksponować lub wręcz przeciwnie, schować, zasłonić. Taką analizę wykonali autorzy P. Ozimek, J. Tarko, P. Łabędź²³⁹ oraz P. Ozimek, A. Ozimek²⁴⁰. W publikacji *Analizy Krajobrazu przy użyciu narzędzi cyfrowych* autorzy P. Ozimek, A. Ozimek stosując narzędzia cyfrowe przeprowadzili parametryzację krajobrazów²⁴¹.

²³⁵ A. Zachariasz, *Parki przyszłości – o różnych koncepcjach kształtowania terenów zieleni w miastach*, Technical Transactions, Politechnika Krakowska, Kraków 2012.

²³⁶ S. Kuc, *Warunki wyboru technologii budowlanych we współczesnej architekturze krajobrazu*, Czasopismo Techniczne z. 9. Architektura z. 4-A, Kraków 2007, s. 105-112.

²³⁷ S. Kuc, *Warunki wyboru technologii budowlanych we współczesnej architekturze krajobrazu*, *ibidem*, s. 108.

²³⁸ P. Ozimek, A. Ozimek, *Analizy Krajobrazu przy użyciu narzędzi cyfrowych*, Instytut Architektury Krajobrazu, Politechnika Krakowska, Kraków 2015, *passim*.

²³⁹ P. Ozimek, J. Tarko, P. Łabędź, *Cyfrowe modele analizy krajobrazu bazujące na cyfrowych Modelach terenu systemów informacji przestrzennej*, Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego, 14 Komisja Krajobrazu Kulturowego PTG, Sosnowiec, 2010, s. 342-351.

²³⁸ P. Ozimek, A. Ozimek, *Analiza Krajobrazu przy użyciu narzędzi cyfrowych*, *op. cit.*, s. 75-81.

²⁴¹ P. Ozimek, A. Ozimek, *Analizy Krajobrazu przy użyciu narzędzi cyfrowych*, *passim*.

Z kolei R. C. Smardon, J. F. Palmer, J. P. Felleman opisali podstawowe zasady, techniki i metody analizy wizualnej. Przedstawiane zostały szczegółowe zasady oceny skutków dla krajobrazu, wnoszonych przez proponowane zmiany, przy zastosowaniu kryteriów środowiskowych, finansowych i decyzyjnych, po za pomocą nowych technik komputerowych²⁴².

D. Appleyard, K. Lynch, J.R. Myer²⁴³ w aspekcie zieleni we wnętrzach krajobrazowych zajęli się estetyką miejskich autostrad, ich wyglądem w kontekście niemierzalnych parametrów. Zastosowano sekwencyjne wizualizacje z punktu widzenia kierowcy. Zaproponowano aby kształtowanie wnętrza krajobrazowego odbywało się przez sadzenie roślin takich jak drzewa. Wizja jest ograniczona do wąskiego kąta patrzenia do przodu. Autorzy wprowadzili widok z drogi, z kinematografii, jako ideę do studiów miejskich relacji przestrzennych i zademonstrowali potencjał techniki K. Lyncha²⁴⁴ do zastosowania w badaniu środowiska z autostrad. Wraz z rozwojem technik kinematograficznych ta idea symulacji stanowiła podwaliny i pozwoliła przezwyciężyć ograniczenia narzucone przez dwuwymiarową reprezentację obrazkową do reprezentacji miejskiej przestrzennych form, zmieniając relacje między formami a przestrzenią.

D. Łowicki w artykule przedstawił nową metodologię oceny krajobrazu na poziomie subregionalnym²⁴⁵. Przyjął iż „*najważniejszy jest krajobraz widziany z często uczęszczanych dróg*”²⁴⁶ i w ten sposób można wyróżnić obszary, które powinny zostać objęte ochroną.

W kontekście kryteriów oceny wnętrz krajobrazowych, analizy wizualnej zagadnieniem zanieczyszczenia światłem we wnętrzach krajobrazowych i jego wpływem na komfort przemieszczania się w nich zajęły się K. Fila, M. Furman, J. Gintowt. Analizę przeprowadzono na przykładzie zabytkowych centrów miast²⁴⁷,

²⁴² R. C. Smardon, J. F. Palmer, J. P. Felleman, *Foundations for visual Project Analysis*, Wiley-Interscience, New York City, 1986.

²⁴³ D. Appleyard, K. Lynch, J.R. Myer, *The View from the road*, The MIT Press, Cambridge 1964, s. 16- 18.

²⁴⁴ K. Lynch, *The image of the City*. Cambridge Massachusetts: MIT Press, 1960.

²⁴⁵ D. Łowicki, *Ocena krajobrazu na potrzeby planowania przestrzennego w aglomeracji poznańskiej*. PEK, T. XXXVIII, 2014, s. 125-134.

²⁴⁶ D. Łowicki, *Ocena krajobrazu na potrzeby planowania przestrzennego w aglomeracji poznańskiej*. p. cit., s. 125.

²⁴⁷ K. Fila, M. Furman, J. Gintowt, *Illumination of architecture. The problem of light pollution*, Technical Transactions, Kraków, 2014, s. 85-90.

a publikacja pt. , *Zanieczyszczenie światłem- interdyscyplinarny problem* zawiera oceny standardów oświetlenia wnętrz krajobrazowych²⁴⁸.

Autorzy J. Marchwiński, K. Zielonko-Jung przedstawili zagadnienia estetyczne w architekturze w kontekście zarówno, jej wartości jako dzieła architektonicznego jak i idei rozwoju zrównoważonego. Na przykładach budynków w Niemczech, Japonii, USA analizowano rozwiązania służące kształtowaniu architektury proekologicznej²⁴⁹.

M. Pisarek, M. Gargała, L. Lichołai²⁵⁰ w publikacji naukowej pt.: *Polskie ogrody pokazowe jako nowe miejsca destynacji turystów*, przedstawili przestrzeń ogrodów zagospodarowanych zielenią zarówno rodzimą, jak i egzotycznymi gatunkami, jako miejsce przestrzenne pełniące rolę edukacyjną.

Badaczki J. Nita, U. Myga-Piątek przeprowadziły kolejną ocenę ale według kryterium atrakcyjności tym razem potencjału geoturystycznego terenów pogórnich²⁵¹.

L. Lichołai w publikacji *Możliwości zastosowania odnawialnych źródeł energii w miastach przyszłości*²⁵² opisał potrzeby energetyczne współczesnych przestrzennych miast, pełniących różne funkcje, od administracyjnych, przez handlowe, po kulturowe. Zwrócił uwagę na możliwość realizacji tych potrzeb przez niekonwencjonalne technologie, ale jednocześnie zaproponował aby rozważyć ewentualne zagrożenia i wady wynikające z użytkowania tych źródeł energii.

Programowanie przedsięwzięć zagospodarowania przestrzennego ma znaczenie dla podejmowania decyzji dotyczących energoefektywności znajdujących się w nich budynków i związanego z efektywnością dostosowania automatycznego sterowania instalacji w budynku do zmiennych w czasie warunków. Podstawy teorii układów automatycznego sterowania przedstawił A.A. Feldbaum²⁵³.

²⁴⁸ J. Gintowt, *Zanieczyszczenie światłem- interdyscyplinarny problem*, KOSMOS numer 4, Kraków, 2015, s. 545-552.

²⁴⁹ J. Marchwiński, K. Zielonko-Jung, *Współczesna architektura proekologiczna*, PWN, Wydanie 1, dodruk 1, Warszawa 2012, s. 83.

²⁵⁰ M. Pisarek, M. Gargała, L. Lichołai, *Polskie ogrody pokazowe jako nowe miejsca destynacji Turystów*, wyd. PAN KPZK, numer 163, 2015, s. 103-120.

²⁵¹ J. Nita, U. Myga-Piątek, *Geotourist potential of post-mining regions in Poland*, Bulletin of Geography. Physical Geography Series, No 7, 2014, s. 139-156.

²⁵² L. Lichołai, *Możliwości zastosowania odnawialnych źródeł energii w miastach przyszłości*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, z. 64, nr3/II, Rzeszów 2015, s. 181-192.

²⁵³ A. A. Feldbaum, *Podstawy teorii optymalnych układów sterowania automatycznego*, PWN, Warszawa 1967.

Żadne z powyższych badań, omawianych kryteriów oceny nie odnoszą się jednak do modelowania wnętrz krajobrazowych ze względu na możliwy ich wpływ na komfort termiczny w budynkach.

3.4.3. Wnętrza krajobrazowe

Wnętrze to wydzielona przegrodami przestrzeń, której przypisane są określone funkcje. Wnętrzem krajobrazowym zaś jest fizjonomiczne otoczenie miejsca, z którego obserwator ogląda krajobraz. Badając wybrany obszar można dokonać podziału krajobrazu na serię wnętrz krajobrazowych, najdokładniej charakteryzujących poszczególne typy i rodzaje krajobrazu²⁵⁴.

W sztuce ogrodowej w odniesieniu do budynku najbliższe jego otoczenie może być ograniczone sąsiednimi budynkami lub zielenią.

Poprzez analogię można przyjąć iż:

- Ściana wnętrza krajobrazowego to szereg drzew tak samo ograniczający to otoczenie jak ściany budynków. Przedstawiono to na ilustracji 21. Linia a-b-c to ściana na całej jej wysokości, zespoły przegród pionowych lub pochyłych ograniczających poszczególne wnętrza.

- Sklepienie to układ przegród od góry zamykających przestrzeń ponad ścianami. Są to zespoły przegród poziomych nad ścianami ograniczające poszczególne wnętrza krajobrazowe od góry. W zależności od struktury wyróżnia się zatem: sklepienie zwarte, przerywane, zmienne. Mogą one być formowane przez korony drzew lub warstwy chmur. Na ilustracji 21 oznaczono to jako punkt c.

- Parter (podłoga w budynku) to układ zespołów przegród poziomych lub nachylonych. W krajobrazie otwartym są to najczęściej płaszczyzny trawników. Płaszczyznę podłogi na ilustracji 21 oznaczono literą a.

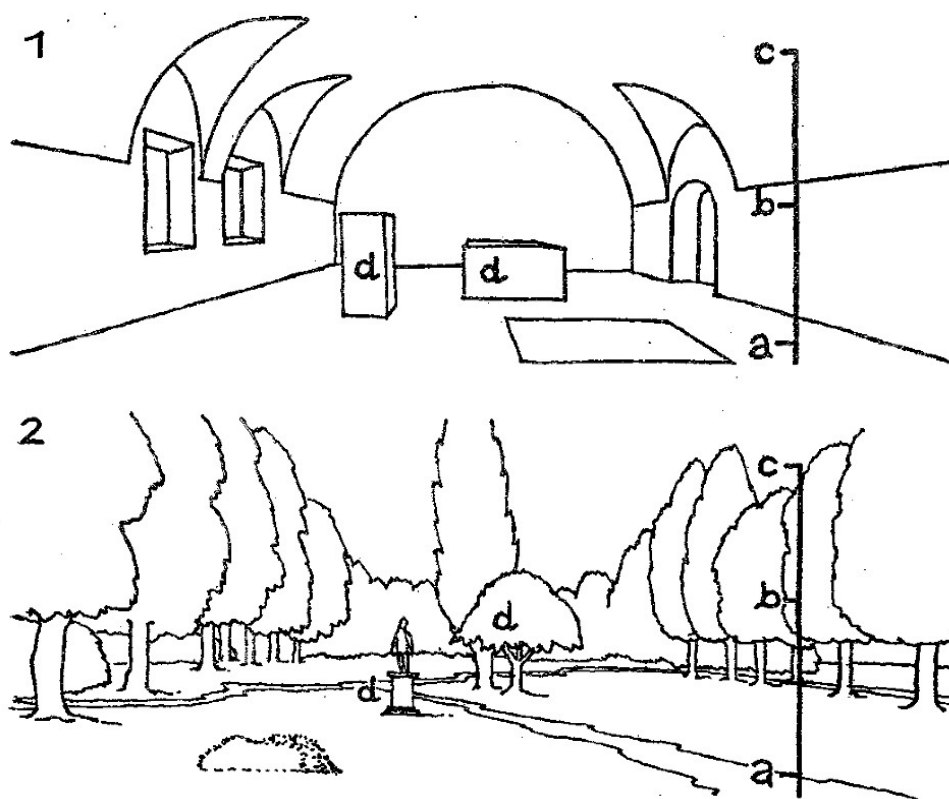
- Wypełnienie wnętrza to np. mała architektura, budynki. Na ilustracji 21 oznaczono to jako punkty d.

Projektowanie wnętrz krajobrazowych – wyodrębnionych w środowisku (zurbanizowanym, otwartym) fragmentów przestrzeni o jednorodnym charakterze formalno-użytkowym – w zależności od stopnia wypełnienia elementami przyrodniczymi ich ścian (wnętrza konkretne, obiektywne lub subiektywne)²⁵⁵

²⁵⁴ Bogdanowski J., *Kompozycja i planowanie w architekturze krajobrazu*, Ossolineum, PAN, Wrocław 1976.

²⁵⁵ J. Bogdanowski, *Style, kompozycja i rewaloryzacja w polskiej sztuce ogrodowej*, PK 1994, s. 24.

może kształtować różne odczucia estetyczne. Usytuowanie roślin wpływa na ich stan zdrowia. Jednocześnie elementy te zacieniają (lub nie) towarzyszące im budynki. Ze względu na to zacienienie zmieniają się wewnętrzne warunki komfortu cieplnego.



il. 20. Rysunek: Wnętrze architektoniczne (1) oraz krajobrazowe (2): a – płaszczyzna (podłoga, teren), b – ściany, c – sklepienie, d – bryły wolno stojące. Źródło: Bogdanowski J., *Kompozycja i planowanie w architekturze krajobrazu*, Ossolineum, PAN, Wrocław 1976, s. 61

Analiza ścian – zespołów przegród pionowych ograniczających poszczególne wnętrza krajobrazowe. Przepuszczalność ścian stanowi o charakterze wnętrza, otwarcie ściany oznaczone współczynnikiem k , wyróżnia się zatem:

- wnętrza konkretne (ściany zwarte) otwarcia ściany (wypełnienie ściany) $k > 60\%$, przedstawione na ilustracji 22.



il.21. Ściana konkretna. [Zdjęcie źródło: www.encyklopedialesna.pl]

- Wnętrza obiektywne (ściany półprzezroczyste) otwarcia ściany (wypełnienie ściany) $30\% < k < 60\%$, przedstawione na ilustracji 23.



il.22. Ściana obiektywna. [Zdjęcie źródło: www.encyklopedialesna.pl]

- wnętrza subiektywne (zaznaczone pojedynczymi elementami) otwarcia ściany (wypełnienie ściany) $k < 30\%$, przedstawione na ilustracji 24.



il. 23. Ściana subiektywna. [Zdjęcie źródło: www.encyklopedialesna.pl]

Komparatywne podejście do zagadnienia wnętrza w architekturze a wnętrza krajobrazowego daje możliwość włączenia ścian zieleni do bilansów energetycznych budynków z uwzględnieniem czasu i tempa wzrostu tej zieleni.

3.4.4. Adaptacja drzew w środowisku zurbanizowanym

Wprowadzanie zieleni do obszarów zurbanizowanych wynika z potrzeby kontaktu z naturą, obcowania z przyrodą. Zieleni pozytywnie wpływa na zdrowie psychiczne i fizyczne, a nawet wspomaga leczenie zaburzeń psychicznych. A. Staniewska obszernie napisała o idei krajobrazu terapeutycznego jako narzędzia do komponowania zespołów szpitali psychiatrycznych²⁵⁶.

Analiza wielokryterialna zieleni zawiera ocenę dotyczącą gatunków chronionych, gatunków rodzimych, wprowadzenia lub zmian lokalizacji parków, czy zmniejszenia „efektu wyspy ciepła” (dachy zielone). Natomiast dla zieleni wysokiej (drzew) stowarzyszonej z terenem przyległym (bezpośrednim otoczeniem) nie wykonuje się analiz doboru rodzaju drzewa, jego pokroju, tempa wzrostu w odniesieniu do projektowania zużycia energii. Nie włącza się jej do modelowania efektu energetycznego budynku.

Zieleni pojawia się w kontekście:

- relaksu (atria),
- zielonych dachów
- zmniejszania efektu wysp ciepła
- ogrodów wertykalnych
- zielonych balkonów

Zieleni pojawia się jako istotny element:

- ekosystemu,
- regulujący spływ wód opadowych,
- „wystroju” przestrzeni,
- widoku,
- oczyszczający powietrze z zanieczyszczeń pyłowych,
- rodzaj przestrzeni kontemplacyjnej, religijnej, sportowej,

bowiem „*drzewa to element społeczny naszego otoczenia*”, o czym przekonuje nas Peter Wohlleben²⁵⁷.

²⁵⁶ A. Staniewska, *Oblędne Ogrody: idea krajobrazu terapeutycznego w kompozycji zespołów szpitali psychiatrycznych XIX i początku XX wieku*, Kraków: wyd. Politechniki Krakowskiej 2020.

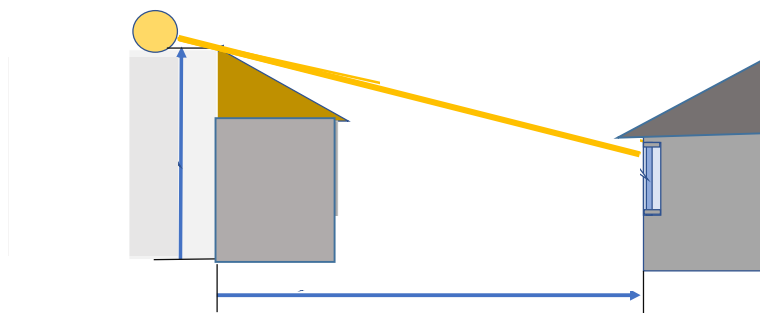
²⁵⁷ P. Wohlleben, *Sekretne życie drzew*, Wydawnictwo Otwarte, Kraków 2016.



il. 24. Bosco Verticale wieże w Milano,
Źródło: <https://architektura.muratorplus.pl/technika/wiezowce-vertical-forest-w-mirolanie-aa-Z31k-p6Zh-WjiF.html> (dostęp 14.04.2023)

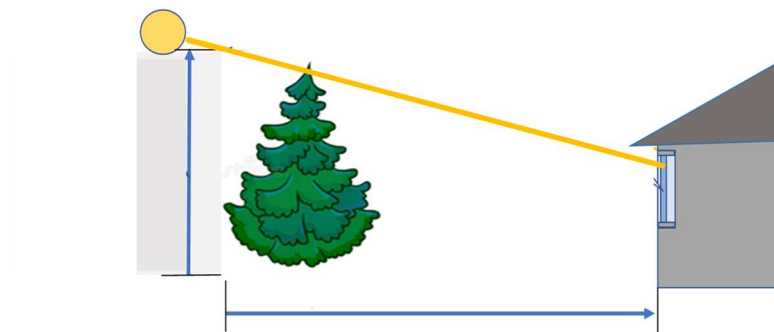
Można przyjąć, że zieleń kreuje wnętrza krajobrazowe. Przez analogię można to przedstawić jako ścianę konkretną wnętrza krajobrazowego, której tworzywo szereg budynków zastępuje szereg drzew. Przedstawiono to na ilustracji 26 i 27.

Zacienienie przez szereg budynków



il. 25. Schemat ściany konkretnej murewej- szeregu budynków. [Opracowanie własne]

Zacienienie przez szereg obiektów- zieleni

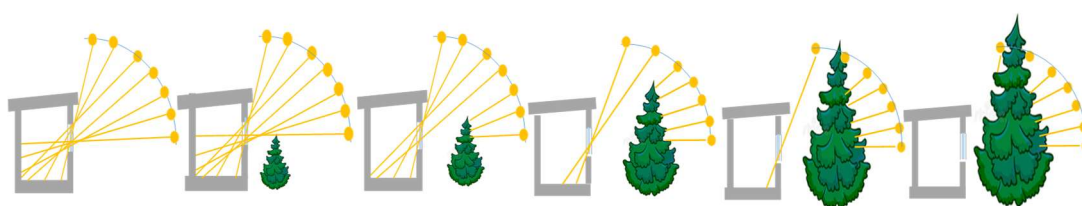


il. 26. Schemat ściany konkretnej - szereg zieleni- szereg drzew. [Opracowanie własne]

Jednakże drzewa są istotnym elementem bilansu energetycznego budynku. W bilansie energetycznym budynku co prawda uwzględnione jest zacienienie

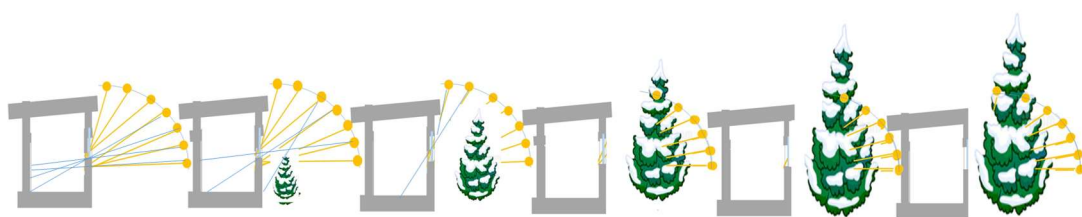
od budynków sąsiednich lecz nie od drzew. W wyniku tego nie jest brane pod uwagę zacienienie, jako funkcja wzrostu drzew w czasie, a to w bilansie energetycznym na przestrzeni lat może generować zarówno straty jak i zyski energetyczne.

Zacienienie w okresie takim jak wiosna, lato czy jesień może powodować mniejsze zyski słoneczne i (w przypadku dorosłego drzewa) brak zysków słonecznych. To może spowodować obniżenie temperatury wewnętrznej. To z kolei może skutkować nieprzegrzaniem pomieszczenia. Nie potrzebne będzie więc, aby utrzymać temperaturę na żądanym poziomie, chłodzenie pomieszczenia. Może to skutkować zmniejszonym zużyciem energii (przedstawiono to na ilustracji 28).



il. 27. Zależność głębokości nasłonecznienia pomieszczenia w zależności od wieku drzewa iglastego, okres wiosna, lato, jesień. [Opracowanie własne]

Zacienienie w okresie takim jak zima może działać odwrotnie niż dla lata. Może powodować mniejsze zyski słoneczne i (w przypadku dorosłego drzewa) brak zysków słonecznych, a to może obniżać temperaturę wewnętrzną. To może wywołać skutek jakim jest niedogrzenie pomieszczenia. Aby utrzymać minimalną temperaturę wewnętrzną może być konieczne zwiększenie wydatku energii na ogrzewanie pomieszczenia. Wynikiem będzie zwiększone zużycie energii (schematycznie przedstawiono to na ilustracji 29).



il. 28. Zależność głębokości nasłonecznienia pomieszczenia w zależności od wieku drzewa iglastego, okres zimy. [Opracowanie własne]

Zgodnie z informacjami zawartymi w katalogu drzew i krzewów pt. *Elementy naturalne środowiska. Tablice-drzewa, krzewy*²⁵⁸ pokrój drzew i tempo ich wzrostu, rodzaj ulistnienia jest bardzo różnorodny.

Charakterystykę drzewa można opisać jego parametrami takimi jak:

- Tempo wzrostu, przyrosty boczne
- Ozdobność
- Czas po jakim osiąga pełną formę/pokrój
- Maksymalny czas życia
- Rodzaj systemu korzeniowego
- Możliwość formowania
- Czystość powietrza w jakim wzrasta
 - * powietrze czyste (krajobraz otwarty)
 - * powietrze umiarkowanie czyste (obrzeża miast, parki)
 - * powietrze zanieczyszczone (miasto)
- Elementy siedliska przyrodniczego
 - * światło
 - pełne słońce
 - półcień
 - cień,
 - * wilgotność powietrza
 - powietrze o dużej wilgotności
 - powietrze umiarkowanie wilgotne
 - powietrze umiarkowanie suche
 - powietrze suche
 - * temperatura powietrza
 - * wiatr
- Gleba
 - * stopień żyzności
 - * stopień wilgotności
 - * inne wymagania np. preferowanie wapnia w podłożu.

Te czynniki wpływają na kondycję i wygląd drzewa w czasie.

²⁵⁸ K. Fabijanowska, *Elementy naturalne środowiska. Tablice-drzewa, krzewy, Tablice-drzewa, krzewy*, wyd. Politechnika Krakowska, Kraków 2014, s. 28.

System korzeniowy ma znaczenie dla bezpieczeństwa konstrukcji budynku, w tym zadaniu założenie jest że spełnione zostają warunki bezpieczeństwa tj. minimalna odległość nasadzenia od fundamentu budynku.

Pierwszorzędne znaczenie dla celu oceny i określenia współczynnika przezierności z wyżej wymienionych parametrów decydującymi są tempo wzrostu, czas po jakim osiągną pełny pokrój, kształt pokroju.

Drugorzędne znaczenie dla celu oceny i określenia współczynnika przezierności z wyżej wymienionych parametrów mają czystość powietrza, elementy siedliska przyrodniczego, gleba. Jednakże drugorzędne parametry wpływają na stan ulistnienia, choroby, tempo wzrostu.

W celu określenia współczynnika przezierności przeprowadzona zostaje analiza formy korony, tendencje wzrostu, okres wegetacyjny (lato-zima).

Kompendium wiedzy o gatunkach, rodzinach drzew, krzewów, ich tempie wzrostu (ilustracja 30), tolerancji na czynniki środowiska zawarto w książce autorstwa W. Senety pt. *Dendrologia*²⁵⁹. Przykładem jest informacja o *Pinus nigra*. W części drugiej opisano np. krzewy, drzewa owocowe. Co charakterystyczne, ciekawie W. Seneta²⁶⁰ opisał historie niektórych drzew np. *Syringa vulgaris*, a to znacząco może ułatwić ocenę wyglądu drzewa.

lat:	Szybkość wzrostu w metrach			
	<i>Taxodium</i>	<i>Sequoiadendron</i>	<i>Sciadopitys</i>	<i>Metasequoia</i>
do 10	1 – 2	1 – 1,5	0,4-0,6	4-8
do 20	2 - 3	3 - 5	1,5 - 4	do 15
do 30	4 - 6	6 - 8	4 - 6	-
do 40	6 - 8	8,5 - 11	6 - 7	-

il. 29. Szybkość wzrostu drzew zimozielonych z rodziny *Taxodiaceae*- cyprisykowate.
Źródło: W. Seneta, *Dendrologia*, część 1, PWN, Warszawa 1987, s. 87

Gatunkami o ekstremalnie przyrostach dużych przyrostach, co ma znaczenie w projektowaniu małych domów jednorodzinnych są:

Taxodium Disrichum -cyprysik błotny -może dorastać do 25 m. Ze względu na to że najlepsze warunki wzrostu osiąga na glebach stale wilgotnych i żyznych, najlepiej sadzić w okolicach stawów, oczek wodnych, akwenów. Odmiana

²⁵⁹ W. Seneta, *Dendrologia*, część 1, PWN, Warszawa 1987, s. 85-86.

²⁶⁰ W. Seneta, *Dendrologia*, część 2, PWN, Warszawa 1987, s. 277.

jest odporna na choroby i mróz. Wymaga stanowisk ciepłych i słonecznych. [https://www.szmaragdoweogrody.pl]

Sequoiadendron - mamutowiec- osiąga wysokość 130 m a średnicę 12 m. Przyrosty roczne mogą mieć 10 m w pierwszych 10-latach, a średnica pnia rocznie przyrasta około 5-10cm. Szeroki zakres tolerancji na czynniki glebowe, natomiast zmniejszona mrozoodporność. [https://www.szmaragdoweogrody.pl] (dostęp 16.03.2024)

Sciadopitys verticillata - sośnica - gatunek endemiczny: dorasta do wysokości 40m, w Polsce ok. 10 m. Wymagania glebowe: gleba żyzna i urodzajna, przepuszczalna, odwapniona. odmiany kolekcjonerskie rzadko występujące to Golden Rush, Grune Kugel [https://www.szmaragdoweogrody.pl]

Metasequoia – metasekwoja – endemiczne drzewo (nazywane żywą skamieniałością) o wroście do 30m, gubiące igły na zimę, długowieczne. Wymagania glebowe to: stała wilgotność, gleba zakwaszona i żyzna. Odmiany dobrze rosnące w Polsce: Goldrush, Miss Grace, Rogów. [https://www.szmaragdoweogrody.pl]

Drzewa liściaste:

Forma korony.

K. Fabijanowska w książce pt. *Elementy naturalne środowiska. Tablice-drzewa, krzewy* ²⁶¹ skatalogowała drzewa i krzewy. I tak niektóre rodzime gatunki mają regularną formę korony (jak buk pospolity), inne nieregularną (jak robinia biała) lub umiarową leżącą. Przedstawiono to na ilustracji 31.

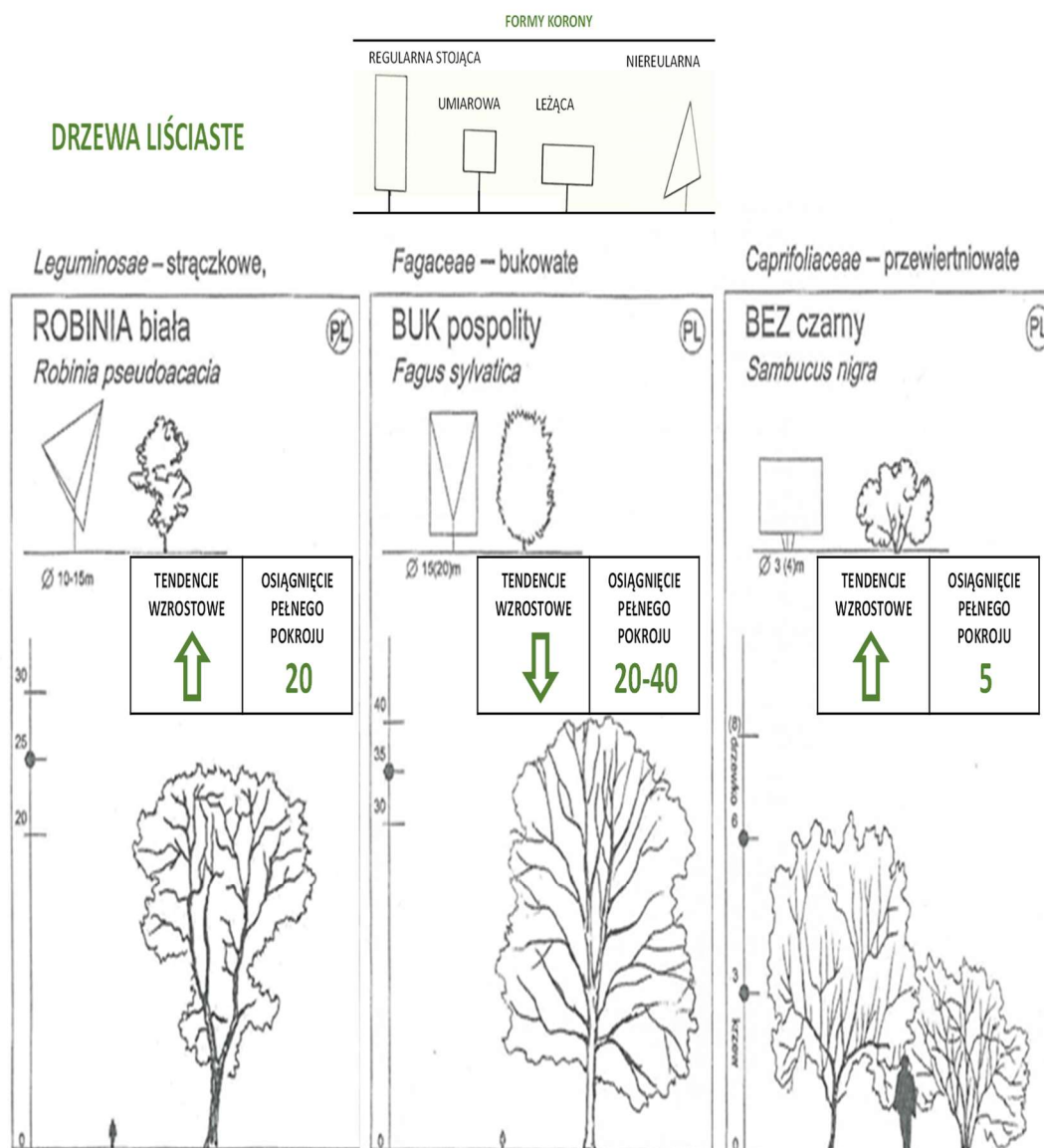
Tendencje wzrostu są albo bardzo duże (i to w pierwszych latach po posadzeniu) (jak robinia biała około 20 lat osiąga stałą formę korony) a powolne, jak buk pospolity, który pełną formę korony osiąga między 20 lub 40 rokiem wzrostu, zaś bez czarny po 5 latach. Ma to znaczenie dla określenia współczynnika przezierności w poszczególnych latach wzrostu do pełnej formy, a to z kolei ma wpływ na zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania w każdym kolejnym roku użytkowania budynku.

Ulistnienie zmienia się zgodnie z cyklem lato-zima. Dla wybranych grup drzew jako reprezentatywnych dla grupy drzew iglastych (zimozielonych) oraz grupy drzew

²⁶¹ K. Fabijanowska, *Elementy naturalne środowiska. Tablice-drzewa, krzewy*, op. cit., s. 32, 38, 82, 112, 126, 144.

liściastych sporządzono schematy tempa wzrostu, czasu wzrostu, rodzaju pokroju, czas osiągnięcia dojrzałej formy/pokroju, kształtu i formy korony drzewa.

Zestawienia dla drzew liściastych przedstawiono na ilustracji 31.



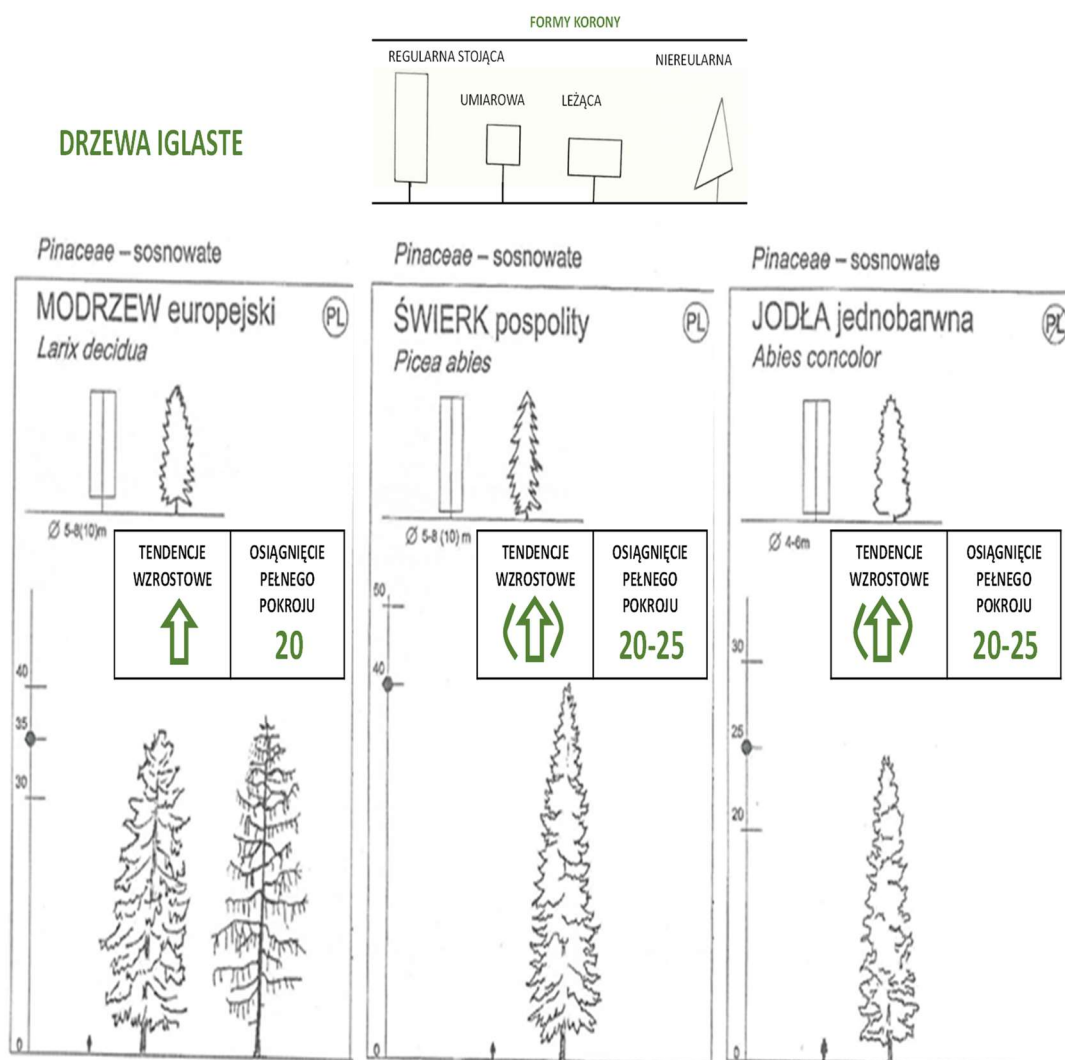
il. 30. Formy korony i czas wzrostu dla wybranych drzew liściastych. Źródło: K. Fabijanowska, *Elementy naturalne środowiska. Tablice-drzewa, krzewy*

Drzewa iglaste:

Forma korony.

Generalnie można przyjąć iż forma pokroju dla drzew iglastych jest regularna stojąca. Rodzime gatunki o regularnej stojącej formie pokroju to modrzew europejski, świerk, jodła. Przedstawiono to na ilustracji 32.

Tendencje wzrostu albo bardzo duże (i to w pierwszych latach po posadzeniu), jak modrzew europejski, który około 20-go roku osiąga stałą formę korony), albo wolniejsze. Świerk pospolity osiąga pełną formę pokroju po około 40 latach, zaś jodła koło 25 roku. Ma to znaczenie dla określenia współczynnika przezierności w poszczególnych latach osiagania pełnej formy, a to z kolei ma wpływ na zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania w każdym kolejnym roku użytkowania budynku.



il. 31. Formy korony i czas wzrostu dla wybranych drzew iglastych. Źródło: K. Fabijanowska, *Elementy naturalne środowiska. Tablice-drzewa, krzewy*

Igliwie zmienia się zgodnie z cyklem lato-zima, jak w przypadku modrzewia europejskiego, zaś świerk, sosna i jodła nie tracą igieł na zimę (wymieniają je co kilka lat).

Zieleń wpływa na redukcję poziomu hałasu. J. Grysiewicz, M. Kosmala przedstawili i opisali wyniki prac badań tłumienia hałasów przez strefy brzegowe niektórych parków i lasów komunalnych.²⁶²

Zieleń jest miejscem naturalnego bytowania dla zwierząt, owadów. Przykładem są tzw. zielone przystanki i eko-parkingi lub zielone dachy także zmniejszające efekt tzw. wyspy ciepła. W. Celadyn przeprowadził analizę zieleni jako pokrycia, na kształtowanie powierzchni dachowych – zielone dachy²⁶³.

J. Gehl zwraca uwagę na to, iż po wprowadzeniu zieleni na publicznych przestrzeniach miast stają się one miejscami odpoczynku i integracji międzyludzkich²⁶⁴.

Tereny zielone, w przeciwieństwie do terenów utwardzonych, zatrzymują część wody opadowej. Ma to wpływ na ograniczenie skali lokalnych podtopień, a drzewa w tym przypadku, można potraktować jak „zbiorniki retencyjno-infiltracyjne”. A. Boczoń, M. Wróbel przeprowadzili badania poboru wody przez drzewa²⁶⁵.

Zieleń jest także naturalnym filtrem zanieczyszczeń gazowych, pyłu zawieszonego PM10. J. Mazur analizowała wpływ roślin zielonych na jakość powietrza. Wpływ roślin zimozielonych np. *Hedera felix*, *Parthenocissus quinquefolia*, *Fagus sylvatica* na fasadach wertykalnych ma znaczący wpływ na redukcję zanieczyszczenia powietrza cząstkami pylastymi²⁶⁶.

Gospodarka o obiegu zamkniętym sprzyja rozwiązaniom technologicznym takim jak metoda hydrofitowa, stosowanym w ochronie wód i ponownym ich wykorzystaniu. M. Gajewska podkreśla iż technologia hydrofitowa spełnia kilka funkcji takich jak: „zaopatrzeniowa (czysta woda i biomasa), wspomagająca

²⁶² J. Grysiewicz, M. Kosmala, *Zieleń przeciw decybelom*, Problemy nr 2/78.

²⁶³ W. Celadyn, *Wpływ roślinności, jako pokrycia, na kształtowanie powierzchni dachowych*, rozprawa doktorska, Czasopismo Techniczne, Kraków 1982.

²⁶⁴ J. Gehl, *Life between buildings, Using public space*, The Danish Architectural Press, 1971, passim.

²⁶⁵ A. Boczoń, M. Wróbel, *Wpływ suszy na pobór wody przez sosnę zwyczajną (Pinus Sylvestris L.) o różnej pozycji w drzewostanie*, Leśne Prace Badawcze, Grudzień 2015, Vol. 76 (4), s. 370–376.

²⁶⁶ J. Mazur, *Plants as natural anti-dust filters – preliminary research*, Technical Transactions, wyd. Politechnika Krakowska, Kraków 2018, s. 165-172.

(bioróżnorodność, tworzenie siedlisk, wspomaganie obiegu wody i materii i in.), regulacyjne (regulacja podtopień, temperatury)”²⁶⁷.

W tym kontekście analizowano przyczyny usychania drzew wprowadzonych do funkcjonujących obszarów miejskich. Przyczynami tymi są: zbyt płytkie lub głębokie nasadzenia, utrudnienia w wymianie zarówno gazowej jak i wody. Na tej podstawie sformułowano pojęcie „wynaturzenie przestrzeni miejskich”, które oznacza utrudnienia we wprowadzaniu drzew do struktury miejskiej. Ma to znaczenie, co podkreśla W. Bobek²⁶⁸, dla określenia wpływu tych czynników na wzrost drzew, na już istniejących obszarach zabudowy.

W publikacji „Dobór drzew i krzewów do warunków przyulicznych Warszawy i miast centralnej Polski” autorzy J. Borowski, P. Lachota omówili podobny problem nowych nasadzeń drzew w obszarach miejskich na przykładzie Warszawy. Zanalizowano przyczyny zasychania drzew pod wpływem „presji środowiska miejskiego”²⁶⁹ oraz zaproponowano, aby nasadzenia były wytrzymałe w perspektywie czasowej 20-tu lat („Konieczne jest zatem szukanie gatunków i odmian drzew, które mogłyby zadowalająco rosnać przy ulicy choćby przez dwadzieścia lat”)²⁷⁰.

A. Węgiel, T. Maliński, J. Bocianowski, G. Rączka, D. Sugiero²⁷¹ zaprezentowali rozwiązania pozwalające na szacowanie wieku drzew: wzory empiryczne lub tabele wiekowe. Obliczono dokładność 95%-ową wynikającą m.in. z tego, że np. w miastach drzewa rosną w innym tempie z powodu niekorzystnych warunków środowiskowych.

P. Sikorski, S. Parafjańczuk, M. Wierzba, D. Sikorska, J. Borowski, I. K. Vitasović oceniając wpływ zieleni na retencję wody, opisali problemy

²⁶⁷ M. Gajewska, *Złoża hydrofitowe z pionowym przepływem ścieków. Charakterystyka procesów i zastosowań*, Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska, PAN, vol 150, Warszawa 2019, s. 3.

²⁶⁸ W. Bobek, *Nowoczesne technologie budowlane wykorzystywane podczas wprowadzania drzew w silnie przekształconych przestrzeniach miasta*, Czasopismo Techniczne, Kraków 2010, s. 269-277.

²⁶⁹ J. Borowski, P. Lachota, *Dobór drzew i krzewów do warunków przyulicznych Warszawy i miast centralnej Polski*, Rocznik Dendrologiczny Vol.54, Warszawa 2006, s. 83-93.

²⁷⁰ J. Borowski, P. Lachota, *Dobór drzew i krzewów do warunków przyulicznych Warszawy i miast centralnej Polski*, *ibidem*, s. 84.

²⁷¹ A. Węgiel, T. Maliński, J. Bocianowski, G. Rączka, D. Sugiero, *Wzory empiryczne do określania wieku drzew robinii akacjowej (Robinia pseudoacacia L.) na podstawie obwodu pnia*, Sylwan 161 (10), 2017, s. 831-841.

gospodarowania wodą na terenach m.in. zurbanizowanych w kontekście ochrony wód, nielegalnej dyspersji w lasach lęgowych²⁷².

Określono jak zbadać zdolność różnych gatunków drzew do aklimatyzacji środowisku miejskim. Ma to znaczenie dla określenia przyczyn chorób drzew nierównomiernego tempa wzrostu, a opisano to w publikacji *Ability of various tree species to acclimation in urban environments probed with the JIP-test*²⁷³.

Ze względu na specyfikę obszarów zurbanizowanych, jakość powietrza, intensywność opadów deszczu omówiono przykłady zieleni w mieście, która ma wyjątkowo trudne warunki wzrostu i wymaga szczególnej pielęgnacji.

Sposobem kształtowania ścian pionowych krajobrazowych są ogrody wertykalne. Od pierwszych sprzed 2500 lat ogrodów Semiramidy (ale nie przystosowanych do klimatu umiarkowanego), po dostosowane do warunków klimatu umiarkowanego prezentuje PLGBC²⁷⁴ (Polish Green Building Council). Pierwszy wertykalny ogród w Polsce – naukowy ogród wertykalny w Olsztynie przy siedzibie rektoratu Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, który powstał w 2014²⁷⁵ dostosowany do warunków klimatu umiarkowanego, przedstawiono na ilustracji 33.



il.32. Pierwszy ogród pionowy dostosowany do warunków klimatycznych w Polsce. Źródło: <https://www.plantia.pl/article/ogrody-wertykalne-w-polsce-czy-znasz-ich-tajemnice-439> (01.06.2024)

²⁷² P. Sikorski, S. Parafjańczuk, M. Wierzba, D. Sikorska, J. Borowski, I. K. Vitasović, *Case of illegal dispersion in riverside forests in terms of high tourist pressure, Problems of water management in forest, urban and rural areas*. Wydawnictwo Naukowe Bogucki, Poznań 2015, s. 131-144.

²⁷³ T. Swoczyna, H.M. Kalaji, S. Pietkiewicz, J. Borowski, *Ability of various tree species to acclimation in urban environments probed with the JIP-test*, *Urban Forestry & Urban Greening* 2015, 14(3), s. 544- 553. *Ability of various tree species to acclimation in urban environments probed with the JIP- test*, *Urban Forestry & Urban Genin*, 4(3), 2015, s. 544-553.

²⁷⁴ Biuro Ars Retail – memeber PLGBC<http://zielone-sciany.pl/> (31 marca 2023).

²⁷⁵ *W Olsztynie powstał pierwszy w kraju zewnętrzny ogród wertykalny*, <https://naukawpolsce.pl/aktualnosci/news%2C401974%2Cw-olsztynie-powstal-pierwszy-w-kraju-zewnetrzny-ogrod-wertykalny.html> (01.06.2024)

Elementy zieleni pojawiają się na zielonych balkonach w kompozycji z wertykalnymi ogrodami w zabudowie jednakże głównie jako zielen ekstensywna jako warzywnik lub ogród ziołowy (przykładem jest projekt zabudowy przy ul. Armii Krajowej w Krakowie). M. Sych, K. Hodor podnoszą zagadnienie komponowania ogrodów pionowych w przestrzeni osiedlowej²⁷⁶.

Przykładem zieleni wymagającej specjalnej pielęgnacji jest zielen okien przestrzennych. Okna kwiatowe odnoszące się do kształtowania architektury krajobrazu w kontekście modelowania przegród przezroczystych omówiła S. Kuc²⁷⁷.

J. Kronenberg, T. Bergier zaprezentowali analizy wielokryterialne doboru nowych okien²⁷⁸, technologii i materiałów w architekturze krajobrazu.

B. Kwoczyńska, M. Uruszczak, U. Myga-Piątek, M. Szczepańska²⁷⁹ w publikacji „*Planowanie krajobrazu a rozwój regionalny. Architektura krajobrazu w polityce rozwoju regionalnego w Polsce*” odnieśli się do współczesnych zagrożeń niedopasowania przypadkowych inwestycji do otoczenia i obiektów realizowanych na obszarach poeksploatacyjnych. Omówiono brak formalnych uwarunkowań do planowania i realizacji inwestycji w odniesieniu do budownictwa i architektury krajobrazu w kontekście zieleni i otoczenia budynków.

Oprócz ogrodów wertykalnych można zielen w obszary zurbanizowane wprowadzać tak jak zaproponowała A. Zachariasz²⁸⁰ jako ogrody krajobrazowe kształtujące wnętrza krajobrazowe.

Wprowadzenie zieleni na obszary zurbanizowane może odbywać się antropogenicznie przez nasadzenia, ale także przez naturalną sukcesję. K. Wielgus, Z. Myczkowski zaproponowali, aby onegdaj porzucone obszary nazwać krajobrazami

²⁷⁶ M. Sych, K. Hodor, *Komponowanie krajobrazu przestrzeni osiedlowej ogrodami pionowymi*, Czasopismo Techniczne, Kraków 2012, s. 280-286.

²⁷⁷ S. Kuc, *Okna przestrzenne jako baza tworzenia okien kwiatowych: praca doktorska*, wyd. Politechnika Krakowska, Kraków 1997, s. 236-243.

²⁷⁸ J. Kronenberg, T. Bergier, *Wyzwania zrównoważonego rozwoju w Polsce*, Fundacja Sendzimira, Biblioteka Śląska 2010, s. 392-409.

²⁷⁹ B. Kwoczyńska, M. Uruszczak, U. Myga-Piątek, M. Szczepańska, *Planowanie krajobrazu a rozwój regionalny. Architektura krajobrazu w polityce rozwoju regionalnego w Polsce*, Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego, Kraków 2015.

²⁸⁰ A. Zachariasz, *O architekturze krajobrazu, kompozycji krajobrazu i specjalistycznej terminologii – rozważania wprowadzające*, *Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego - Dissertations of Cultural Landscape Commission* Nr 32, Komisja Krajobrazu Kulturowego Polskiego Towarzystwa Geograficznego, Sosnowiec 2016, s. 11-29.

zaniechanymi²⁸¹, zaś ich metamorfozę (wynikającą z naturalnej sukcesji zieleni) „naturalną rekultywacją”²⁸².

P. Patoczka²⁸³ opisał, iż na przestrzeni lat w koncepcjach kształtowania wnętrza krajobrazowych jakimi są parki i ogrody, jest odniesienie do zacienienia placów zabaw. W tych koncepcjach brakuje odniesienia do aspektów energetycznych budynków. Także samo P. Patoczka odniósł się do pojęcia cienia w porządkowaniu pojęć stosowanych w architekturze²⁸⁴. Nie opisuje to jednak współczynnika zacienienia od sąsiednich budynków.

Nie ma odniesienia do komfortu cieplnego rezydentów budynków, nie ma też nawiązania do bilansu energetycznego budynku. W poszukiwaniach elementów zacienienia budynków przez drzewa skupiono się także na analizach naukowych dotyczących ogrodów pionowych, zieleni na dachach czy słownictwie architektury krajobrazu. W specyficznym języku architektury nie ma odniesienia do komfortu cieplnego rezydentów, jako uwzględnienia tych elementów przyrodniczych, które mają wpływ na wynik bilansu energetycznego budynku.

Oczywiście zieleni ma wpływ na redukcję efektu wysp ciepła. W przypadku, gdy są to zielone dachy, warstwy tej przegrody mają wpływ na zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania, jednakże nie uwzględnia się o obliczeniach ich wzrostu, zmiennego zacienienia. Przyjmowana jest stała wartość oporu cieplnego warstwy zieleni na dachu. Obliczenia zapotrzebowania ciepła do celów ogrzewania wykonywane są dla jednego roku.

Zieleni wertykalna, na fasadzie budynku może zostać włączona do bilansu energetycznego budynku ale w obliczeniach jest traktowana jako kolejna warstwa przegrody pionowej i wliczana do oporu cieplnego. W obliczeniach nie jest elementem zmiennym w czasie. Jedynie zanieczyszczenia, które pochłania w czasie wzrostu, bywają sumowane na przestrzeni lat.

Kreacje konserwatorskie w krajobrazie kulturowym, które: „*Powinny tworzyć podstawę dla ustalenia reguł badania i działania w zakresie kultywowania treści*

²⁸¹ K. Wielgus, Z. Myczkowski, *Krajobrazy zaniechane, Krajobrazy zaniechane*, Technical Transactions, Politechnika Krakowska, Kraków 2007, s. 179-181.

²⁸² K. Wielgus, Z. Myczkowski, *Krajobrazy zaniechane*, op. Cit., s. 180.

²⁸³ P. Patoczka, *Mała architektura we wnętrzach krajobrazu*, Czasopismo Techniczne, Politechnika Krakowska, Kraków 2012.

²⁸⁴ P. Patoczka, *Pojęcia stosowane w architekturze krajobrazu*, Teka Komisji Architektury Urb. Stud. Krajobr., OL PAN, VIII/1, Kraków, s. 116-123.

*danego krajobrazu kulturowego*²⁸⁵ nie przewidują procedury restauracji i włączenia zieleni w obliczenia zapotrzebowania energii do celów ogrzewania budynków. Także w przypadku krajobrazów zaniechanych, które nie stanowią „bytu formalno-prawnego”²⁸⁶, logicznie rzecz biorąc, skoro nie są umocowane formalno-prawnie nie ma nawiązania zieleni do bilansu energetycznego budynków.

W powyższych analizach naukowych dotyczących potrzeby zieleni na obszarach miejskich, istotnych elementów przyrodniczych wewnątrz krajobrazowych, projektowania architektonicznego uwzględniającego wiele kryteriów, nie znaleziono odwołania zagadnienia kształtowania wewnątrz krajobrazowych, w kontekście bilansowania energii budynków i komfortu rezydentów, do wieloletniego wpływu zieleni na bilans energetyczny budynku.

3.4.5. Badania „in situ” stanu drzew. Modelowanie stanu drzew

Coraz powszechniej prowadzone są badania stanu drzew i ich analizy pod kątem przyczyn nieprawidłowego wzrostu oraz jakości pokroju korony drzew. Ocena stanu drzew ma znaczenie dla modelowania przezierności drzew w czasie ich wzrostu. Poniższy przegląd opracowań naukowych, publikacji, wyników badań jest próbą odpowiedzi na pytanie w jakim wieku drzewa osiągają dojrzałość a więc wysokość, pokrój i czasza przestają podlegać dynamicznej zmianie, bowiem ma to kluczowe znaczenie dla przyjęcia perspektywy czasowej, w ramach której ma być przeprowadzona optymalizacja wpływu drzew na bilans energetyczny budynku. Parametrem mającym wpływ na bilans cieplny budynku ma ażurowość drzew. W pracy zaproponowano termin przezierność (adekwatnie opisujący prześwity w koronie drzew).

W Słowniku Języka Polskiego z 1954 roku autor powiadamia iż termin „przezierny” odnosi się do nauk medycznych.

²⁸⁵ Z. Myczkowski, *Kreacja konserwatorska w krajobrazie kulturowym*, Czasopismo Techniczne, Kraków 2007, s. 57-59.

²⁸⁶ K. Wielgus, Z. Myczkowski, *Krajobrazy zaniechane*, op. cit., s. 181.

**przezierny med. «przejrzysty, przezroczysty»:
Rogówka obrzękła (...) jest zmętniała, jedynie
część górnoskroniowa jest bardziej przezierna.
Pol. Tyg. Lek. 33, 1954.**

il. 33. Oryginal tekstu (starodruk) ze Słownika Języka Polskiego definiujący słowo „przezierny”.
Źródło: W. Doroszewski (redakcja), Słownik Języka Polskiego, PWN, powołuje się na Dygas. Now. VIII, 107,
Pol. Tyg. Lek. 33, 1954, s. 460. <https://sjp.pwn.pl/so/lista/P.html> (dostęp (23.05.2023.)

Etymologia²⁸⁷ słowa „przezierny”:

Pierwszą informację o załączku słowa podaje M. Samuel Bugusław Linde: „*przez szpary patrzeć*”²⁸⁸. W. Doroszewski określa *przejrzystość* „*przezroczystość, ażurowość*”²⁸⁹ i przytacza, że *przejrzysty* „*taki który można przejrzeć na wylot, przez który można zobaczyć to, co jest po drugiej stronie; przeświecający, ażurowy*”²⁹⁰ a dalej podaje przykład: *Zielone strugi gałęzi, sphywając od wierzchołka brzozy do ziemi, utworzyły dokoła nas wiotki, przejrzyste namioty.*

W słowniku²⁹¹ synonimami do przezierny są „*przeświecać, przebijać przez coś, przebłyskiwać*”, zaś przykład wybrzmiewa: *Światło przezierny przez obłoki.*

Termin „przezierność” w budownictwie pojawia się w zagadnieniach dotyczących przesł gambionowych, szkła odżelazionego, szkła aktywnego, szkła z powłoką kwantową:

- w określeniu prześwitów w przesłach gambionowych²⁹²
- w parametrze opisującym świetlik dachowy²⁹³

²⁸⁷ A. Bruckner, *Słownik etymologiczny języka polskiego*, Kraków 1927 (przedruk 1958), Etymon: u starożytnych Greków –επιμον to prawda, istota, znaczenie.

²⁸⁸ M. Samuel Bogusław Linde, *Słownik Języka Polskiego*, tom IV dedykowany księciu Adamowi Czartoryskiemu, Zakład Narodowy imienia Ossolińskich 1811, wyd.2 Lwów 1858, s. 612.

²⁸⁹ W. Doroszewski, (zastępcy Stanisław Skorupka, Halina Auderska), *Słownik Języka Polskiego*, PAN, T7, Warszawa 1965, s. 240.

²⁹⁰ W. Doroszewski, (zastępcy Stanisław Skorupka, Halina Auderska), *Słownik Języka Polskiego*, ib. 241.

²⁹¹ B. Dunaj, (redaktor naukowy), *Słownik Współczesnego Języka Polskiego*, Wilga, Warszawa 1996, s. 898.

²⁹² *Odległości pomiędzy poszczególnymi panelami można regulować uzyskując większą lub mniejszą przezierność ogrodzenia (uzyskując pełne zasłonięcie) lub w części (uzyskując częściową przezierność ogrodzenia)* <https://www.westagroup.pl/pl/produkt/433-przesla--bramy--furtki-ogrodzeniowe> (dostęp (21.04.2023)).

²⁹³ *współczynnikiem przenikania światła jest 30 procentowa przezierność świetlików* <https://inzynerbudownictwa.pl/wymagania-prawne-oraz-kryteria-doboru-swietlikow-i-klap-dymowych/> (dostęp 15.04.2023)

- w konstrukcjach sufitów podwieszanych²⁹⁴
- w zapisach dotyczących parametrów okien, w których zastosowano nowe rodzaje szyb:²⁹⁵
 - w informacji o innowacyjnym szkłe aktywnym²⁹⁶
 - w realizacjach ścian SMART z zastosowaniem szkła aktywnego²⁹⁷
 - w szybach z powłoką kwantową²⁹⁸.

Wobec etymologii tego słowa, przytoczonych przykładów, znaczenia tego słowa można pojęcie **przezierność** (w tym kontekście rozumianej jako ażurowość drzewa) zastosować do współczynnika przepuszczalności promieni słonecznych przez drzewa.

²⁹⁴ kasetonowy rastrowy na konstrukcji T15, system DELTA-T to standardowa konstrukcja nośna na profilach T15/T24 stosowana, do montażu sufitu podwieszanego typu „open-cell” o bardzo wysokiej **przezierności** <https://www.artbud.pl/pl/p/Sufit-kasetonowy-rastrowy-na-konstrukcji-T15-System-DELTA-T/41702> (dostęp 12.02.2024).

²⁹⁵ By pogodzić wyższą izolacyjność okien z ich dobrą **przeziernością**, stosuje się nowe rodzaje szkła np. szkło odżelazione czy też szkło o selektywnym działaniu – ma ono powłoki prawie niewypuszczające ciepła z pomieszczenia, a jednocześnie w niewielkim stopniu ograniczające ilość światła docierającego do wnętrza <https://www.grupapbs.com.pl/porady/porada/okna-do-domu-energooszczednego.html> (dostęp 14.06.2023).

²⁹⁶, innowacyjne szkło aktywne o zmiennej **przezierności**... dla którego... inwestor może skorzystać z nowego rozwiązania, jakim jest możliwość stopniowego ściemniania szkła – od pełnej transparentności, przez półprzezroczystość, aż po całkowitą **nieprzezierność**. <https://www.architekturaibiznes.pl/priva-lite-szklo-o-zmiennej-przeziernosci,9865.html> (dostęp 15.06.2023).

²⁹⁷ E. Ryńska, *Coraz bardziej SMART*, Builder Architektura i Design, 2017, *W analizie i omawianiu nowych technologii fasad, wprowadza się wątek **przezierności** ścian-szyb z materiału o nazwie PRIVA LIT.* http://buildercorp.pl/wp-content/uploads/2017/02/B_02_2017_smart.pdf (dostęp 20.03.2024).

²⁹⁸ D. Cycoń, *Szyba z powłoką kwantową z nagrodą za innowacyjność podczas BAU w Monachium, ML System, pozwoli generować darmową energię elektrycznej ze słońca, przy jednoczesnym zachowaniu **przezierności**, a także wysokiego współczynnika izolacyjności. Dodatkowymi korzyściami szyb z powłoką kwantową jest ograniczenie zjawiska nagrzewania się pomieszczeń oraz generowanie energii nawet ze sztucznego oświetlenia. Kąt padania światła nie ma wpływu na sprawność powłok,* <https://mlsystem.pl/szyba-z-powloka-kwantowa-z-nagroda-za-innowacyjnosc-podczas-bau-w-monachium/> (dostęp 21.04.2023).

Nowoczesne technologie zapobiegające nienależytemu wzrostowi drzew przedstawił W. Bobek w publikacji *Nowoczesne technologie budowlane wykorzystywane podczas wprowadzania drzew w silnie przekształconych przestrzeniach miasta*²⁹⁹.

Metodą stosowaną do oceny stanu drzew jest między innymi Statics Integrated Measuring (SIM- Zintegrowany Pomiar Statyczny). Na podstawie tych badań określone są tzw.: wytrzymałość podstawowa S_g i uogólniona krzywa wywracania. Wytrzymałość podstawową³⁰⁰ podaje się w procentach (wartość wytrzymałości hipotetycznie całego, zdrowego drzewa jest zawsze taka sama dla wytrzymałości pnia na złamanie i stabilności drzewa w gruncie). Statyka drzewa jest to klasyczne zadanie inżynierskie, rozwiązywane ze względu na bezpieczeństwo budynków, ale też przede wszystkim dotyczące bezpieczeństwa drzew co zanalizowały M. Siewniak, A. Mitkowska³⁰¹. W zakresie statyki i bezpieczeństwa drzewa L. Wessolly, M. Erb opracowali kompleksowy podręcznik dla miejskich terenów zieleni, wykorzystywany przez urzędników, ekspertów i projektantów i użytkowników³⁰².

Z analizy przeprowadzonej przez I. Szatkowską wynika że, oprogramowanie typu „System Informacji Geograficznej” GIS (Geographic Information System) daje możliwość dostępu do „...informacji opisowej takiej jak gatunek drzewa, wiek, wysokość, kondycja czy status ochronny”³⁰³.

Badania dotyczące zieleni – drzew koncentrują się także na modelowaniu komputerowym. Celem wnikliwej analizy przeprowadzonej przez A. Ozimek zaprezentowanie możliwości parametrycznego generowania modeli drzew w skali 3D z obrazowaniem w skali 2D– LIM (ang. Landscape Information Model - Model Informacji o Krajobrazie)³⁰⁴.

²⁹⁹ W. Bobek, *Nowoczesne technologie budowlane wykorzystywane podczas wprowadzania drzew w silnie przekształconych przestrzeniach miasta*, Czasopismo Techniczne, Kraków 2010, s. 269-277.

³⁰⁰ M. Siewniak, A. Mitkowska, *Tezaurus Sztuki Ogrodowej*, Oficyna Wyd. RYTM, Warszawa 1998.

³⁰¹ M. Siewniak, A. Mitkowska, *Zintegrowany pomiar statyki drzewa*, Stowarzyszenie Konserwatorów Zabytków, Warszawa 2005

³⁰² L. Wessolly, M. Erb, *Manual of Tree Statics and Tree Inspection*, Patzer Verlag, 2016.

³⁰³ I. Szatkowska, *Wiele możliwości systemów informacji geograficznej*, Zielen Miejska nr 1/2017.

³⁰⁴ Ozimek A., *The virtual garden – on the computer modelling and visualisation of trees*, Topiarus, Studia Krajobrazowe, T. 2, Uniwersytet Rzeszowski, Rzeszów 2017, s. 31-41.

Badania dotyczące długość fazy uzyskania dojrzałości i fazy długości wzrostu drzewa omówione zostały w publikacji dostępnej online: https://drzewa.nk4.netmark.pl/atlas/dab/dab_szypulkowy/dab_szypulkowy.php. (dostęp 12.03.2023). Można w tej publikacji uzyskać informację taką, że np. *Quercus robur* (Dąb szypułkowy), "*Król drzew*" jak Piotr Gach³⁰⁵ nazywa ten dąb żyje około 600-700 lat, zaś *Betula pendula* (brzoza brodawkowata) 120 lat, *Larix decidua* (modrzew europejski) żyje około 500 lat i rośnie najszybciej ze wszystkich rodzimych drzew iglastych w Polsce.

Jak podaje Kalina Olejniczak w „Portal samorządowy”³⁰⁶ „*Przeciętna długość życia drzew w miastach to 30-50 lat. Nie sprzyjają im wybetonowanie, gęsta infrastruktura podziemna, susza i parkujące samochody...*”.

Z informacji Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Poznaniu dowiadujemy się, iż modrzew „*leśny przebieraniec*” około 15-20 roku uzyskuje dojrzałą formę, zaś żyjący w górach około 30-40 roku. Robinia biała osiąga dojrzałość około 20 roku życia, natomiast Jakub Smyk³⁰⁷ określa dla robinii akacjowej (robinia pseudoacacia), inaczej grochodrzewu, a w języku staropolskim zwanej ostrostęczyną, czas wzrostu do dojrzałości między 10–20 rokiem życia.

3.4.6. LAI (Leaf Area Index)

Autorzy M. P. Rich, J. Chen, J. S. Sulatycki, V. Rohini, W. S. Wachspress³⁰⁸ zaproponowali aby w celu określenia ilości biologicznej zieleni używać „wskaźnika pokrycia liściowego” LAI (Leaf Area Index) dotyczącego czaszy, baldachimu nadziemnych części rośliny lub uprawy.

Z kolei Parker przyjął że ilość biologiczna zieleni to zbiór pojedynczych koron roślinnych. W przypadku lasów baldachim odnosi się również do górnej warstwy

³⁰⁵https://drzewa.nk4.netmark.pl/atlas/dab/dab_szypulkowy/dab_szypulkowy.php (dostęp 12.03.2023).

³⁰⁶<https://www.portalsamorzadowy.pl/ochrona-srodowiska/trwaja-przeglad-drzew-w-miastach-niektore-czeka-wycinka-inne-korekta,437451.html> (dostęp 12.03.2023)

³⁰⁷<https://www.laspolski.pl/s/19/3596/3596-robinia-akacjowa-%E2%80%93-zagrozenie-dla-lasow-czy-niewykorzystany-potencjal-15-162019> (dostęp 12.03.2023)

³⁰⁸ M. P. Rich, J. Chen, J. S. Sulatycki, V. Rohini, W. S. Wachspress, *Calculation of leaf area index and other canopy indices from gap fraction, a manual for the aicalc software*, Lawrence 1995, An Open File Report: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a1/Hemispherical_photography. (dostęp 12.03.2023)

lub strefy siedliska, dojrzałych koron drzew włącznie z epifitami, lianami³⁰⁹. Często określenie "baldachim" jest rozumiane jako zasięg zewnętrznej warstwy liści pojedynczego drzewa lub grupy drzew. Drzewa mocno zacieniające zwykle mają gęsty baldachim blokujący dostęp światła do niższych roślin. Struktura czaszy to uporządkowanie organizacyjne lub przestrzenne (trójwymiarowa geometria) czaszy rośliny. Wskaźnik powierzchni liści (LAI) określa powierzchnię liści na jednostkę powierzchni gruntu i jest kluczową miarą używaną do określenia, w jakim procencie rośliny „zacieniają” grunt.

H. Croft i J. M. Chen przyjęli, że do oceny stanu zdrowia drzew można stosować metodę zawartości pigmentu w liściach³¹⁰.

Żadnej z tych metod obrazowania, kreowania, oceny drzew nie można eksportować do programów obliczeniowych dotyczących zapotrzebowania ciepła do celów ogrzewania, chłodzenia budynku.

3.4.7. Modelowanie ażurowości drzew

Ażurowość drzew jest potrzebna do wyliczenia zacienienia od ścian wnętrza krajobrazowego, których tworzywem są drzewa. Zacienienie jest jedną ze zmiennych wpływających znacząco na wynik bilansu energetycznego budynku. Przegląd publikacji naukowych ma na celu sprawdzenie, czy któraś z obecnie stosowanych metod ma zastosowanie do wyznaczania ażurowości drzew.

Numeryczne wskaźniki w analizach krajobrazu

Zgodnie z regułami, podanymi przez A. Niezabitowskiego, przywołano zasady prowadzenia badań empirycznych: „*mierzalność zjawisk, powtarzalność wyników badania, sprawdzalność badania, wewnętrzna spójność wiedzy (trafność wewnętrzna), odnoszenie się wiedzy do ważnych problemów danej dyscypliny (trafność zewnętrzna), systematyzacja wiedzy*”³¹¹. Bazując na tym przesłaniu zaproponowano obiektywizację, parametryzację zasobów krajobrazu.

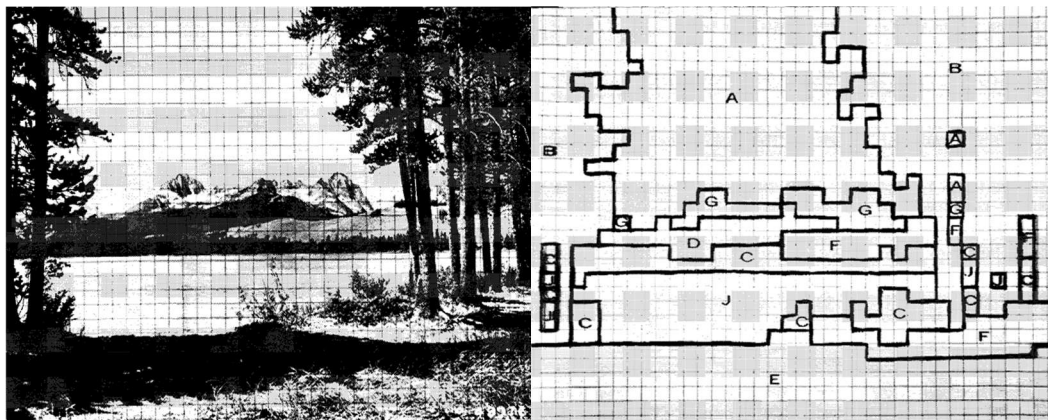
³⁰⁹ G. G.Parker, *Structure and microclimate of forest canopies. Forest Canopies*, Academic Press, San Diego 1995, s. 73-106.

³¹⁰ H. Croft, J. M. Chen, *Leaf Pigment Content*, Elsevier, 2018, s. 117-142.

³¹¹ A. Niezabitowski, *O strukturze przestrzennej obiektów architektonicznych*, Wydawnictwo Naukowe Śląsk, Katowice 2017, s. 24.

Przy wszelkich trudnościach wynikających na przykład z niejednoznaczności definicyjnych i subiektywizmu ocen estetycznych K. H. Wojciechowski³¹² podejmuje próby obiektywizacji oceny walorów krajobrazowych.

Jeden ze sposobów parametryzacji krajobrazu zaprezentowano na ilustracji 35.



il. 34. Przykład obiektywizacji widoku architektonicznego - widoku. źródło: E.I.Shafer, J. Mietz, *It Seems Possible to Quantify Scenic Beauty in Photographs U.S.D.A. Forest Service Research Paper NE-162, 1970 s.4 [on-line].* https://www.fs.usda.gov/ne/newtown_square/publications/research_papers/pdfs/scanned/OCR/ne_rp162.pdf (16.06.2023)

Krajobrazy trudne do sparametryzowania proponuje się modelować Sektorową Analizą Widoków. Dla obiektów ażurowych I. Niedźwiecka-Filipiak zaproponowała modelowanie (SALI) płaszczyzną półprzezroczystą³¹³. Przedstawia to ilustracja 36.

I. Niedźwiecka-Filipiak, J. Rubaszek, A. Podolska, J. Pyszczyk³¹⁴ analizy wnętrza krajobrazowego przeprowadzili w dwóch etapach: I etap – etap ilościowy i II etap – etap jakościowy. Wykorzystując fotografie, w pierwszym etapie, dla wnętrza krajobrazowych wykonano analizę procentowego udziału poszczególnych elementów, uwzględniono stopień ich przezroczystości. W drugim etapie przy użyciu metod eksperckich oceniono ich jakość. Zastosowano wieloletnią metodę komparatywną zmian zieleni w tym drzew.

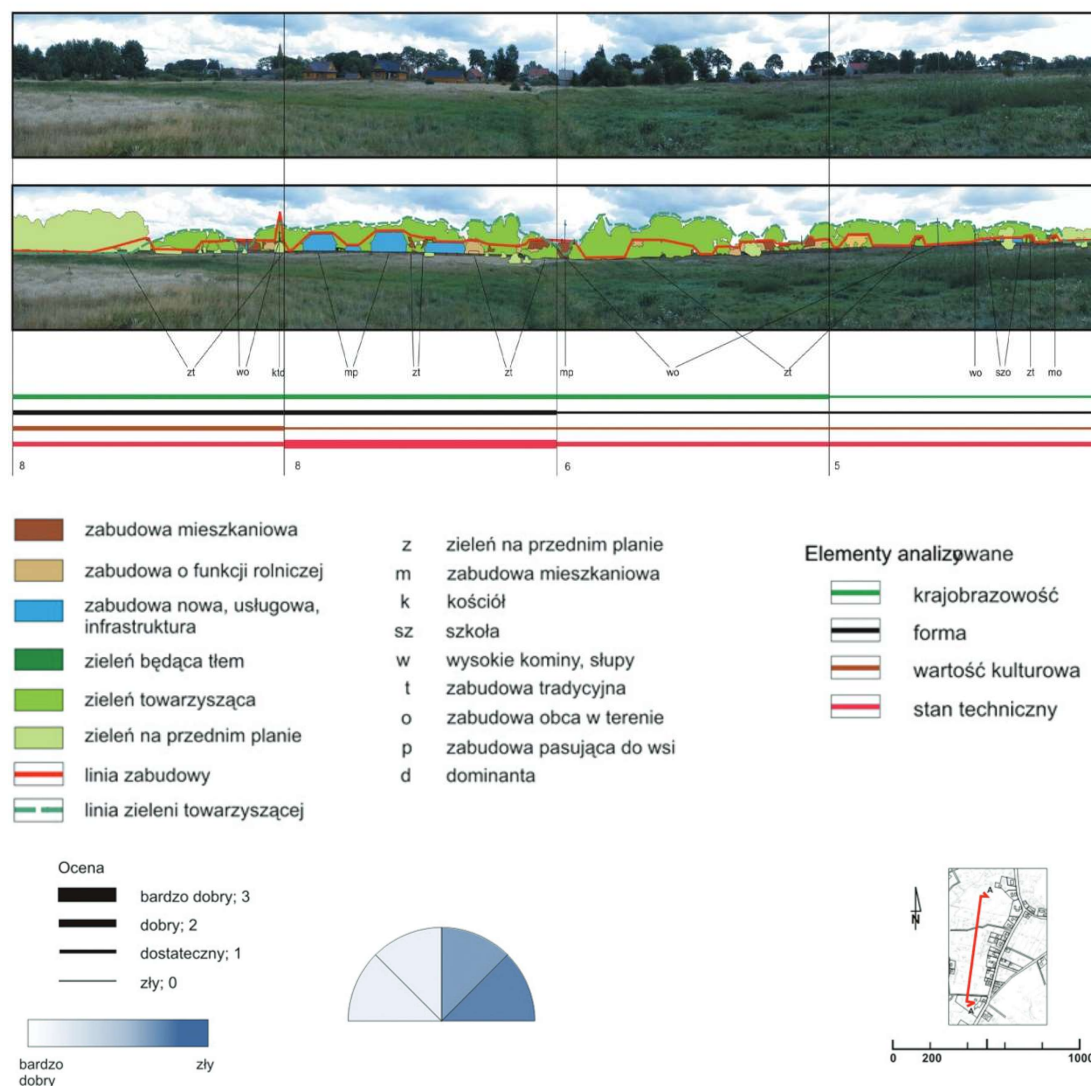
³¹² K. H. Wojciechowski, *Problemy percepcji i oceny estetycznej krajobrazu*, PKWN 1986.

³¹³ I. Niedźwiecka-Filipiak, *Proponowana metoda SEKTOROWEJ ANALIZY wnętrza krajobrazowych jako integralna część opracowań dla programu Odnowa Wsi*, Architektura Krajobrazu, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu 2005, s. 11-17.

³¹⁴ I. Niedźwiecka-Filipiak, J. Rubaszek, A. Podolska, J. Pyszczyk, *Sectoral Analysis of Landscape Interiors (SALI) as One of the Tools for Monitoring Changes in Green Infrastructure Systems, Sustainability*, 2020. (open access).

Przykładowa SEKTOROWA ANALIZA panoramy miejscowości dla wsi Łasko położonej w województwie zachodniopomorskim. Opracowanie studenckie prowadzone pod kierunkiem autorki

An example of SECTOR ANALYSIS of a panorama for Łasko village situated in west-pomeranian voivodeship. Student's elaboration essentially directed by the author



il. 35. Przykład analizy sektorowej widoku. Źródło: I. Niedźwiecka-Filipiak, *Proponowana metoda sektorowej analizy wnętrz krajobrazowych jako integralna część opracowań dla programu Odnowa Wsi, Architektura Krajobrazu 2005, s. 11-17*

W publikacji *Miara krajobrazu. Obiektywizacja oceny widoków i panoram wspomagana narzędziami komputerowymi* zaprezentowano metody analityczne obiektywizacji oceny krajobrazu³¹⁵. W książce autorka A. Ozimek zaprezentowała oryginalną autorską metodę „Metoda Komputerowej Parametryzacji Składowych Widoku „7S”³¹⁶, która jest kontynuacją badań widoków i panoram. Autorka omówiła zasady obliczania wskaźników, które opisują „barwę, kształt, pole powierzchni

³¹⁵ A. Ozimek, *Miara krajobrazu. Obiektywizacja oceny widoków i panoram wspomagana narzędziami komputerowymi*, wyd. Politechnika Krakowska, Kraków 2019.

³¹⁶ A. Ozimek, *Miara krajobrazu. Obiektywizacja oceny widoków i panoram wspomagana Narzędziami komputerowymi*, ibidem s. 45-147.

*i wysokość form architektoniczno-krajobrazowych, a także ich udział w widoku*³¹⁷ i zaproponowała że parametrem zmiany widoku może być wymiar pudełkowy. Dodatkowe analizy metody pudełkowej autorzy P. Ozimek, A. Ozimek omówili w publikacji *Analiza Krajobrazu przy użyciu narzędzi cyfrowych*³¹⁸.

K. I. Unwin³¹⁹ zaproponował aby ocenę krajobrazu podzielić na trzy etapy. Pierwszy etap to określenie preferencji krajobrazowych, drugi etap to pomiar ocen wartościujących, trzeci etap to ocena jakości wizualnego krajobrazu ze względu na indywidualne lub społeczne preferencje.

Badacze G. J. Buhyoff i M. F. Riesenman³²⁰ zastosowali metodykę porównywania (przedstawionych na slajdach) tego samego elementu krajobrazu przez dwóch różnych respondentów. Z wyników statystycznych testów wynika, iż wymiarowością można manipulować. Natomiast preferencje estetyczne można mierzyć metodą komparatywną.

Metodę miar rozmytych do oceny ilościowej widoku zaprezentowała M. Skiba³²¹. W artykule przedstawiono analizę rozkładu krzywej atrakcyjności widoku, na podstawie której przyjęto założenia dla oceny jakości krajobrazu.

W podsumowaniu można stwierdzić, że wymiar pudełkowy zastosowany w autorskiej nowatorskiej Metodzie Komputerowej Parametryzacji Składowych Widoku „7S” jest opisywany logarytmem i nie ma możliwości wydzielenia części sparametryzowanego widoku w celu policzenia i rozdzielenia pikseli. Wymiar pudełkowy może być przydatny jedynie dla porównywania zmian zagospodarowania terenu, wprowadzenia do widoku nowych elementów architektury. Nie da się więc go zastosować do wyznaczenia ażurowości drzew.

³¹⁷ A. Ozimek, *Miara krajobrazu. Obiektywizacja oceny widoków i panoram wspomagana narzędziami komputerowymi*, op. cit., s. 95.

³¹⁸ P. Ozimek, A. Ozimek, *Analiza Krajobrazu przy użyciu narzędzi cyfrowych*, Instytut Architektury Krajobrazu, wyd. Politechnika Krakowska 2015, s. 31-33.

³¹⁹ K. I. Unwin, *The relationship of observer and landscape in landscape evaluation*, *Transactions of the institute of British geographers*, no. 66, 1975, s. 130-133.

³²⁰ G.J. Buhyoff, M.F. Riesenman, *Experimental manipulation of dimensionality in landscape preference judgments: a quantitative validation*, *Leisure Sciences*, 2, 1979, s. 221-238.

³²¹ M. Skiba, *Rozmyte miary percepcji krajobrazu*, *Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego PTG*, nr 10/2008, *Zarządzanie krajobrazem Kulturowym*, Sosnowiec 2008, s. 123-130.

Przewodniki i katalogi do projektowania

Podstawową pozycją literaturową autorstwa W. Senety są dwie części książki „*Dendrologia*”³²².

Zieleń stanowiąca istotny element otoczenia budynku, zgodnie z European Fun Palm Guide³²³, podlega procedurom i przepisom, zawartym w przewodnikach do projektowania, które mają na celu zapewnienie jej najlepszego wzrostu. Ze względu na strefę klimatyczną nie implementuje się tych przepisów do warunków klimatu umiarkowanego.

Projektanci mogą również używać katalog drzew „*Elementy naturalne środowiska. Tablice-drzewa, krzewy*” opracowany przez K. Fabijanowską³²⁴. W katalogu zawarto dane opisujące właściwości roślin, takie jak: pokrój, średnica korony, wysokość w pełni ukształtowanego drzewa i górna granica wysokości, proporcje budowy, typ pnia, proporcje korony względem pnia, formy korony oraz inne cechy (jak np. gatunek rodzimy), rodzaj systemu korzeniowego, tolerancja zacienienia lub bezpośredniego oświetlenia, adekwatna wilgotność i temperatura powietrza, warunki glebowe.

³²² W. Seneta, *Dendrologia, część 1, część 2*, passim.

³²³ European Fun Palm Guide, <https://gardenbeast.com/european-fan-palm-guide>, dostęp 31 marca 2023.

³²⁴ K. Fabijanowska, *Elementy naturalne środowiska. Tablice-drzewa, krzewy*, op. cit., s. 27-167.

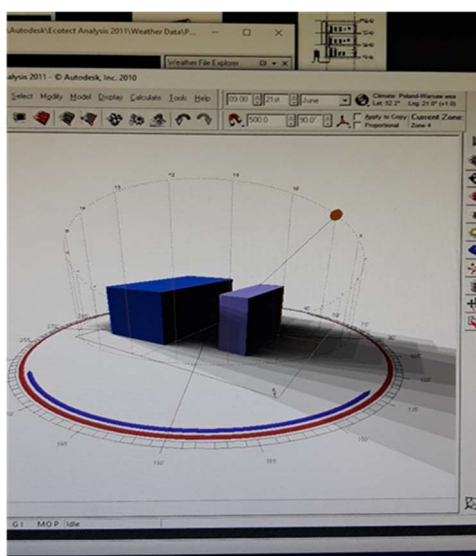
4 PRZYDATNE OPROGRAMOWANIE DO MODELOWANIA DRZEW ORAZ OPTIMALIZACJI ENERGETYCZNEJ BUDYNKÓW

W tym rozdziale zawarto informacje o programach komputerowych, które mogą być przydatne do modelowania drzew. Bazując na modelu cyfrowym można oszacować ażurowość drzew.

4.1. Programy do optymalizacji energetycznej budynku

4.1.1. ECOTECT

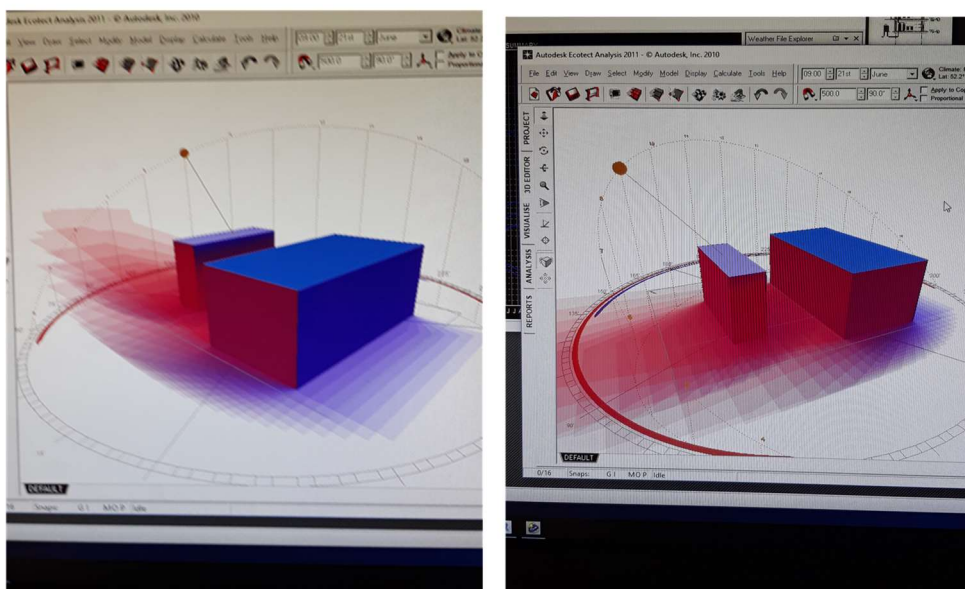
Umożliwia on modelowanie zapotrzebowania na ciepło do celów ogrzewania lub chłodzenia budynków z uwzględnieniem wpływu azymutu Słońca względem Ziemi oraz zacielenia od innych obiektów. Na ilustracjach 37 i 38 przedstawiono zrzut z ekranu dla przykładu modelowania przez zacielenie budynku sąsiednim budynkiem z zaznaczonymi strefami długości cienia i jego kierunku. Modelowanie zacielenia drzewami można przedstawić jako bryłę usytuowaną pod odpowiednim kątem do budynku. Drzewo może być bryłą częściowo przezroczystą, o jakimś stopniu transparentności, który jest charakterystyczny dla danego gatunku i może być różny w zależności od pory roku. Przykład przedstawiono na ilustracji 38.



il. 36. Zacielenie budynku od sąsiedniego budynku z długościami cienia dla cyklu całorocznego. ECOTECT-PrtScr z ekranu. [Opracowanie własne]

Da to wynik w postaci zapotrzebowania na energię do celów ogrzewania i chłodzenia, w tym wartość energii potrzebnej do ogrzewania (sezon grzewczy) i wartość energii potrzebnej do chłodzenia w sezonie poza-grzewczym (tj. wiosna lub lato). We współczynniku przezierności dla modelu drzewa uwzględniony został stan bez liści (dla drzew liściastych), stan bez igieł (dla np. modrzewia), stan z igłami (dla pozostałych drzew zimozielonych). To oznacza 3 warianty modelowania dla okresu zimy. W okresie lata przewidziano jeden wariant współczynnika przezierności drzew. Analizę przeprowadzono dla gatunków rodzimych nieintrodukowanych.

Przydatność tego programu polega na możliwości sprawdzenia rozkładów temperatur na powierzchni zewnętrznej przegrody budowlanej.



il.37. Zacienienie w zależności od kierunku i elewacji budynku. ECOTECT- prschr z ekranu. [Opracowanie własne]

4.1.2. ATHENA

Environmental Estimator Impact ATHENA jest to środowiskowe narzędzie szacowania oparte na cyklu życia, które pozwala modelować budynek, jako całość. Umożliwia ono projektantom budowli, producentom produktu i badaczom dokonanie porównania względnych środowiskowych skutków między alternatywnymi rozwiązaniami projektowymi a użytkowaniem przez określony czas życia budynku. W programie można modelować: komponenty budowlane budynku (okładziny, izolacje, przegrody zewnętrzne: ściany, dach, systemy okienne (900 wariantów); sposób eksploatacji i jej skutki cyklu życia w funkcji typu zabudowy, lokalizacji;

konwersję nośnika energii na energię pierwotną i emisję zanieczyszczeń do atmosfery; modułu "koniec życia", określającego energię potrzebną do np. demontażu, aż po utylizację materiałów budynku.

Rezultaty programu Athena pozwalają na bezpośrednie porównania między alternatywnymi projektami, lub części projektów, z projektem bazowym.

Program zawiera bazę danych (LCI) kluczowych produktów do budowy w regionach północnej Ameryki. Baza uwzględnia 90-95 % materiałów i systemów budowlanych związanych z budownictwem mieszkaniowym i systemami prefabrykowanymi przydatnymi do typowych handlowych, usługowych, lekkich przemysłowych i mieszkaniowych budynków.

4.1.3. DESIGN BUILDER

Design Builder v5.4 to narzędzie do projektowania skojarzonego z procedurami LEED i ASHRAE 90.1. Umożliwia analizę klimatu wewnętrznego na podstawie modelowania światła dziennego, a grafika wyników symulacji jest renderowana. Pozwala również na symulacje w programie EnergyPlus.

Dzięki programowi można dokonywać symulacji skojarzonego wytwarzania ciepła i wilgoci, analizy ogrzewania/chłodzenia, systemów instalacji np. wymienników ciepła, systemów HVAC (Heating, Ventilation, Air Conditioning= Ogrzewanie, Wentylacja i Klimatyzacja). Oceny oparte są na przestrzennej analizie światła słonecznego dla lata (sDA), rocznej ekspozycji na słońce (ASE). Model uwzględnia lustrzane odbicie światła dziennego od innych obiektów i zawiera opcję analizy natężenia oświetlenia nieba. Istnieje także możliwość analizy danych dotyczących światła słonecznego dla systemu brytyjskiego BREEAM.

4.1.4. ENERYG PLUS

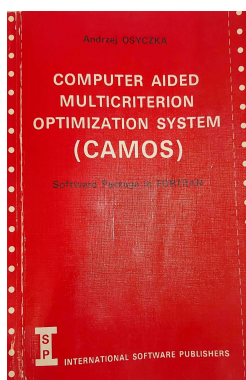


Energy Plus to konsolowy program, który odczytuje dane wejściowe i zapisuje dane wyjściowe do plików tekstowych. IDF-edytor to proste narzędzie do tworzenia plików wejściowych przy użyciu prostego interfejsu przypominającego arkusz kalkulacyjny. Służy do wykonywania symulacji energetycznych, porównywania

graficznego wyników dwóch lub więcej symulacji. Program, między innymi, służy do obliczeń natężenia oświetlenia i odbicia światła, dla raportowania komfortu wizualnego i sterowania oświetleniem. EnergyPlus jest darmowym oprogramowaniem-open source i cross-platform. Działa w systemach operacyjnych Windows, Mac OS X i Linux. Jego rozwój jest finansowany przez amerykański Departament Energii Budynku (DOE) i technologii pakietu Office (BTO).

DOE udostępnia najważniejsze aktualizacje do EnergyPlus, dwa razy w roku. Zaktualizowana wersja do 8.9.0 została wydana 31 marca 2018 r.

4.1.5. Camos - Computer Aided Multicriterion Optimization System



Autorem programu *Computer aided multicriterion optimization system (CAMOS)* jest A. Osyczka³²⁵. Oprogramowanie pracuje w środowisku Fortran. Umożliwia rozwiązywanie zadań optymalizacji zarówno liniowych, jak i nieliniowych, z ograniczeniami równościowymi, nierównościowymi. Można rozwiązywać zadania optymalizacyjne z zastosowaniem metod: dyskretnych i ciągłych, losowego wyszukiwania, multikryterialne, metody Pareto. Można stosować do rozwiązywania zadań wytrzymałości konstrukcji, a także optymalizacji grubości termoizolacji, kształtu budynku, rodzaju przeszklenia, sprawności systemów ogrzewania³²⁶. Dla porównania warto zwrócić uwagę na to, że Large Hadron Collider (LHC) – największy na świecie akcelerator cząstek (hadronów), znajdujący się w Europejskim Ośrodku Badań Jądrowych CERN w pobliżu Genewy, pracuje na oprogramowaniu w języku Fortran.

³²⁵ B. D. Gordon, T. R. Hoffmann, *Fortran a structured, disciplined style*, University of Minnesota, McGraw-Hill Book Company, 1978.

³²⁶ A. Osyczka, *Computer aided multicriterion optimization system (CAMOS)*, International Software Publishers, 1992, s. 1-148.

4.1.6. PHPP



W. Feist w publikacji *Energy Balances with the Passive House Planning Package*, protocol Volume No. 13 of the Research Group for Cost-efficient Passive Houses, 1st edition, Passivhaue Institut, Darmstadt 1998³²⁷ opisał program pracujący w środowisku Excel ale z dogodną możliwością wpisania zależności modelu matematyczno-fizycznego, który projektant uzna za merytorycznie poprawny. Działanie to musi być uzgodnione z centrum Budownictwa Pasywnego w Darmstadt, bowiem PHPP jest podstawą do weryfikacji budynku zgłoszonego do certyfikacji³²⁸.

4.2. Programy do modelowania drzew oraz ich przezierności

Dokonano przeglądu i oceny wybranych programów i ich przydatności w zastosowaniu do oceny wzrostu, stanu zdrowia drzewa.

Jest sporo dostępnych narzędzi zawierających oprogramowanie dla architektów krajobrazu. Wśród zaawansowanych narzędzi do modelowania wnętrza ogrodowych można wyróżnić Gardenphilia DESIGNER. Oprogramowanie umożliwia symulacje sezonowego wyglądu i wzrostu roślin, oświetlenia i spaceru wirtualnego. Jednakże modelowanie wzrostu drzew, jak to wynika z analizy przeprowadzonej i opisananej przez A. Ozimek, przeprowadzane jest przez powiększenie modelu³²⁹.

Wyniki tych badań i informacje zawarte w przestrzennych systemach operacyjnych mogą mieć bezpośrednie przełożenie na określenie zmian w wyglądzie pokroju drzewa, a to może implikować sposób zacienienia elewacji budynku i tym samym komfort cieplny pomieszczeń. Modelowanie polegające jedynie na powiększaniu elementów nie odzwierciedla faz wzrostu drzew.

³²⁷ *Energy Balances with the Passive House Planning Package*, protocol Volume No. 13 of the Research Group for Cost-efficient Passive Houses, 1st edition, Passive House Institute, Darmstadt 1998.

³²⁸ W. Feist, *Pakiet do projektowania budynków pasywnych, PHPP*, Passive House Institut, Darmstadt 2007.

³²⁹ A. Ozimek Agnieszka, *Oprogramowanie dla architektów krajobrazu*, Zieleń Miejska nr 1/2017, s. 18-21.

4.2.1. Sapling Tree Gen w Blenderze

Wtyczka Sapling Tree Gen, która umożliwia generowanie drzew i krzewów. Pozwala ona opracować modele w stanie ulistnionym i bezlistnym. Wypełniając kolejne formularze można dobierać różne pokroje drzew oraz poziomy ich szczegółowości, a za pomocą numerycznych parametrów sterować długościami i kątami fragmentów gałęzi oraz typami ich rozgałęzień. Ze względu na to, że można wprowadzić stopień swobody tych parametrów, poszczególne okazy mogą się różnić przy zachowaniu ogólnych cech właściwych dla danego gatunku.

Przykład modelowania w programie Blender przedstawiono na ilustracji 39.

Cechy charakterystyczne robinii to stosunkowo nisko rozgałęziony pień oraz nieregulama, luźna korona (ryc. 5) (Seneta i Dołatowski 2000: 317).



il. 38. Przykład modelowania drzewa w programie Blender. Źródło: A. Ozimek A., The virtual garden – on the computer modelling and visualization of trees, *Topiarius, Studia Krajobrazowe, T. 2, Uniwersytet Rzeszowski, Rzeszów 2017, s. 31-41.*³³⁰

4.2.2. ATree 3D w 3DS Max

ATree3D jest prosty w obsłudze generator 3D dla wizualizacji architektonicznych roślin. Przykład modelowania w programie ATree3D przedstawiono na ilustracji 40.

³³⁰ A. Ozimek, *The virtual garden – on the computer modelling and visualisation of trees*, Topiarius, Studia Krajobrazowe, T. 2, Uniwersytet Rzeszowski, Rzeszów 2017, s. 31-41



il. 39. Przykład modelowania drzewa w programie 3DS Max. Źródło: A. Ozimek Ozimek A., *The virtual garden – on the computer modelling and visualisation of trees*, *Topiarius, Studia Krajobrazowe, T. 2, Uniwersytet Rzeszowski, Rzeszów 2017, s. 31-41.*³³¹

Z tego skryptu dla 3DS Max można utworzyć drzewa, krzewy, kwiaty i trawy. Można go używać dla modeli niskich lub wysokich z precyzyjną kontrolą poziomu szczegółów każdego elementu. Program ma interaktywny charakter pracy: jest aktywny podgląd efektów modelowania, można używać myszki do rysowania kształtów poszczególnych części drzewa, ustawiać skalę (np. poszerzanie, zwężanie korony drzewa), kierunki oraz położenie konarów, gałęzi. Modyfikacji nie podlegają liście.

Niedogodnością programu jest jego niestabilność przy tworzeniu bardziej skomplikowanych obrazów zieleni np. krzewów o większej ilości odgałęzień. Program może przestać działać przy dużej ilości liści. Można go eksportować do wszystkich środowisk graficznych. Niestety nie ma nakładki do eksportowania do jakiegokolwiek programu do bilansowania zapotrzebowania ciepła dla budynków.

Jednakże stanowi dobre narzędzie do modelowania drzew w celu obliczenia ażurowości drzew czyli współczynnika przezierności.

4.2.3. Vectorworks Landmark

Oprogramowanie z modułem „Ogród i Krajobraz” jest dedykowane architektom krajobrazu. Jest to narzędzie, przy pomocy którego można tworzyć nasadzenia powierzchni zielonych. Program importuje pliki chmury punktów i umożliwia ich dalszą obróbkę. Biblioteki programu zawierają ponad 10 000 elementów, między innymi wysokiej jakości obrazy drzew oraz trójwymiarowe modele drzew, krzewów i innych roślin w różnych rozmiarach i fazach wzrostu. Obsługuje formaty DXF/DWG, IFC, Shape, Sketchup.

³³¹ A. Ozimek, *The virtual garden – on the computer modelling and visualisation of trees*, ibidem.

4.2.4. ImageJ

Jest to darmowy program do komputerowego przetwarzania obrazu (np. zdjęcia), napisany w języku Java. Wybrane plug-in`y rozwiązują skomplikowane zadania analizy i przetwarzania obrazów, w związku z czym narzędzie może być wykorzystywane także w celach naukowych.

Program obsługuje obrazy o 8, 16 i 32 bitowej głębi kolorów, m.in. następujące formaty plików graficznych – TIFF, GIF, JPEG, BMP, PNG, PGM, FITS, DICOM, a także obrazy RAW.

Dzięki niemu możliwe jest obliczenie rozmiarów dowolnie zaznaczonego obszaru grafiki oraz liczby pikseli w nim zawartych, mierzenie odległości i kątów pomiędzy punktami lub elementami obrazów. Pozwala też na tworzenie histogramów gęstości oraz wykresów profili linii, co może istotnie skrócić czas generowania wyników.

Istotnym walorem naukowym jest fakt, iż program umożliwia kalibrowanie przestrzeni obrazów pod względem miar rzeczywistych, a także daje dostęp do ustawień rozdzielczości grafiki oraz skali szarości.

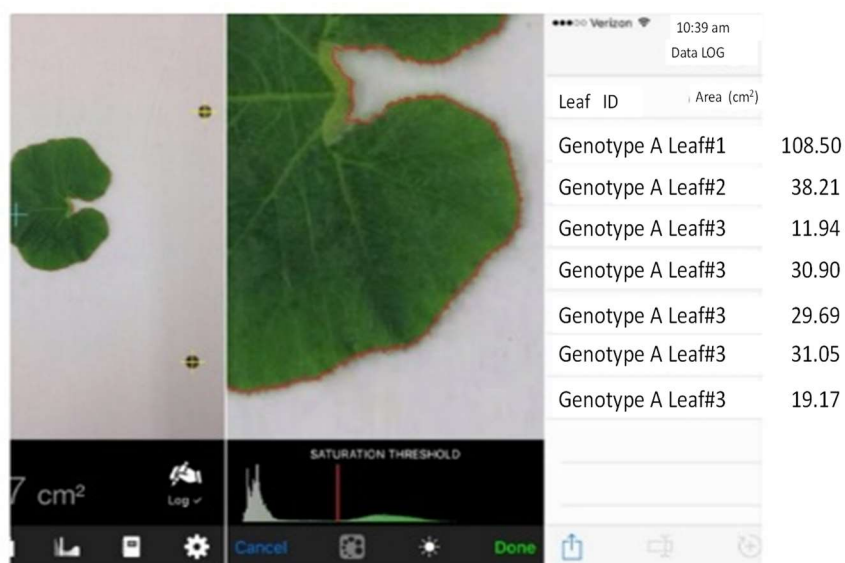
Zawiera zestaw standardowych funkcji przetwarzania obrazu (które potencjalnie mogą być bardzo przydatne do wyznaczenia współczynnika przezierności), m.in.: ustawienia jasności, kontrastu, balansu kolorów, korzystanie z masek oraz plasterków, dzielenie i łączenie kanałów, wykrywanie krawędzi, analizę Fouriera, filtry graficzne (wygładzanie, wyostżanie, rozmycie Gaussowskie i inne), skalowanie, odbicia lustrzane. Oprogramowanie wydaje się przydatne do modelowania koron drzew w celu określenia ażurowości czyli przezierności drzew, współczynnika przezierności.

4.2.5. Leafscan

Leafscan to licznik powierzchni liści. Do jego obliczenia używa się urządzenia mobilnego. Wystarczy zrobić zdjęcie liścia, aby natychmiast uzyskać jego obszar. Można śledzić swoje pomiary w dzienniku danych i eksportować je jako plik CSV za pośrednictwem AirDrop, poczty e-mail i innych. Potrzeba tylko białego tła ze znacznikami referencyjnymi, które można samodzielnie zrobić lub pobrać

bezpłatnie ze strony internetowej. Przykład Leafscan przedstawiony został na ilustracji 42. Dokładnie aplikację Leafscan opisuje C. Anderson³³².

W artykule *Photosynthesis and Production in a Changing Environment: Canopy structure and light interception* autorów P.S. Nobel, I.N. Forseth, S.P. Long opisano zmiany strumienia fotosyntetycznego i wskaźnika skumulowanej powierzchni liści, wyrażonego przez baldachim z większością ilością liści. Analizując koronę drzewa opisano wzrost roślin za pomocą zależności matematycznej³³³.



il.40. Leafscan do określania powierzchni liści. Źródło: <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=Anderson+C.%2C+Leafscan%2C+wyd.%C2%A9+2017+Carlos+Anderson>

4.3. Autorskie oprogramowanie JFP – JOLI Factor Programming

Joined Optimization of Landscape Interior Factor Programming

Jest to program bazujący na danych klimatycznych godzinowych dla obszaru Polski. Zakupione szkolenie dla audytorów energetycznych wraz z użytecznym programem do obliczeń zapotrzebowania energii do celów ogrzewania i chłodzenia były zgodne z wymaganiami formalno-prawnymi dotyczącymi certyfikacji

³³² C. Anderson, P. Rosas-Anderson, *Leafscan*, <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=Anderson+C.%2C+Leafscan%2C+wyd.%C2%A9+2017+Carlos+Anderson> (dostęp: 31 marca 2023).

³³³ P. S. Nobel, I. N. Forseth and S. P. Long, *Photosynthesis and Production in a Changing Environment: Canopy structure and daylight interception*, SPRINGER, 1994, s. 79-90.

energetycznej w Polsce. Na tej podstawie można było, zgodnie z prawem, korzystając z tej bazy danych klimatycznych, utworzyć własny program do obliczeń zapotrzebowania energii do celów ogrzewania i chłodzenia, ale zgodny z obliczeniami energetycznych właściwości użytkowych budynku³³⁴. Stworzono zatem oprogramowanie pracujące w środowisku Excel i dostosowane do obliczania zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia budynków mieszkalnych, biurowych oraz magazynowych.

³³⁴ PN-EN ISO 13790 2009, *Energetyczne Właściwości Użytkowe Bud. Obliczanie Zużycia Energii Na Potrzeby Ogrzewania I Chłodzenia.*

5. WPLYW STRUKTURY WNĘTRZA KRAJOBRAZOWEGO NA BILANS ENERGETYCZNY BUDYNKU

5.1 Etapy projektowania zintegrowanego. Dekompozycja zadania

Dla rozwiązania zadań optymalizacji przeprowadzono analizę możliwości podzielenia zadania na kilka poziomów. Na każdym z nich można przeprowadzić optymalizację³³⁵.

Przeprowadzono próbę wyboru zadań kryterialnych, porównując dwie metody oceny zadania energooszczędnego dla budynku. Analizowano zagadnienie optymalnej grubości termoizolacji. Porównano wynik ze wskaźnika ekonomicznego Simple Pay Back Time z wynikiem dla metody punktu siodłowego, który jest synonimem dla określenia „minimum globalne”³³⁶.

Wykonano analizy dotyczące wyboru kryteriów i ich kolejności w optymalizacji wielokryterialnej obiektów budowlanych, takich jak domy jednorodzinne. Sprawdzono możliwość odsychania kondensatu w przegrodach murowanych z betonu komórkowego o różnej gęstości oraz pustaka Max. Sprawdzano warunek temperaturowy f_{Rsi} oraz U_{max} . Z otrzymanych rezultatów wynika jednoznacznie, że dla pomieszczeń o zdefiniowanej wilgotności względnej jako średnio-wilgotne, warunek temperaturowy f_{Rsi} jest ostrzejszym wymaganiem³³⁷.

Wykonano analizy multi-kryterialne w optymalizacji wielopoziomowej dla budynków o niskim zapotrzebowaniu energii do celów ogrzewania³³⁸.

³³⁵A. Stachowicz, J. Gintowt, *Optymalne projektowanie budynków o niskim zapotrzebowaniu na energię jako problem optymalizacji wielokryterialnej*, Czasopismo Techniczne, Kraków 1996, s. 35-40.

³³⁶ J. Gintowt, P. Łysik, *Comparative analysis of the criteria used to select the optimal energy savings variants in building. Selected issues*, Technical Transaction, Kraków 2014, s. 97-102.

³³⁷ J. Gintowt, *Optymalizacja wielokryterialna obiektów budowlanych*, praca zbiorowa pod redakcją Tadeusza Bobki, Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym, Częstochowa 2005.

³³⁸ J. Gintowt, *Multicriterial and multileveled optimization of buildings*, Technicka Univerzita v Kosiciach- Stavebna fakulta, BUDOWA A ENERGIA, Podbanske 2005, s. 98-101.

Wykonano analizę optymalizacji zużycia energii dla jednorodzinnych budynków mieszkalnych ze względu na rozdzielanie lub nie rozdzielanie zmiennych oraz dekompozycję nieliniowego zadania optymalizacyjnego³³⁹.

Przeprowadzono analizę podziału zadania optymalizacji i rozdziału zmiennych decyzyjnych. Wśród analizowanych funkcji kryterialnych takich jak minimum energii do celów ogrzewania, minimum kosztów inwestycyjnych budynku, maksimum oszczędności kosztów ogrzewania budynku o niskim zapotrzebowaniu do celów ogrzewania, przeprowadzono również analizę optymalizacji wielokryterialnej ze względu na aspekt ekologiczny i pojemność cieplną budynku³⁴⁰.

Odniesiono się także do optymalizacji wybranych przedsięwzięć energooszczędnych w audycie energetycznym, do rozwiązań zadań optymalizacji wielokryterialnej w kontekście zasad obliczeniowych obowiązujących w procedurach dla audytu energetycznego budynku jednorodzinnego, wielorodzinnego, budynku użyteczności publicznej, biura. Wykonano obliczenia na podstawie zarówno zastosowania się do procedur obliczeniowych, obowiązkowych w procedurze audytu termomodernizacyjnego, jak i nieliniowego zadania optymalizacji. Na podstawie audytu energetycznego inwestor może starać się o nisko oprocentowane pożyczki lub bezzwrotne dotacje na termomodernizację budynków mieszkalnych lub użyteczności publicznej, o ile jest ich właścicielem. Na podstawie porównania wyników obliczeniowych: procedury audytu termomodernizacyjnego oraz optymalizacji z użyciem Metody Kuhna-Tuckera, zaproponowano, aby stosować metody optymalizacji wielopoziomowej zamiast prostego, szacunkowego wskaźnika ekonomicznego SPBT (obowiązkowego w audycie termomodernizacyjnym). SPBT i analiza zapotrzebowania energii do ogrzewania są liczone dla jednego roku.

W zadaniach optymalizacji można uwzględnić dłuższą perspektywę czasową niż jeden rok³⁴¹.

Nieco inne podejście do wyboru grubości termoizolacji reprezentuje kryterium ekologiczne. Wybór grubości następuje dla najmniejszej emisji zanieczyszczeń do środowiska zewnętrznego. Emisja gazów odlotowych jest wynikiem wytwarzania

³³⁹ J. Gintowt, *Optimization of low energy buildings of single-family houses*, BUDOWA A ENERGIA, Podbanske 2007, s. 87-90.

³⁴⁰ J. Gintowt, *Ewaluacja kryterium ekologicznego i ekonomicznego ze względu na pojemność cieplną na przykładzie budynku biurowego*, Technical Transaction, 2012, s. 132-138.

³⁴¹ J. Gintowt, *Optymalizacja wybranych przedsięwzięć energooszczędnych w audycie energetycznym*, Czasopismo Techniczne, Kraków 2002, s. 103-109.

energii do celów ogrzewania pomieszczeń. Tym mniejsza ilość zanieczyszczeń im mniejsze zapotrzebowanie energii użytkowej, a większa sprawność systemu ogrzewania³⁴².

Kolejnym kryterium doboru grubości termoizolacji przegród zewnętrznych jest kryterium doboru rozwiązania technologicznego³⁴³. Do jego oceny można zastosować wskaźnik ekonomiczny, taki jak SPBT, ale z zastrzeżeniem weryfikacji wyniku przez wskaźnik NPV i współczynnik temperaturowy na powierzchni wewnętrznej f_{Rsi} .

Innym kryterium wyboru poziomu izolowania termicznego przegród budowlanych jest ilość energii użytkowej. Dla budownictwa pasywnego musi być spełniony jeden z warunków, a mianowicie wartość $Q_{H,nd}$, – energii użytkowej nie może być większa niż 15 [kWh/m² rok]. Jest to kryterium uogólnione, natomiast to projektant dobiera parametry materiałów budowlanych i decyduje o ocenach cząstkowych. Tymi parametrami m.in. są: przewodność cieplna materiału budowlanego, sposób montażu przegród transparentnych, rodzaj konstrukcji³⁴⁴.

W publikacji pt. *Numerical Recipes, chapter 10: Minimization or Maximization of Functions*³⁴⁵ podano: sposoby rozwiązywania zadań równań nieliniowych dla znalezienia minimum globalnego (punktu siodłowego). Oprogramowanie do rozwiązywania takich zadań może być dostępne on-line po uzyskaniu praw licencyjnych.

W artykule naukowym pt. *Optymalne projektowanie budynków o niskim zapotrzebowaniu na energię jako problem optymalizacji wielopoziomowej*³⁴⁶ wykazano, iż do projektowania budynków energooszczędnych zastosowanie optymalizacji wielokryterialnej, jest zasadne. Analizuje się bowiem nie każdą zmienną decyzyjną osobno, ale dobierając ją według jakiegoś własnego doświadczenia,

³⁴² J. Gintowt, *Budownictwo energooszczędne, wybrane kryteria optymalizacji grubości termoizolacji a ekologiczne skutki*, Bielsko-Biała 2004, s. 123-128.

³⁴³ J. Gintowt, *Czas zwrotu kosztów docieplenia ścian budynków mieszkalnych jako element wyboru rozwiązania technologicznego*, wyd. Politechnika Krakowska, ENERGODOM 1994, Kraków 1994, s. 51-58.

³⁴⁴ J. Gintowt, *Pasywne pozyskiwanie energii*, wyd. Politechnika Łódzka, Łódź, 2007, vol. II, s. 61-66.

³⁴⁵ W. H. Press, S.A. Teukolsky, W. T. Vetterling, B. P. Flannery, *Numerical Recipes, chapter 10: Minimization or Maximization of Functions*, Cambridge University Press, Third ed., 2007, s. 487-562.

³⁴⁶ A. Stachowicz, J. Gintowt, *Optymalne projektowanie budynków o niskim zapotrzebowaniu na energię jako problem optymalizacji wielopoziomowej*, wyd. Politechnika Łódzka, Fizyka Budowli w Teorii i praktyce, Łódź 1995, s. 317-323.

lecz można podzielić zadanie optymalizacji na kilka części-poziomów i zmienne decyzyjne optymalizować na różnych poziomach, w różnej kolejności.

Uzasadnienie wyboru metod wielokryterialnych przedstawili A. Stachowicz, J. Gintowt w publikacji pt. *Optymalne projektowanie budynków jako problem optymalizacji wielokryterialnej* jako jedno z narzędzi do optymalizacji zużycia energii w budynkach mieszkalnych³⁴⁷.

Ze względu na to, iż zazwyczaj w praktyce budowlanej, najpierw buduje się dom, a potem zagospodarowuje jego otoczenie, do oceny wpływu otoczenia budynku na budynek, przyjęto kolejność, jaka jest przedstawiona na ilustracji 42. Zaprezentowano na niej poszczególne etapy projektowania, realizacji, użytkowania budynku wraz z kryteriami, które służą do podejmowania decyzji o wyborze materiałów budowlanych, rodzaju konstrukcji, rodzaju systemu ogrzewania, kształtu budynku. Przedstawiono także, w której chwili można (po zakończeniu etapu projektowania) włączyć oddziaływanie otoczenia na budynek. Na ilustracji 42 zaznaczono to linią czerwoną przerywaną.

Podział rozwiązania zadania na etapy może być przedstawiony w formie zadania dwupoziomowego. Sposób podziału przedstawia wzór numer 12 (wzory 12-17 na podstawie ³⁴⁷).

$$\min K(y,m) = \min_{m \in M} \{ \min K(y,m) \} \quad (12)$$

gdzie:

$y \in Y$ - zbiór wyjść

$m \in M$ - obiekt decyzyjny (zbiór zmiennych decyzyjnych)

K : funkcja wartościowania (funkcja celu) z ograniczeniami:

$$K(x \in X): X \rightarrow R \text{ - funkcja celu} \quad (13)$$

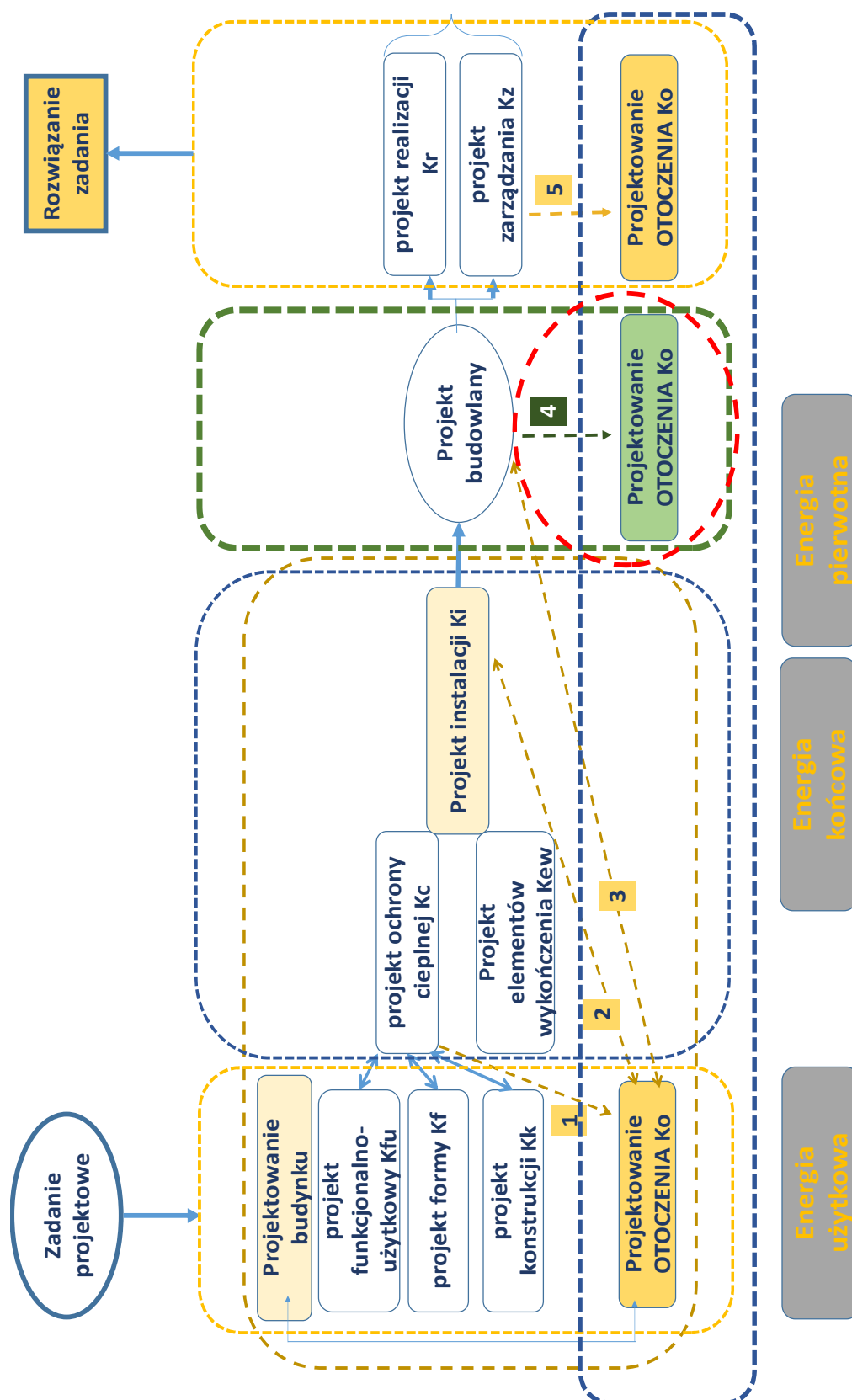
Należy wyznaczyć takie $x^* \in V$ takie, by:

$$K(x^*) = \min_{x \in V} K(x) \quad (14)$$

$$V = \{x: g(x) > 0\} \quad (15)$$

gdzie: $g(x) \in G$ - zbiór ograniczeń.

³⁴⁷ A. Stachowicz, J. Gintowt, *Optymalne projektowanie budynków jako problem optymalizacji wielokryterialnej*, Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, Łódź, 1995, s. 96-102.



il. 41. Struktura procesu projektowania zintegrowanego z otoczeniem i przypisane mu kryteria oceny Ki.
[Opracowanie własne]

Nie definiując zbioru zmiennych decyzyjnych i zbiorów ich wartości, funkcja celu może mieć postać:

$$K_r(y,m) = \sum K_i(y,m) \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (16)$$

gdzie: n - liczba elementów obiektu i prowadzi do dekompozycji części zadania optymalizacji. Wówczas można przyjąć, że:

$$K_r(y,m) = \sum K_i(y,m) + \sum K_i(y) \quad (17)$$

a to ogranicza liczbę zadań i pozwala na ocenę poprawności zadań sformułowanych dla poszczególnych elementów obiektu (np. ocena wartości energii do celów chłodzenia, czy do celów ogrzewania). Dekompozycja zadania polega na podzieleniu projektowania na etapy (poziomy), na których uwzględnia się różne elementy-zmienne decyzyjne np. sprawność systemu instalacji ogrzewania i grubość termoizolacji bez zacienienia od drzew (na ilustracji 42 oznaczone jako etap 2) lub np. ustalona grubość termoizolacji i sprawność systemu ogrzewania bez uwzględnienia zacienienia od drzew (na ilustracji 42 oznaczono jako etap 3). Na każdym z tych etapów zgodnie z dekompozycją można włączyć zacienienie od drzew. Zgodnie ilustracją 42 analizowany będzie etap oznaczony numerem 4.

Jedną z najbardziej rozwojowych grup metod optymalizacji numerycznej jest typ iteracyjny. W przypadku tych metod wyznaczany jest punkt na podstawie wcześniej uzyskanych wyników, który wskazuje, gdzie prawdopodobne jest minimum lub ogólny kierunek, w którym prawdopodobnie będzie ono leżeć. Algorytmy bez ograniczeń obejmują następujące metody: Direct Search Method of Hooker and Jeeves, Simplex Method of Nelder and Mead, Variable Metric Method of Davidon-Fletcher-Powell. Metody te raczej nie powinny być stosowane do oceny budynków, szczególnie energooszczędnych, przede wszystkim ze względu na to, że w większości określane są ich wymagania techniczne takie jak np. maksymalny współczynnik przenikania ciepła, zapisy wynikające z warunków zagospodarowania przestrzennego. W takim przypadku można znaleźć lokalne optimum zamiast optimum globalnego lub znaleźć rozwiązanie z dopuszczalnych rozwiązań, ale względu na wymagania techniczne.

Funkcja kary.

Najczęstsze podejście do rozwiązywania problemów z minimalizacją (w tym przypadku minimalizacja zużycia energii do ogrzewania budynku, minimalizacja kosztów ogrzewania, czyli funkcja podwójnego minimum lub minimum energii do celów ogrzewania i maksimum oszczędności kosztów ogrzewania budynku

czyli funkcja minimum -maksimum) z ograniczeniami polega na wykorzystaniu funkcji kary w celu przekształcenia tych zadań z zadań bez ograniczeń do zadań z ograniczeniami. Najpopularniejszą funkcją kary jest taka, która wiąże karę proporcjonalną do kwadratu naruszenia, opisaną formułą nr 18, ρ – liczba losowa $<0;1>$, $P[f(x)]$ - funkcja preferencji (funkcja zastępcza)³⁴⁸

$$\min_{x \in R^n} \phi(x, r) = f(x) + r \sum_{j=1}^p [h_j(x)]^2 + r \sum_{j=1}^m G_j [g_j(x)]^2 \quad (18)$$

gdzie:

$f(x)$ – wektor funkcji celu

x – wektor zmiennych decyzyjnych

r – mnożnik dodatni (kontrola wysokości kary)

$h(x)$ – wektor ograniczeń równościowych

G_j – Heaviside'a operator taki że $G_j=0$ dla $g_j(x) \geq 0$ i $G_j=1$ dla $g_j(x) < 0$

$g_j(x)$ – wektor ograniczeń nierównościowych

x_i – wektor zmiennych decyzyjnych (szacowana dolna granica x_i , szacowana górna granica x_i)

Jednym ze sposobów powszechnie stosowanych sformułowań przekształconej funkcji jest zależność przedstawiona w formule nr 19:

$$\phi(x, r) = f(x) + r \sum_{j=1}^n \frac{1}{g_j(x)} \quad (19)$$

gdzie:

$f(x)$ – wektor funkcji celu

x – wektor zmiennych decyzyjnych

$g_j(x)$ – wektor ograniczeń nierównościowych

Jeżeli któraś z funkcji ograniczeń $g_j(x)$ zbliża się do 0, to składnik karny rośnie bardzo szybko. W tej metodzie konieczne jest rozpoczęcie poszukiwań od punktu początkowego.

Elastyczna metoda tolerancji.

Jest to metoda elastycznej tolerancji opracowana przez Himmelblau. Koncepcja oparta na poprawie wartości funkcji sprzeciwu, w której $T(x)$ definiuje się

³⁴⁸ Wzory 18-22-[Opracowanie własne] na podstawie: W. Findeisen, J. Szymanowski, A. Wierzbicki *Teoria i metody obliczeniowe optymalizacji*, PWN, Warszawa 1977, s. 50-58, s. 241-334, s. 493-512. W .F. Diemianow, W. N. Małoziemcow, *Wstęp do metod minimaksymalizacji*, WNT, Warszawa 1975, s. 60-75, s. 222-227.

jako dodatni pierwiastek kwadratowy z sumy kwadratów wartości wszystkich naruszonych ograniczeń nierówności lub/i równości. Wzór 20 opisuje zależność:

$$T(x) = \left\{ \sum_{j=1}^p [h_j(x)]^2 + \sum_{j=1}^n G_j [g_j(x)]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (20)$$

gdzie:

$h(x)$ – wektor ograniczeń równościowych

x -zmienna decyzyjna

G_j – Heaviside operator taki że $G_j=0$ dla $g_j(x) \geq 0$ i $G_j=1$ dla $g_j(x) < 0$ (jak wyżej)

$g_j(x)$ – wektor ograniczeń nierównościowych

Rozwiązaniem jest wartość xt . Mała wartość funkcji $T(xt)$ oznacza, że xt jest dość daleko od obszaru rozwiązań dopuszczalnych.

Dla każdego punktu obliczana jest wartość funkcji celu, zaś minimum, spośród wszystkich wyliczonych wartości, przyjmuje się jako najlepszy wynik. Są dwa podejścia do rozwiązywania zagadnień z ograniczeniami.

Pierwsza metoda: kara jest stosowana za naruszenie rozwiązania poza obszarem dopuszczalnych rozwiązań. W tym przypadku funkcja celu jest oceniana dla wszystkich wygenerowanych punktów.

Druga metoda: każdy wygenerowany punkt jest testowany pod kątem naruszenia i odrzucany, jeśli nie jest to dopuszczalne rozwiązanie. W tym przypadku funkcja celu jest oceniana tylko dla możliwego rozwiązania. Do określenia wartości x_i – wektora zmiennych decyzyjnych wykorzystany wzór 21:

$$x_i = x_i^k + \rho_i (x_i^u - x_i^k) \quad (21)$$

Metoda ta lokalizuje rozwiązanie w sąsiedztwie minimum globalnego.

W zadaniu optymalizacji zastosowano funkcję podwójnego minimum. Rozwiązanie optymalne w sensie Pareto oparte jest na metodzie wyszukiwania losowego ze zwiększaniem ilości kroków optymalizacyjnych. Rozwiązanie znajduje się metodą Kuhna-Tuckera, wzór 22:

$$P[f(x^*)] = \min_{x \in X} P[f(x)] \quad (22)$$

Mówimy, że funkcja f przyjmuje w punkcie $x_0 \in U$ minimum globalne wtedy i tylko wtedy, gdy:

$$\forall x \in U \quad f(x) \geq f(x_0) .$$

Analogicznie, f przyjmuje w punkcie $x_0 \in U$ maksimum globalne wtedy i tylko

wtedy, gdy:

$$\forall x \in U \quad f(x) \leq f(x_0)$$

W zadaniu określono dwie funkcje celu, zmienne decyzyjne, ograniczenia równościowe i nierównościowe.

Zgodnie z przyjętym schematem (ilustracja 42) przeprowadzono rozwiązanie zadania optymalizacji elementów architektury krajobrazu (tu: otoczenia budynku) na etapie 4-tym (na schemacie poniżej oznaczonym jako 5.1 i 5,2), gdy już zaprojektowano budynek, w tym jego system ochrony cieplnej rozumiany jako np. współczynniki przenikania ciepła (rodzaje i grubości warstwy termoizolacji dla poszczególnych przegród), kształt budynku, orientację względem stron świata, systemy instalacji i przygotowywany jest projekt realizacji (Kr) oraz projekt zarządzania realizacją (Kz).

5.2. Optymalizacja wolnostojącego, jednorodzinnego domu mieszkalnego

Do optymalizacji jednorodzinnego budynku mieszkalnego zastosowano program (autorstwa Andrzeja Osyczki z Politechniki Krakowskiej) CAMOS (Computer Aided Multicriterion Optimization System). W tym celu opracowano własny algorytm obliczeniowy.

Funkcjami kryterialnymi były: minimum energii użytkowej i minimum kosztu inwestycyjnego (bez kosztu instalacji).

Optymalizacji podlegały: kształt budynku, oporności cieplne przegród budowlanych - grubości termoizolacji, wielkości przeszklenia na poszczególnych elewacjach.

Do rozwiązania zadania optymalizacji kształtu budynku zastosowano Metodę Kuhna-Tucker'a oraz metodę punktu siodłowego w poszukiwaniu minimum globalnego. Wyniki analiz tej metody, ze względu oddziaływania budynku na środowisko, zaprezentowano w publikacji pt. *Ecological aspects of passive house an as example of completion of an investment*³⁴⁹.

Funkcje kryterialne to:

F1-minimum energii do celów ogrzewania [kWh],

³⁴⁹ J. Gintowt, *Ecological aspects of passive house an as example of completion of an investment*, Technical Transactions, Kraków 2011.

F-2 minimum kosztów inwestycyjnych[zł].

Zmienne decyzyjne to:

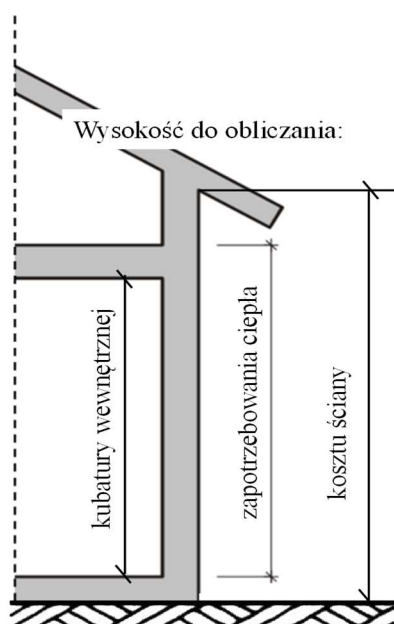
wielkość przeszklenia na poszczególnych elewacjach,

długości boków podstawy (proporcja boków, wysokość o stałej wartości),

opór cieplny termoizolacji.

np.:(x6)-simplex (proporcja) długości boków podstawy budynku [-].

Z założenia, (że gdy starzejemy się trudność poruszania się po budynku może wynikać z konieczności pokonywania schodów a to uniemożliwić realizację kryterium społecznego jakim jest integracja, eliminacja barier , dostępność dla osób starszych, z niepełnosprawnością, przewlekle chorych), budynek miał być parterowy. Przyjęto jego technologicznie stałą wysokość równą 3,1 m, podłogę pełną na gruncie, oraz strop nad parterem pod dachem dwuspadowym (część pod dachem nieogrzewana). Zasadę wymiarowania wysokości podano na ilustracji nr 43.



il. 42. Sposób wymiarowania wysokości. [Opracowanie własne] na podstawie: M. Strzeszewski, P. Wereszczyński, *Metoda obliczania obciążenia cieplnego budynków wg normy PN-EN 12831 Poradnik*, wyd. II rozszerzone, Elektra, Warszawa 2016, s. 17. <https://elektra.pl/d>. https://elektra.pl/download/pl/katalogi/nowa_norma.pdf; http://galaxy.agh.edu.pl/~olesiak/rysunek/04_przekroje.pdf (dostęp 14.04.2024)

Wymiarowanie wysokości wykonano zgodnie z zaleceniami autorów M. Strzeszewskiego, P. Wereszczyńskiego³⁵⁰. W obliczeniach zapotrzebowania

³⁵⁰ M. Strzeszewski, P. Wereszczyński, *Metoda obliczania obciążenia cieplnego budynków wg normy PN-EN 12831 Poradnik*, wyd. II rozszerzone, Elektra, Warszawa 2016, s. 17. https://elektra.pl/download/pl/katalogi/nowa_norma.pdf; http://galaxy.agh.edu.pl/~olesiak/rysunek/04_przekroje.pdf (dostęp 14.04.2024)

ciepła do celów ogrzewania przyjmuje się wymiary zewnętrzne. Dla budynków na gruncie do obliczenia wysokości budynku zakłada się obliczenie wysokości od powierzchni wierzchniej warstwy posadzki (wymaganie formalne).

Ograniczenia nierównościowe g_i to np.:

- g_1 opór cieplny termoizolacji

kres dolny wynosi $3,33 \text{ [m}^2\text{K/W]} < g_1 < 10$ kres górny $\text{[m}^2\text{K/W]}$

- g_6 simplex (proporcja) boków podstawy budynku (długość i szerokość podstawy budynku mają ten sam wymiar 1:1, do proporcji 1:1,2)

$1 < g_6 < 1,2$ dla ograniczeń nierównościowych wynoszą

kres dolny $10 \text{ [m]} < g_6 < \text{kres górny } 12 \text{ [m]}$.

Oznacza to, że przyjęto ograniczenie iż jeden z boków budynku nie może być więcej niż 1,2 razy dłuższy oraz że nie może być równy długości drugiego boku. Przyjęcie ograniczeń (co do długości boków) może wynikać np. z warunków zabudowy lub życzeń inwestora.

Optymalizowano powierzchnie przeszklenia na poszczególnych elewacjach (przy przyjętej wartości g -przepuszczalności promieniowania słonecznego).

5.3. Optymalizacja projektu wnętrza krajobrazowego

Zgodnie z przyjętym założeniem (ilustracja 42), w pracy przeprowadzono rozwiązanie zadania optymalizacji. Opierało się ono na analizie elementów przyrodniczych, azymutu Słońca, pory roku, orientacji zieleni względem stron świata, współczynnika ażurowości drzew. Analiza przeprowadzona została na wnętrzu krajobrazowym, które stanowi otoczenie parterowego budynku jednorodzinnego.

Ze względu na konieczność określenia i porównania wariantów wpływu tych elementów na bilans energetyczny budynku przyjęto stałą umiarkowaną wartość prędkości wiatru dla wszystkich wariantów zgodnie z normą ³⁵¹. Wpływ wiatru na bilans energetyczny budynku nie jest bowiem celem tej analizy wnętrza krajobrazowego.

³⁵¹ PN-EN ISO 6946:2017-10 - wersja angielska, *Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metody obliczania*. (Data publikacji 04-10-2017)

5.4. Projektowanie otoczenia budynku a komfort użytkowania budynku

Sposób projektowania przyrodniczych elementów architektury krajobrazu oraz szaty roślinnej jako otoczenia budynku ma duże znaczenie w komforcie użytkowania obiektów budowlanych oraz jest związany z zasadami projektowania według procedur np. LEED, BREEAM czy DGNB. Jest istotnym elementem bilansowania zużycia energii do celów ogrzewania i (lub) chłodzenia. Modeluje się i analizuje wpływ budynków sąsiednich i powodowanego przez nie zacienienia, a tym samym określa, w jakim stopniu zmniejszają lub podwyższają zapotrzebowanie na ciepło.

5.5. Współczynnik przezierności drzew

Przyrodniczymi elementami krajobrazu, mogącymi stanowić bezpośrednio sąsiedztwo budynku, dla których może być przeprowadzona analiza, są drzewa. Do optymalizacji przestrzennego zagospodarowania zieleni w funkcji gatunku drzew, jako zależności od zapotrzebowania na ciepło dla budynku, dla zmiennych decyzyjnych, takich jak właściwości prześwitów między liśćmi, czy igłami drzewa, konarami, pniem - proponuje się wprowadzenie nowego wskaźnika, jakim jest „współczynnik przezierności” drzewa.

Przykład jednego z przeprowadzonych badań „in situ” dla wpływu proponowanego współczynnika przezierności drzew na zacienienie budynku mieszkalnego przy zmiennym azymucie Słońca przedstawiono na ilustracji 44. Cień od promieniowania słonecznego, padający na elewację jest zmienny. Inny kąt i azymut promieniowania słonecznego w ciągu dnia powoduje, że większa część elewacji jest zaciéniona w godzinach porannych, mniejsza w godzinach południowych (bowiem kąt padania promieniowania jest większy), i ponownie w godzinach wczesno-południowych większa część ściany, ale wówczas drzewo zaciénia ją już pod innym kątem.

Inne zaciénienie elewacji jest także dla okresu lata, co zaprezentowano na ilustracji 44, a inne dla okresu zimy, co przedstawiono na ilustracji 45. Ilustracje 44 i 45 dotyczą tego samego budynku, i tego samego drzewa lecz w różnych porach roku.



il.43. Efekt współczynnika przezierności drzewa dla elewacji wschodniej w zależności od azymutu Słońca, okres lata. [Opracowanie własne]



il.44. Efekt współczynnika przezierności drzewa dla elewacji wschodniej w zależności od azymutu Słońca, okres zimy. [Opracowanie własne]

Tak więc można byłoby przyjąć, że wartości ażurowości drzew będą stałe w określonych porach roku. Przedstawiono to na ilustracji 44 i 45. Jednakże w grupie drugorzędnych czynników dla określania parametrów drzew nie bez znaczenia jest czystość powietrza. Wydaje się celowe przeprowadzenie badań jaki wpływ na współczynnik ażurowości ma jakość powietrza (bowiem wpływa na kondycję drzew). W pomiarach z zastosowaniem technik teledetekcji pyły zawieszone w powietrzu generują dodatkowe punkty w chmurze punktów skaningu.

Jednakże wydaje się iż w grupie innych parametrów służących do oceny przezierności powinien znaleźć się metoda na ocenę stosowanych zabiegów pielęgnacji drzew. Wydaje się słusznym, aby przeprowadzić analizę, co należy do zabiegów typowych (co też trzeba by określić), jak i badania związane z nietypowym sposobem pielęgnacji drzew i nietypowymi zabiegami, szczególnie w zakresie formowania korony (przedstawiono to na ilustracjach 46, 47, 48, 49).



il. 45 Korona drzewa liściastego dla okresu wegetacyjnego zima. [Opracowanie własne]



il. 46. Korona drzewa liściastego dla okresu wegetacyjnego wiosna. [Źródło: Jan Zych - zgoda autora]



il. 47. Zróżnicowanie pokroju ze względu na sposób pielęgnacji drzewa. [Opracowanie własne]



il. 48. Zróżnicowanie pokroju ze względu na sposób pielęgnacji drzewa i nietypowy wzrost. [Opracowanie własne]

Kolejnym parametrem oceny współczynnika przezierności dla drzew jest ich nietypowy wzrost. Przedstawiono to na ilustracji 50. Niewątpliwie będzie to mieć wpływ na wartość przezierności. Kwestią analizy statystycznej pozostaje, jaki procent drzew wzrasta w taki sposób, jak zdefiniować ten wpływ, czy można określić go mnożnikiem zmniejszającym lub zwiększającym wartość przezierności, czy przedziałem od wartości - do wartości. Wówczas projektant wnętrz krajobrazowych, na podstawie opisów, wiedzy, umiejętności, a także doświadczenia przyjmowałby z tego przedziału wartość współczynnika przezierności. Przedstawiono to na ilustracjach numer 50, 51, 52, 53 Ilustracje 53 i 54- przedstawiają zmianę pokroju drzewa na skutek wzrostu w latach.



il.49. Nietypowy pokrój brzozy z jednym pniem. [Opracowanie własne]



il.50. Nietypowy pokrój brzozy z kilkoma pniami. [Opracowanie własne]



il.51. Nietypowy pokrój drzewa z kilkoma pniami. [Opracowanie własne]



il. 52. Nietypowy pokrój drzewa. Przykład wzrostu z wieloma pniami. Stan marzec 2023 rok. [Opracowanie własne]



il. 53. Nietypowy pokrój drzewa. Przykład wzrostu z wieloma pniami. Przykład zabiegów pielęgnacyjnych. Zmieniających ażurowość drzewa. Stan maj 2024rok.[Opracowanie własne]

Zastosowanie analizy statystycznej do opracowania danych z pomiarów in-situ wydaje się uzasadnione. Narzędziem do opracowania wyników może być omówiona przez M. H. de Groot metoda zaprezentowana w *Optima statistical decisions*³⁵². W tomie pierwszym omówiona została, z zakresu optymalnych decyzji statystycznych, teoria i metodologia podejmowania decyzji w terenie. W tomie drugim zawarto wprowadzenie do bayesowskiej statystycznej teorii decyzji.

Bayesian Inference in Statistical Analysis, bada zastosowanie i znaczenie twierdzenia Bayesa dla problemów pojawiających się podczas badań naukowych, w których należy wyciągać wnioski dotyczące wartości parametrów, o których niewiele wiadomo. W tomie trzecim przedstawione zostały metody analityczne statystycznych teorii decyzji.

Z drugorzędnych, z punktu analizy matematycznej, aczkolwiek ważnych parametrów określanych dla drzew jest czystość powietrza, jakość gleb, wilgotność gleb i światło. Wpływają one na kondycję drzewa.

W książce pt. *Manual of Tree Statics and Tree Inspection*³⁵³ zawarto tabele, diagramy, wykresy (oparte na statystycznych regułach) na podstawie których można wnioskować jak wydłużyć żywotność drzew. Autorzy publikacji są pierwszymi badaczami, którzy wprowadzili biochemiczne podejście do arborystyki. W publikacji

³⁵² M. H. de Groot, *Optima statistical decisions*, McGraw-Hill Inc., 1981, s. 122-133.

³⁵³ L. Wessolly, M. Erb, *Manual of Tree Statics and Tree Inspection*, Patzer Verlag 2016.

zawarto wyniki długoterminowych badań statyki drzew. Do opracowania danych zastosowano metodę Static Integrated Assessment (SIA) - Statyczną Ocena Zintegrowaną.

Inna przezierność drzew występuje w różnych porach roku, inna w każdym kolejnym roku ze względu na różne czynniki środowiskowe, takie jak zanieczyszczenia pyłowe i gazowe, których stężenie jest znaczne w dużych ośrodkach miejskich, wokół dróg szybkiego ruchu, a mniejsze nad obszarami wiejskimi bez uprzemysłowienia i silnego zurbanizowania. Wpływają na to głównie tlenki azotu, ozon przyziemny, B&P. Stan drzew na tych obszarach będzie zatem różny.

Mniejsza przezierność będzie mieć miejsce w różnych przypadkach gniazdowania ptaków, a to, czy i w jakim stopniu wpływa to statystycznie na wartość współczynnika przezierności, wydaje się zasadnym pytaniem. Przedstawiono to na ilustracjach 55 i 56.



il.54. Ilustracja (przykład nr 1) konarów drzew w okresie zimowym do analizy prześwitów-przezierności. Gniazdo lęgowe ptaków w koronie drzewa. [Opracowanie własne]



il.55. Ilustracja (przykład nr 2) konarów drzew w okresie zimowym do analizy prześwitów-przezierności. Gniazda lęgowe ptaków w koronie drzewa. [Opracowanie własne]

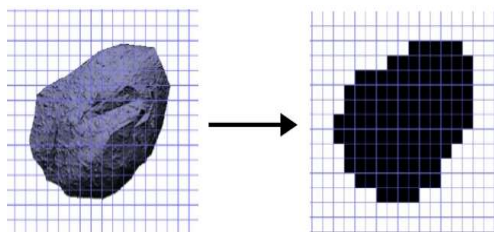
Mnogość gatunków powoduje iż ustalenie jednego współczynnika przezierności, nie jest możliwa. Wydaje się celowym wprowadzenie zmiennego w czasie współczynnika przezierności z określeniem przedziałów (zakresów „od– do”) wartości.

W publikacji *The description and measurement of plant canopy structure, in: Plant Canopies: Their Growth, Form and Function*³⁵⁴, metody fitometryczne, allometryczne, bezpośrednie i pośrednie, służące do pomiaru struktur czaszy roślin.

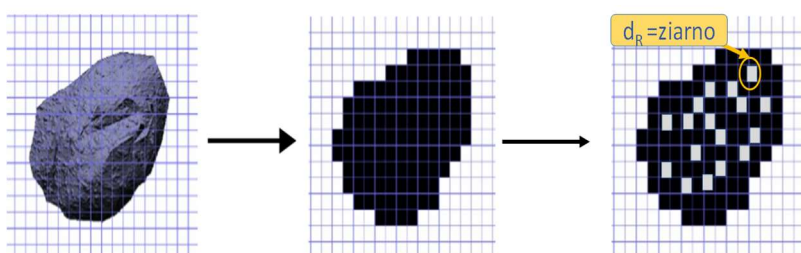
W celu wyznaczenia współczynnika przezierności proponuje się: zastosowanie metody rozmiaru projekcyjnego. Zaplanowano także analizę wrażliwości dla przyjętego kroku (oczek siatki pomiarowej) przy czym jako „ziarno” traktuje się pojedyncze elementy drzewa opisane siatką ortogonalną o symetrycznej i (lub) niesymetrycznej (w dwu kierunkach) zmiennej długości kroku (ilustracja 57, 58, 59), gdzie d_R - to rozmiar projekcyjny oczka siatki o takiej samej powierzchni przekroju, jak powierzchnia rzutu „ziarna” na płaszczyznę. Metodę tę opisano w publikacji pt. *A new approach to the characterisation of particle shape and surface*

³⁵⁴ G.S. Campbell, J. M. Norman, *The description and measurement of plant canopy structure*, in: *Plant Canopies: Their Growth, Form and Function*, Russell, G., B. Marshall, P.G. Jarvis, Cambridge University Press, 1990, s. 1-10.

*properties of powders employed in concrete industry*³⁵⁵. Podobną metodę, do wyznaczenia wyznaczania wielkości ziaren, zaproponowano w publikacjach *Podstawowe pojęcia z dziedziny analizy ziarnistości część 1*³⁵⁶ oraz *Podstawowe pojęcia z dziedziny analizy ziarnistości część 2*³⁵⁷ autorstwa A. Rawle.



il. 56. Konwersja nieregularnej cząstki 3D na 2D o ortogonalnym i symetrycznym kroku. [Opracowanie własne]



il. 57. Konwersja nieregularnej cząstki 3D na 2D o ortogonalnym i symetrycznym kroku na tzw. „ziarno”. [Opracowanie własne]

Współczynnik przezierności w okresie grzewczym (zimie) dla drzew powinien uwzględniać przede wszystkim stan bezlistny (są to drzewa liściaste i drzewo iglaste, takie jak modrzew), ale także śnieg zalegający na gałęziach, co jest zjawiskiem dynamicznym, ze względu na charakter opadów atmosferycznych w takiej porze roku. Proponuje się wprowadzenie mnożnika skorelowanego ze współczynnikiem przezierności. Dobór i wielkość mnożnika powinny zostać określone jako funkcja strefy klimatycznej, wielkości opadów i sposobu zalegania warstw śniegu na powierzchni drzewa oraz czasu jego zalegania.

Ze względu na zmienność w czasie takich właściwości, jak prześwity od np. wiatru czy starzenia się drzewa, czy zmian chorobowych proponuje się wprowadzenie przedziału (zakresu) współczynnika przezierności dla drzew. W artykule pt. *Najlepsze drzewa dedykowane terenom zieleni* wyjaśniono, iż dobór

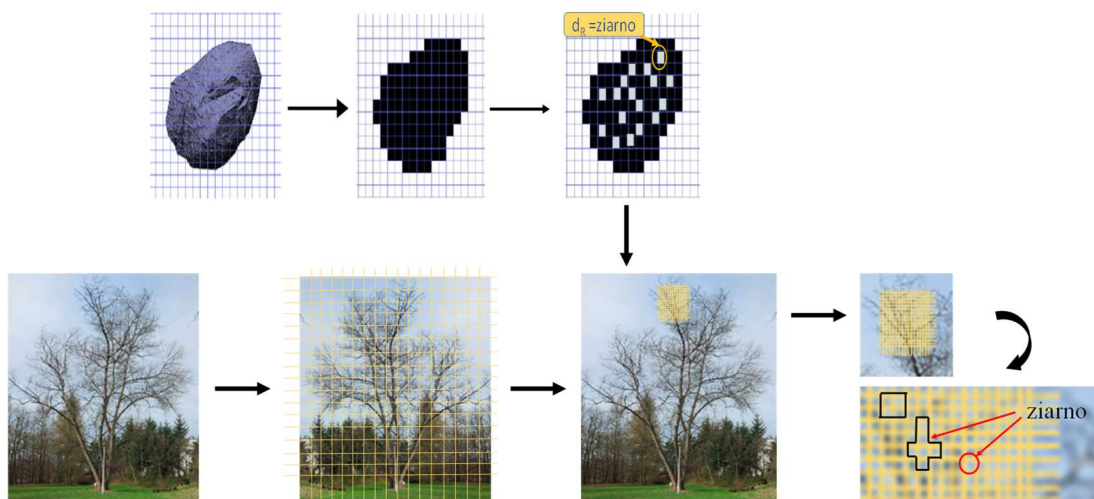
³⁵⁵ B. Felekoglu, *A new approach to the characterisation of particle shape and surface properties of powders employed in concrete industry*, Construction and Building Materials, 2009, 23 (2), s. 1154- 1162.

³⁵⁶ A. Rawle, *Podstawowe pojęcia z dziedziny analizy ziarnistości. Cz. 1*, LAB 1/2000, s. 22-26.

³⁵⁷ A. Rawle, *Podstawowe pojęcia z dziedziny analizy ziarnistości. Cz. 2*, LAB 1/2001, s. 10-14.

właściwej wartości silnie zależęć będzie od doświadczenia i wiedzy dendrologicznej³⁵⁸.

Przykład oznaczania współczynnika przezierności przedstawiono na ilustracji 59. Do zliczania „ziaren” można zastosować metody opisane w publikacji pt. *Praktyka analizy obrazu* autorstwa L. Wojnara, J. K. Kurzydłowskiego, J. Szala³⁵⁹. W książce przedstawiono metody analizy obrazu. Zawarto w niej rozdziały z dokładnym opisem podstaw stereologii i w związku z tym analiz gęstości cząstek, oceny średniej objętości cząstek. Omówiono sposoby poprawy jakości obrazu. Wyjaśniono jak przekształcić obraz do ilościowej analizy, przeprowadzić zliczanie obiektów i jak obliczyć rozkłady wielkości³⁶⁰.



il. 58. Przykład kompilacji metody ortogonalnej i metody miar rozmytych do wyznaczenia współczynnika przezierności. [Opracowanie własne]

Autorzy J. Rakowska, K. Radwan, Z. Ślosorz w publikacji pt. *Problems of estimation the size and shape of grain solids* przedstawili rezultaty analiz prowadzonych metodą ortogonalną, a zastosowaną do określenia wielkości próbek oraz opisu ich kształtu³⁶¹.

³⁵⁸ Związek Szkółkarzy Polskich, *Najlepsze drzewa dedykowane terenom zieleni*, Zielen Miejska nr 1/2017, s. 27-29.

³⁵⁹ L. Wojnar, J. K. Kurzydłowski, J. Szala, *Praktyka analizy obrazu*, wyd. Polskie Towarzystwo Stereologiczne, Kraków 2002.

³⁶⁰ L. Wojnar, J. K. Kurzydłowski, J. Szala, *Praktyka analizy obrazu*, ibidem, s. 127-130.

³⁶¹ J. Rakowska, K. Radwan, Z. Ślosorz, *Problemy oceny wielkości i kształtu ziaren materiałów sypkich (Problems of estimation the size and shape of grain solids)*, Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza 2012, T.3, s. 59-64.

5.6 Warianty i elementy optymalizacji przestrzennej

„Peter Wohlleben rzeczowo i z pasją przekonuje nas o tym – z czego od dawna zdają sobie sprawę biolodzy – że drzewa to istoty społeczne.”

Sally McGrane, „New York Times”

Określenie wyznaczenia przezierności jako elementu zacienienia wymaga sprecyzowania na jakim etapie i w jakiej procedurze obliczania zapotrzebowania rocznego na energię użytkową do ogrzewania jest ułożone zacienienie. Otóż procedura obliczania rocznego zapotrzebowania energią użytkową do ogrzewania i wentylacji w strefie ogrzewanej wyznacza się według wzoru nr 23: Wzory 23 - 25 wg PN dotyczącej energetycznych właściwości użytkowych budynków (obliczanie zużycie energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia)

$$Q_{H,nd,s,n} = Q_{H,ht,s,n} - \eta_{H,gn,s,n} \cdot Q_{H,gn,s,n} \quad (23)$$

gdzie:

$Q_{H,nd,s,n}$ – zapotrzebowanie na ciepła do ogrzewania i wentylacji w strefie ogrzewanej w n-tym miesiącu roku (uwzględnia się wartości większe od 0), [kWh]

$Q_{H,ht,s,n}$ – ilość ciepła przeniesionego ze strefy ogrzewanej w n-tym miesiącu, [kWh]

$\eta_{H,gn,s,n}$ - współczynnik wykorzystania zysków ciepła w strefie ogrzewanej w n-tym miesiącu roku wyznaczony według Polskiej Normy dotyczącej energetycznych właściwości użytkowych budynków- obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia, [-]

$Q_{H,gn,s,n}$ - całkowite zyski ciepła w strefie ogrzewanej w n-tym miesiącu roku, [kWh].

Całkowite zyski ciepła w strefie ogrzewanej w n-tym miesiącu roku $Q_{H,gn,s,n}$ wyznacza się według wzoru nr 24:

$$Q_{H,gn,s,n} = Q_{sol,H} + Q_{int,H} \quad (24)$$

gdzie:

$Q_{sol,H}$ – miesięczne zyski ciepła od promieniowania słonecznego przez okna, drzwi balkonowe lub powierzchnie oszklone, [kWh/mies.]

$Q_{int,H}$ – miesięczne wewnętrzne zyski ciepła, [kWh/mies.]

Miesięczne zyski ciepła od promieniowania słonecznego przez okna, drzwi balkonowe lub powierzchnie oszklone wyznacza się według wzoru nr 25:

$$Q_{sol,H} = \sum_{i=1}^{i=n} C_i \cdot A_i \cdot I_i \cdot F_{sh,gl} \cdot F_{sh} \cdot g_{gl} \quad (25)$$

gdzie:

$Q_{sol,H,i}$ – miesięczne zyski ciepła od promieniowania słonecznego* przez okna, drzwi balkonowe lub powierzchnie przeszklone, [kWh/mies] ,

C_i – udział powierzchni oszklenia do całkowitego pola powierzchni okna , [-]

A_i – pole powierzchni okna, drzwi balkonowych lub powierzchni przeszklonej w świetle otworu w przegrodzie, [m²]

I_i – energia promieniowania słonecznego padająca w danym miesiącu na przegrodę, w której znajduje się okno, drzwi balkonowe lub powierzchnie przeszklone, dla danych klimatycznych z najbliższej stacji meteorologicznej dla lokalizacji budynku (podana w BIP- Biuletyn Informacji Publicznej- dla urzędu ministra właściwego do spraw budownictwa, lokalnego planowania i zagospodarowania przestrzennego oraz mieszkalnictwa), [kWh/m²mies.]

$F_{sh,gl}$ – czynnik redukcyjny ze względu na zacinienie dla ruchomych urządzeń zacieniających wyznaczany wg PN dotyczącej energetycznych właściwości użytkowych budynków (obliczanie zużycie energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia), [-]

F_{sh} - czynnik redukcyjny ze względu na zacinienie od przegród zewnętrznych wyznaczany wg PN dotyczącej energetycznych właściwości użytkowych budynków (obliczanie zużycie energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia), [-]

g_{gl} – całkowita przepuszczalność energii promieniowania słonecznego dla przezroczystej części okna, drzwi balkonowych lub powierzchni przeszklonej wyznaczona wg PN dotyczącej energetycznych właściwości użytkowych budynków (obliczanie zużycie energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia), [-].

**miesięczne zyski ciepła odpromieniowania słonecznego przez specjalne elementy obudowy budynku (elementy z izolacją transparentną, wentylowane ściany słoneczne, wentylowane elementy obudowy i przyległe przestrzenie słoneczne wyznacza się według PN dotyczącej energetycznych właściwości użytkowych budynków (obliczanie zużycie energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia).*

Zacienienie:

Czynnik redukcyjny ze względu na zacinienie od przegród zewnętrznych F_{sh} - wyznaczany wg PN dotyczącej energetycznych właściwości użytkowych budynków (obliczanie zużycie energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia):

$$F_{sh} = r_H \cdot r_B \cdot r_G \cdot r_{in} \quad (26)$$

gdzie:

r_H – współczynnik zacienienia okna przez szereg budynków,

r_B – współczynnik zacienienia przez ościeże okna lub inne elementy pionowe,

r_G – współczynnik zacienienia przez wystające poziome elementy nad oknem,

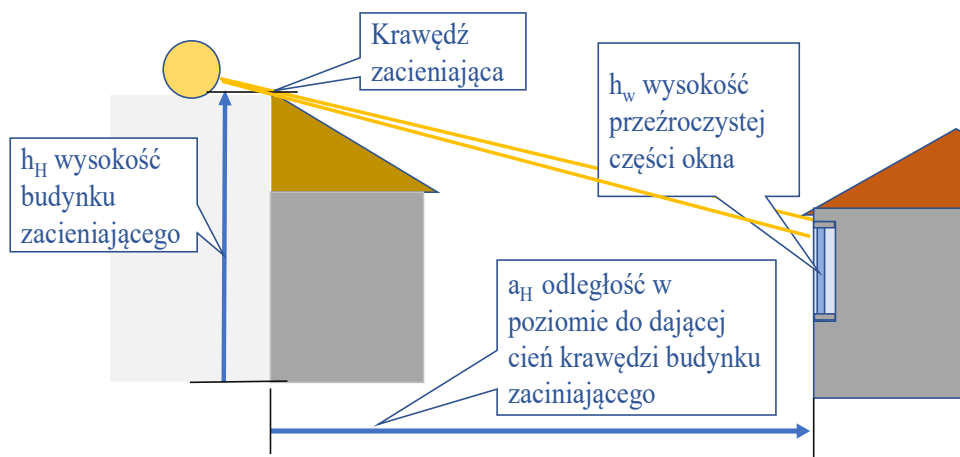
np. płytę balkonu,

r_{in} – współczynnik zacienienia dla innych elementów zacieniających.

Przedstawiono to na ilustracji 60.

(r_H czyli zacienienie przez szereg budynków jeżeli odległość będzie mniejsza od ok.10 m to zacienienie zostanie nie wiele przeszacowane – zgodnie z *Passive House Institute* „wymagania dotyczące budynków pasywnych sprawdzonych pod względem jakościowym”, PHPP 2007, *Passivhaus Institut Dr. Wolfgang Feist*, D-64283, Darmstadt, 2007).

Zacienienie przez szereg budynków



il. 59. Zacienienie przez szereg budynków. [Opracowanie własne]

Współczynnik redukcyjny zysków ciepła od promieniowania słonecznego:

$F_{sh,gl}$ – czynnik redukcyjny ze względu na zacienienie dla ruchomych urządzeń zacinających wyznaczany wg PN dotyczącej energetycznych właściwości użytkowych budynków (obliczanie zużycie energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia)

Dla współczynnika redukcyjnego r_z obowiązuje wzór 27:

$$F_{sh,gl} = r_z \cdot r_{zab} \cdot r_{skos} \cdot r_{rama} \quad (27)$$

gdzie:

r_z – współczynnik redukcyjny uwzględniający zacienienie przez sąsiednie budynki, wystające elementy budynku itp.*

r_{zab} – współczynnik redukcyjny uwzględniający zabrudzenia,

r_{skos} – współczynnik redukcyjny uwzględniający zmniejszone przepuszczanie promieniowania słonecznego przy ukośnym padaniu promieni,

r_{rama} – współczynnik redukcyjny uwzględniający nieprzezroczystą część powierzchni okna.

*Instytut Budownictwa Pasywnego w Darmstadt proponuje uwzględnić dodatkowy współczynnik redukcyjny, ale podawana jest wartość standardowa 0,75. W PHPP w arkuszu kalkulacyjnym *Obliczanie współczynnika zacienienia* wartość jego jest określana jako % w odniesieniu do powierzchni przegrody.

W projektowaniu zapotrzebowania energii do celów ogrzewania dla ruchomych elementów, np. rolety okienne (pełne, ażurowe), przyjmuje się standardową wartość czynnika redukcyjnego zmniejszającego przepuszczanie promieniowania słonecznego. Obliczenia przeprowadza się dla jednego roku i na tej

podstawie zapada decyzja o inwestycji. Zieleń nasadza się już po zakończonej realizacji inwestycji. Oczywiście, co zostało omówione w rozdziale dotyczącym procedur wielokryterialnych, takich jak np. LEED, za projekt otoczenia wnętrza architektonicznego dotyczący zieleni można otrzymać dodatkowe punkty, jednakże nie jest to uwzględniane w obliczeniach bilansu energetycznego zapotrzebowania energii do celów ogrzewania. Na przykład kryteriami za jakie można otrzymać punkty jest określenie odległości od zbiorników wodnych, od najwyższej wody, sposobu nawadniania roślin, preferowania gatunków rodzimych. Modelowanie budynku, obowiązkowo, przeprowadzane jest w programie eQuest. eQUEST- Qualified Software for Calculating Commercial Building Tax Deductions to kwalifikowane oprogramowanie do obliczania odliczeń podatku od budynków komercyjnych, wprowadzone po raz pierwszy na mocy ustawy o polityce energetycznej w 2005 roku.

Wydaje się że współczynnik przezierności można wprowadzić na tym etapie obliczania zapotrzebowania energii do celów ogrzewania budynków:

r_z – współczynnik redukcyjny uwzględniający zacienienie przez sąsiednie budynki i potraktować jako wnętrze krajobrazowe subiektywne, obiektywne lub konkretne. W miejsce tworzywa ściany wnętrza krajobrazowego jakim jest budynek, wprowadza się drzewa. Przedstawiono to na ilustracji 61.

Zacienienie przez szereg obiektów



il. 60. Zacienienie przez szereg drzew. Konkretnie wypełnienie ściany zespołu wnętrza architektoniczno-krajobrazowego. [Opracowanie własne]

Modelowanie zostało przeprowadzone z umieszczeniem drzew ze wszystkich stron świata z powtórzeniem procedury: wysokość, współczynnik przezierności, przyrost boczny a także dla kierunku S-N wzdłuż boków budynku od strony wschodniej i zachodniej. Warianty modelowania przedstawiono na ilustracjach

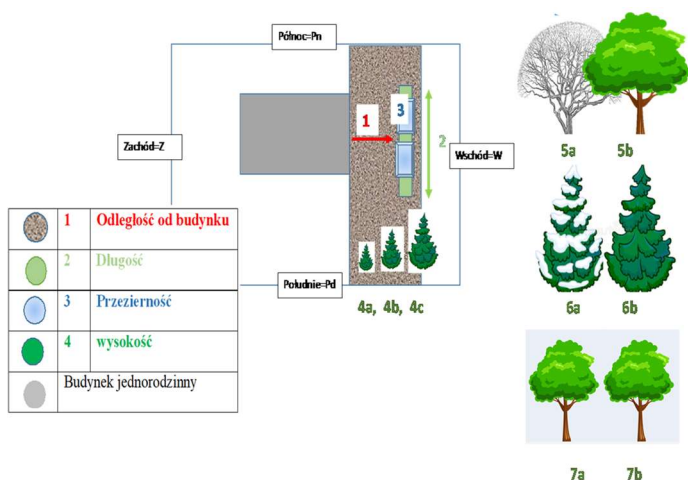
zamieszczonych poniżej. Przyjęte do analizy rodzaje drzew, proponowane jako reprezentatywne dla poszczególnych gatunków, przedstawiono na ilustracji 62.



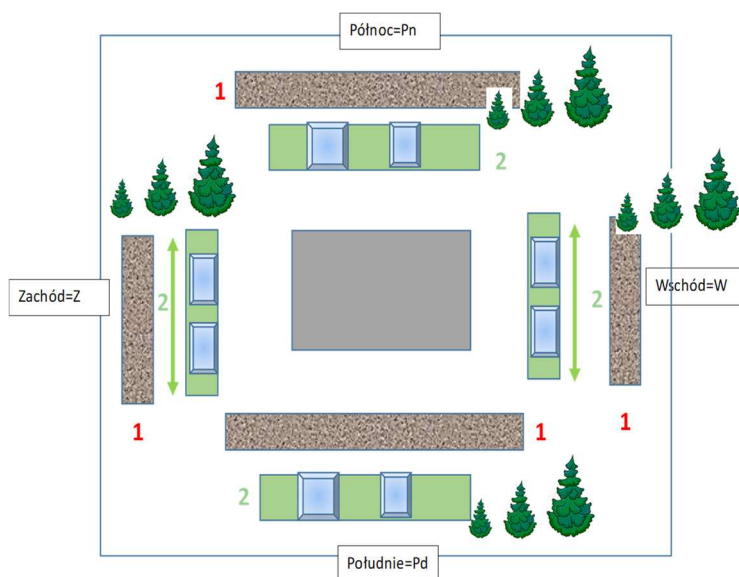
il. 61. Rodzaje drzew, dla których przeprowadzona zostanie analiza kształtowania bezpośredniego otoczenia budynku (przedstawione według pór roku). [Opracowanie własne]

Na ilustracjach 63 i 64 przedstawiono warianty kształtowania przyrodniczych elementów wnętrza krajobrazowego. W tym zadaniu elementami przyrodniczymi są drzewa. Optymalizacja zużycia energii w budynku kształtowana była poprzez zmienne parametry przyrodniczych elementów wnętrza krajobrazu takie jak:

- odległość od budynku (oznaczona kolorem **czerwonym** i numerem 1)
- długość szpaleru drzew (oznaczona kolorem **jasno zielonym** i numerem 2)
- współczynnik przezierności (oznaczony kolorem **jasno niebieskim** i numerem 3)
- fazy wzrostu i przyrosty boczne (oznaczenie 4a, 4b, 4c)
- gatunek drzewa (drzewo liściaste oznaczone 5a, 5b; drzewo iglaste oznaczone 6a, 6b oraz zimozielone drzewo liściaste 7a, 7b).

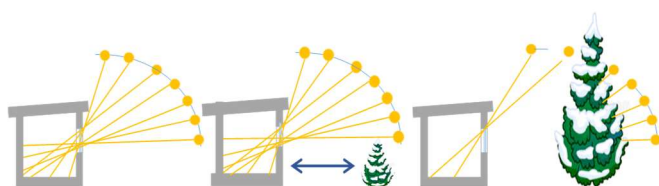


il. 62. Kształtowanie elementów przyrodniczych krajobrazu dla wariantów ze zmiennymi: odległością od budynku, przeziernością, wysokością drzew i długością szpaleru drzew, typami drzew. [Opracowanie własne]



il. 63. Warianty modelowania ze względu na odległość od budynku, długość szpaleru, wysokość, współczynnik przepięrności. [Opracowanie własne]

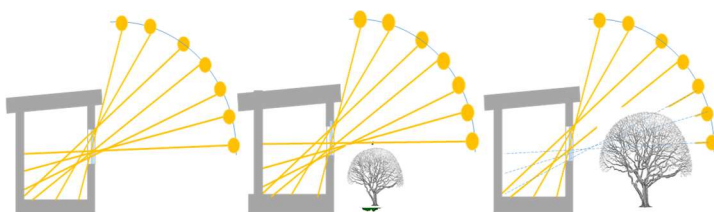
Schematy analiz przeprowadzonych pod kątem ogrzewania dla okresu zimy przedstawiono na ilustracjach 65 i 66.



il. 64. Zależność głębokości nasłonecznienia pomieszczenia w zależności od wieku drzewa i jego odległości od budynku okres zimy, dla drzew iglastych. [Opracowanie własne]

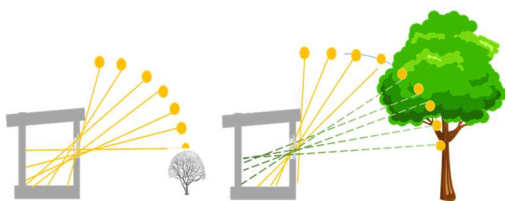
Zyski wewnętrzne od nasłonecznienia są częścią całkowitych zysków wewnętrznych i są częścią bilansu cieplnego budynku. Zgodnie z powyższym w pracy wyniki podawane są dla całości bilansu energii zapotrzebowania ciepła do ogrzewania budynku. Na schematach w sposób graficzny wyjaśniono zasadę wpływu zysków od nasłonecznienia na całkowity wynik bilansu zapotrzebowania energii. Ilość zysków wewnętrznych od nasłonecznienia, przedstawiona na ilustracji 65, zależy od wzrostu drzewa, przyrostów bocznych i jego odległości od budynku. Taka sama zależność występuje w przypadku drzew liściastych. Z porównania ilustracji 65 i 66 można wnioskować, że w zimie występuje różnica ilości zysków wewnętrznych, od nasłonecznienia w przypadku drzew iglastych i liściastych, ale może być taka sama co do wartości gdy w bliskim otoczeniu budynku znajduje się drzewo liściaste

zimozielone. To czy wartość różnicy zysków słonecznych, dla drzewa iglastego zimą a drzewem liściastym zimozielonym zimą, jest taka sama czy różna zależy od przezierności drzew a także różnego tempa wzrostu drzewa i tempa przyrostów bocznych. Drzewo liściaste w okresie wzrostu i rozrastania się nie zacięni pomieszczenia całkowicie (w przeciwieństwie do drzewa iglastego- ale to sformułowanie wymaga weryfikacji), a zyski od nasłonecznienia zimą pomniejszą zapotrzebowanie na ciepło do celów ogrzewania. Latem zacięnienie może powodować zmniejszenie zysków słonecznych, a przez to może obniżyć temperaturę wewnętrzną pomieszczeń i wpłynąć na poprawę warunków pracy czy bytowych. W przypadku budynków z systemem chłodzenia może, tym samym, zmniejszać zapotrzebowanie chłodu. W pracy przyjęto założenie, że projekt budynku na etapie pierwszym (ilustracje 20 i 42) ma spełniać warunki temperatury komfortu cieplnego - nie dopuszcza się przegrzania budynku.



il. 65. Zależność głębokości nasłonecznienia pomieszczenia w zależności od wieku drzewa, jego odległości od budynku okres zimy dla drzew liściastych. . [Opracowanie własne]

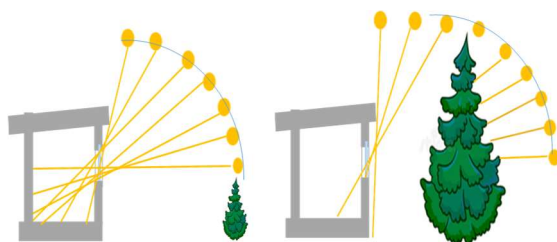
Ilustracja 66 obrazuje efekt zysków wewnętrznych pozyskanych z energii słonecznej w różnych fazach wzrostu drzewa w zimie. W okresie lata występuje częściowe nasłonecznienie, co może skutkować brakiem konieczności zużywania energii do celów chłodzenia. Zima zaś wspomaga system ogrzewania poprzez wewnętrzne zyski słoneczne.



il. 66. Drzewo liściaste. Strefa doświetlenia pomieszczenia w przypadku młodego drzewa w okresie zimowym i dorosłego drzewa w okresie letnim. [Opracowanie własne]

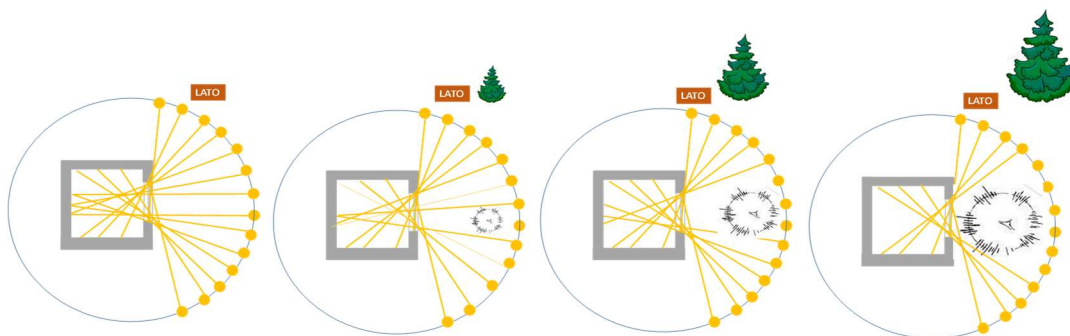
Jak wynika z porównania ilustracji 66 i 67, wydaje się że nie ma znaczącej różnicy w ilości zysków słonecznych w okresie zimy dla młodych drzew liściastych. Jest ona jednak widoczna dla dorosłego drzewa w czasie lata, z tym, że efekt nasłonecznienia jest zależny od współczynnika przezierności.

Badania przeprowadzono dla wariantów ukazanych na rysunkach powyżej i dla różnych etapów wzrostu rośliny, z uwzględnieniem pór roku. Schemat takiej analizy przedstawiono na rysunku ilustracji 68.



il. 67. Drzewo iglaste. Strefa doświetlenia pomieszczenia w przypadku młodego drzewa w okresie zimowym i dorosłego drzewa w okresie letnim. [Opracowanie własne]

Istotnym elementem projektowania optymalizacyjnego przy uwzględnieniu zacieniania jest jakość obiektu zacieniającego. W przypadku analizy drzew zacieniających znaczenie będzie mieć pokrój, ilość i wielkość liści, rozłożenie ich oraz konarów i gałęzi, a więc prześwity między nimi. Przedstawiono to na ilustracji 69.

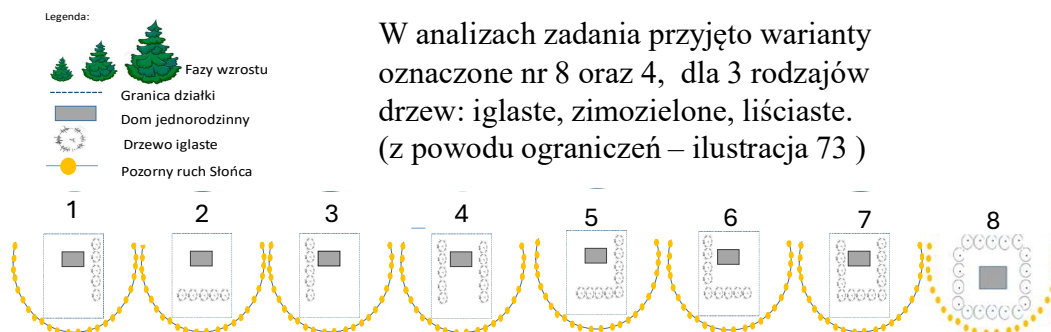


il. 68. Drzewo iglaste fazy wzrostu i zacienienie pomieszczenia. [Opracowanie własne]

Ilustracja 63 i 64 przedstawia proponowane warianty analizy ze względu na wzrost drzewa iglastego w bliskim otoczeniu budynku. Taką analizę przeprowadzono także dla wzrostu drzewa liściastego zimozielonego i gubiącego liście na zimę.

Na ilustracji 70 przedstawiono proponowane warianty analizy ze względu na strony świata, wzrost drzewa oraz sposób utworzenia szpalery z drzew w otoczeniu

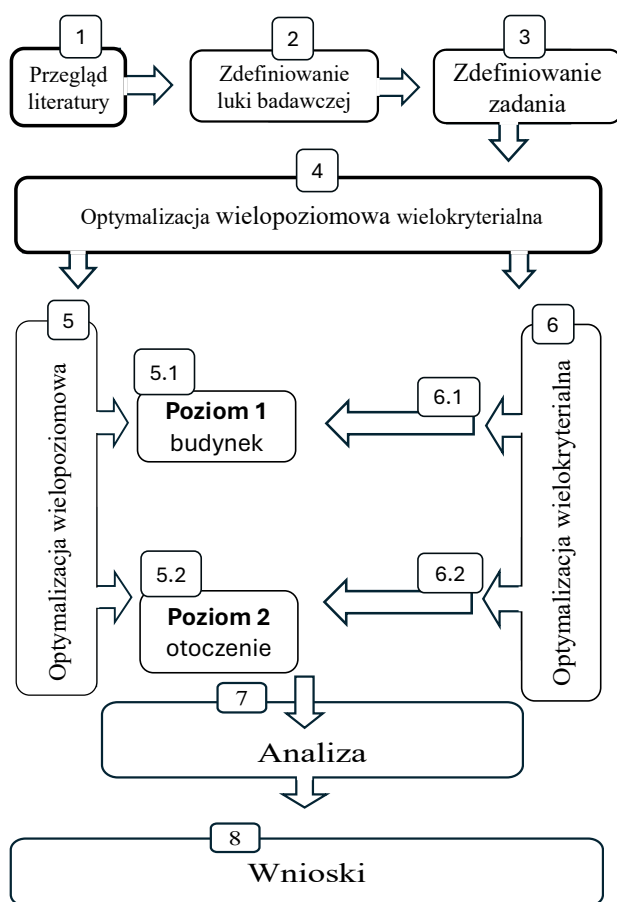
budynku. Z wariantów przedstawionych na schemacie-il. 70 w analizach ostatecznie przyjęto warianty z układem ścian konkretnych o układzie NESW oraz równoległe jednocześnie do boku budynku od strony E i W.



il. 69. Warianty analizy ze względu na: strony świata, wzrost drzewa, azymut słońca.[Opracowanie własne]

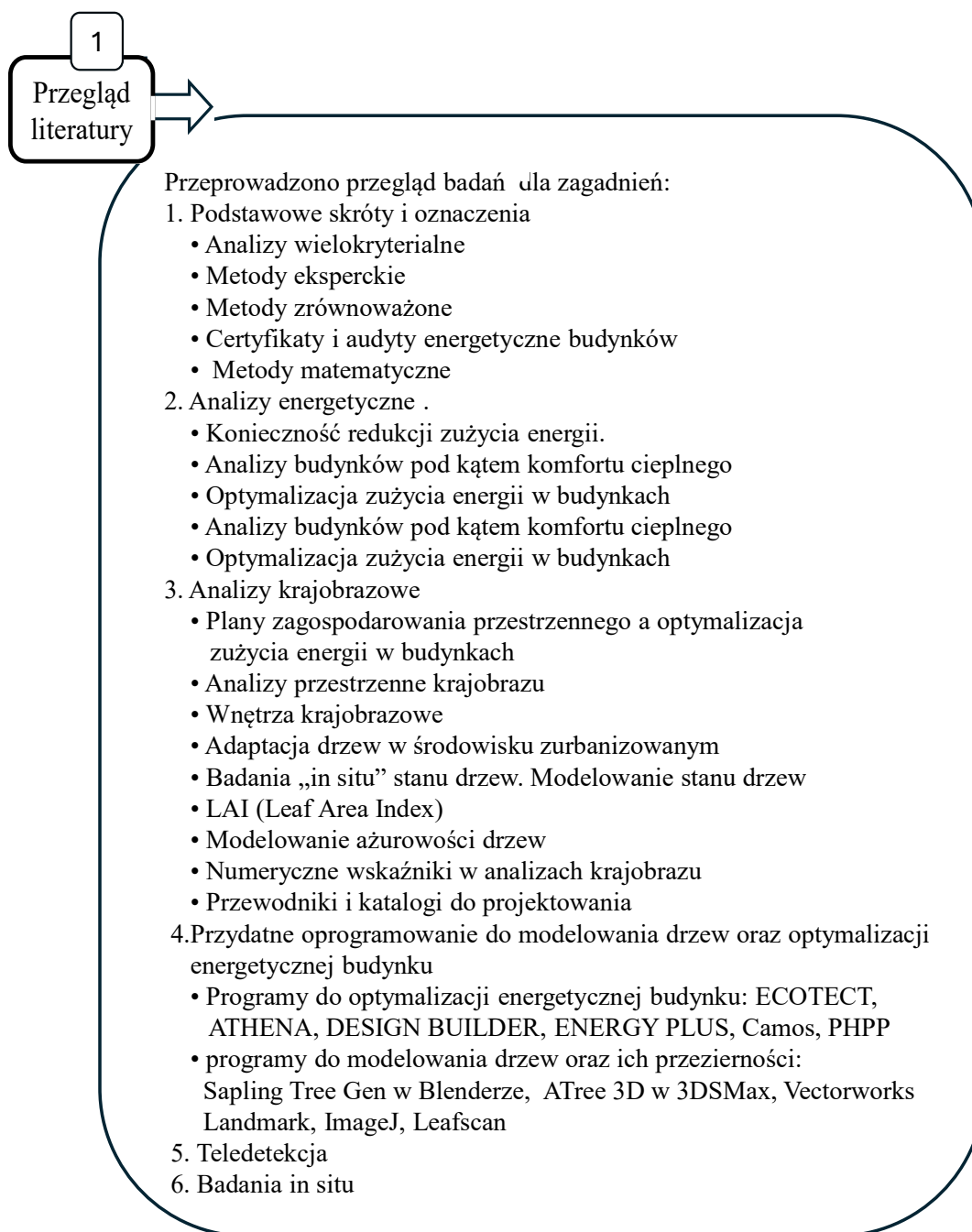
Zadanie projektowe zgodnie z il. nr 42 podzielono na dwa etapy. Bowiem w praktyce najpierw jest projekt budynku, bez włączenia otoczenia budynku, rozumianego jako istotny czynnik, który ma wpływ na bilans cieplny do celów ogrzewania, do bilansu energetycznego. Nie można też zgodzić się ze stwierdzeniem, że po zrealizowaniu budynku do jego energii i kosztów eksploatacyjnych włącza się otoczenie budynku, rozumiane jako zielenią wysoką tj. drzewa. Nie chodzi tu o koszty zabiegów pielęgnacyjnych i utrzymania zieleni (podlewanie, minerały, podcinanie-typowe zabiegi pielęgnacyjne). Mowa jest o zmianie zapotrzebowania na ciepło do celów ogrzewania (i lub chłodzenia) budynku ponieważ w kolejnych latach zmienia się wysokość drzewa a więc jego wpływ na, choćby, zacienienie, a tym samym na ilość zysków wewnętrznych od nasłonecznienia.

Schemat zamieszczony poniżej (il 71) przedstawia co w pracy wykonano począwszy od przeglądu literatury poprzez zdefiniowanie luki badawczej do zdefiniowania zadania i jego rozwiązywania.



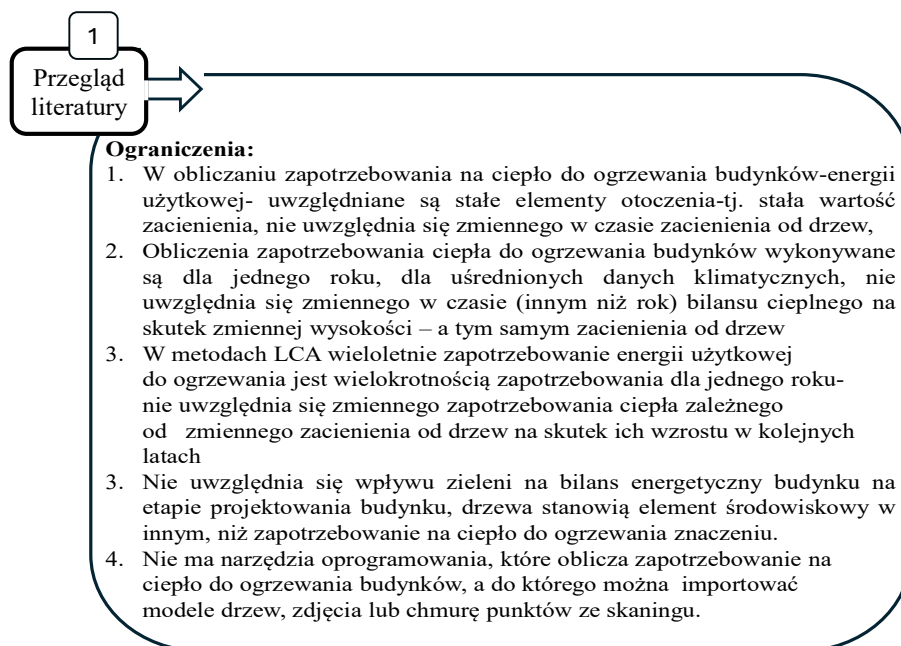
il. 70. Wykonane badania ujęte schematycznie. [Opracowanie własne]

Poszczególne kroki badań zostały zaprezentowane na poniższych schematach. Pierwszy – część pierwsza dotyczy przeglądu literatury. Część druga: zawiera opis luki badawczej. W trzeciej części zawarto opis tego jak zdefiniowano zadanie badawcze. Zarówno piąta jak szósta część zawierają informacje dotyczące sposobów i metod rozwiązania zdefiniowanego zadania optymalizacji, które zgodnie z możliwością dekompozycji zadania podzielono na dwie części: optymalizację wielopoziomową (poziom 5.1: optymalizacja budynku, poziom 5.2 optymalizacja zieleni i skolerowanego z ustawieniem zieleni budynku. Poziom 6.1 i 6.2 zastosowanie wielu kryteriów w rozwiązywaniu poziomów 5.1 i 5.2. . Na podstawie rozwiązania zadania, analizy wyników sformułowano wnioski i perspektywy dalszych badań. Ilustracje zamieszczone poniżej zawierają syntetyczny opis zawartości kolejnych kroków zadania. Opis wykonywania zadania badawczego podzielono schematycznie na części od 1 do 8 (ilustracje od 72- do 78).



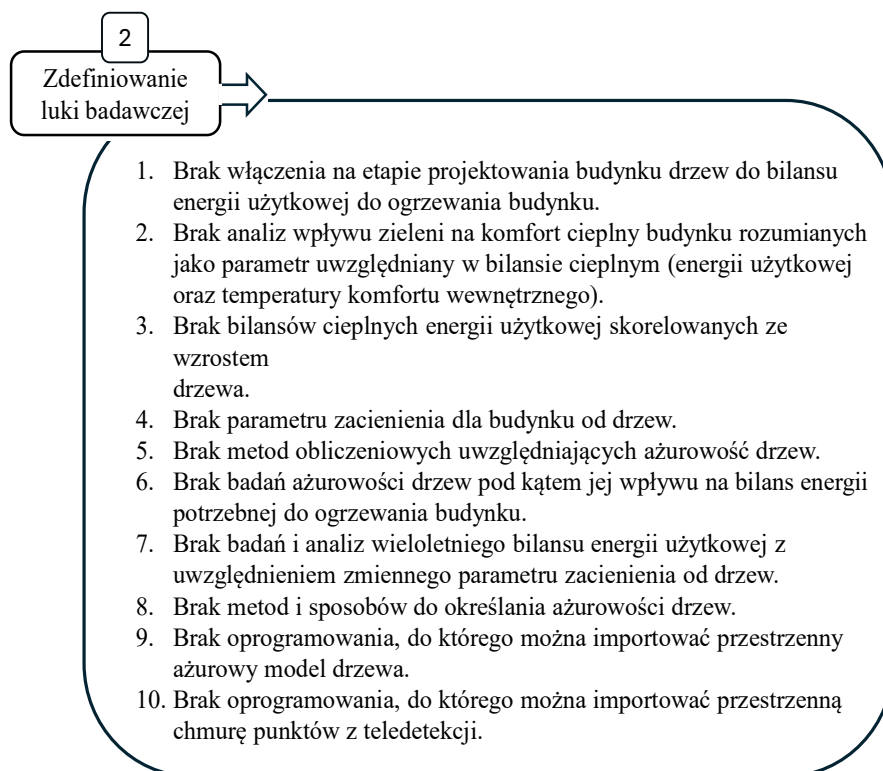
il. 71. W pracy wykonano badania, część pierwsza- przegląd literatury. [Opracowanie własne]

Na podstawie przeglądu literatury zdefiniowano ograniczenia:



il. 72. W pracy wykonano badania- część pierwsza- ograniczenia. [Opracowanie własne]

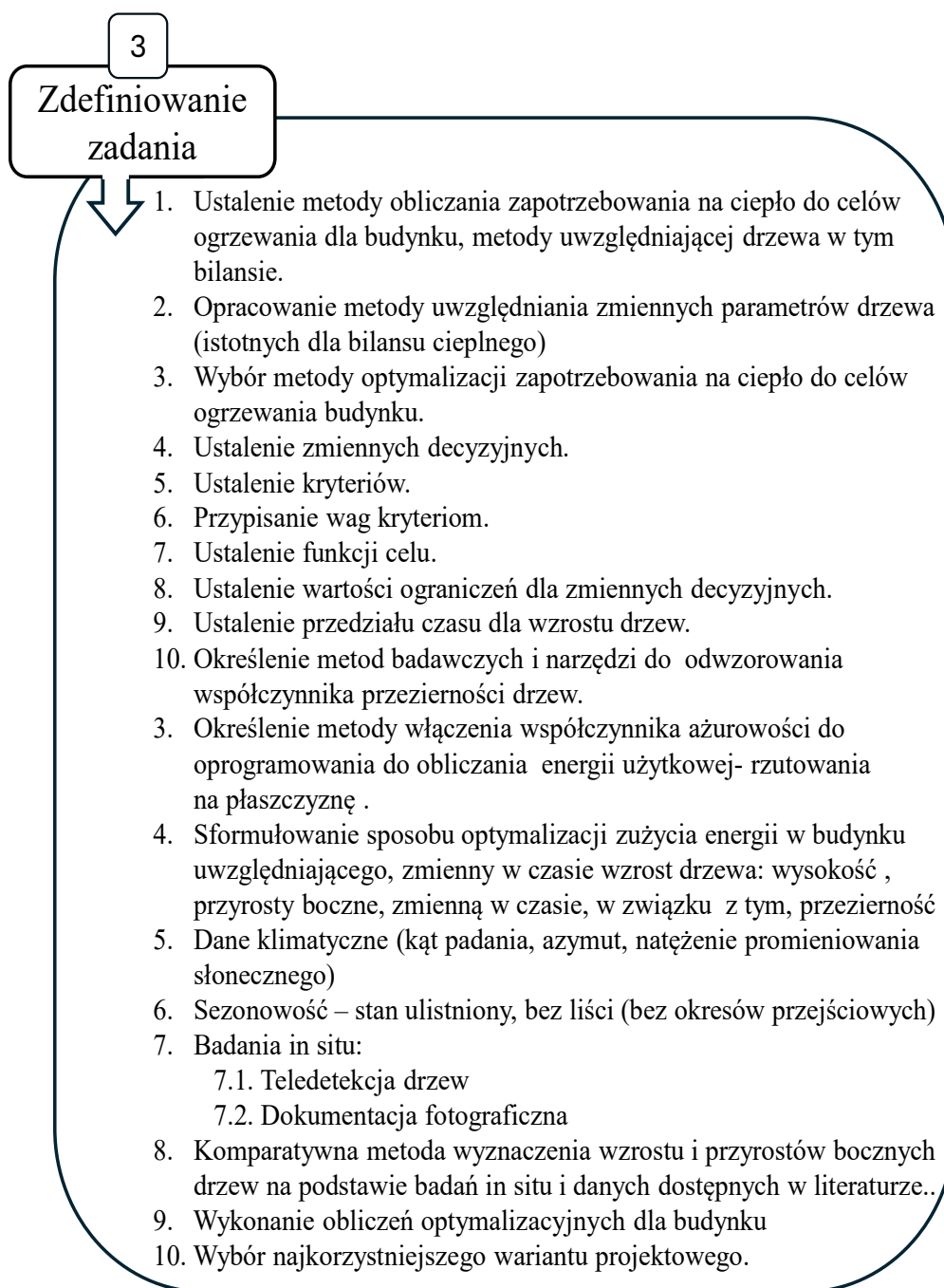
Przegląd literatury i nakreślone ograniczenia stanowiły podstawę do zdefiniowania luki badawczej:



il. 73. W pracy wykonano badania , część 2, zdefiniowanie luki badawczej. [Opracowanie własne]

Wobec powyższego zdefiniowano zadania badawcze:

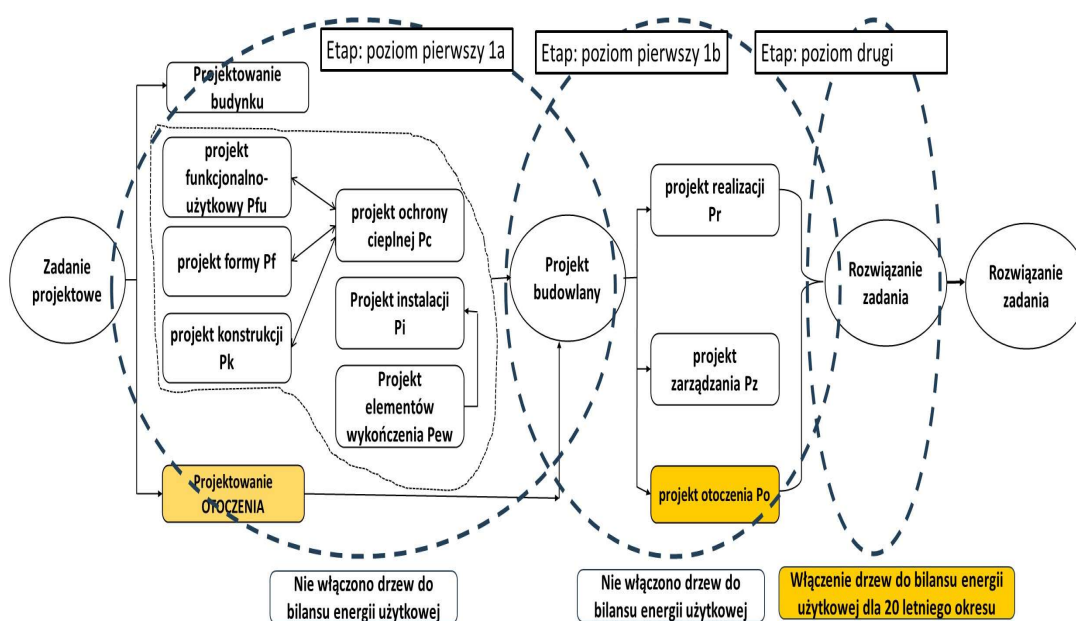
Na podstawie przeglądu literatury przyjęto metodę optymalizacji dwóch poziomów. Pierwszy poziom: optymalizacja budynku, drugi poziom: optymalizacja budynku z uwzględnieniem drzew, co jednocześnie daje odpowiedź na pytanie jak usytuować drzewa w otoczeniu budynku, jak w sposób optymalny rozmieścić drzewa wokół budynku.



Etapy projektu i realizacji budynku pod kątem włączenia otoczenia do projektowania w ujęciu zdiagnozowanej luki badawczej zawiera il. 75.

Analiza poszczególnych części projektu:

•Projekt funkcjonalno-użytkowy Pfu: przyjęto kryterium społeczne (dostępność dla osób z niepełnosprawnościami, integracja osób starszych) przyjęto budynek parterowy.



il. 74. Etapy projektu i realizacji budynku pod kątem włączenia projektu otoczenia do projektowania. [Opracowanie własne]

- Projekt formy Pf: zwarta bryła, proporcja boków podstawy optymalizowana.
- Projekt konstrukcji Pk: przyjęto konstrukcję murową z cegły pełnej.
- Projekt ochrony cieplnej Pc: przyjęto kryterium komfortu cieplnego, projektowanie tak aby nie doszło do przegrzania czyli temperatura wewnętrzna poniżej górnej wartości temperatury komfortu cieplnego.
- Projekt instalacji Pi: przyjęto instalację gazową, optymalizacja instalacji nie jest przedmiotem tego pracowania.
- Projekt elementów wykończenia Pew: przyjęto wyprawę tynkarską elewacyjną oraz tynki wewnętrzne, pozostałe elementy wykończenia nie są przedmiotem tego pracowania.

•Projekt realizacji Pr i projekt zarządzania Pz nie są przedmiotem tego opracowania.

Zazwyczaj, w praktyce w pierwszym poziomie – (etapy 1a i 1b zgodnie ze schematem na il. 75) projektowania i realizacji budynku nie uwzględnia się drzew w bilansie cieplnym budynku. W drugim poziomie to budynek użytkowany i też nie uwzględnia się wpływu drzew w bilansie cieplnym budynku.

Kryterium oceny bilansu cieplnego budynku i wpływu drzew na bilans cieplny budynku między innymi jest także **wiatr**. Zaproponowane przez Lityńskiego³⁶² typy cyrkulacji atmosferycznej stosowane w Polsce, a bazujące na trzech klasach w każdym z trzech wskaźników (ciśnienia Cp, południkowy Wp, strefowy Ws), nie są one czytelne ze względu na to, że nie wiadomo jaki okres referencyjny był analizowany przy konstrukcji kalendarzy. Podano przykład, z którego wynika, iż zmiana okresu referencyjnego zmienia 5% dni do innej klasy. Nazwa typu nie zawsze jest adekwatna do adwekcji. *„Zwrócono uwagę na potrzebę dużej ostrożności przy interpretacji badań dotyczących wielo-leci, gdy jako dane źródłowe wykorzystywano wyniki re-analiz...”* Wydaje się, że brak informacji o poszczególnych krokach przy tworzeniu tych kalendarzy uniemożliwia jednoznaczną interpretację przy korzystaniu z nich.

Wpływ wiatru na bilans energetyczny budynku można uwzględnić według przyjętych modeli fizycznych przepływu powietrza w przeważającej składowej poziomej do powierzchni Ziemi, a wywołany różnicą ciśnień. Wzrost drzew w czasie, ich rozmieszczenie, wzrost bocznych przyrostów powoduje zmianę charakteru otoczenia budynku. Ściana zieleni otaczająca wnętrze krajobrazowe - w tym przypadku wnętrze jest zabudowane parterowym domem jednorodzinny, zmienia swój charakter ze ściany subiektywnej o wypełnieniu poniżej 30 %, poprzez obiektywną o wypełnieniu 30-60 %, do formy dojrzałej czyli ściany konkretnej o wypełnieniu powyżej 60%. W zadaniu przyjęto do zdefiniowania otoczenia ścianę konkretną, jako formę już dojrzałą, o wypełnieniu ściany drzewami powyżej 60 %. Natomiast w analizach, obliczeniach uwzględniono poziom zmiany wypełnienia ściany. Jak rozwiązano wpływ wiatru na parametry charakteryzujące ścianę.

³⁶² J., Lityński, *Liczbowa klasyfikacja typów cyrkulacji i typów pogody dla Polski*, Prace PIHM- , Warszawa 1969.

PIHM 97, - Nazwa używana w latach 1945-1972 dla: Państwowy Instytut Hydrologiczno-Meteorologiczny (obecnie: Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej).

Parametrem opisującym transport ciepła przez przegrodę zewnętrzną budynku jest współczynnik przenikania ciepła U (wzór nr 28.)³⁶³. Parametr R_{se} opisuje przejmowanie ciepła po stronie zewnętrznej przegrody budowlanej.

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + \sum_1^n \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se}} = \frac{1}{R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + R_{se}} \quad (28)$$

gdzie:

U - współczynnik przenikania ciepła, [W/m²K]

R_{si} - opór przejmowania ciepła po stronie wewnętrznej, [m²K/W]

d_i - grubość i-tej warstwy materiału, [m]

λ_i - współczynnik przewodzenia ciepła, [W/mK]

R_{se} - opór przejmowania ciepła po stronie zewnętrznej, [m²K/W]

W większości przypadków przyjmuje się wartości oporów przejmowania ciepła na powierzchni podane w 5.2. W Załączniku A podano szczegółowe procedury dla powierzchni o niskiej emisyjności, określonych prędkości wiatru i powierzchni niepłaskich.³⁶⁴ Załącznik A³⁶⁵: na powierzchniach płaskich- opór przejmowania ciepła wyrażony jest równaniem

$$R_s = \frac{1}{h_c + h_r} \quad (29)$$

gdzie:

h_c – współczynnik przejmowania ciepła przez konwekcję,

h_r – współczynnik przejmowania ciepła przez promieniowanie.

Przy powierzchniach zewnętrznych model fizyczny przejmowania ciepła przez konwekcję na powierzchni sformułowano według wzoru 30³⁶⁶

$$h_c = 4 + 4v \quad (30)$$

gdzie :

v jest prędkością wiatru w pobliżu powierzchni, m/s.

³⁶³ PN EN ISO 6946:2008, *Komponenty budowlane i elementy budynku Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła Metoda obliczania*, s. 7-11.

³⁶⁴ PN EN ISO 6946:2008, *Komponenty budowlane i elementy budynku Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła Metoda obliczania*, ib.. s.6.

³⁶⁵ PN EN ISO 6946:2008, *Komponenty budowlane i elementy budynku Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła Metoda obliczania*, ib.. s.15-16.

³⁶⁶ PN EN ISO 6946:2008, *Komponenty budowlane i elementy budynku Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła Metoda obliczania*, ib. Zał.A.

Straty ciepła przez konwekcję na zewnętrznej powierzchni zależą od współczynnika przyjmowania ciepła przez konwekcję. Wartość tego współczynnika zależy od konwekcji.

Dla małych prędkości przepływu powietrza wymiana ciepła odbywa się na drodze konwekcji swobodnej, a wówczas współczynnik przyjmowania ciepła przez konwekcję jest funkcją różnicy temperatur.³⁶⁷

Wobec powyższego stwierdzenia i zgodnie z PN EN ISO 6946:2008 przyjęto zwyczajową prędkość wiatru $v_o=4$ m/sek. Według Zwieriewa³⁶⁸ prędkość wiatru $v_o=4$ m/s odpowiada średniemu wiatrowi. Wartość ta uwzględniona jest w oporze przyjmowania ciepła po stronie zewnętrznej w R_{se} .³⁶⁹

Kolejnym parametrem, który uwzględnia wpływ wiatru dla projektowego obciążenia cieplnego budynku jest infiltracja. Wartość strumienia powietrza na drodze infiltracji przez obudowę budynku $V_{inf,i}$ wyraża się wzorem³⁷⁰:

$$V_{inf,i} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i \quad (31)$$

gdzie:

V_i - kubatura przestrzeni ogrzewanej obliczona na podstawie wymiarów wewnętrznych), [m³],

n_{50} – krotność wymiany powietrza wewnętrznego, wynikająca z różnicy ciśnienia 50 Pa między wnętrzem a otoczeniem budynku, z uwzględnieniem wpływu nawiewników powietrza, [h⁻¹],

e_i – współczynnik osłonięcia,

ε_i – współczynnik poprawkowy uwzględniający wzrost prędkości wiatru w zależności od wysokości położenia przestrzeni ogrzewanej ponad poziomem terenu. Wartości współczynnika osłonięcia i współczynnika poprawkowego zdefiniowano

³⁶⁷ PN EN ISO 6946:2008, 2017-10 - wersja angielska, *Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metody obliczania*. (Data publikacji 04-10-2017).

³⁶⁸ A. S. Zwieriew *Meteorologia synoptyczna*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1965, s. 1-575.


³⁶⁹ Zaproponowane przez Lityńskiego³⁶⁹ typy cyrkulacji atmosferycznej stosowane w Polsce, a bazujące na trzech klasach w każdym z trzech wskaźników (ciśnienia C_p , południkowy W_p , strefowy W_s), nie są czytelne ze względu na to, że nie wiadomo jaki okres referencyjny był analizowany przy konstrukcji kalendarzy. Podano przykład, z którego wynika, iż zmiana okresu referencyjnego zmienia 5% dni do innej klasy. Nazwa typu nie zawsze jest adekwatna do adwekcji. „Zwrócono uwagę na potrzebę dużej ostrożności przy interpretacji badań dotyczących wielo-leci, gdy jako dane źródłowe wykorzystywano wyniki reanaliz” Wydaje się, że brak informacji o poszczególnych krokach przy tworzeniu tych kalendarzy uniemożliwia jednoznaczna interpretację przy korzystaniu z nich.”

³⁷⁰ PN-EN 12831:2006, *Instalacje ogrzewcze w budynkach – Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego*.



jako zmienne w funkcji stopnia wypełnienia ściany krajobrazowej (To założenie wynika ze wzrostu i drzew i wzrostu ich przyrostów bocznych). Wartość współczynnika osłonięcia przyjęto:

- w pierwszej fazie wzrostu drzew jako „*budynek nieosłonięty w wietrznej przestrzeni*”, ściana wnętrza krajobrazowego zdefiniowana (il. 76, 77) jako subiektywna więc $e=0,05$
- w drugiej fazie wzrostu drzew jako „*średnie osłonięcie, budynki na prowincji z drzewami*”- ściana wnętrza krajobrazowego zdefiniowana (il. 76, 77) jako obiektywna więc $e=0,03$,
- w trzeciej fazie wzrostu drzew jako „*dobre osłonięcie, budynki w lasach*”- ściana wnętrza krajobrazowego zdefiniowana (il. 76, 77) jako konkretna więc $e=0,02$. Współczynnik poprawkowy uwzględniający wzrost prędkości wiatru -budynki na prowincji z drzewami ze względu na wysokość $\varepsilon=1$, (bowiem analizowany budynek mieszkalny ma wysokość mniejszą niż 10 m).



Parametr dotyczące drzew a w pracy zdefiniowany jako współczynnik przezierności. W pracy zastosowano wieloletnie osobiste obserwacje zieleni przeprowadzane przez autorkę. Zamiłowanie do fotografii i spacerów po lesie zaowocowało dostępnością materiału porównawczego niezbędnego do określenia danych wyjściowych dla wyznaczania: tempa wzrostu drzew i przyrostów bocznych, wyznaczania współczynnika przezierności. Etapy wzrostu między wykonanymi pomiarami aproksymowano. Przeprowadzono badania in situ: wykonywane w latach 1995-2024 dokumentacja fotograficzna. Badania in situ wykonane w latach 2018 oraz 2024 to teledetekcja oraz dokumentacja fotograficzna. Dane z tych badań in situ zastosowano w metodzie przez autorkę (zgodnie z opisami ilustracji 57, 58, 59, 79, 88) nazwanej

„ziarno”. Na podstawie badań literatury (część pierwsza ) i wieloletnich badań własnych autorki- badań in situ przyjęto dane wejściowe dla drzew przedstawione na ilustracjach:


- il. 76- dla drzew iglastych
- il. 77 dla drzew liściastych zimozielonych
- il. 78 drzewo liściaste gubiących liście na zimę.

5.2		Poziom 2 otoczenie		Dane wejściowe - drzewo iglaste						
Thuja plicata	odstęp od środka pnia [m]	wysokość w kolejnych latach [m]								
	2	1	3	8	13	20	[rok]			
		0,6	2	4,8	7,8	12				
	czas wegetacji [miesiąc]	przyrost boczny [m]								
	12	0,3	0,6	1,6	2,6	4				
ściana subiektywna		ściana obiektywna	ściana konkretna							




il. 75. Tempo wzrostu drzewa: wysokość i wielkość przyrostów bocznych dla drzewa iglastego (*Thuja plicata*). [Opracowanie własne] na podstawie: własne autorki badania *in situ* a także W. Seneta, J. Dolatowski, J. Zieliński, *Dendrologia*, PWN, 2022, K. Fabijanowska, *Elementy naturalne środowiska. Tablice-drzewa, krzewy*, wyd. Politechnika Krakowska, Kraków 2014

5.2		Poziom 2 otoczenie		Dane wejściowe - drzewo liściaste zimozielone						
Dąb turnera	odstęp od środka pnia [m]	wysokość w kolejnych latach [m]								
	4	1	3	8	13	20	[rok]			
		0,8	1,2	3,2	5,2	8	[m]			
	czas wegetacji [miesiąc]	przyrost boczny [m]								
	12	0,6	2	4,2	5,5	8				
ściana subiektywna		ściana obiektywna	ściana konkretna							

il. 76. Tempo wzrostu drzewa: wysokość i wielkość przyrostów bocznych dla drzewa liściastego zimozielonego (*Dąb turnera*). [Opracowanie własne] na podstawie: własne autorki badania *in situ* a także W. Seneta, J. Dolatowski, J. Zieliński, *Dendrologia*, PWN, 2022, K. Fabijanowska, *Elementy naturalne środowiska. Tablice-drzewa, krzewy*, wyd. Politechnika Krakowska, Kraków 2014

5.2 

Poziom 2 otoczenie

Dane wejściowe - drzewo liściaste							
Lipa drobnolistna Tilia cordata	odstęp od środku pnia [m]	wysokość w kolejnych latach [m]					
	3	1	3	8	13	20	[rok]
		0,8	1,2	3,2	5,2	8	
	czas wegetacji [miesiąc]	przyrost boczny [m]					
		0,3	0,9	2,4	3,9	6	
9lato/3zima	ściana subiektywna	ściana obiektywna	ściana konkretna				

il. 77. Tempo wzrostu drzewa: wysokość i wielkość przyrostów bocznych dla drzewa liściastego (*Tilia cordata*). [Opracowanie własne] na podstawie: własne autorki badania in situ a także W. Seneta, J. Dolatowski, J. Zieliński, *Dendrologia*, PWN, 2022, K. Fabijanowska, *Elementy naturalne środowiska. Tablice- drzewa, krzewy*, wyd. Politechnika Krakowska, Kraków 2014

Zastosowana metoda rozwiązania zadania:

W pierwszym poziomie projekt budynku:

Metoda: optymalizacja wielokryterialna. Zmienne decyzyjne to: powierzchnie przeszkleń na poszczególnych elewacjach, grubość termoizolacji w przegrodzie pionowej.

Uwaga 1: opory cieplne dachu i podłogi na gruncie nie były zmiennymi decyzyjnymi. Współczynnik przenikania ciepła dla dachu przyjęto $U=0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$, dla podłogi na gruncie $U_{eq}=0,08 \text{ W/m}^2\text{K}$. W zadaniu optymalizacji energia i koszt tych przegród zależały od wielkości powierzchni zabudowy. W zadaniu optymalizacyjnym warunek konieczny to stała objętość budynku.

Uwaga 2: Uwzględniono warunek dotyczący tego, że 1/8 powierzchni pomieszczenia, ma stanowić łączną powierzchnię okien pomieszczenia. Przepis ten, zawarty w Warunkach Technicznych nie różnicuje strony elewacji w odniesieniu do stron świata ani nie do końca rozróżnia funkcje pomieszczeń. Dla założenia, że w budynku nie może wystąpić przegrzewanie (a efekt ten nie miał być osiągnięty przez system instalacji chłodzenia a prostymi metodami – powierzchnia okien, ich usytuowanie wobec stron świata, grubość termoizolacji-wpływ na pojemność cieplną budynku), wynik optymalizacji pokazał, że dla okresu lata (przyjęto lokalizację budynku Kraków) zyski od nasłonecznienia będą mniejsze straty energii zimą (bo mniejsza powierzchnia okien). No można też „majstrować” z droższymi

oknami powlekanymi materiałami odbijającymi promieniowanie słoneczne- ale w tym zadaniu kryterium była minimalizacja kosztu inwestycyjnego. W przypadku budynku eksperymentalnego można realizować projekt nie spełniający warunku 1/8. W przypadku kolejnych budynków można wystąpić z wnioskiem o odstępstwo od tej zasady (1/8) co ma uzasadnienie poparte mocną optymalizacją racjonalizacji zużycia energii i minimalizacją kosztów. W przypadku odmowy udzielenia zgody na odstępstwo od zasady 1/8 proponuje się powiększyć okno np. w pomieszczeniu gospodarczym (jest ono od strony wschodniej a dla lokalizacji Kraków z tego kierunku wartości natężenia promieniowania słonecznego są mniejsze niż od strony zachodniej, wynik optymalizacji przeszklenia od strony południowej pokazuje, że nie należy powiększać powierzchni okien na tej elewacji). Żeby nie stosować urządzeń instalacji chłodzenia (dodatkowe zużycie energii, większe koszty eksploatacyjne) można zastosować markizy, ale te, które mają boczne osłony ze względu kierunek i kąt padania promieniowania słonecznego latem).

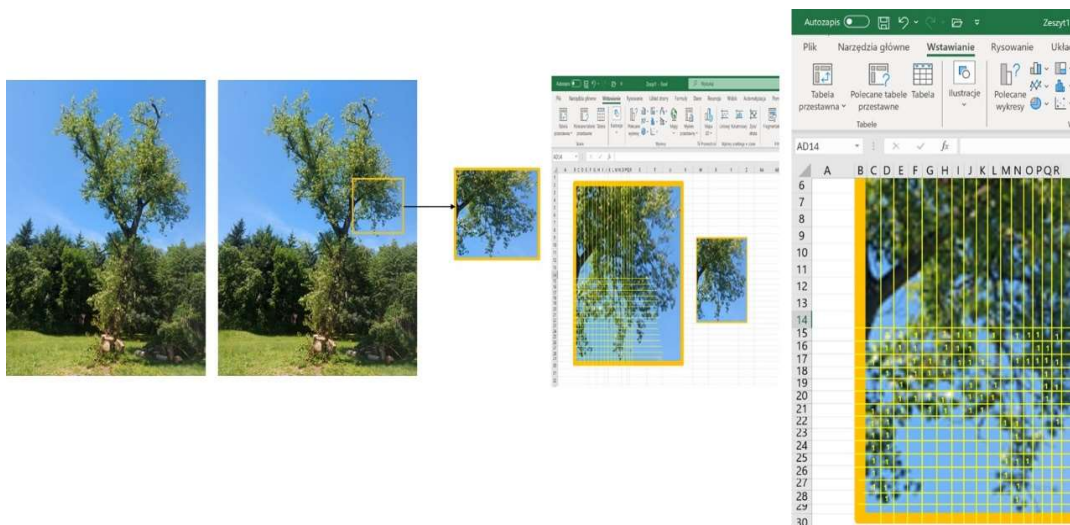
Drugi poziom to obliczenie łącznego, dla dwudziestoletniego okresu, zapotrzebowania na energię użytkową do celu ogrzewania budynku uwzględniającego wpływ zmieniającego się otoczenia budynku wynikającego ze wzrostu drzew.. W tym celu wykreowano współczynnik przezierności dla drzew i nazwano go JOLI Factor – Współczynnik Joli – Joined Optimisation of Landscape Interior, zastosowano autorską metodę wyznaczenia tego współczynnika.

Wykonano obliczenia dla określenia wpływu drzew na bilans cieplny energii użytkowej w perspektywie 20 lat (do osiągnięcia przez drzewa formy dojrzałej).

Optymalizacja wielopoziomowa budynku w tej pracy przebiega na dwóch poziomach, które zostały scharakteryzowane według il. 71 i syntetycznie opisane powyżej.

Rozważano warianty otoczenia budynku rozumianego jako nasadzenie drzew w bliskim otoczeniu budynku. Klasyfikacja i definiowanie ścian wnętrza krajobrazowego przyjęto jak dla formy dojrzałej. Oczywistym jest, że ściana zieleni zmienia się w czasie. W początkowym okresie to była ściana subiektywna, bowiem wypełnienie ściany było poniżej 30 %. W późniejszym okresie (na skutek wzrostu, rozrastanie się), ściana stała się ścianą obiektywną, ponieważ wypełnienie ściany było większe od 30 % ale mniejsze od 60 %. Po kilku lub kilkunastu latach, w zależności od tempa wzrostu drzewa, ściana staje się ścianą konkretną z wypełnieniem większym od 60 %.

Uwaga: należy podkreślić, że na samym początku natrafiono na dużą przeszkodę, bowiem obecnie w żadnym w programów do obliczania bilansów energetycznych nie ma możliwości importowania wymodelowanego drzewa. Są programy do modelowania drzew, są programy do liczenia bilansów energetycznych uwzględniające zacienienie od innych obiektów. Nie ma możliwości połączenia tych dwóch. Można w programie do bilansu wstawiać zaciniający obiekt z otworami na wylot przez budynek - takich jak duża brama przelotowa przez cały budynek zaciniający i w efekcie można uzyskać efekt widoczny w wizualizacji (na elewacji analizowanego domu), lecz nie ma praktycznie możliwości odwzorowania ażurowości drzewa. Jest to bardzo duże ograniczenie. Przewrotnie, problem ten rozwiązano posiłkując się właśnie tymi programami, do których nie da się importować modelu drzewa. Otóż w taki sposób ich użyto że, dla określonej wysokości i szerokości (ogólnie pokroju drzewa w konkretnej fazie wzrostu i roku) wprowadzano o tych samych wymiarach budynek zaciniający, po to aby zweryfikować jak daleko i na jaką wysokość pada cień. Porównywano ten efekt z ażurowością drzewa



il. 78. Schemat przygotowania zdjęć do wyznaczenia ażurowości drzewa. [Opracowanie własne]

Dla drzew wyznaczano wartość ażurowości posiłkując się metodą „ziarno”.

W tym celu użyto funkcji =ILE.NIEPUSTYCH(wartości)³⁷¹. Gdzie (wartości) oznacza liczby lub zakres komórek. Na il.79 oznaczenie „1” odpowiada minimum

³⁷¹ J. Korol, *Krok po kroku Excel 5 wersja polska*, ZNI MIKOM, Warszawa 1995, s. 369-370.

50 %-towemu wypełnieniu powierzchni komórki przez elementy drzewa (gałęzie, pień, liście). Po przeliczeniu powierzchni odpowiadających komórkom NIEPUSTYM i PUSTYM otrzymuje się współczynnik przezierności. Takie wyliczenia wykonywano etapami dla wszystkich podzielonych obszarów drzewa. Drzewa, które analizowano: dla iglastych drzew reprezentantem była tuja a dla liściastych lipa. Na podstawie własnych badań (skaning, zdjęcia) wykonano dziesięć takich analiz dla tui, a dla lipy oraz dębu po pięć. Ponieważ w literaturze brak wystarczającej ilości danych szczegółowych dotyczących tempa wzrostu i zmian pokroju drzewa, z przyczyn obiektywnych tj. trudności w dostępności informacji do badań drzew in situ, wartości przezierności szacowano poprzez wymodelowanie drzew i powtórzenie procedury wyliczenia przezierności.

Wysokości drzew są zmienne w czasie, gałęzie w początkowej fazie nie zachodzą na siebie. W późniejszych fazach wzrostu gałęzie zachodzą na siebie (tu wyraźnie pojawia się kwestia pielęgnacji drzew i w związku w tym konieczność przyjęcia np. mnożnika, który uwzględniałby zmiany pokroju na skutek zabiegów pielęgnacyjnych). Odległość drzew od budynku wynosiła 3 m dla tui, 6 m dla drzew liściastych (z każdej strony budynku). Odległość drzew od budynku powinna być przede wszystkim uwarunkowana reologicznym oddziaływaniem drzew³⁷² a minimalne odległości od budynku na jakie można posadzić drzewo są podane w książce³⁷³ pod tytułem *Przyrodnicze aspekty bezpiecznego budownictwa*. W przypadku projektowania domu w pobliżu już rosnących drzew przydatnymi do identyfikowania drzew jest książka autorów W. Seneta, J. Dolatowski, J. Zieliński³⁷⁴ oraz autora J. D. Godet³⁷⁵.

Ponieważ nie ma programu obliczeniowego, do którego można by importować pliki z drzewami czy to w postaci po obróbce w skaningu, czy zdjęć, czy po modelowaniu w innych programach, jest możliwa w przypadku zastosowania wszystkich procedur (programów zgodnych z przytaczanymi w tej pracy standardami do obliczania zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków), w których można zastosować ażurową wartość zacienienia (jako parametr lub jako mnożnik

³⁷² J. Jeż, *Biogeotechnika*, wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2008. S. 189-203.

³⁷³ J. Jeż, *Przyrodnicze aspekty bezpiecznego budownictwa*, wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2008. S. 181-185.

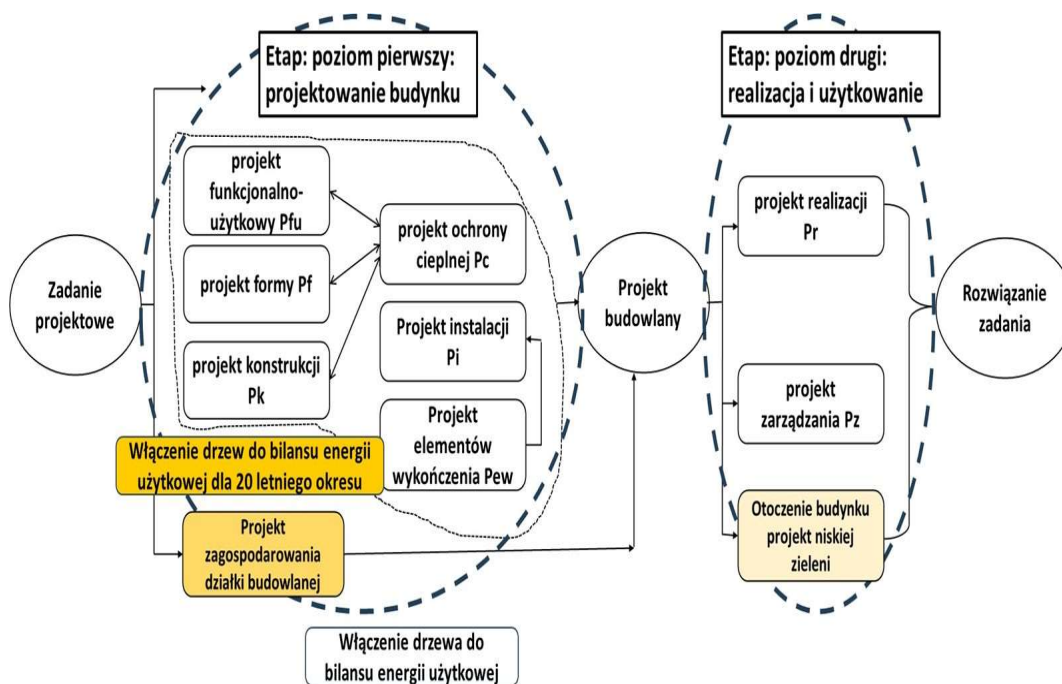
³⁷⁴ W. Seneta, J. Dolatowski, J. Zieliński, *Dendrologia*, PWN, Warszawa 2022, s. 20-831.

³⁷⁵ J. D. Godet, *Przewodnik do rozpoznawania drzew i krzewów*, Delta, Kielce, s.5-255.

do istniejących wzorów parametryzujących model fizyczny). Co do programów obliczeniowych to Design Builder vs PHPP. PHPP ma inną procedurę obliczeniową (dotyczącą wyboru temperatury zewnętrznej w zależności od tego czy dzień ciepły ale pochmurny czy chłodny ale słoneczny), dodatkowo inaczej wylicza się współczynnik przenikania ciepła dla okna (w PHPP do U okna wlicza się sposób montażu okna). OZC bazuje na innych danych klimatycznych niż Design Builder. Wobec tego otrzymuje się inne wyniki zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania. Przedmiotem tej pracy nie była analiza porównawcza wyników obliczeń z programów obliczeniowych dostępnych na rynku, ale wobec podstawowych informacji z zakresu funkcjonowania programów obliczeniowych trudno nie skomentować tak istotnych różnic.

Proponuje się zmianę procesu projektowego. Propozycję zmian przedstawia il.80

Włączenie drzew do bilansu energetycznego budynku już na etapie projektowym. Wymaga to opracowania nowych procedur i algorytmu.



il. 79. Propozycja włączenia drzew do bilansu zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków. Uwzględnienie drzew na etapie pierwszym – projektowanie budynku. [Opracowanie własne]

Podział zadania na poziomy i kryteria zawarto w tabelach nr 8,9,10,11.

Tabela 8. Metody obliczeniowe, kryteria przyjęte do optymalizacji kształtu i min. energii użytkowej do ogrzewania, min koszt inwestycji. [Opracowanie własne]

Budynek jednorodzinny	
Pierwszy poziom	
Metody obliczeniowe	optymalizacja wielopoziomowa i wielokryterialna
podział na poziomy optymalizacji	pierwszy poziom: optymalizacja budynku
	drugi poziom: otoczenie budynku-drzewa
Podstawa obliczeń	twierdzenie Kuhna -Tuckera
	zasada Pareto
	mnożniki Lagrange`a
Funkcja celu	funkcja podwójnego minimum
	minimum kosztu budowy
	minimum energii użytkowej do celów ogrzewania budynku
zmiennie decyzyjne	opór cieplny ściany
	wielkość przeszklenia na elewacji
	wschodniej
	południowej
	zachodniej
	północnej
	pole podstawy budynku
ograniczenia	nierównościowe nałożone na: kres dolny i górny oporu cieplnego ściany
	kres górny i dolny wielkości przeszkleń na poszczególnych elewacjach
	kres dolny i kres górny simplex`u boków podstawy budynku
	warunek konieczny: stała wartość objętości budynku
sposób wyboru rozwiązania optymalnego	punkt siodłowy

Tabela 9. Narzędzia, metody i środowisko obliczeń energii użytkowej do celów ogrzewania dla autorskiej metody włączającej drzewa do bilansu wieloletniego. [Opracowanie własne]

Budynek jednorodzinny i jego najbliższe otoczenie	
Drugi poziom	
otoczenie budynku	zieleni wysoka- drzewa
autorska metoda	wykreowanie współczynnika przezierności
autorska metoda	zbieranie danych i obliczanie współczynnika przezierności
zbieranie danych	skaniny
	fotografia
środowisko opracowania i weryfikacji danych	oprogramowanie dedykowane do skanera Rigel
	excel
	DesignBuilder
	Ecotech
obliczanie zapotrzebowania energii użytkowej	excel, Ecotech, obowiązujące normy i przepisy*

*Zapisy dotyczące wymagań formalnych, zawartych w ogólnych przepisach, dotyczą odpowiedniego oświetlenia dziennego. Dla zadania optymalizacji wynika z tego odpowiednie określanie kresu dolnego dla zmiennych decyzyjnych jakimi są wielkości przeszkleń na poszczególnych elewacjach. Są to ograniczenia wynikające z planów funkcjonalno-użytkowych - funkcji pomieszczeń, naturalnego oświetlenia pomieszczeń i zacielenia, odległości zieleni od granicy działki oraz odległości budynku od granicy działki. Tak więc:

Dz. U. 2022, poz.1225, Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002, *W sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*.

Rozdział II, § 13,

1. „Odległość budynku z pomieszczeniami przeznaczonymi na pobyt ludzi od innych obiektów powinna umożliwiać naturalne oświetlenie tych pomieszczeń - co uznaje się za spełnione, jeżeli:

1) między ramionami kąta 60° , wyznaczonego w płaszczyźnie poziomej, z wierzchołkiem usytuowanym w wewnętrznym licu ściany na osi okna pomieszczenia przesłanianego, nie znajduje się przesłaniająca część tego samego budynku lub inny

obiekt przesłaniający w odległości mniejszej niż: a) wysokość przesłaniania - dla obiektów przesłaniających o wysokości do 35 m, b) 35 m - dla obiektów przesłaniających o wysokości ponad 35 m;

2) zostały zachowane wymagania, o których mowa w § 57 i 60.

2. Wysokość przesłaniania, o której mowa w ust. 1 pkt 1, mierzy się od poziomu dolnej krawędzi najniższej położonych okien budynku przesłanianego do poziomu najwyższej zacieniającej krawędzi obiektu przesłaniającego lub jego przesłaniającej części.

3. Dopuszcza się sytuowanie obiektu przesłaniającego w odległości nie mniejszej niż 10 m od okna pomieszczenia przesłanianego, takiego jak maszty, komin, wieża lub inny obiekt budowlany, bez ograniczenia jego wysokości, lecz o szerokości przesłaniającej nie większej niż 3 m, mierząc ją równoległe do płaszczyzny okna.

4. Odległości, o których mowa w ust. 1 pkt 1, mogą być zmniejszone nie więcej niż o połowę w zabudowie śródmiejskiej.

Rozdział II, § 57, punkt 2 : W pomieszczeniu przeznaczonym na pobyt ludzi stosunek powierzchni okien, liczonej w świetle ościeżnic, do powierzchni podłogi powinien wynosić co najmniej 1:8, ”

Rozdział II, § 60 :

„1. Pomieszczenia przeznaczone do zbiorowego przebywania dzieci w żłobku, klubie dziecięcym, przedszkolu, innych formach opieki przedszkolnej oraz szkole, z wyjątkiem pracowni chemicznej, fizycznej i plastycznej, powinny mieć zapewniony czas nasłonecznienia wynoszący co najmniej 3 godziny w dniach równonocy w godzinach 8⁰⁰–16⁰⁰, natomiast pokoje mieszkalne – w godzinach 7⁰⁰–17⁰⁰.

2. W mieszkaniach wielopokojowych wymagania ust. 1 powinny być spełnione przynajmniej dla jednego pokoju.

3. W przypadku budynków zlokalizowanych w zabudowie śródmiejskiej dopuszcza się ograniczenie wymaganego czasu nasłonecznienia, określonego w ust. 1, do 1,5 godziny, a w odniesieniu do mieszkania jednopokojowego w takiej zabudowie nie określa się wymaganego czasu nasłonecznienia.”

W przypadku zmiany planu-funkcjonalno-użytkowego, zmiany funkcji pomieszczeń należy zmienić wartość kresu dolnego dla powierzchni przeszkleń, ponownie optymalizować.

Odległości obiektów zacinających od granicy działki.

Polskie prawo nie reguluje kwestii odległości krzewów bądź drzew od sąsiedniej posesji. Jednakże dzięki orzeczeniom sądowym powstały pewne normy. Oto one:

- Minimalna odległość 1 metra: krzewy owocowe, mniejsze krzewy ozdobne.
- Minimalna odległość 2 metry: gatunki i odmiany drzew słabo rosnących i karłowatych, krzewy silnie rosnące.
- Minimalna odległość 3 metry: wysokopienne drzewa owocowe, średnie drzewa ozdobne.
- Minimalna odległość 5 metrów: orzech włoski, czereśnia, inne silnie rosnące drzewa.
- Minimalna odległość żywopłotu: połowa wysokości (np. żywopłot dorasta do 4 m to minimalna odległość to 2 m.)

Sprawę zacienienia przez zielenią regulują:

- przepisy Kodeksu Cywilnego. Zgodnie z art. 144 KC „*Właściciel nieruchomości powinien przy wykonywaniu swego prawa powstrzymać się od działań, które by zakłócały korzystanie z nieruchomości sąsiednich ponad przeciętną miarę, wynikającą ze społeczno-gospodarczego przeznaczenia nieruchomości i stosunków miejscowych*”.
- przepisy Kodeksu Karnego. Zgodnie z art. 288 KK może grozić kara grzywny, a nawet kara ograniczenia lub pozbawienia wolności, jeżeli właściciel zacienionej działki, sam wszedł na posesję sąsiada aby ściąć zacieniające drzewo. (Obowiązuje tygodniowy termin poinformowania właściciela sąsiedniej działki, po tym terminie w przypadku braku reakcji, można podjąć działania)
- przepisy Kodeksu Cywilnego. Zgodnie z art. 150 KC można wnieść pozew sądowy o *zaniechanie immisji, czyli działań właściciela nieruchomości na własnym gruncie, których skutki odczuwalne są na gruncie sąsiedzkim. Jeżeli drzewo rosnące w ogrodzie sąsiada rzuca cień na znaczną część działki, utrudniając tym samym uprawę roślin, czy też zmniejszając efektywność paneli fotowoltaicznych,...*³⁷⁶. To sąd rozstrzyga zasadność takiego, wydaje wyrok na mocy którego właściciel „zacieniającej” posesji będzie zmuszony do wycięcia drzewa.

³⁷⁶ <https://www.domoweklimaty.pl/czytelnia/wymagania-techniczne-budynku-w-zakresie-naslonecznienia>, (dostęp 19 grudnia 2023).

Odległość budynku od granicy działki.

DZ. U. poz.1225 tekst jednolity (wprowadzone mocą Rozporządzenia z 12 kwietnia 2002 r.), ograniczenia dotyczące warunków jak wyżej oraz minimalna od granicy działki odległość posadowienia domu na działce budowlanej:

§ 12 ust. 1

- nie mniejszej niż 4 m od granicy działki, jeśli jest zwrócony w jej kierunku ścianą z oknami lub drzwiami;
- nie mniejszej niż 3 metry od granicy działki, jeśli jest zwrócony w jej kierunku ścianą bez okien i drzwi;
- 1,5 metra lub bezpośrednio przy granicy, jeśli pozwala na to miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego (MPZP - Miejscowy Plan Zagospodarowania Przestrzennego).
- ściana wykonana z luksferów, nadbudowa: OPINIA nr ZR 191 Zespołu Rzeczoznawców przy Radzie Małopolskiej Okręgowej Izby Architektów RP, Kraków, 31 marca 2021 r (należy traktować jako materiał pomocniczy).

Tabela 10. Kryteria, zmienne decyzyjne uszeregowane według kryterium: społecznego, technicznego, ekonomicznego, przestrzennego, środowiskowego,, funkcjonalnego przyjęte do badań i analiz. [Opracowanie własne]

Kryteria			
rodzaj	kategoria w kryterium	beneficjent	przyjęty sposób rozwiązania zagadnienia
społeczne	poczucie wspólnoty, dostępność, integracja, ułatwienia dla osób z niepełnosprawnościami, wejścia i parter*	osoby starsze, osoby mające problem z poruszaniem się, osoby z niepełnosprawnościami, rezydent w podeszłym	parterowy budynek jednorodzinny
techniczne	efektywność energetyczna, zużycie energii, oszczędność energii, materiały	projektant, rezydent	minimum energii do celów ogrzewania, parametry: •opór cieplny przegród zewnętrznych np. ścian, okien, drzwi; •wielkość powierzchnia okien na poszczególnych elewacjach
ekonomiczne	koszty ogrzewania, koszty inwestycyjne	inwestor, rezydent	minimum kosztu inwestycyjnego na obudowę budynku
przestrzenne	otoczenie budynku	rezydent	zagospodarowanie działki w bliskim otoczeniu budynku, projekt nasadzenia drzew: wzrost, okresy ulistnienia
środowiskowe	środowisko wewnętrzne **	komfort cieplny	nie przegrzewanie - temperatura w budynku poniżej temperatury komfortu cieplnego***
funkcjonalne	otoczenie budynku	tereny zielone, wykorzystanie terenu	nasadzenie drzew
kategoria w kryterium w certyfikacie Fitwel, Center of Active Design, od 2016 roku,			
* popularny w międzynarodowy m.in. USA, Kanada, Szwecja, Tajlandia, UKUSA			
** kategoria w kryterium w certyfikacie SBTool CZ			
*** mimo dopuszczalnego przez PHI-Institut Budownictwa Pasywnego 10 % czasu sezonu			

Do standaryzacji danych, kryteriów zastosowano metodę Metodę Szeregowania Priorytetów (Analytical Hierarchy Process – AHP).

Autorska metoda wyznaczania współczynnika przezierności

Badania dotyczą oddziaływania układu oraz doboru zieleni wysokiej w ogrodzie przydomowym na bilans cieplny budynku, a co za tym idzie – na poczucie komfortu cieplnego jego użytkowników. Problem został przeanalizowany w kontekście cyklu życia drzew i obejmował wszystkie fazy ich wzrostu, począwszy od posadzenia młodych roślin aż po osiągnięcie przez nie form dojrzałych. Analizy zostały przeprowadzone dla zoptymalizowanego pod względem energetycznym budynku wolno stojącego jednorodzinny parterowego. Przebadano różne schematy posadzenia drzew uwzględniając typy drzew (iglaste, liściaste zimozielone, liściaste zrzucające liście na zimę), ich etapy rozwoju oraz sezonowość (stan ulistniony oraz bezlistny). Wprowadzono współczynnik „przezierności” czyli ażurowości roślin (JOLI Factor Programming), który określa wpływ na zacienienie budynku przez drzewa.

Do opracowania autorskiej metody współczynnika przezierności (brak takich danych jak i parametru przezierności w literaturze adekwatnie do pokroju drzew, (patrz bibliografia) zastosowano metodę teledetekcji połączoną z klasyczną cyfrową rejestracją fotograficzną. Teledetekcja z j.ang. remotesensing jest to pozyskanie, przetwarzanie oraz interpretacja zarejestrowanych danych. To rodzaj badań wykonywanych zdalnie przy zastosowaniu specjalistycznych sensorów. W metodzie pozyskiwania danych wykorzystywane jest promieniowanie elektromagnetyczne. Metodę tę opisują M. Pilecka, D. Szwarek, T. Manterys w artykule z 2011 roku zatytułowanym *Wpływ drgań drogowych na propagację deformacji wzdłuż czynnej powierzchni poślizgu i stateczność nasypów na terenach osuwiskowych*³⁷⁷. Naziemny skaner laserowy przedstawiono na ilustracji nr 81.

³⁷⁷ M. Pilecka, D. Szwarek, T. Manterys, *Wpływ drgań drogowych na propagację deformacji wzdłuż czynnej powierzchni poślizgu i stateczność nasypów na terenach osuwiskowych*, wyd. Politechnika Krakowska, Kraków 2016, s. 394-402.



il. 80. Skaner laserowy Riegl VZ-400 [www.reiegl.com, dostęp:28.04.2024]

W Nziemnym Laserze Laserowym (TLS - Terrestrial Laser Scanner) wykorzystuje się światło lasera do pozyskania modelu 3D dla danego obiektu. W wyniku skaningu uzyskuje się chmurę punktów, którą można przetwarzać. W tak zwanej normalizacji (przewarzaniu) chmury punktów można uzyskać plany, mapy, rysunki, modele terenu lub wizualizacje. Chmura punktów jest używana do tzw. normalizacji - wizualizacji. Skaner może być zintegrowany z aparatem fotograficznym, w wyniku czego można odtwarzać wizualizacje w dowolnej skali, można nakładać chmurę punktów na zdjęcie jako teksturę, która podlegała dalszej analizie obrazowej. Przyrząd jest wyposażony w oprogramowanie, przy pomocy którego na podstawie prędkości fali elektromagnetycznej i czasu, obliczana jest odległość danego punktu w przestrzeni. Oprogramowanie również umożliwia rejestrację kąta emisji wiązki lasera w kierunku pionowym i poziomym.

Autor T. Manterys w pracy doktorskiej pod tytułem *Wpływ obciążenia dróg ruchem pojazdów na aktywność osuwisk n terenach fliszu karpackiego*³⁷⁸, opisuje również zasady działania skaningu laserowego lotniczego i satelitarnego. Autorzy Z. Perski, T. Wojciechowski, A. Wójcik, P. Neścieruk w artykule zatytułowanym *Techniki naziemne, lotnicze i satelitarne w rozpoznawaniu osuwisk*³⁷⁹ określają iż skanery mogą rejestrować 200000 punktów na sekundę, a to tworzy chmury punktów o współrzędnych x,y,z w odniesieniu do położenia skanera. Konieczne jest wykonanie pomiarów z kilku miejsc, bowiem to zwiększa dokładność i wiarygodność. Jednocześnie to pozwala uzyskać dane, które z innego punktu

³⁷⁸ T. Manterys, *Wpływ obciążenia dróg ruchem pojazdów na aktywność osuwisk n terenach fliszu karpackiego*, Praca Doktorska, Kraków 2016.

³⁷⁹ Z. Perski, T. Wojciechowski, A. Wójcik, P. Neścieruk, *Techniki naziemne, lotnicze i satelitarne w rozpoznawaniu osuwisk*, Geoinżynieria, drogi, mosty, tunele tom IV, Inżynieria Spółka z o.o., Kraków 2013 , s. 30-35.

pomiarowego nie byłyby możliwe pozyskania (np. inne drzewa lub przeszkody terenowe). Na podstawie automatycznego przeliczania otrzymuje się rzeczywiste współrzędne pomierzonych punktów, co na etapie obróbki daje trójwymiarowy obraz obiektu. Obróbka jest niezbędna bo należy usunąć części innych obiektów lub elementy terenu.

Technika Laserowego Skanowania Lotniczego (LIDAR - Light Detecting and Ranging - Wykrywanie i Określanie Zasięgu Światła) opisana w artykule pt. *Landslide smapping in Rożnów Lake vicinity, Poland using airborne laser scanning data* przez autorów A. Borkowski, Z. Perski, T. Wojciechowski, G. Józków, A. Wójcik³⁸⁰, polegająca na pomiarze odległości. Oświetla się cel światłem laserowym i dokonuje pomiaru odbicia za pomocą czujnika. Różnica w czasie powrotu wiązki lasera i zmiany długości fali są używane do tworzenia trójwymiarowego modelu. Technika ta może być zastosowana do pomiarów zmiany pokroju drzew, jednakże na konieczność stosowania długotrwałych pomiarów oraz ze względu na wysoki koszt nie została zastosowana. Technika ta stosowana jest raczej w przypadkach koniecznych do podjęcia szybkich napraw np. osuwisk. Również technika satelitarnej interferometrii radarowej, wykorzystująca wzajemne przesunięcia fazy sygnału dwóch zobrażeń SAR tego samego obiektu wykonanych z nieznacznie różnych pozycji, znajduje zastosowanie bardziej w kontekście badań osuwisk.

Z porównania metod wynika że, teledetekcja naziemna nie ma ograniczeń w czasie w przeciwieństwie do satelitarnej (wynika to z czasu przelotu satelity nad danym obszarem. Dokładność LIDAR to 15 cm.

³⁸⁰ A. Borkowski, Z. Perski, T. Wojciechowski, G. Józków, A. Wójcik, *Landslide smapping in Rożnów Lake vicinity, Poland using airborne laser scanning data*, Acta Geodyn. Geomater., vol. 8, No.3 (163) 2011, s. 325-333,

Tabela 11. Oznaczenia, nazwy i ich znaczenie, zastosowanie w skaningu. [Opracowanie własne]

L.p.	Oznaczenie, skrót, nazwa	Nazwa w języku angielskim	Nazwa w języku polskim	zastosowanie
1	TLS	Terrestrial Laser Scanner	Naziemny Skaniny Laserowy	technika pozwalająca wykonać pomiary dużych obiektów w znacznie krótszym czasie niż przy zastosowaniu tradycyjnych metod
2	LIDAR	Light Detection and Ranging	Technika Laserowego Skanowania Lotniczego	cyfrowa reprezentacja terenu- zapis powierzchni terenu w postaci chmury punktów,
3	InSAR	Interferometric Synthetic Aperture Radar	Satelitarna interferometria radarowa	interferometria radarowa służy do tworzenia cyfrowego modelu terenu na podstawie dwóch obrazów radarowych
4	Teledetekcja	remote sensing		to rodzaj badań wykonywanych zdalnie przy zastosowaniu specjalistycznych czujników

Etapy postępowania dla wyznaczenia współczynnika przezierności.

Wykonano dla drzew szereg skaninygów z różnych lokalizacji. Detekcję skaninygu wykonano dla drzew rodzimych. Były to: tuje (Thuja pilcata, dąb (Quercus x turneri), lipa (Tilia cordata).

Zintegrowano skaner z aparatem fotograficznym, w wyniku czego można było odtwarzać wizualizacje w dowolnej skali.



il. 81. Skanowanie skanerem laserowym Riegl VZ-400 drzew iglastych i drzew liściastych. [Opracowanie własne]

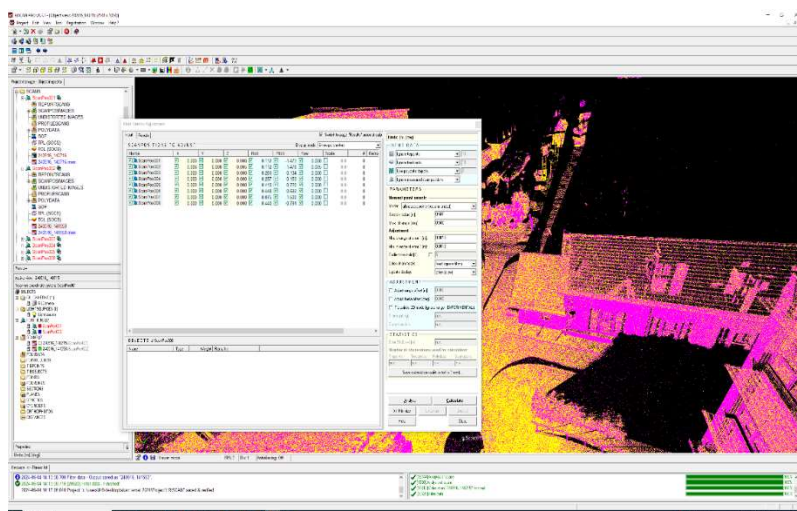


il. 82. Teledetekcja ponowna wykonana po trzech latach od pierwszych pomiarów. [Opracowanie własne]

Porównując fotografie il 82i il. 83 wykonane w interwale czasowym 4 lata można obserwować dla drzew zmianę wzrostu, tempo wzrostu oraz zmianę stanu igieł i ulistnienia a także przyrostów bocznych w czasie. Brak jest tego typu badań wieloletnich, mających na celu wyznaczenie, w oparciu o autorską metodę, współczynnika przezierności (ad. bibliografia). Przed przystąpieniem do teledetekcji przez kilka dni sprawdzano prognozę pogody a w dniu skanowania wykonywano pomiary prędkości wiatru i online indeksy PM10 oraz PM2,5.

Kolejnym etapem była normalizacja - wizualizacja. Użyto do tego do chmury punktów, fotografii, pomiarów odległości, wysokości. Na il.84 przedstawiono screen z kolejnego etapu przygotowania danych pomiarowych. Na tym etapie zapada decyzja czy łączyć skany czy wykonać tyle różnych skanów bazowych, ile z jakiej lokalizacji ustawienia skanera automatycznie wykonywane były zdjęcia przedmiotowego

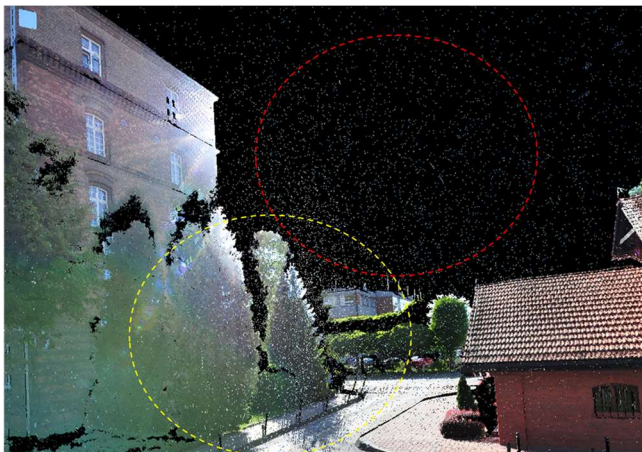
obiektu. Traktuje się ten etap jako skorelowanie z danymi klimatycznymi (czy dysponuje się wartościami godzinowymi czy miesięcznymi natężenia promieniowania słonecznego). Przyjęto założenie, że w przypadku niewystarczającej ilości punktów chmury należy łączyć skany. Należy korelować to także z ilością zdjęć fotograficznych, bowiem zdjęcia nakłada się na chmurę punktów. Oprócz koordynatów geodezyjnych (możliwość bezpośredniego importowania danych do środowiska excel) taka metoda daje dodatkową możliwość sprawdzania punktów odniesienia a tym samym replikowalności wyników metody wyznaczania wskaźnika przezierności.



il. 83. Korelowanie punktów chmury w celu połączenia skanów.[Opracowanie własne.]



il. 84. Połączone skany nałożone na fotografię (skorelowaną w czasie ze skanowaniem).[Opracowanie własne]



il. 85. Chmura punktów-zarówno punkty skanowanych obiektów jak i zanieczyszczeń pyłowych zawieszonych w powietrzu.[Opracowanie własne.

Na ilustracji nr 86 zaznaczono wybrane obszary chmury punktów skaningu: obwódką czerwoną pyły zawieszono w powietrzu, obwódką żółtą pyły pokrywające się ze skanowanym obiektem- drzewami. W przypadku wyliczenia współczynnika przezierności przyjęto założenie, że należy „usunąć” -pomiąć te punkty z chmury punktów, które są zanieczyszczeniami zawieszonymi w powietrzu. W danych klimatycznych, w Polsce, pomiary natężenia słonecznego wykonywane były w różnych warunkach pogodowych. Pomiary (do stworzenia bazy danych klimatycznych dla obszaru Polski) wykonywano więc w przypadku różnych stężeń pyłów zawieszonych, a wartości median dla 15-letnich przebiegów pogodowych, uwzględniają ten parametr. Informacje dotyczące wielu parametrów pogodowych i analiz klimatycznych przedstawiono w publikacji pod redakcją H. Lorenc³⁸¹. Dane pogodowe średniego stężenia pyłów dla indeksów PM10 i PM 2,5 można obserwować on-line³⁸². Dane klimatyczne w formacie pliku tekstowego zawarte są na stronie Ministerstwa Infrastruktury³⁸³ Można więc przyjąć, iż wpływ zanieczyszczeń

³⁸¹ H. Lorenc *Kłęski Żywiolowe a Bezpieczeństwo Wewnętrzne Kraju*, (pod redakcją), Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2012, s. 1-330. <https://www.imgw.pl/sites/default/files/2020-08/klimat-tom-iii-kleski-zywiolowe-a-bezpieczenstwo-wewnetrzne-kraju-min-new.pdf>, dostęp 20.06.2024 godz.20.15.

³⁸² <https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/current>

³⁸³ Na stronie internetowej Ministerstwa Infrastruktury (www.mi.gov.pl) w części dotyczącej świadectw energetycznych budynków, zostały zamieszczone pliki zawierające typowe lata meteorologiczne oraz opracowane na ich podstawie dane statystyczne i dane klimatyczne dla obszaru Polski. Zostały one przygotowane dla potrzeb obliczeń energetycznych w budownictwie ze szczególnym uwzględnieniem proponowanej w rozporządzeniu metody obliczeniowej opartej o uproszczone obliczenia godzinowe. Dane te mogą być wykorzystane w obliczeniach charakterystyk energetycznych budynków i lokali mieszkalnych oraz sporządzania świadectw energetycznych, a także w auditingu energetycznym oraz w pracach projektowych i symulacjach energetycznych budynków i lokali mieszkalnych wykonywanych zawodowo lub w pracach naukowo-badawczych.

pyłowych jest uwzględniony w części danych klimatycznych, dlatego należy „wyczyścić” chmurę punktów bazując na zdjęciach fotograficznych nakładanych na skan. Ten etap przygotowania danych do obliczania współczynnika przezierności jest etapem żmudnym, nieskomplikowanym aczkolwiek metodologicznie wymagającym precyzji i uważności w wydzieleniu punktów chmury.



il. 86. Połączone skany naniesione na fotografię. Inna konfiguracja patrzenia. Widoczny "cień" drzew iglastych do wyznaczenia współczynnika przezierności, por. z il. poprzednią nr 86. [Opracowani własne]

Uwagi i spostrzeżenia dotyczące autorskiej metody wyznaczenia autorskiego współczynnika przezierności JOLY FACTOR – etap: skaning.

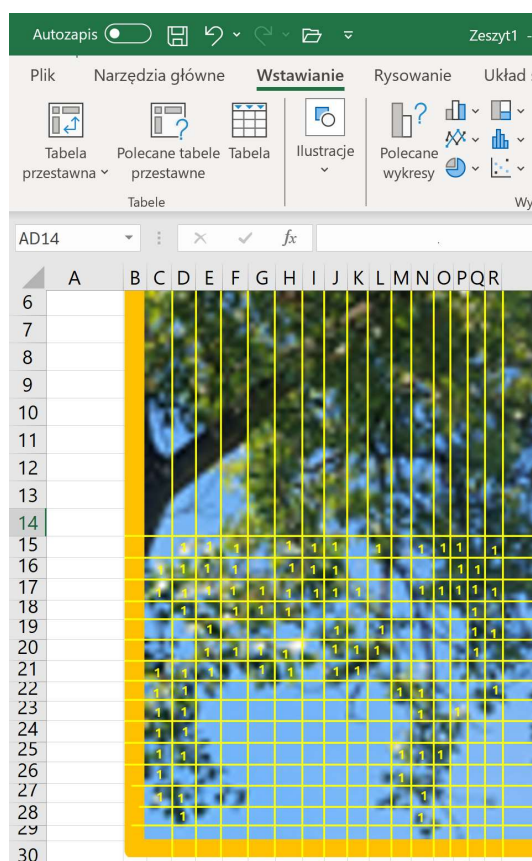
W celu replikowalności i standaryzacji metody pomiaru do celu wyznaczenia współczynnika przezierności należy opracować procedurę pomiaru skanowaniem. Ze względu na pracochłonności obróbki chmury punktów (usuwanie imperfekcji) proponuje się wykonywanie pomiarów teledetekcji dla standaryzowanych danych pogodowych. Wybór dnia skaningu na podstawie obserwacji prognozy pogody³⁸⁴ Proponuje się wykonanie badania po np. trzech dniach wietrznych (dotyczy usunięcia pyłów zawieszonych z powietrza – imperfekcji w odniesieniu do przeswitów między gałęziami, liśćmi itp). Wykonywanie teledetekcji w dniu bezwietrznym (średnia

³⁸⁴ T. Zawiaślak, J. Nemeč, R. Kurowska-Łazarz, A. Tylman-Drwał, L. Wójcik, *Słownik Tematyczny Terminów, Wyrażeń i Zwrotów stosowanych w prognozach meteorologicznych*, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa 2010, s. 1-50.

wartość prędkości wiatru według Zwieriew³⁸⁵ nie więcej niż przy wietrze 4 m/s definiowany jako wiatr słaby lub umiarkowany). Przyjęcie tej wartości ma potwierdzenie w standardzie PN EN ISO 6946: 2008.

Przed przystąpieniem i w trakcie teledetekcji powinno się wykonywać pomiary prędkości wiatru. Zakończenie lub przerwanie pomiaru teledetekcji przy prędkościach powyżej 4 m/s. W przypadku kontynuowania teledetekcji przy większych niż 4 m/s prędkościach wiatru położenie i lokalizacja elementów (liście, konary, w przypadku młodych drzew również i wiotkich konarów) mierzonego obiektu zmienia się. Dla tej zasady przy adekwatnej liczbie prób, powinno się przeprowadzić analizę wrażliwości i określić błąd statystyczny.

Import danych, po obróbce chmury punktów do środowiska excel. Weryfikacja wymiarów, naniesienie – przypisanie oczkom siatki podziału wymiaru kroku obliczeniowego. Im mniejsze oczka siatki tym dokładniejsza analiza prześwitów. Sumowanie. Obliczenie wartości średniej. Przykład przedstawiono na il. 88.



il. 87. Przykład przygotowania zdjęcia do obliczania średniej wartości wypełnienia pól siatki podziału do nie wypełnionych. [Opracowanie własne]

³⁸⁵ A.S. Zwieriew, *Meteorologia synoptyczna*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1965, s. 1-575.

6. WYNIKI BADAŃ I WNIOSKI

W tym rozdziale zawarto wyniki optymalizacji budynku mieszkalnego, parterowego, jednorodzinnego oraz wyniki analiz przeprowadzonych dla otoczenia tego budynku w korelacji ze współczynnikiem przezierności i wynikającym z tego zapotrzebowaniem na ciepło do celów ogrzewania budynku.

6.1. Optymalizacja budynku

Przykłady dwóch wybranych kroków optymalizacyjnych z programu CAMOS³⁸⁶ przedstawiono na ilustracjach 89 i 90.

Optymalizacja kształtu budynku według kryterium minimum kosztów i minimum zużycia energii do celów ogrzewania, wielkości przeszklenia i powierzchni zabudowy:

wielkości przeszklenia i powierzchni zabudowy

x(1)-Ao elewacja południowa, udział przeszklenia na elewacji południowej,

x(2)-Ao elewacja wschodnia, udział przeszklenia na elewacji wschodniej,

x(3)-Ao elewacja północna, udział przeszklenia na elewacji północnej,

x(4)-Ao elewacja zachodnia, udział przeszklenia na elewacji zachodniej,

x(5)-opór cieplny termoizolacji R [m²K/W],

x(6)- simplex (proporcja) boków podstawy budynku,

Otrzymano zbiór rozwiązań dopuszczalnych w zakresie wartości funkcji celu zgodnie ze wzorem funkcji celu. Wyniki zestawiono w tabeli 12.

$$F1F2=f(\min F1, \min F2)$$

dla funkcji kryterialnych

$$F1=f(\text{minimum energii do celów ogrzewania})$$

$$F2=f(\text{minimum kosztu inwestycyjnego})$$

Tak więc minimum globalne zachodzi dla wariantu nr 6 oznaczonego jd9.

Oznacza to że dla zaplanowanych wariantów optymalna proporcja boków podstawy wynosi 1,2.

³⁸⁶ A. Osyczka, *Computer aided multicriterion optimization system (CAMOS), Software Package in Fortran*, International Software Publisher, 1992, s. 56-58.

```

                                jd4.for
$DEBUG
      SUBROUTINE NONPRO ( I , N, M, MP, K, X, F,G,H)
C
C   optymalizacja budynku katalogowego wcięcie SW
C   Powierzchnia 120,0
C   Zróżnicowana bryła –prostokąt kier. N-S
C   Kryteria
C   F(1)- MINIMUM Kosztu obudowy
C   F(2)- MINIMUM zapotrzebowania na energię
C   N=, (LICZBA ZMIENNYCH DECYZYJNYCH)
C   M=, (LICZBA OGRANICZEŃ NIERÓWNOŚCIOWYCH)
C   MP=, (LICZBA OGRANICZEŃ RÓWNOWARTOŚCIOWYCH)
C   K=, (LICZBA FUNKCJI CELU)
C   X(1)-r1, X(2)-r2, X(3)-r3, X(4)-r4, X(5)-Rs, X(6)-r5, X(7)-r6,
C   X(8)-r7
      IMPLICIT REAL*8 (A-H, O-Z)
      DIMENSION X(N), F(K), G(M), H(MP)
      Cs=Ck+Cf+Ct*P*(x(5)-Rk)
      Co=754.3
      Cd=1308
      Cp=460.6
      Ck=84.97
      Cf=26.3
      P=0.04
      Ct=26

      Rk=0.9914
      S=90.612
      Sdp=26.676
      Ro=0.909
      SS=675.996
      SE=706.829
      SN=441.239
      SW=423.233
      Tr=0.7
      Zaw=1
      Zas=1
      Zas1=0.3
      Zas4=0.6
      Up=0.1
      Ud=0.1
      Zw=3250.08
      sr=0
      Cr=0
      R=2.7182818285

C   Ograniczenia nierównościowe
      G(1)=0.8-x(1)
      G(2)=x(1)-0.15
      G(3)=0.8-x(2)
      G(4)=x(2)-0.15
      G(5)=0.1-x(3)
      G(6)=x(3)-0.001
      G(7)=0.8-x(4)
      G(8)=x(4)-0.15
      G(9)=10-x(5)
      G(10)=x(5)-3.33
      G(11)=2-x(6)
      G(12)=x(6)-1
      G(13)=0.7959-x(7)
      G(14)=x(7)-0.0408
      G(15)=3250.08
      G(16)=x(8)-0.163265
      RETURN
      END

```

il. 88. Przykład wariantu i kroku optymalizacyjnego nazwanego jgi, wydruk z programu CAMOS.
[Opracowanie własne]

```

                                jdk11c.for
$DEBUG
      SUBROUTINE NONPRO ( I , N, M, MP, K, X, F,G,H)
C
C   optymalizacja budynku katalogowego
C   Powierzchnia 150,2, zmiana kąta, zostaje oznaczenie SS
C   Zróżnicowana bryła –prostokąt
C   Kryteria
C   F(1)- MINIMUM Kosztu obudowy
C   F(2)- MINIMUM zapotrzebowania na energię
C   N=, (LICZBA ZMIENNYCH DECYZYJNYCH)
C   M=, (LICZBA OGRANICZEŃ NIERÓWNOŚCIOWYCH)
C   MP=, (LICZBA OGRANICZEŃ RÓWNOWARTOŚCIOWYCH)
C   K=, (LICZBA FUNKCJI CELU)
C   X(1)-r1, X(2)-r2, X(3)-r3, X(4)-r4, X(5)-Rs, X(6)-r5, X(7)-r6,
C   X(8)-r7
      IMPLICIT REAL*8 (A-H, O-Z)
      DIMENSION X(N), F(K), G(M), H(MP)
      Cs=Ck+Cf+Ct*P*(x(5)-Rk)
      Co=754.3
      Cd=1308
      Cp=460.6
      Ck=84.97
      Cf=26.3
      P=0.04
      Ct=26

      Rk=0.9914
      S=90.612
      Sdp=26.676
      Ro=0.909
      SS=675.996
      SE=706.829
      SN=441.239
      SW=423.233
      Tr=0.7
      Zaw=1
      Zas=1
      Zas1=0.3
      Zas4=0.6
      Up=0.1
      Ud=0.1
      Zw=3250.08
      sr=0
      Cr=0
      R=2.7182818285

C   Ograniczenia nierównościowe
      G(1)=0.8-x(1)
      G(2)=x(1)-0.15
      G(3)=0.8-x(2)
      G(4)=x(2)-0.15
      G(5)=0.1-x(3)
      G(6)=x(3)-0.001
      G(7)=0.8-x(4)
      G(8)=x(4)-0.15
      G(9)=10-x(5)
      G(10)=x(5)-3.33
      G(11)=2-x(6)
      G(12)=x(6)-1
      G(13)=0.7959-x(7)
      G(14)=x(7)-0.0408
      G(15)=3250.08
      G(16)=x(8)-0.163265
      RETURN
      END

```

il. 89. Krok optymalizacyjny. Wydruk z programu CAMOS.[Opracowanie własne]

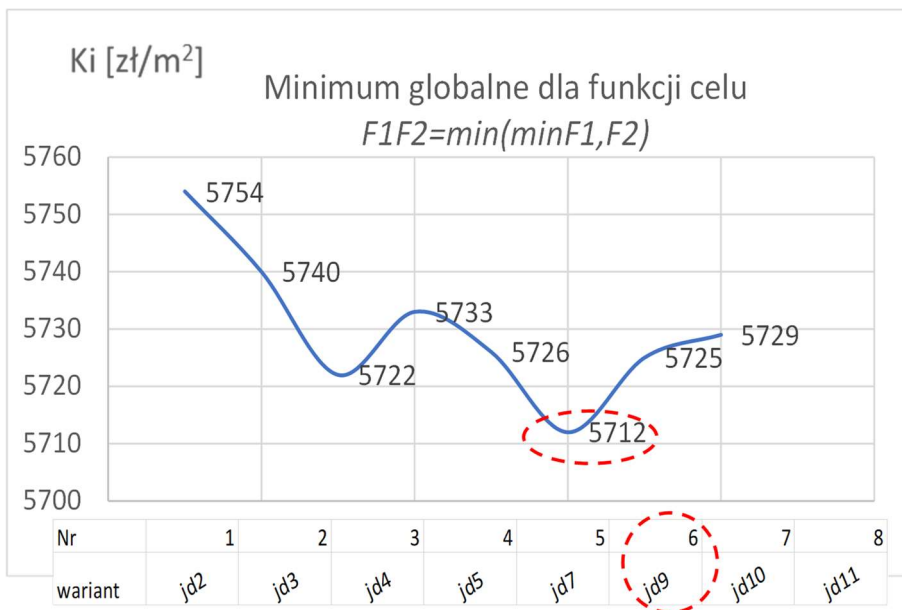
Wartości wyników optymalizacji zestawiono w tabeli nr 12.

Podkreślić należy, że w przypadku, gdy np. z warunków zabudowy wynikać ma inny kształt budynku, należy przyjmować ograniczenia nierówno wartościowe g_j zarówno kres dolny, jak i kres górny w przedziale wynikającym z warunków zabudowy, np. 17m x10 m, (kres górny 17 a kres dolny 10). Dla takiego przypadku kres górny i kres dolny- ograniczenia z nierównościami wynosi $1,0 < g_j < 1,7$. Należy zatem znaleźć wariant optymalny, który jest w zbiorze rozwiązań dopuszczalnych.

Przedstawiono to na ilustracji 91. Zbiorem rozwiązań dopuszczalnych były wartości funkcji celu z przedziału wariantów jd2, jd3, jd4, jd5, jd6. Na ilustracji 91 przedział ten zaznaczono linią przerywaną czerwoną. Wtedy warianty jd9, jd10, jd11 nie są w zbiorze rozwiązań dopuszczalnych, bowiem wartość proporcji boków dla tych wariantów jest większa od największej wartości kresu górnego (zadania optymalizacji z rozwiązaniem w sensie Pareto są bardzo wrażliwe na przyjmowane ograniczenia).

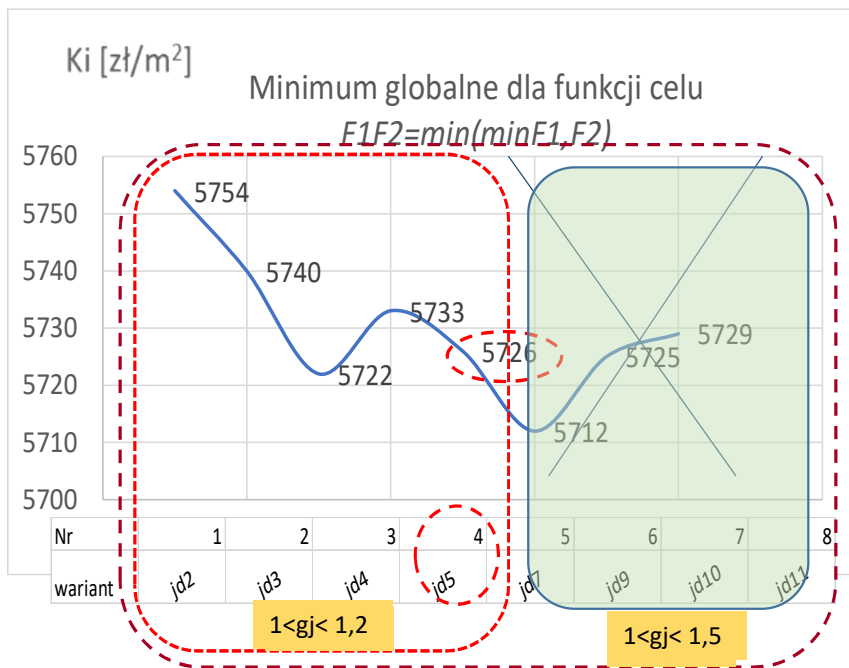
Tabela 12. Zestawienie wartości funkcji kryterialnych i funkcji celu dla wariantów optymalizacji proporcji boków podstawy, wielkości przeszklenia na poszczególnych elewacjach w zależności od ich usytuowania, grubości termoizolacji. [Opracowanie własne]

nazwa wariantu optymalizacyjnego	ograniczenia nierównościowe "g _j " na simplex boków podstawy	Funkcja F=(min F1minF2)	funkcje kryterialne	
			F1-energia [kWh]	F2-koszt [zł/m ²]
jd2	1,2-1,0	F1F2	29326,5	8232
			32521,9	5538
			31424,4	5754
jd3	1,5-1,0	F1F2	29250,7	10370
			32769,3	5509
			31463,5	5740
jd4	1,5-1,2	F1F2	29332	8245
			32812	5500
			31518	5722
jd5	1,7-1,0	F1F2	29292	8745
			33110	5489
			31483	5733
jd6	1,7-1,5	F1F2	29355	10656
			33101	5489
			31725	5882
jd7	2,0-1,0	F1F2	29293	8726
			33221	5489
			31503	5726
jd9	2,2-1,0	F1F2	29251	10374
			33186	5508
			31470	5712
jd10	2,2-1,0	F1F2	29251	10367
			33209	5489
			314132	5725
jd11	2,4-1,0	F1F2	29251	10371
			33204	5489
			31496	5729



il. 90. Minimum globalne dla funkcji celu. Zależność funkcji celu $F1F2$ od proporcji boków podstawy $x(6)$ i wielkości przeszklenia na $x(1), x(2), x(3), x(4)$ na elewacjach. [Opracowanie własne]

W drugim, omawianym przypadku (ilustracja 92) optimum - minimum globalne jest dla wariantu nr 4 oznaczonego jd4. Nie rozważano wariantów zaznaczonych na ilustracji 92 (wypełnienie kolorem jasnozielonym, bowiem były



il. 91. Zależność minimum globalnego od warunków ograniczających i ich kresu górnego. [Opracowanie własne].

poza obszarem rozwiązań dopuszczalnych wynikającym z ograniczeń narzuconych na proporcje długości boków budynku od 1 do 1,2. Gdyby przyjęto inne ograniczenia, takie jak od 1 do 2,5, wtedy optimum globalne byłoby dla wariantu nazwanego jd7. (Jak już wcześniej wspomniano rozwiązania są bardzo wrażliwe na przyjmowane ograniczenia).

W wariantach optymalizacji również wyznaczone zostały wartości optymalne wielkości przeszklenia na poszczególnych elewacjach. Zestawiono je w tabeli nr 13 i 14.

Zmienne decyzyjne i ich ograniczenia nierównościowe:

$x(1)$ – wielkość, ustalona jako procentowy udział przeszklenia w powierzchni elewacji południowej S

$0,15 < g_1 < 0,8$ – ograniczenie nierównościowe, przeszklenie może stanowić maksymalnie 80% powierzchni S, a minimalnie 15 %

$x(2)$ - wielkość, ustalona jako procentowy udział przeszklenia w powierzchni elewacji wschodniej E

$0,15 < g_2 < 0,5$ – ograniczenie nierównościowe, przeszklenie może stanowić maksymalnie 50% powierzchni ściany E, minimalnie 15 %

$x(3)$ – wielkość, ustalona jako procentowy udział przeszklenia w powierzchni elewacji północnej N

$0,001 < g_3 < 0,1$ – ograniczenie nierównościowe, przeszklenie może stanowić maksymalnie 10% powierzchni ściany N, minimalnie 0,1 %*

$x(4)$ – wielkość, ustalona jako procentowy udział przeszklenia w powierzchni elewacji zachodniej W

$0,15 < g_4 < 0,5$ – ograniczenie nierównościowe, przeszklenie może stanowić maksymalnie 50% powierzchni ściany N, minimalnie 15 %.

Ad, UWAGA: Zadanie optymalizacji jest bardzo wrażliwe na wielkość powierzchni przeszklenia od strony północnej. Im większa powierzchnia przeszklenia tym bardziej wydłuża się budynek w kierunku wschód -zachód E-W (zwiększa się długość elewacji południowej tak aby zyski energii od promieniowania słonecznego rekompensowały straty energii od strony północnej). Im powierzchnia przeszklenia na ścianie północnej mniejsza tym bryła budynku bardziej kompaktowa.*

Tabela 13. Zależność simplex boków podstawy od minimum globalnego funkcji celu: minimum energii i minimum kosztu inwestycyjnego. Zmienna decyzyjna $x(6)$ to wartość oporu cieplnego termoizolacji. [Opracowanie własne]

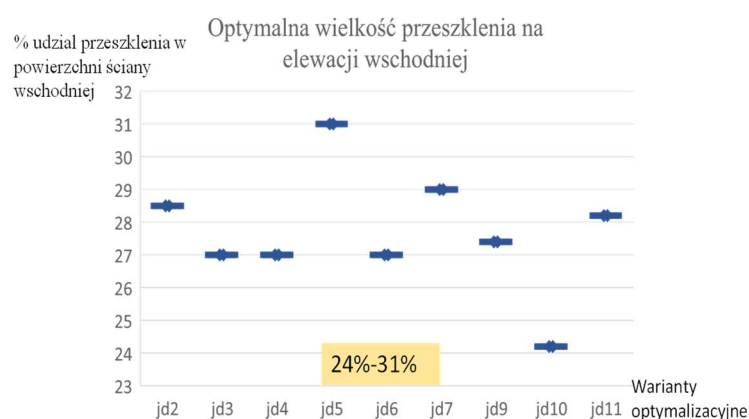
Nr	nazwa wariantu optymalizacyjnego	ograniczenia nierównościowe "g _j " na simplex boków podstawy	zmienna decyzyjna
			x(6)
			2,5-1,0
1	jd2	1,2-1,0	1,147
			1,2
			1,119
2	jd3	1,5-1,0	1,137
			1,461
			1,246
3	jd4	1,5-1,2	1,2
			1,499
			1,23
4	jd5	1,7-1,0	1,11
			1,699
			1,259
5	jd6	1,7-1,5	1,5
			1,7
			1,499
6	jd7	2,0-1,0	1,126
			1,759
			1,2497
7	jd9	2,2-1,0	1,1419
			1,77
			1,203
8	jd10	2,2-1,0	1,1366
			1,7589
			1,3069
9	jd11	2,4-1,0	1,1371
			1,756
			1,25

x(1)-A_S elewacja południowa, udział przeszklenia na elewacji południowej,
 x(2)-A_E elewacja wschodnia, udział przeszklenia na elewacji wschodniej,
 x(3)-A_N elewacja północna, udział przeszklenia na elewacji północnej,
 x(4)-A_W elewacja zachodnia, udział przeszklenia na elewacji zachodniej.

Tabela 14. Wartości optymalnej powierzchni przeszklenia na poszczególnych elewacjach budynku. [Opracowanie własne]

Nr	nazwa wariantu optymalizacyjnego	ograniczenia nierównościowe "g _j " na simplex boków podstawy	zmiennne decyzyjne			
			x(1)	x(2)	x(3)	x(4)
			0,8-0,1	0,5-0,15	0,1-0,001	0,5-0,15
1	jd2	1,2-1,0	min	min	min	min
			max	max	min	max
			max	0,2851	min	min
2	jd3	1,5-1,0	min	min	min	min
			max	max	max	max
			max	0,269	min	min
3	jd4	1,5-1,2	min	min	min	min
			max	max	min	max
			max	0,31	min	min
4	jd5	1,7-1,0	min	min	min	min
			max	max	min	max
			max	0,268	min	min
5	jd6	1,7-1,5	min	min	min	min
			max	max	min	max
			max	min	min	min
6	jd7	2,0-1,0	min	min	min	min
			max	max	min	max
			max	0,287	min	min
7	jd9	2,2-1,0	min	min	min	min
			max	max	min	max
			max	0,274	min	min
8	jd10	2,2-1,0	min	min	min	min
			max	max	min	max
			max	0,242	min	min
9	jd11	2,4-1,0	min	min	min	min
			max	max	min	max
			max	0,282	min	min

Z uzyskanych wyników wynika, iż na elewacji północnej maksymalna wartość przeszklenia to wartość kresu dolnego (w tabeli numer 14 oznaczono jako min). Na elewacji wschodniej około 30 % stanowić może powierzchnia przeszklenia w odniesieniu do powierzchni ściany. Zestawienie przedstawiono na ilustracji 93.

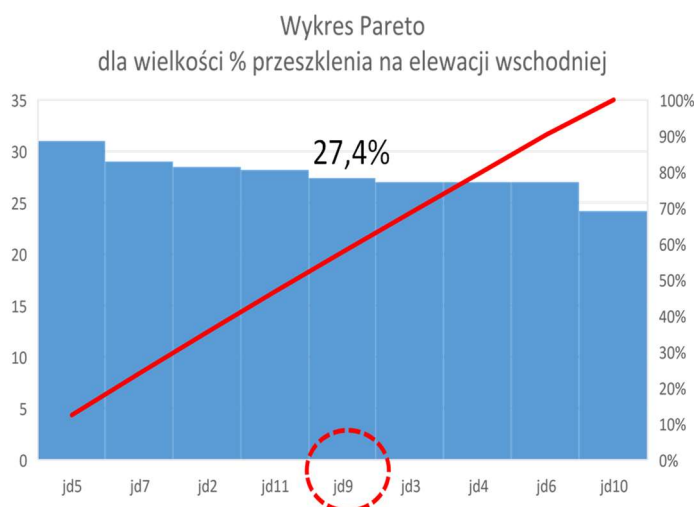


il. 92. Wielkość powierzchni przeszkleń na elewacji wschodniej wyrażona % udziałem w powierzchni całej ściany wschodniej. [Opracowanie własne]

Zgodnie z rozwiązaniem zadania optymalizacyjnego należałoby wybrać punkt siodłowy (najmniejsza wartość, czyli minimum globalne) dla tego wariantu przeszkleń. W kolejnym wariantcie zadanie optymalizacji przeprowadzono bez rozdzielania zmiennych takich jak :

$x(1)$, $x(2)$, $x(30)$, $x(4)$, $x(6)$ i zmiennej decyzyjnej $x(5)$, a dotyczącej oporu cieplnego przegród pionowych. Z tak postawionymi zmiennymi decyzyjnymi i ich ograniczeniami dla całego pakietu tych zmiennych decyzyjnych optimum jest dla wariantu oznaczonego jd9.

Zatem wartość powierzchni przeszkleń na elewacji wschodniej może maksymalnie wynosić 27,4 %. Przedstawiono to na ilustracji 94.



il. 93. Wykres Pareto dla przeszkleń na ścianie wschodniej. [Opracowanie własne]

Kolejną zmienną decyzyjną włączoną do zadania optymalizacji jest grubość termoizolacji ścian, opisana przez opór cieplny przegrody pionowej. W zadaniu optymalizacyjnym ta zmienna decyzyjna oznaczona została jako $x(5)$:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (32)$$

gdzie:

d - grubość warstwy materiału w komponencie budowlanym, [m]

λ – współczynnik przewodzenia ciepła materiału, [W/mK]

Wartość tej zmiennej wyrażono przez opór cieplny, który wyznacza się zgodnie z normą PN-EN ISO 6946:2017-10, *Komponenty budowlane i elementy budynku - Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania*³⁸⁷.

Wyniki dla zmiennej decyzyjnej (opór cieplny) oznaczonej jako $x(5)$ zestawiono tabeli nr 16.

Zmienna decyzyjna $x(5)$

$3,33 < g < 10$ – ograniczenie nierównościowe, maksymalna wartość oporu cieplnego termoizolacji może wynieść 10 [m²K/W], a minimalna 3,33 [m²K/W]. Wartość kresu górnego wynika z zaleceń dla strefy klimatycznej Polski zgodnie z wytycznymi *PPHP do projektowania budynków pasywnych* (Dr Wolfgang Feist, Passivhaus Institut). Wartość kresu dolnego wynika z minimalnej wartości grubości termoizolacji wyliczonej z warunku $f_{R,si}$. **

Ad**: UWAGA: *Zaleca się sprawdzenie warunku $f_{R,si}$ przeciwko rozwojowi pleśni na powierzchniach przegród budowlanych. Często jest to warunek ostrzejszy niż warunek U_{max} (nota bene jest to minimalne wymaganie dotyczące projektowania, termomodernizacji, remontów). $f_{R,si}$ – współczynnik temperaturowy na powierzchni wewnętrznej przegrody zewnętrznej, obliczany zgodnie z normą PN-EN ISO 13788:2013-05, „Cieplno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacji międzywarstwowej. Metody obliczania”. Zaś U - współczynnik przenikania ciepła [W/m²K], wartości maksymalne zgodnie z przepisami zawartymi*

³⁸⁷ PN-EN ISO 6946:2017-10, *Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania*, op. cit., s. 6.

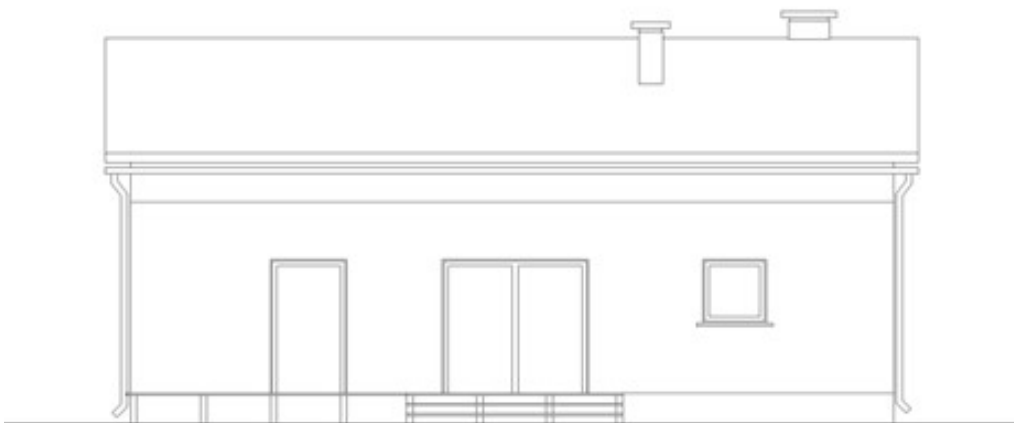
w dokumencie pt.: „W sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie” zawartych w DZ.U 2022 poz.125.

Tabela 15. Zestawienie wariantów dla optymalizacji grubości termoizolacji ścian. [Opracowanie własne]

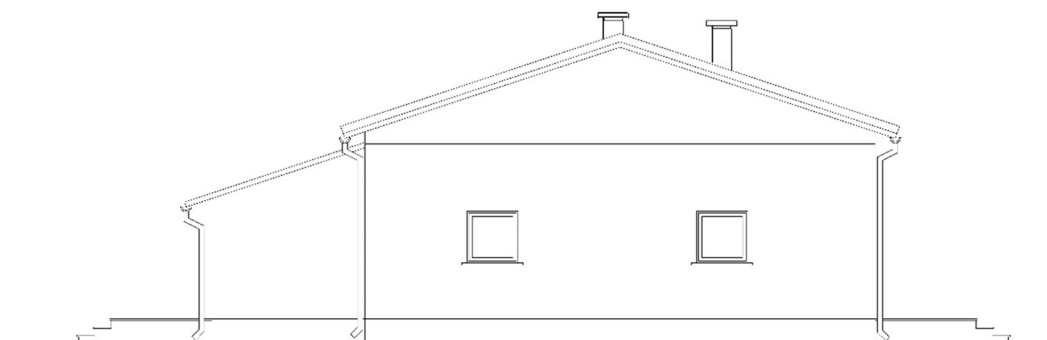
Nr	nazwa wariantu optymalizacyjnego	ograniczenia nierównościowe "g _j " na simplex boków podstawy	zmienna decyzyjna
			x(5)
			10-3,33
1	jd2	1,2-1,0	8,8
			max
			max
2	jd3	1,5-1,0	min
			max
			max
3	jd4	1,5-1,2	8,885
			max
			max
4	jd5	1,7-1,0	6,277
			max
			max
5	jd6	1,7-1,5	min
			max
			max
6	jd7	2,0-1,0	6,3838
			max
			max
7	jd9	2,2-1,0	6,38
			max
			max
8	jd10	2,2-1,0	min
			max
			max
9	jd11	2,4-1,0	min
			max
			max

Wariantem optymalnym jest wariant nr 3 oznaczony jd4, a wartość oporu cieplnego termoizolacji wynosi 8,885 [m²K/W]. Bliski temu rozwiązaniu jest wariant 1 oznaczony jd1, a wartość oporu cieplnego termoizolacji wynosi 8,8 [m²K/W]. Wynika z tego grubość termoizolacji d=0,25 m. Przyjęty współczynnik przewodzenia ciepła to $\lambda = 0,039$ W/mK.

Szkice zoptymalizowanego budynku przedstawiono na ilustracjach od 95 do 99.



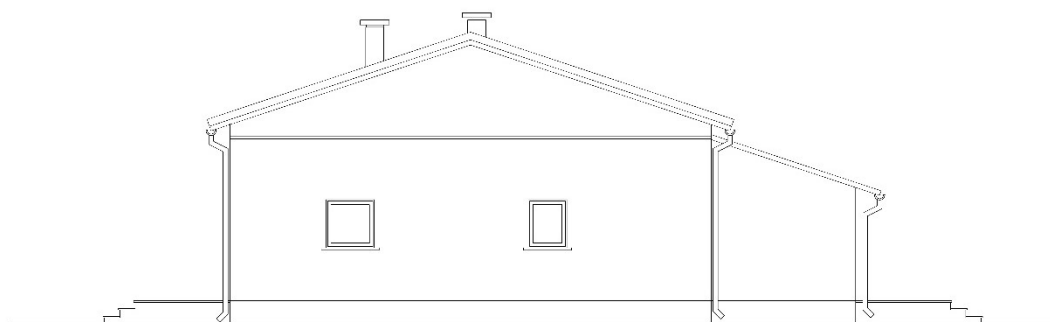
il. 94. Elewacja południowa. [Opracowanie własne]



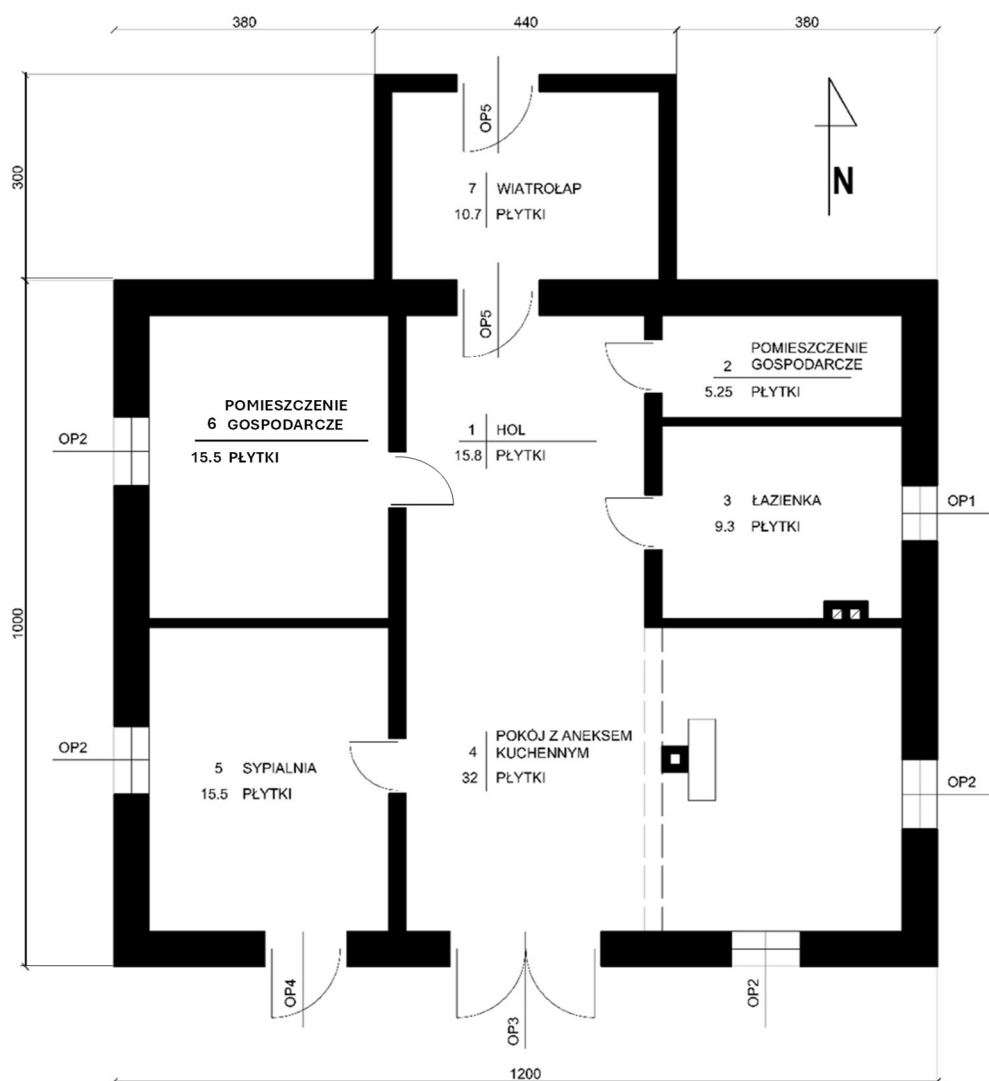
il. 95. Elewacja zachodnia. [Opracowanie własne]



il. 96. Elewacja północna. [Opracowanie własne]



il. 97. Elewacja wschodnia. [Opracowanie własne]



il. 98. Szkic. Parter. [Opracowanie własne]

Budynek jest usytuowany w osi N-S, a wymiary jego rzutu wynoszą 12mx10m. Zastosowano konstrukcję murową z betonu komórkowego. Przegrody: grubości ich warstw i odpowiadające im współczynniki przewodzenia ciepła zestawiono w tabelach nr 16, 17, 18.

Odległość budynku od granicy działki :

Analizowano wpływ drzew na budynek we wnętrzu krajobrazowym ukształtowanym przez ściany drzew posadzonych w otoczeniu tego budynku. Oczywiście, zgodnie z dokumentem (Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 15 kwietnia 2022 roku, *W sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*, Dz.U. 2022 poz. 1225.), i wynikającymi z niego ograniczeniami (wpływem tego wnętrza krajobrazowego na sąsiednie działki-wnętrza krajobrazowe), przyjęto że odległość drzew od granicy sąsiedniej działki (sąsiedniego wnętrza krajobrazowego) wynosi dla drzew liściastych 10 metrów od brzegu bocznych przyrostów. Taka sama zasada dla drzew iglastych. Rozmiar działki do celów tej analizy nie był ważący, ponieważ analizę przeprowadzano dla budynku w centrum wnętrza krajobrazowego (drzewa w najbliższym otoczeniu kreowały ściany ograniczające - małe wnętrza krajobrazowe). Oczywiście, że dla celów uzyskania pozwolenia na budowę wykonuje się analizy nasłonecznienia i zacieniania dla działek sąsiednich i jest to , oczywiście OCZYWISTE. Z tego względu można przyjąć że minimalne (jak wyżej) odległości zostają zachowane. Rozmiar działki w analizie zmienia się w zależności od drzew stanowiących ścianę krajobrazu. Do tworzenia (proponowanych) katalogów, wytycznych z projektami drzew ze zmienną, jaką jest wymiar działki oraz minimalne odległości drzew od granicy działki, powinny być zachowane. Można także w wytycznych wpisać jakie zabiegi pielęgnacyjne powinny być wykonywane, co jaki czas, w jaki sposób aby rosnące drzewa nie zacięniały działki sąsiedniej w sposób utrudniający „zwyczajowe użytkowanie nieruchomości”. Przedmiotem tej analizy jest optymalizacja drzew z uwagi na kryterium bilansu cieplnego budynku, wpływu ich zacienienia na budynek w centrum działki budowlanej. Ograniczenia do spełnienia, w celu uzyskania pozwolenia na budowę, zgodnie z Warunkami Technicznymi (opisanymi powyżej), są parametrem według którego można będzie tworzyć katalogi albo formuły albo szkice, żeby ułatwić inwestorowi podjęcie świadomej decyzji na temat zagospodarowania działki. Z przeglądu literatury wynika jednoznacznie, że nie ma takich analiz, nie ma takich

wytycznych, nie ma zdefiniowanej metody. Na ilustracji 101 schematycznie zaznaczono (czerwone strzałki) doświetlenie pomieszczeń (pokój nr 4, sypialnia nr 5) dla spełnienia warunków dostępności naturalnego oświetlenia i nasłonecznienia. Uwzględniono to w wyznaczeniu współczynnika przezierności. Dla schematów usytuowania drzew wzdłuż kierunków E oraz W dostęp światła naturalnego oraz nasłonecznienia dla pomieszczeń nr 4 i nr 5, znajdujących się na elewacji południowej, nie jest ograniczony. Warunek 1:8 powierzchni okien w świetle ościeżnic w odniesieniu do powierzchni pomieszczenia jest. jest spełniony, Pomieszczenie nr 4: powierzchnia 32 m²- powierzchnia okien w świetle ościeżnic 4,96m². Pomieszczenie nr 5 powierzchnia 15,5 m² – powierzchnia okien w świetle ościeżnic 2,48 m².

Ściana zewnętrzna, zoptymalizowanego budynku, to przegroda wielowarstwowa o następującym układzie od wewnątrz: tynk wewnętrzny o grubości 1 cm, beton komórkowy o grubości 24 cm, termoizolacja z wełny skalnej o grubości 25 cm, tynk zewnętrzny o grubości 1 cm.

Tabela 16. Układ warstw ściany zewnętrznej budynku. budynku. [Opracowanie własne]

ściana zewnętrzna		
Rodzaj warstwy	grubość [m]	współczynnik przewodzenia ciepła [W/mK]
tynk	0,01	0,8
beton komórkowy	0,24	0,35
wełna skalna	0,25	0,039
tynk	0,01	0,8

Strop pod nieogrzewanym poddaszem stanowią warstwy o układzie: beton o grubości 4 cm, wełna skalna o grubości 25 cm, żelbet 12 cm, tynk wewnętrzny 1 cm

Tabela 17. Zestawienie warstw stropu nad parterem oraz ich grubości i właściwości. [Opracowanie własne]

Strop nad parterem pod nieogrzewanym niezagospodarowanym poddaszem		
Rodzaj warstwy	grubość [m]	współczynnik przewodzenia ciepła [W/mK]
beton	0,04	1,7
wełna skalna	0,25	0,04
strop żelbetowy	0,12	2,5
tynk	0,01	0,8

Podłoga pełna na gruncie o układzie warstw: płytki ceramiczne 1,5 cm, beton $d=3$ cm, płyta żelbetowa $d=25$ cm, termoizolacja PIR $d=30$ cm, warstwa betonu wyrównawczego, folia, warstwa betonu, pospółka.

Tabela 18. Zestawienie warstw podłogi na gruncie oraz ich grubości i właściwości. [Opracowanie własne]

Podłoga pełna na gruncie		
Opis warstw	Grubość warstwy [m]	współczynnik przewodzenia ciepła λ [W/mK]
płytki ceramiczne	0,02	1,5
wartwa betonu	0,03	1,7
żelbet	0,25	2,5
termoizolacja PIR	0,3	0,026
wartwa betonu	0,05	1,7
folia		
warstwa betonu	0,05	1,7
pospółka		

Zestawienie wymiarów okien przedstawiono w tabeli numer 19. Współczynnik przepuszczalności promieniowania słonecznego okien $g=0,75$. Budynek bez przegrzewania w okresie letnim.

Tabela 19. Zestawienie okien i drzwi według ich wymiarów i usytuowania w pomieszczeniach. Usytuowanie okien i ich oznaczenia na ilustracji 71. [Opracowanie własne]

okna i drzwi w ścianach	wymiarzy w m		powierzchnia [m ²]	obwód [m]	usytuowanie okna
	szer	wys.			
OP-1	0,6	0,8	0,48	2,80	okno łazienka
OP-2	0,8	0,8	0,64	3,20	okno pokój 1
OP-3	2	2	4	8,00	drzwi pokój 1
OP-4	1	2	2	6,00	drzwi pokój 2
OP-5	1	2	2	6,00	drzwi wejściowe na N

Charakterystyki cieplne przegród zewnętrznych zestawiono w tabeli nr 20.

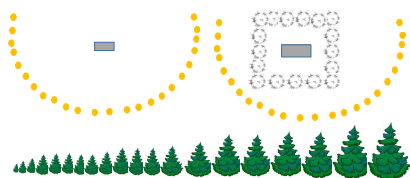
Tabela 20. Charakterystyki cieplne przegród zewnętrznych zoptymalizowanego budynku parterowego jednorodzinne. [Opracowanie własne]

Rodzaj przegrody	współczynnik przenikania ciepła U [W/m ² K]
ściana zewnętrzna	0,14
strop pod nieogrzewanym poddaszem	0,15
podłoga pełna gruncie U _{eq}	0,08
okna	0,8
drzwi wejściowe	1,2

6.2. Analiza wpływu drzew na bilans energetyczny budynku

Dla tak zoptymalizowanego, zaprojektowanego budynku przeprowadzono analizę otoczenia jako wypełnienia ściany zespołu wnętrza architektoniczno-krajobrazowego. Energia końcowa $Q_{K,H}$ do celów ogrzewania zależy od energii użytkowej, sprawności systemu ogrzewania. (Ogólnie ujmując to bilans zależy od: infiltracji, mostków termicznych, usytuowania względem stron świata, pojemności cieplnej budynku, współczynnika wykorzystania zysków ciepła, systemu instalacji wentylacyjnej). Ze względu na czas potrzebny do tego, aby drzewo osiągnęło pełny pokrój, na podstawie wstępnej analizy, przyjęto okres 20 lat jako przedział czasu, w którym następuje zmiana wysokości, kształtu, pokroju drzewa. Analizy zatem przeprowadzono dla okresu 20 lat. Na podstawie porównania wyników obliczeń zapotrzebowania energii do celów ogrzewania, w których przyjmowano stałą i zmienną wartość zacienienia, można przyjąć, że dla różnicy wyników, azymut pozostaje ten sam w obu przypadkach, tym samym można dokonywać analizy.

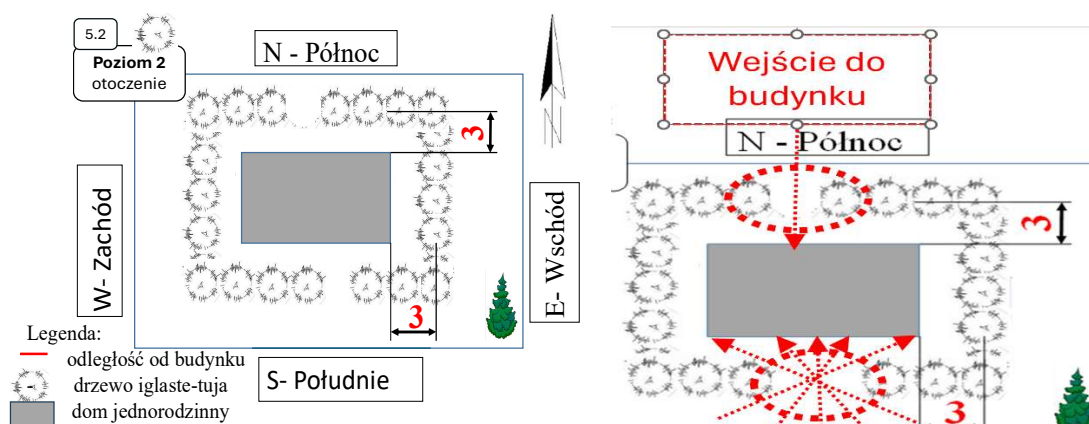
Analizę przeprowadzono dla ścian konkretnych usytuowanych wzdłuż wszystkich boków budynku- (ściana NESW konkretna). Schemat dla tego wariantu przedstawia ilustracja 100.



il. 99. Usytuowanie ścian konkretnych w zależności od stron świata. Okres wzrostu 20 lat. Drzewa iglaste. [Opracowanie własne]

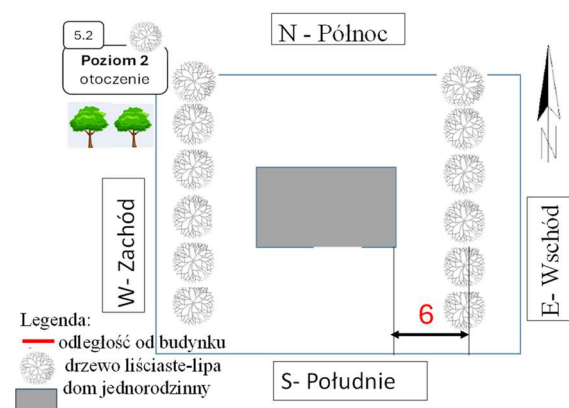
Dla zacienienia $F_{sh,gl} = 0,95$, co dopowiada budynkom wysokim w centrach miast lub na obrzeżach dużych miast, wolno stojącym, przedstawiono dwa warianty ze względu na typową procedurę obliczeniową. Przyjmuje się do obliczenia bilansu energetycznego przedział czasowy jednego roku, a więc stałą wartość $F_{sh,gl}$, niezależnie od czasu użytkowania budynku. W rzeczywistości, na skutek wzrostu drzewa, zacienienie budynku przez drzewa zwiększa się w każdym kolejnym roku. Tak więc model kształtowania parametru energetycznego budynku już w swoim założeniu jest dyskusyjny. Popatrzmy więc jak wygląda komparatywne zestawienie tych dwóch faktów.

Analiza dla wariantów usytuowania drzew w odniesieniu do budynku i stron świata przedstawiono na ilustracjach od 101 do 104. Odległość środka pnia drzewa od budynku wynosi: w przypadku drzew iglastych 3 m, drzew liściastych 6m.

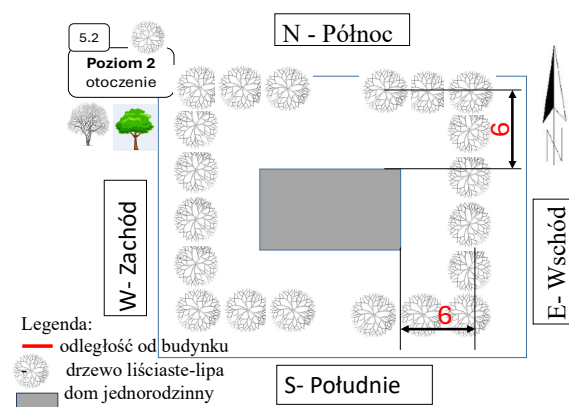


il. 100. Schemat usytuowania drzew iglastych (*Thuja plicata*) w odniesieniu do stron świata i budynku. Wariant obliczeniowy pierwszy. [Opracowani własne]

Wariant obliczeniowy drugi: zieleń wzdłuż kierunków E-W.



il. 101. Schemat usytuowania drzew liściastych (*Tilia cordata*) w odniesieniu do stron świata i budynku. Wariant obliczeniowy trzeci. [Opracowani własne]. Schemat usytuowania drzew liściastych (*Tilia cordata*) w odniesieniu do stron świata i budynku



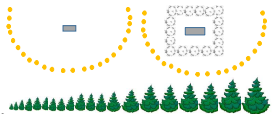
il. 102. Schemat usytuowania drzew liściastych (*Tilia cordata*) w odniesieniu do stron świata i budynku. Wariant obliczeniowy czwarty. [Opracowani własne].

6.2.1. Analiza wyników badań dla drzew iglastych

Wyniki zestawiono w tabeli numer 21.

Tabela 21. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacienienia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii między stałą a zmienną wartością zacienienia. Porównanie dla stałej wartości $r_z=0,95$. [Opracowanie własne]


Drzewo iglaste Thuja plicata				
energia w zależności od zacieniania		kierunek usytuowania drzew: NESW		
opis	F_{sh}	energia [kWh/rok]	energia [kWh/20 lat]	różnica /20 lat [kWh/20 lat]
budynek na otwartej przestrzeni nie zacieniony elementami zewnętrznymi	0,95	47235	699089,6	-21222,69
drzewo iglaste wzrost 20 lat	0,98-0,01		720312,29	



W trakcie wzrostu drzewa (np. tui) na skutek większego zacienienia maleją zyski wewnętrzne od nasłonecznienia. Przyjęcie wartości stałej r_z zacienienia oznacza że warunki zacienienia nie zmieniają się, a tym samym bilans zapotrzebowania energii do celów ogrzewania też nie zmieni się na przestrzeni 20 lat. W przypadku ścian konkretnych o zmiennej wysokości, przyjęcie modelu o stałej wartości nie odzwierciedla stanu zbliżonego do faktycznego. Z powyższego wynika, iż niedoszacowanie zapotrzebowania energii końcowej do celów ogrzewania wynosi ponad 21tys.kWh, a to odpowiada różnicy 21222,69 kWh/20 lat. W przypadku, gdy zacienienie stałe przyjmowane będzie $F_{sh,gl}=0,5$ to różnica w zapotrzebowaniu energii wyniesie 1506 kWh/20lat. Zestawienie w tabeli numer 22.

Tabela 22. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacienienia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartości zacienienia. Porównanie dla $r_z=0,5$. [Opracowanie własne]

Drzewo iglaste Thuja plicata				
energia w zależności od zacieniania		kierunek usytuowania drzew: NESW		
opis	F_{sh}	energia [kWh/rok]	energia [kWh/20 lat]	różnica /20 lat [kWh/20 lat]
budynek na otwartej przestrzeni nie zacieniony elementami zewnętrznymi	0,5	48771,51	721818,4	1506,11
drzewo iglaste wzrost 20 lat	0,98-0,01		720312,29	



Z powyższego wynika, iż między tymi wariantami, jest także i taki, dla którego wartość różnicy osiągnie zero. Przeprowadzono więc analizę w przedziale zacienienia $r_z=0,95-0,5$. W kolejnych wariantach zmienia się wartość zacienienia stałego. Zestawienia zamieszczono w kolejnych tabelach:

W tabeli nr 23 wartość zacienienia wynosi 0,9,

W tabeli nr 24 wartość zacienienia wynosi 0,8,

W tabeli nr 25 wartość zacienienia wynosi 0,7,

W tabeli nr 26 wartość zacienienia wynosi 0,6,

W tabeli nr 27 wartość zacienienia wynosi 0,45, zaś zmienne zacienienie uwzględniające wzrost drzewa zmienia się od 0,98 do 0,01. W rozważaniach teoretycznych przyjęto największe zacienienie, a wartość ta wynosi 0,01.

Tabela 23. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacienienia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartości zacienienia. Porównanie dla $r_z=0,9$. [Opracowanie własne]

Drzewo iglaste Thuja plicata				
energia w zależności od zacieniania		kierunek usytuowania drzew: NESW		
opis	F_{sh}	energia [kWh/rok]	energia [kWh/20 lat]	różnica /20 lat [kWh/20 lat]
budynek na otwartej przestrzeni nie zacieniony elementami zewnętrznymi	0,9	35070,21	701404,2	-18908,09
drzewo iglaste wzrost 20 lat	0,98-0,01		720312,29	

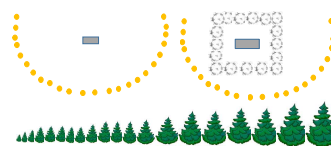


Tabela 24. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacienienia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartości zacienienia. Porównanie dla $r_z=0,8$. [Opracowanie własne]

Drzewo iglaste Thuja plicata				
energia w zależności od zacieniania		kierunek usytuowania drzew: NESW		
opis	F_{sh}	energia [kWh/rok]	energia [kWh/20 lat]	różnica /20 lat [kWh/20 lat]
budynek na otwartej przestrzeni nie zacieniony elementami zewnętrznymi	0,8	350317,65	706353	-13959,29
drzewo iglaste wzrost 20 lat	0,98-0,01		720312,29	

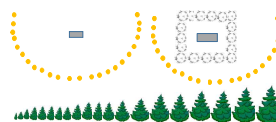


Tabela 25. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacienienia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartości zacienienia. Porównanie dla $r_z=0,7$. [Opracowanie własne]

Drzewo iglaste Thuja plicata				
energia w zależności od zacienienia		kierunek usytuowania drzew: NESW		
opis	F_{sh}	energia [kWh/rok]	energia [kWh/20 lat]	różnica /20 lat [kWh/20 lat]
budynek na otwartej przestrzeni nie zacieniony elementami zewnętrznymi	0,7	35562,47	711249,4	-9062,89
drzewo iglaste wzrost 20 lat	0,98-0,01		720312,29	



Tabela 26. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacienienia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartości zacienienia. Porównanie dla $r_z=0,6$. [Opracowanie własne]

Drzewo iglaste Thuja plicata				
energia w zależności od zacienienia		kierunek usytuowania drzew: NESW		
opis	F_{sh}	energia [kWh/rok]	energia [kWh/20 lat]	różnica /20 lat [kWh/20 lat]
budynek na otwartej przestrzeni nie zacieniony elementami zewnętrznymi	0,6	35834,54	716690,8	-3621,49
drzewo iglaste wzrost 20 lat	0,98-0,01		720312,29	

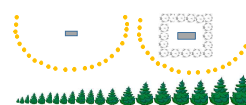
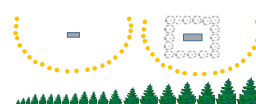


Tabela 27. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacienienia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartości zacienienia. Porównanie dla $r_z=0,45$. [Opracowanie własne]

Drzewo iglaste Thuja plicata				
energia w zależności od zacienienia		kierunek usytuowania drzew: NESW		
opis	F_{sh}	energia [kWh/rok]	energia [kWh/20 lat]	różnica /20 lat [kWh/20 lat]
budynek na otwartej przestrzeni zacieniony elementami zewnętrznymi	0,45	36230,12	724602,4	4290,11
drzewo iglaste wzrost 20 lat	0,98-0,01		720312,29	

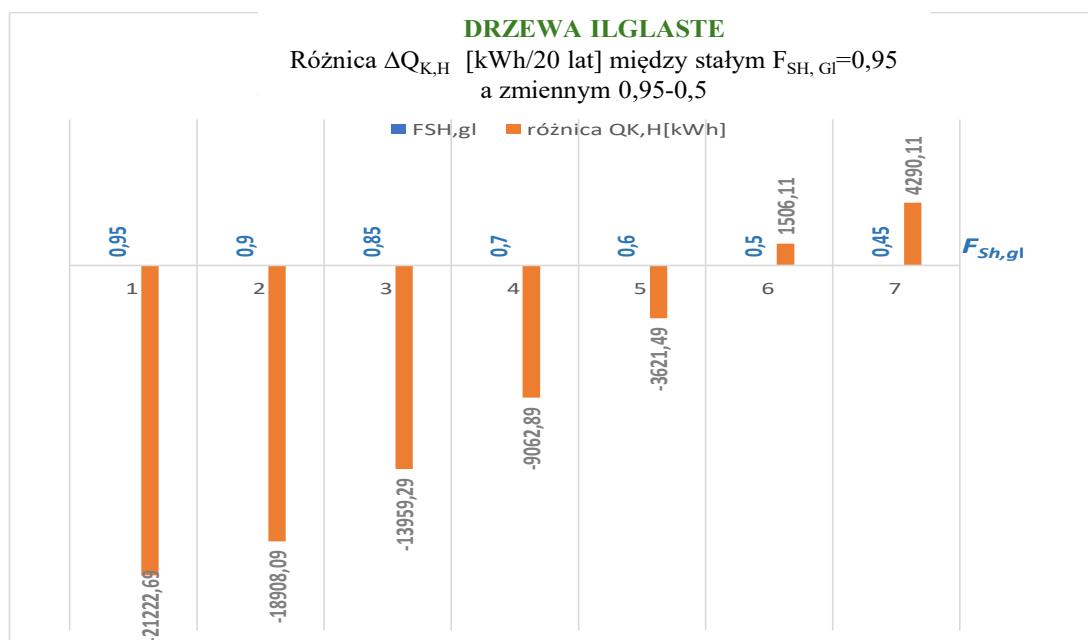


Z ilustracji 104, na której zaprezentowany jest wykres zależności energii od różnicy między stałą a zmienną wartością zacienienia, wynika, iż między 13-17 rokiem życia drzewa, w zależności od tempa wzrostu, wartości różnicy zapotrzebowania energii do celów ogrzewania, z niedoszacowania (wartości ujemne)

zmieniają wartość na przeszacowanie, czyli wartości powyżej zera (wartości dodatnie). Wynika z tego, że w pierwszych latach po posadzeniu drzew jest mniejsze zacienienie, niż w przypadku przyjęcia stałej wartości (co jest zgodne ze stanem faktycznym). Z czasem zacienienie od drzew zwiększa się i zapotrzebowanie na energię wzrasta, bo maleją zyski wewnętrzne od nasłonecznienia. W przypadku zacienienia z przedziału $0,4 < r_z < 0,6$ szacowanie przezierności wydaje się trudne (przyjęcie jako np. maksymalnej wartości współczynnika przezierności $JF=0,5$ przy zacienieniu $r_z=0,5$) i jest dyskusyjne, aby przyjmować zacienienie jako wskaźnik zwiększający r_z przez dodanie wartości przezierności.

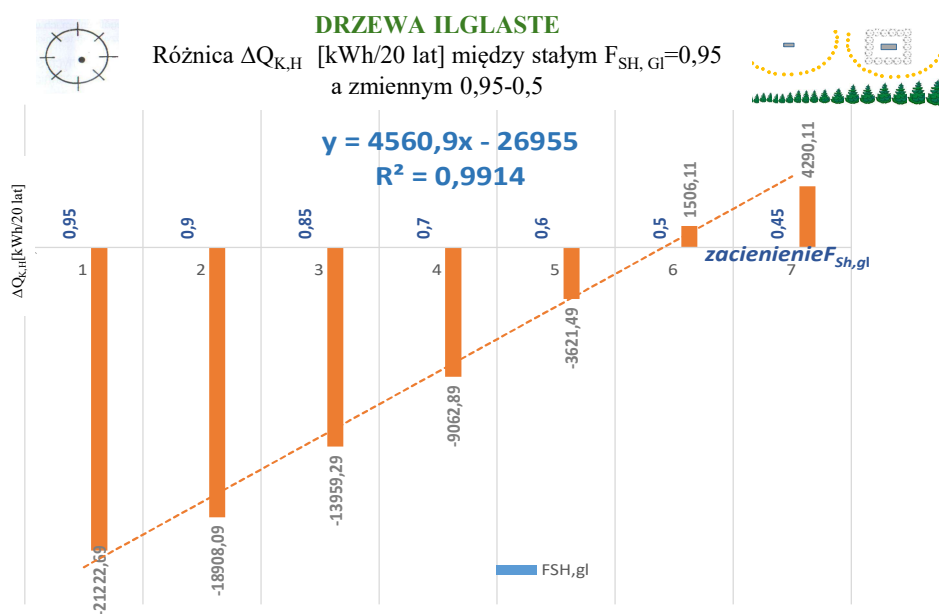
Z uzyskanych wyników wynika iż w pierwszych latach po zasadzeniu drzew, gdy przyjmuje się stałą wartość współczynnika zacienienia, bilans energetyczny budynku jest przeszacowany. Wartość zapotrzebowania na ciepło do celów ogrzewania jest większa w tym przypadku w porównaniu z wariantem, gdy przyjmuje się zmienne zacienienie. Wynik ten jest poprawny, bowiem im mniejsza wartość współczynnika zacienienia, tym mniej zysków słonecznych w pomieszczeniu. W przedziale między 11 a 15 rokiem (ilustracja 104), gdy faza wzrostu drzewa zbliża się do etapu formy dojrzałej, drzewo zaczyna bardziej zacieniać budynek. Zyski od nasłonecznienia maleją i zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania zwiększa się. Tak jest dla okresu zimy. Dla okresu lata, oznacza to, że zacienienie zmniejsza zyski od nasłonecznienia i tym samym może nie dopuszczać do nadmiernych zysków słonecznych, które powodują przegrzanie pomieszczenia (tj. temperatura wewnętrzna powyżej komfortu termicznego). Tak więc, jak przedstawia się to w praktycznym projektowaniu? Włączenie uzyskanych krzywych regresji (ilustracja 105) do zadania optymalizacyjnego na etapie projektowania (na ilustracji 20 i 42) jest oznaczony jako etap pierwszy i drugi) pozwoli na świadome, poparte analizami inżynierskimi, planowanie otoczenia budynku elementami takimi jak: typ drzewa, odległość od budynku, typ zwartości szpaleru drzew (np. ściany obiektywne lub konkretne).

Na podstawie wyników przedstawionych w tabelach od 22 do 27 można podjąć próbę oszacowania współczynnika przezierności dla drzew iglastych. Zależność różnicy energii końcowej $Q_{K,H}$ od wskaźnika przezierności przedstawiono na ilustracji 105.



il. 103. Drzewa iglaste. Różnica zapotrzebowania energii do celów ogrzewania w zależności od zacielenia o stałej wartości $F_{sh, gl}=0,95$ i zmiennej $F_{sh, gl} 0,45-0,95$. Okres użytkowania budynku 20 lat. [Opracowanie własne]

Podjęto próbę oszacowania współczynnika przezierności dla drzew iglastych poprzez wyznaczenie zależności różnicy pomiędzy zapotrzebowaniem energii $\Delta Q_{K,H}$ dla stałej wartości zacielenia a zmienną wartością r_z (uwzględniającą współczynnik przezierności). Tę zależność przedstawiono na ilustracji 105.



il. 104. Drzewa iglaste. Próba oszacowania współczynnika przezierności JF . Różnica zapotrzebowania energii do celów ogrzewania w zależności od zacielenia o stałej wartości $F_{sh, gl}=0,95$ i zmiennej $F_{sh, gl} 0,45-0,95$. Okres użytkowania budynku 20 lat. [Opracowanie własne]

Z powyższej zależności (przedstawiona na ilustracji 105) wynika, że w pierwszych latach po posadzeniu zyski od nasłonecznienia powodują mniejsze zapotrzebowanie na energię do celów ogrzewania w porównaniu z wariantem, w którym przyjmowana jest stała wartość zacienienia. Około 12 roku (ten czas silnie zależy od typu drzewa), po osiągnięciu przez drzewo formy dojrzałej, wartości zapotrzebowania energii do ogrzewania zrównują się dla obu wariantów, tj. zmiennego oraz stałego zacienienia. Dalszy wzrost drzewa powoduje większe zacienienie, a tym samym mniejsze zyski wewnątrz od nasłonecznienia - zapotrzebowanie na ciepło wzrasta. W praktyce, aby tego uniknąć można zaprojektować posadzenie niższych drzew lub przewidzenie zabiegów pielęgnacyjnych polegających na podcinaniu drzewa. Należy więc dobrać odpowiednie do tego typy drzew. Można też zaplanować posadzenie drzew w większej odległości od budynku.

Próbie oszacowania współczynnika przezierności JF dla drzew iglastych (wykluczając te, które gubią igły na zimę np. modrzew) można przedstawić funkcją prostoliniową opisaną wzorem numer 29:

$$y = 4560,9x - 26955 \quad (29)$$

gdzie:

y- energia $\Delta Q_{K, H}$, [kWh/20lat],

x- zmienna decyzyjna- zacienienie (Fsh,gl), [-]

Przedstawiono to na ilustracji 105 linią przerywaną pomarańczową. Wydaje się jednak, że taki sposób rozwiązania zadania wymaga weryfikacji, a na pewno dalszej analizy wartości współczynników przezierności JF oraz analizy porównawczej metod badawczych do określania współczynników JF. Stosując tę zależność w projektowaniu otoczenia budynku, można uzyskać oszczędność energii do celów ogrzewania lub chłodzenia budynku, lepszy komfort termiczny pomieszczeń.

6.2.2. Analiza wyników badań dla drzew liściastych

Ze względu na charakterystyczny okres wegetacji, obliczenia zapotrzebowania ciepła do celów ogrzewania, wydają się oczywiste z podziałem na lato i zimę. Dla porównania przeprowadzono także analizę bez podziału na okres lato, zima (dla *Quercus x turneri*).

Analizy wyników badań przeprowadzono dla wariantu ścian konkretnych i ich usytuowania takiego jak przedstawiono na ilustracji 106. Kierunek północ, wschód, południe, zachód NESW. Analizy wykonano dla dwóch rodzajów drzew liściastych: zimozielonych i drzew gubiących liście na zimę (z podziałem: 9 miesięcy letnich, 3 miesiące zimowe, bez uwzględniania fazy przejściowej tj. wiosny i jesieni).



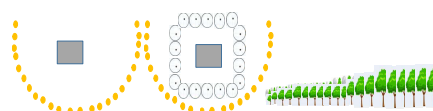
il. 105. Usytuowanie ścian konkretnych w zależności od stron świata NESW-północ, wschód, południe, zachód. Okres wzrostu drzew liściastych 20 lat. Drzewa zimozielone, drzewa gubiące liście na zimę. [Opracowanie własne]

W tabeli 28 zestawiono wyniki analizy zapotrzebowania na energię dla budynku z otoczeniem ścian konkretnych, których tworzywem są drzewa liściaste. Analiza została przeprowadzona dla przedziału czasowego 20 lat.

Kierunek ścian konkretnych NESW:

Tabela 28. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacienienia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej oraz przy zmiennej wartości zacienienia. Porównanie dla $r_z=0, 5$. [Opracowanie własne]

Drzewo liściaste Dąb turnera				
energia w zależności od zacienienia		kierunek usytuowania drzew: NESW		
opis	F_{sh}	energia [kWh/rok]	energia [kWh/20 lat]	różnica /20 lat [kWh/20 lat]
budynek na otwartej przestrzeni nie zacieniony elementami zewnętrznymi	0,5	35786,86	715737,2	1065,8
drzewo iglaste wzrost 20 lat	0,98-0,01		714671,4	



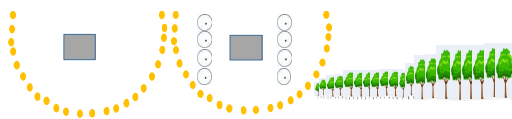
Wariant NESW – zacienienie z każdej strony budynku to największe zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku bowiem największe zacienienie.

Przeprowadzono analizę dla zacienienia ze strony wschód (E) i jednocześnie zachód (W). Kąt padania promieniowania słonecznego i azymut wyrażony danymi klimatycznymi godzinowymi.

Kierunek ścian konkretnych EW- wschód- zachód:

Kolejne analizy wyników badań przeprowadzono dla wariantu ścian konkretnych i ich usytuowania takiego jak przedstawiono na ilustracji 107. Zawarto

na niej schemat usytuowania ścian konkretnych i symboliczne zaznaczenie wzrostu drzew latem i zimą w okresie 20 lat.

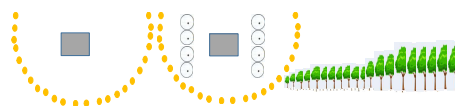


il. 106. Usytuowanie ścian konkretnych w zależności od stron świata. EW-wschód, zachód. Okres wzrostu drzew liściastych 20 lat. Drzewo zimozielone. [Opracowanie własne]

W trakcie wzrostu drzewa na skutek większego zacielenia maleją zyski wewnętrzne od nasłonecznienia. Przyjęcie wartości stałej oznacza że warunki zacielenia nie zmieniają się a tym samym bilans zapotrzebowania energii do celów ogrzewania jest stały. Z powyższego wynika, iż niedoszacowanie wynosi ponad 71,4tys.kWh, a to odpowiada różnicy 17415,42 kWh/20 lat (tabela nr 29). Wynika z tego, że przyjmowanie stałej wartości zacielenia (w tym wariancie $r_z=0,95$) skutkować może większym zapotrzebowaniem energii do ogrzania budynku w porównaniu z wariantem, w którym wartość zacielenia jest zmienna. Wynika to z różnicy zysków wewnętrznych od nasłonecznienia. Zyski te są większe dla stałej wartości zacielenia, ale nie obrazują rzeczywistości wystarczająco dokładnie, jak to jest w przypadku zastosowania zmiennej wartości zacielenia, która jest adekwatna do wzrostu drzewa i związanych z tym zmiennych w czasie zysków od nasłonecznienia.

Tabela 29. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacielenia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej oraz zmiennej wartości zacielenia. Porównanie dla $r_z=0,95$. [Opracowanie własne]

Drzewo liściaste Dąb turnera				
energia w zależności od zacielenia		kierunek usytuowania drzew: EW		
opis	F_{sh}	energia [kWh/rok]	energia [kWh/20 lat]	różnica /20 lat [kWh/20 lat]
budynek na otwartej przestrzeni nie zacieleny elementami zewnętrznymi	0,95	34844,8	696896	-17415,42
drzewo iglaste wzrost 20 lat	0,98-0,01		714311,42	



W kolejnych wariantach zmienia się wartość zacielenia stałego. Zestawienia zamieszczono w kolejnych tabelach:

W tabeli nr 30 wartość zacielenia wynosi 0,5,

W tabeli nr 31 wartość zacielenia wynosi 0,9,

W tabeli nr 32 wartość zacienienia wynosi 0,85,

W tabeli nr 33 wartość zacienienia wynosi 0,7,

W tabeli nr 34 wartość zacienienia wynosi 0,6,

W tabeli nr 35 wartość zacienienia wynosi 0,45, zaś zmienne zacienienie uwzględniające wzrost drzewa zmienia się od 0,98 do 0,01. W rozważaniach teoretycznych przyjęto największe zacienienie, a wartość ta wynosi 0,01. W praktyce oznaczałoby to, że zieleń stanowi zwarty, gęsty szpaler dający efekt zacienienia zbliżony do opuszczonych w oknach rolet. Wydaje się, że przyjęcie takiej wartości kresu dolnego wymaga dalszej weryfikacji i analiz, pomiarów in-situ (np. przy użyciu skaningu, termowizji).

Wartości współczynników przezierności zastosowano w obliczeniach dla kierunków usytuowania ścian zwartych NESW (północ-wschód-południe-zachód oraz EW (wschód-zachód).

Tabela 30. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacienienia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartości zacienienia. Porównanie dla $r_z=0,5$. [Opracowanie własne]

Drzewo liściaste Dąb turnera				
energia w zależności od zacieniania		kierunek usytuowania drzew: EW		
opis	F_{sh}	energia [kWh/rok]	energia [kWh/20 lat]	różnica /20 lat [kWh/20 lat]
budynek na otwartej przestrzeni nie zacienny elementami zewnętrznymi	0,5	35786,86	715737,2	1425,78
drzewo iglaste wzrost 20 lat	0,98-0,01		714311,42	

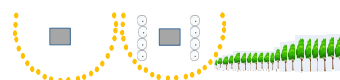


Tabela 31. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacienienia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartości zacienienia. Porównanie dla $r_z=0,9$. [Opracowanie własne]

Drzewo liściaste Dąb turnera				
energia w zależności od zacieniania		kierunek usytuowania drzew: EW		
opis	F_{sh}	energia [kWh/rok]	energia [kWh/20 lat]	różnica /20 lat [kWh/20 lat]
budynek na otwartej przestrzeni nie zacienny elementami zewnętrznymi	0,9	35005,34	700106,8	-14204,62
drzewo iglaste wzrost 20 lat	0,98-0,01		714311,42	

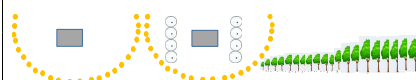


Tabela 32. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacienienia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartości zacienienia. Porównanie dla $r_z=0,85$. [Opracowanie własne]

Drzewo liściaste Dąb turnera				
energia w zależności od zacieniania		kierunek usytuowania drzew: EW		
opis	F_{sh}	energia [kWh/rok]	energia [kWh/20 lat]	różnica /20 lat [kWh/20 lat]
budynek na otwartej przestrzeni nie zacieniony elementami zewnętrznymi	0,85	35100,54	702010,8	-12300,62
drzewo iglaste wzrost 20 lat	0,98-0,01		714311,42	



Tabela 33. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacienienia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartości zacienienia. Porównanie dla $r_z=0,7$. [Opracowanie własne]

Drzewo liściaste Dąb turnera				
energia w zależności od zacieniania		kierunek usytuowania drzew: EW		
opis	F_{sh}	energia [kWh/rok]	energia [kWh/20 lat]	różnica /20 lat [kWh/20 lat]
budynek na otwartej przestrzeni nie zacieniony elementami zewnętrznymi	0,7	35386,05	707721	-6590,42
drzewo iglaste wzrost 20 lat	0,98-0,01		714311,42	

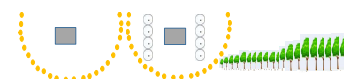


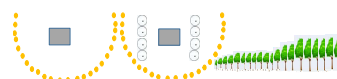
Tabela 34. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacienienia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartości zacienienia. Porównanie dla $r_z=0,6$. [Opracowanie własne]

Drzewo liściaste Dąb turnera				
energia w zależności od zacieniania		kierunek usytuowania drzew: EW		
opis	F_{sh}	energia [kWh/rok]	energia [kWh/20 lat]	różnica /20 lat [kWh/20 lat]
budynek na otwartej przestrzeni nie zacieniony elementami zewnętrznymi	0,6	35582,2	711644	-2667,42
drzewo iglaste wzrost 20 lat	0,98-0,01		714311,42	

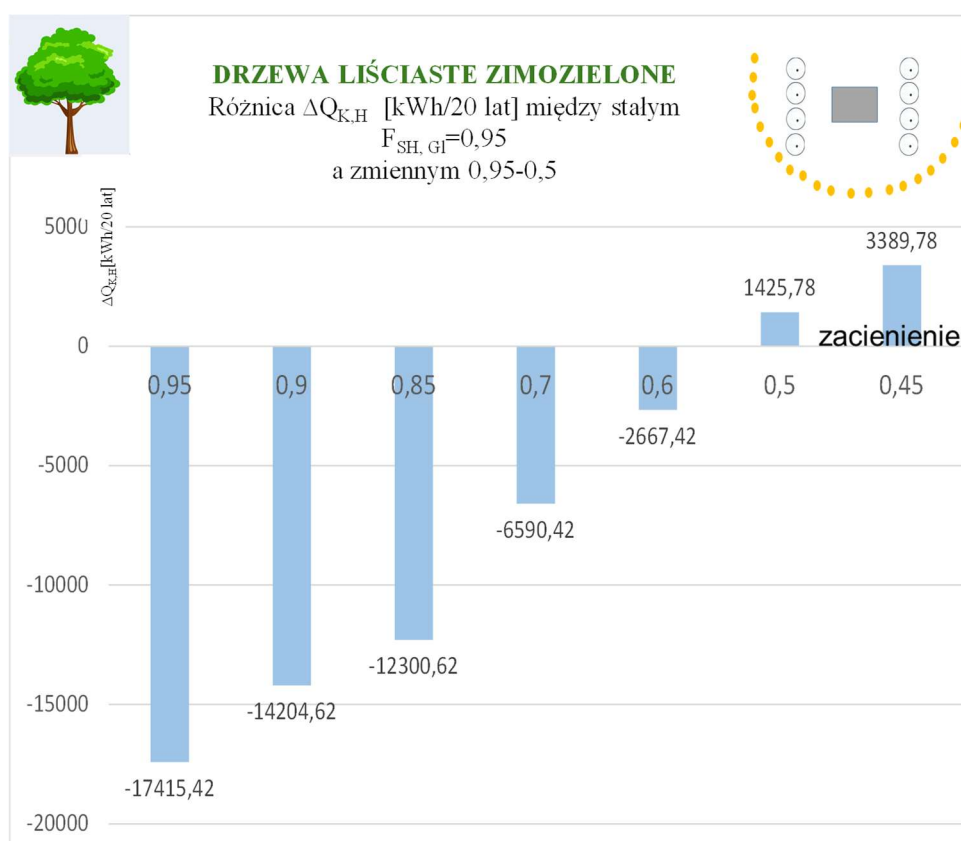


Tabela 35. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacienienia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartości zacienienia. Porównanie dla $rZ=0,45$. [Opracowanie własne]

Drzewo liściaste Dąb turnera				
energia w zależności od zacienienia		kierunek usytuowania drzew: EW		
opis	F_{sh}	energia [kWh/rok]	energia [kWh/20 lat]	różnica /20 lat [kWh/20 lat]
budynek na otwartej przestrzeni nie zacięziony elementami zewnętrznymi	0,45	35885,06	717701,2	3389,78
drzewo iglaste wzrost 20 lat	0,98-0,01		714311,42	



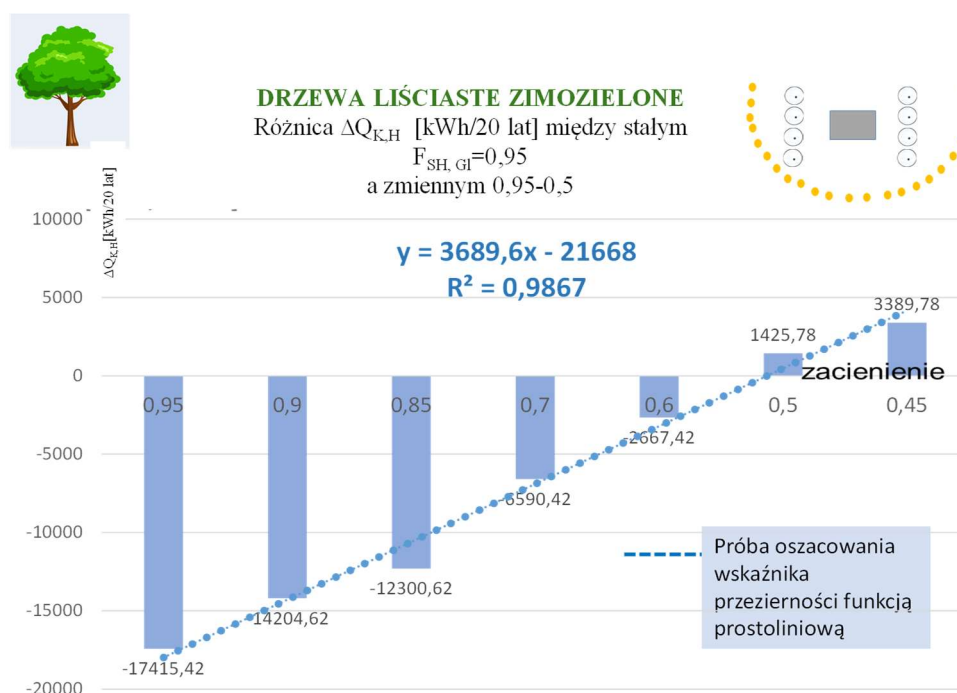
Na podstawie wyników przedstawionych w tabelach od 29 do 35 można podjąć próbę oszacowania współczynnika przezierności. Zależność różnicy energii użytkowej $Q_{u,H}$ od wskaźnika przezierności, przedstawiono na ilustracji 108.



il. 107. Drzewa liściaste. Różnica zapotrzebowania energii do celów ogrzewania w zależności od zacięnienia o stałej wartości $F_{sh, gl}=0,95$ i zmiennej $F_{sh, gl}$ 0,45-0,95. Okres użytkowania budynku 20 lat. [Opracowanie własne]

Z zależności (różnica zapotrzebowania na ciepło dla wariantu o stałej wartości zacienienia i wariantu o zmiennej wartości zacieniania), przedstawionej na ilustracji 108 wynika, że podobnie jak dla wariantu dla drzew zimozielonych, w początkowym okresie po posadzeniu zyski od nasłonecznienia są większe, niż dla wariantu ze stałą wartością, a potem, sukcesywnie ze wzrostem drzewa, maleją. Około 15 roku po posadzeniu, gdy drzewo osiąga formę dojrzałą, zyski dla obu wariantów zrównują się, a potem dla wariantu o zmiennej wartości, maleją (co jest logiczne bo drzewo bardziej zacienia budynek).

Podjmując próbę oszacowania współczynnika przezierności dla drzew zimozielonych wyznaczono zależność z różnicy zapotrzebowania energii $\Delta Q_{K,H}$ dla stałej wartości zacienienia a zmiennej wartości r_z (uwzględniającej współczynnik przezierności)- ilustracja 109. Z analizy regresji liniowej, pozwalającej przetestować związek między zmiennymi ilościowymi, wynika wysoka korelacja. Współczynnik R^2 (miara jakości dopasowania modelu opisująca jaki procent jednej zmiennej wyjaśnia zmienność drugiej zmiennej) wynosi 0,9867, a to oznacza wysoką zgodność modelu.



il. 108. Drzewa liściaste zimozielone. Próba oszacowania współczynnika przezierności JF. Różnica zapotrzebowania energii do celów ogrzewania w zależności od zacienienia o stałej wartości F_{sh} , $gl=0,95$ i zmiennej F_{sh} , $gl=0,45-0,95$. Okres użytkowania budynku 20 lat. [Opracowanie własne]

Na ilustracji 109 przedstawiono prostoliniową funkcję regresji, która aproksymuje zmienne w czasie zacinienie, wynikające ze wzrostu drzewa.

Próba oszacowania współczynnika przezierności JF dla drzew liściastych zimozielonych (ale przy założeniu, że wartość JF jest ta sama w okresie lato-zima). Zależność tę można opisać funkcją prostoliniową, wzór numer 30. Przedstawiono to na ilustracji 109. Linię trendu oznaczono linią kropkowaną niebieską. Tak samo jak w przypadku drzew iglastych, taki sposób rozwiązania zadania, dla drzew liściastych, wymaga weryfikacji, a na pewno dalszej analizy wartości współczynników przezierności JF oraz analizy porównawczej metod badawczych do określania współczynników JF.

$$y = 3689,6x - 21668 \quad (30)$$

gdzie:

y- energia końcowa $\Delta Q_{K,H}$, [kWh/20lat],

x- zmienna decyzyjna- zacinienie (Fsh,gl), [-]

Porównanie wyników badań wartości zapotrzebowania energii do celów ogrzewania jako funkcji zależnej od promieniowania słonecznego, wyrażonego jako funkcja zacinienia, dla drzew liściastych zimozielonych i iglastych:

W przypadku drzew liściastych gdy zacinienie przyjmowane będzie $F_{sh,gl}=0,5$ to różnica w zapotrzebowaniu energii końcowej $\Delta Q_{K,H}$ wynosi 106,58 kWh/20lat. Dla drzew iglastych wynosi 150,6 kWh/20 lat. W wyniku porównania drzewa liściaste/drzewa iglaste otrzymujemy wartość 0,70765, różnica wynosi 71%. Z porównania tych dwóch wartości wynika, że wartości współczynnika przezierności powinny być zróżnicowane dla tych dwóch typów drzew.

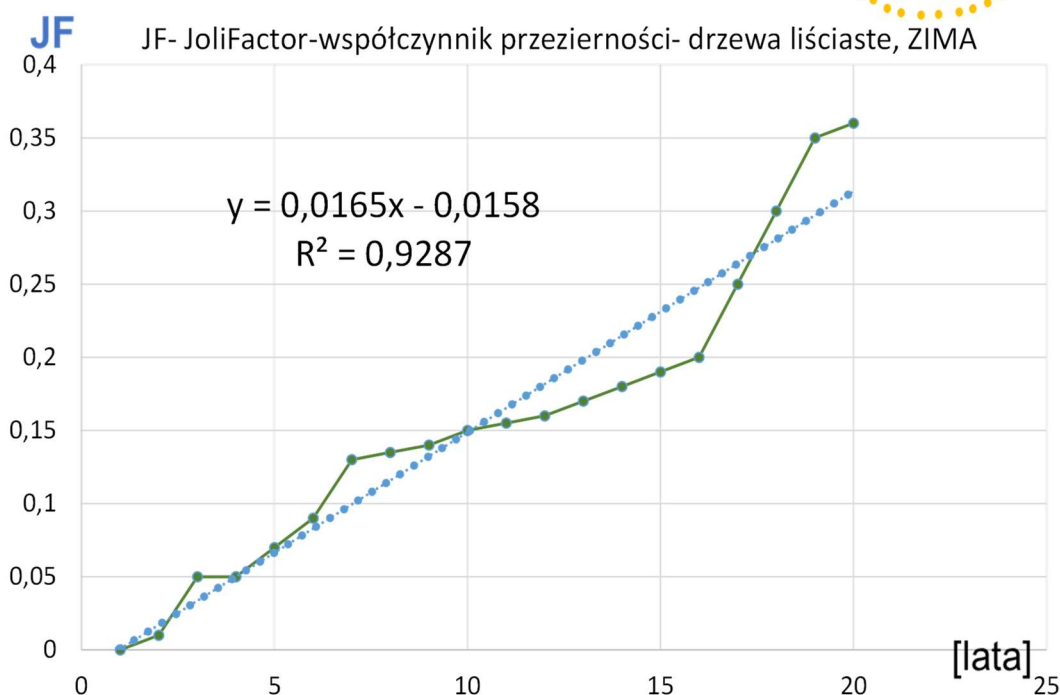
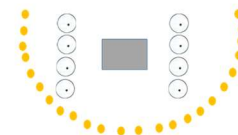
Analizę współczynnika przezierności dla okresu zimy dla drzew liściastych przedstawiono na ilustracji 110. Wykazano, że współczynnik przezierności można opisać funkcją prostoliniową zgodnie ze wzorem numer 31.

$$y = 0,0165x - 0,0158 \quad (31)$$

Stosując tę powyższą funkcję można modelować otoczenie budynku z uwzględnieniem parametrów zmiennych w czasie (w tym przypadku zacinienia wynikającego ze zmiennej na skutek wzrostu drzewa przezierności) z dokładnością adekwatną do zmian zachodzących w czasie realnym.



Ściana konkretna wzdłuż kierunków EW



il. 109. Oszacowana wartość współczynnika przepięności dla drzew liściastych zimozielonych w przedziale czasu od 1 roku do 20 lat. [Opracowanie własne]

Na ilustracji 110 widoczne są imperfekcje pomiędzy przebiegiem funkcji prostoliniowej, która jest wyidealizowanym modelem dla zmienności współczynnika przepięności, a oszacowanymi i przyjętymi do obliczeń wartościami tego współczynnika. Niewątpliwie należy przeprowadzić dalsze analizy w celu dopasowania modelu przepięności drzewa przynajmniej dla takich parametrów jak: nierównomierność wzrostu oraz tempo wzrostu, wpływ kondycji na przepięność.

Kolejna analiza dotyczy zmiennej w zależności od pory roku (rozdział na lato i zimę) wartości współczynnika przepięności JF. Wyniki dla wariantów zamieszczono w tabelach od 36 do 42.

Przebieg zmienności:

w kolejnych wariantach zmienia się wartość zacielenia stałego. Zestawienia zamieszczono w kolejnych tabelach:

W tabeli nr 36 wartość zacielenia wynosi 0,95,

W tabeli nr 37 wartość zacielenia wynosi 0,5,

W tabeli nr 38 wartość zacielenia wynosi 0,9,

W tabeli nr 39 wartość zacielenia wynosi 0,8,

W tabeli nr 40 wartość zacienienia wynosi 0,7,

W tabeli nr 41 wartość zacienienia wynosi 0,6,

W tabeli nr 42 wartość zacienienia wynosi 0,45,

zaś zmienne zacienienie uwzględniające wzrost drzewa zmienia się od 0,98 do 0,01.

W rozważaniach teoretycznych przyjęto największe zacienienie, a wartość ta wynosi 0,01. W tabeli 36 przedstawiono wyniki dla przedziału zmienności wskaźnika przezierności od 1 do 0,45. (W warunkach rzeczywistych, wydaje się trudny do uzyskania taki wzrost drzew, aby prawie całkowicie zacieniał elewację budynku (jest to odpowiednik zaciągniętych na oknach rolet). We wcześniejszych rozważaniach przyjęto wartości zacienienia do maksymalnego zacienienia 0,01. Niewątpliwie wymaga to dalszych analiz. Wartości współczynników przezierności zastosowano w obliczeniach dla kierunków usytuowania ścian zwartych EW (wschód-zachód).

Tabela 36. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacienienia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartości zacienienia, różna dla okresu lata, zimy. Porównanie dla $r_z=0,95$. [Opracowanie własne]

Drzewo liściaste Tilia cordata z podziałem na lato , zima				
energia użytkowa w zależności od zacieniania		kierunek usytuowania drzew: EW		
opis	<i>Fsh</i>	energia [kWh/rok]	energia [kWh/20 lat]	różnica /20 lat [kWh/20 lat]
budynek na otwartej przestrzeni nie zacieniony elementami zewnętrznymi	0,95	34844,8	696896	-3468,71
drzewo iglaste wzrost 20 lat	0,98-0,01		700364,71	



Tabela 37. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacienienia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartości zacienienia, różna dla okresu lata, zimy. Porównanie dla $r_z=0,5$. [Opracowanie własne]

Drzewo liściaste Tilia cordata z podziałem na lato , zima				
energia użytkowa w zależności od zacieniania		kierunek usytuowania drzew: EW		
opis	<i>Fsh</i>	energia [kWh/rok]	energia [kWh/20 lat]	różnica /20 lat [kWh/20 lat]
budynek na otwartej przestrzeni nie zacieniony elementami zewnętrznymi	0,5	35068,5	701370	2411,33
drzewo iglaste wzrost 20 lat	0,98-0,01		698958,67	



Tabela 38. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacienienia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartości zacienienia, różna dla okresu lata, zimy. Porównanie dla $r_z=0,9$. [Opracowanie własne]

Drzewo liściaste Tilia cordata z podziałem na lato , zima				
energia użytkowa w zależności		kierunek usytuowania drzew: EW		
opis	F_{sh}	energia [kWh/rok]	energia [kWh/20 lat]	różnica /20 lat [kWh/20 lat]
budynek na otwartej przestrzeni nie zaciemiony elementami zewnętrznymi	0,9	35070,21	701404,2	2445,53
drzewo iglaste wzrost 20 lat	0,98-0,01		698958,67	

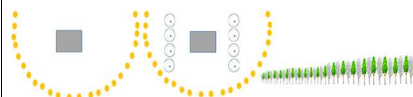


Tabela 39. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacienienia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartości zacienienia, różna dla okresu lata, zimy. Porównanie dla $r_z=0,8$. [Opracowanie własne]

Drzewo liściaste Tilia cordata z podziałem na lato , zima				
energia użytkowa w zależności		kierunek usytuowania drzew: EW		
opis	F_{sh}	energia [kWh/rok]	energia [kWh/20 lat]	różnica /20 lat [kWh/20 lat]
budynek na otwartej przestrzeni nie zaciemiony elementami zewnętrznymi	0,8	34918,91	698378,2	-580,47
drzewo iglaste wzrost 20 lat	0,98-0,01		698958,67	

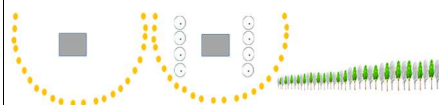


Tabela 40. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacienienia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartości zacienienia, różna dla okresu lata, zimy. Porównanie dla $r_z=0,7$. [Opracowanie własne]

Drzewo liściaste Tilia cordata z podziałem na lato , zima				
energia użytkowa w zależności		kierunek usytuowania drzew: EW		
opis	F_{sh}	energia [kWh/rok]	energia [kWh/20 lat]	różnica /20 lat [kWh/20 lat]
budynek na otwartej przestrzeni nie zaciemiony elementami zewnętrznymi	0,7	34921,78	698435,6	-523,07
drzewo iglaste wzrost 20 lat	0,98-0,01		698958,67	



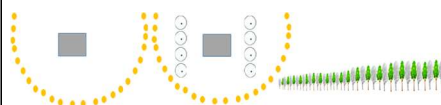
Tabela 41. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacienienia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartości zacienienia, różna dla okresu lata, zimy. Porównanie dla $r_z=0,6$. [Opracowanie własne]

Drzewo liściaste Tilia cordata z podziałem na lato , zima				
energia użytkowa w zależności		kierunek usytuowania drzew: EW		
opis	Fsh	energia [kWh/rok]	energia [kWh/20 lat]	różnica /20 lat [kWh/20 lat]
budynek na otwartej przestrzeni nie zacieniony elementami zewnętrznymi	0,6	34921,37	698427,4	-531,27
drzewo iglaste wzrost 20 lat	0,98-0,01		698958,67	



Tabela 42. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacienienia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartości zacienienia, różna dla okresu lata, zimy. Porównanie dla $r_z=0,45$. [Opracowanie własne]

Drzewo liściaste Tilia cordata z podziałem na lato , zima				
energia użytkowa w zależności		kierunek usytuowania drzew: EW		
opis	Fsh	energia [kWh/rok]	energia [kWh/20 lat]	różnica /20 lat [kWh/20 lat]
budynek na otwartej przestrzeni nie zacieniony elementami zewnętrznymi	0,45	35111,43	702228,6	3269,93
drzewo iglaste wzrost 20 lat	0,98-0,01		698958,67	



Przeprowadzono kolejną próbę oceny współczynnika przezierności nie tylko dla okresu zimy, ale dla całego roku z podziałem na okres wegetacji i spoczynku. Analizę tę przedstawiono na ilustracji 111, a dodatkową, z tym związaną, wynik analizy zaprezentowano ilustracji 112.

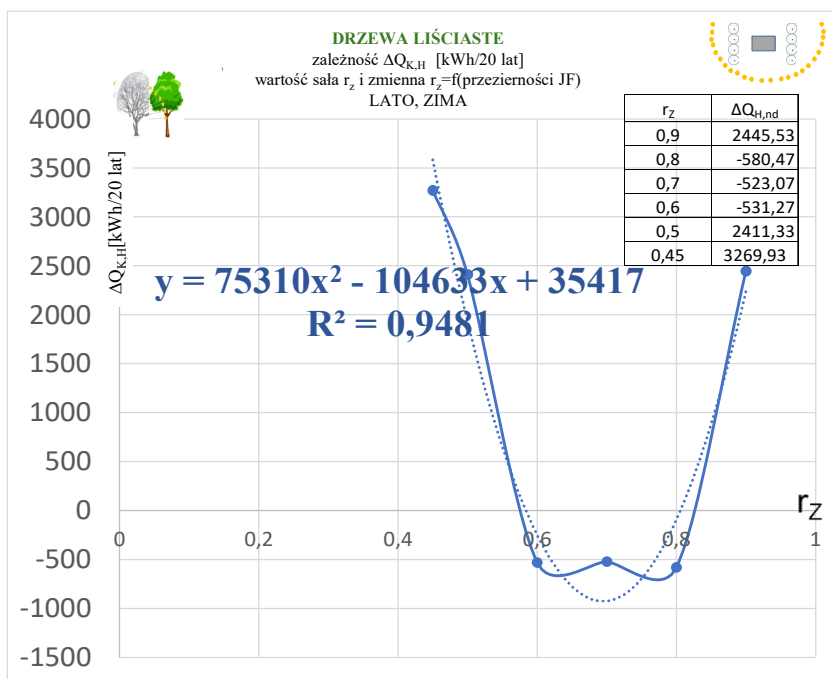
Dla współczynnika przezierności z przedziału zmienności 1-0,45 zależność można opisać wzorem numer 32.

$$y = 75310x^2 - 104633x + 35417 \quad (32)$$

Dla współczynnika przezierności z przedziału zmienności 1-0,45 ale zawężonego przedziału analizy danych (przedział 0,8-1) zależność można opisać wzorem numer 33.

$$y = 59896x^2 - 86121x + 30073 \quad (33)$$

W celu weryfikacji wyników przeprowadzono analizę porównawczą dla różnych przedziałów zmienności współczynnika r_z .



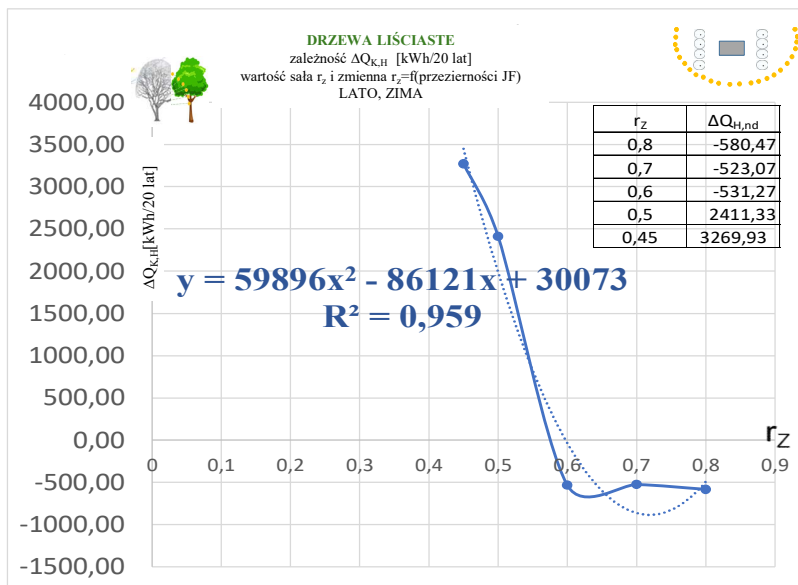
il. 110. Oszacowana wartość współczynnika przezierności dla drzew liściastych, $0,45 < r_z < 0,9$ w przedziale czasu od 1 roku do 20 lat. Zależność $Q_{k,H}$ [kWh/20lat] dla stałej wartości r_z i zmiennej r_z ze zróżnicowaną wartością JF dla r_z lato i r_z zima. [Opracowanie własne]

Analizy zacienienia w dwóch różnych przedziałach zmienności zacienienia pokazano na ilustracji 111. Na ilustracji 112 przedstawiono zależność dla przedziału $0,45 < r_z < 0,9$ oraz na ilustracji 113 dla przedziału $0,45 < r_z < 0,8$. Dla celu tej analizy wartość $r_z=0,9$ przyjęto od 4 do 5 roku od posadzenia drzewa, wartość $r_z=0,45$ odpowiada, w tej analizie, latom od około 18-tego do 20-tego roku życia drzewa.

Zależność dla przedziału $0,45 < r_z < 0,9$, miara dopasowania modelu: $R^2=0,9481$

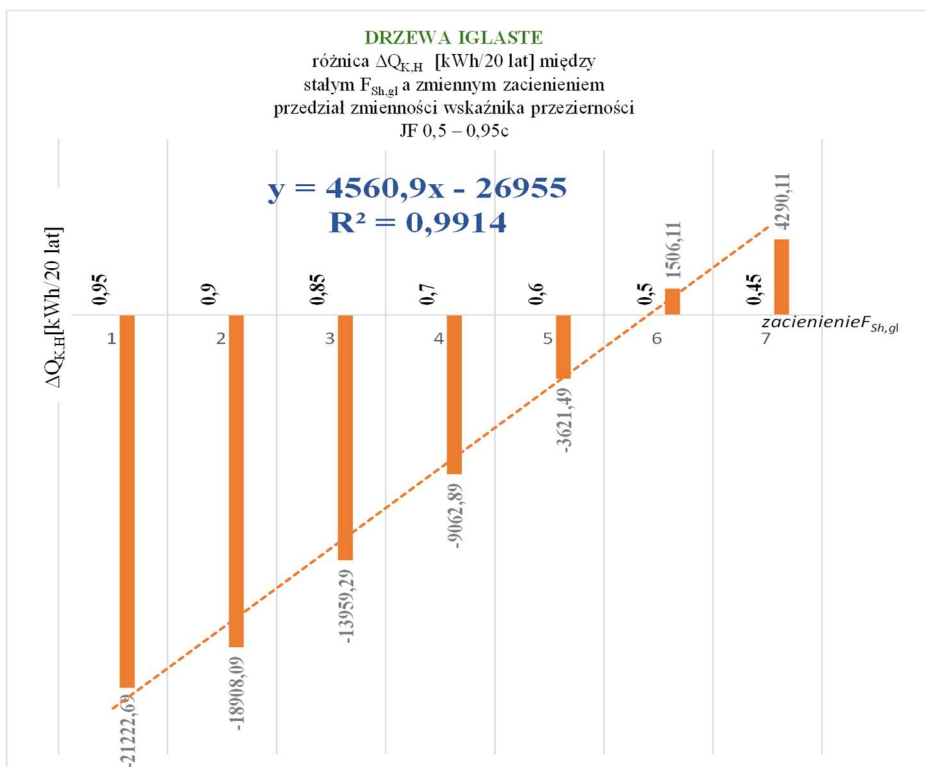
Zależność dla przedziału $0,45 < r_z < 0,8$, miara dopasowania modelu: $R^2=0,959$

Wydaje się, iż dla węższego przedziału można uzyskać większą miarę dopasowania modelu, tak więc wydaje się, iż wyniki można przyjąć za poprawne. Potwierdza to też, wcześniejszą opinię, iż rozwiązania zadań optymalizacyjnych są bardzo wrażliwe na ograniczenia. Wymaga to dużej uważności w rozwiązywaniu zadań optymalizacji w celu znalezienia punktu siodłowego (globalnego minimum) lub przyjmowania takich ograniczeń na zmienne decyzyjne, które wynikają np. z warunków zabudowy, planów zagospodarowania przestrzennego.



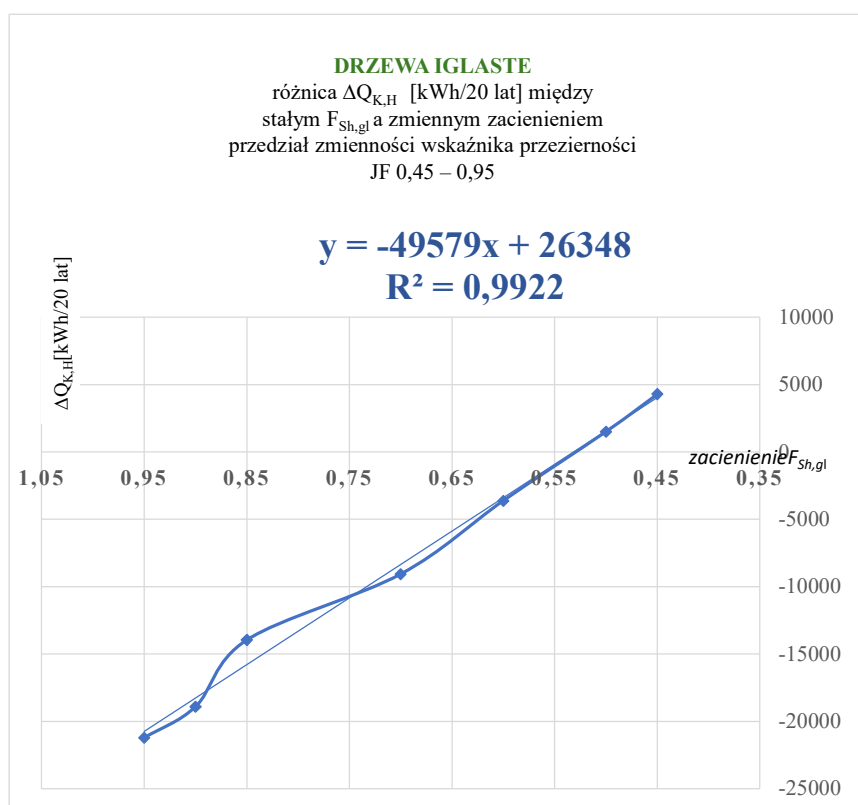
il. 111. Oszacowana wartość współczynnika przezierności dla drzew liściastych, $0,45 < r_z < 0,8$ w przedziale czasu od 1 roku do 20 lat. Zależność $Q_{K,H}$ [kWh/20lat] stałej wartości r_z i zmiennej r_z ze zróżnicowaną wartością JF dla r_z lato i r_z zima. [Opracowanie własne]

Wpływ na dopasowanie linii trendu (miarę dopasowania modelu) ma także wybór rodzaju funkcji do zobrazowania zależności. Przedstawiono to na ilustracjach 113 i 114.



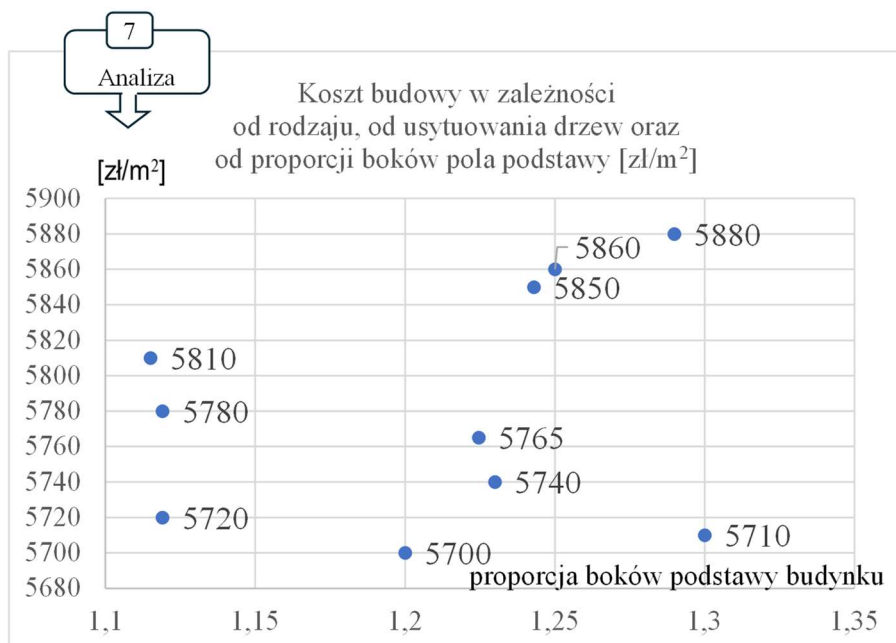
il. 112. Wybór rodzaju wykresu a wiarygodność linii trendu. Wykres słupkowy. [Opracowanie własne]

Różnica miary dopasowania modelu linii trendu między wykresem słupkowym (ilustracja 113) a punktowym (ilustracja 114) wynosi 0,08 %. Dyskusyjna jest więc konieczność przeprowadzania analizy przy tak małej różnicy, a także to, jak może ona wpływać na poprawność modelowania współczynników przezierności oraz na wartości bilansów energetycznych budynków w perspektywie 20 lat. Imperfekcje funkcji liniowej opisującej zależność różnicy $Q_{K,H}$ (zapotrzebowania na energię: między bilansem dla stałej wartości zacienienia a bilansem dla zmiennej wartości zacienienia) od wartości zacienienia mogą być wynikiem nierównomiernego wzrostu drzewa lub stanem zdrowia, który wpływa na zmianę tempa wzrostu, zmianę pokroju, zmianę czaszy). Ilustracje 112 i 9114 obrazują te imperfekcje. Niewątpliwie wymaga to dalszych analiz.



il. 113. Wybór rodzaju wykresu a wiarygodność linii trendu. Wykres punktowy. [Opracowanie własne]

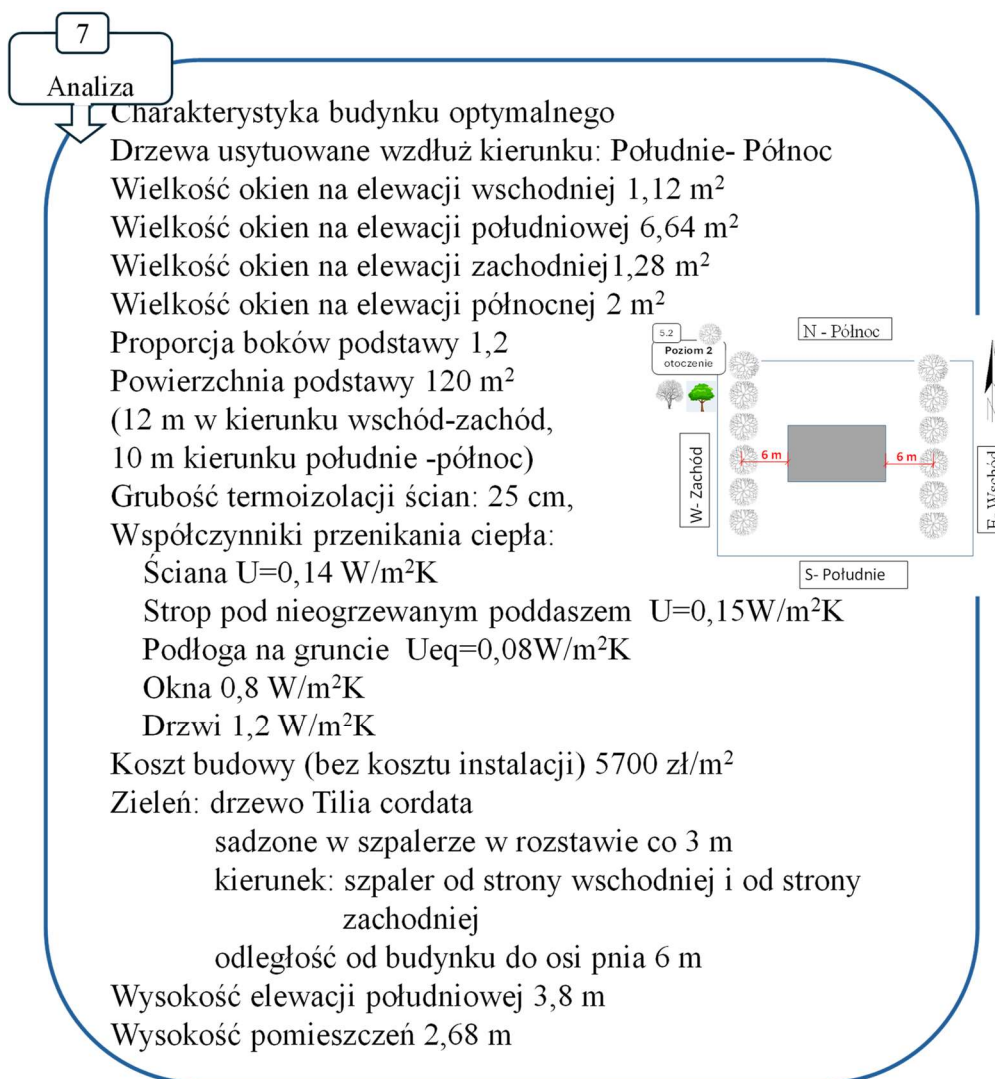
Tabela 43. Wybór wariantu optymalnego w zależności od rodzaju drzewa, usytuowania względem budynku, proporcji boków pola podstawy budynku. [Opracowanie własne]



Wybór wariantu optymalnego (dla wykonanych obliczeń) w zależności od rodzaju drzewa, usytuowania względem budynku, proporcji boków pola podstawy budynku: najkorzystniejszym z punktu minimalizacji kosztów budowy, zużycia energii, usytuowania drzew i ich rodzaju jest budynek proporcji boków 1,2, obsadzony drzewem lilia cordata w szpalerze od strony wschodniej i od strony zachodniej (tabela 43). Charakterystyka budynku opisana na ilustracji 115.

6.2.3. Wskaźnik przezierności JOLI Factor - Joined Optimisation of Landscape Interior

(W przypadku tego współczynnika wartość większa oznacza większą przezierność drzewa.) Szacuje się, że wariantów modelowania dla wybranych typów drzew (zimozielone, liściaste) oraz dla parametrów drzewa takich jak: tempo wzrostu, nierównomierność wzrostu, stan zdrowia, tworzenie ścian zwartych, obiektywnych, subiektywnych, lokalizację (np. ośrodki miejskie, wiejskie), jakość powietrza (zanieczyszczenia np. pył zawieszony PM 10, PM2,5, B α P), nasłonecznienie, dostępność wody, może być w najprostszych analizach ponad 1,5 mln kombinacji.



il. 114. Wybór najlepszego rozwiązania, budynek optymalny według: min. kosztu budowy (bez kosztu instalacji), min energii końcowej, rodzaju drzew i sposobu ich posadzenia w otoczeniu budynku, kierunku . [Opracowanie własne]

Dla wybranych wariantów analizy współczynników przezierności wybrane dane zestawiono w tabeli numer 44.




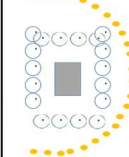


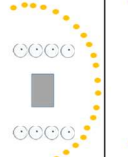


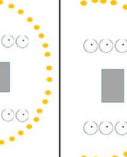
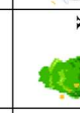




Jak można wykorzystać te wyniki w projektowaniu najbliższego otoczenia budynku? Włączenie uzyskanych krzywych regresji do zadania optymalizacyjnego na etapie projektowania (na ilustracjach 20 i 42 jest oznaczony jako etap pierwszy i drugi) pozwoli na przyjęcie efektywnych wartości zmiennych decyzyjnych takich jak: wielkości przeszklenia, grubości termoizolacji, sprawności systemów sterowania instalacjami do ogrzewania. Jednocześnie pozwoli na świadome, poparte analizami inżynierskimi, planowanie otoczenia budynku elementami takimi jak: typ drzewa, odległość od budynku, typ zwartości szpaleru drzew (np. wnętrza obiektywne, lub konkretne).

Uzyskane wyniki te na mają praktyczne przełożenie na projektowanie najbliższego otoczenia budynku.

Niewątpliwie należy przeprowadzić dalsze analizy w celu dopasowania modelu przezierności drzewa przynajmniej dla takich parametrów jak: nierównomierność wzrostu oraz tempo wzrostu, wpływ kondycji na przezierność.

Zastosowany autorski program obliczeniowy ze względu na dostępność danych nasłonecznienia, może być stosowany do obliczeń dla zwartych ścian. W programie można wprowadzać własne dane klimatyczne dla wartości nasłonecznienia w interwałach godzinowych dla różnych kątów azymutu, jednakże dane te nie są powszechnie dostępne. Dlatego do analiz przyjęto ściany zwarte, konkretne (z fazą przejściową).

Tabela 44. Zestawienie wybranych danych dla wariantów wyznaczenie wskaźnika przezierności JF. [Opracowanie własne]

drzewa iglaste							wzór nr
kierunek ściany konkretnej	r _Z		podział współczynnika		współczynnik zacienienia		
	stały	zmienny	lato	zima	przedział zmienności		wiarygodność linii trendu
	x	x			1-0,001 ¹		R ² =0,9914
							29
drzewa liściaste							wzór nr
kierunek ściany konkretnej	r _Z		podział współczynnika		współczynnik zacienienia		
	stały	zmienny	lato	zima	przedział zmienności		wiarygodność linii trendu
	x	x			1-0,001		R ² =0,9867
							30
	x	x			1-0,45 ³		R ² =0,9287
							31
	x	x			0,9-0,45		R ² =0,9481
							32
	x	x			0,8-0,45		R ² =0,959
							33

6.3. Podsumowanie i konkluzje końcowe

6.3.1. Temat podjęty w niniejszej dysertacji jest nowatorski, a badania naukowe nad tematem: *wnętrze krajobrazowe a parametry energetyczne budynku* pozwolą na opracowanie teoretycznych podstaw dla określenia przestrzennych i czasowych uwarunkowań, w skali działki i jej bezpośredniego otoczenia w korelacji z bryłą budynku, wpływających na dobór, aranżację oraz zagospodarowanie wnętrza krajobrazowego zielenią - drzewami.

6.3.2. W literaturze z dziedziny architektury krajobrazu nie znaleziono odwołania do takiego jej kształtowania, które uwzględniałoby wpływ rozplanowania drzew oraz ich doboru gatunkowego na zapotrzebowanie cieplne dla budynków oraz na komfort cieplny pomieszczeń. Oddziaływanie drzew w tym zakresie było badane w sposób uproszczony i jedynie w zakresie jednego roku. Dlatego w pracy podjęto analizy dotyczące całego cyklu życia drzew od etapu nasadzeń po uzyskanie przez nie formy dojrzałej.

6.3.3. Wobec braku wytycznych dotyczących dokładnego obrazowania zacienienia elewacji budynku przez korony drzew zaproponowano wprowadzenie nowego pojęcia, takiego jak „**współczynnik przezierności**”.

6.3.4. Dla dużej ilości kryteriów ustalenie wytycznych do projektowania jest trudnym zadaniem. Istotą tego zadania stanowi kilka kwestii. Uwzględnienie wszystkich zależności z różnych certyfikacji zrównoważonego rozwoju nie jest wręcz możliwe. Projektowanie otoczenia budynku i jego optymalizacja dla tak dużej liczby zmiennych jest ogromnie trudna i wymaga dużej wiedzy i doświadczenia. Dlatego ustalenie wytycznych na podstawie wyboru kryteriów, wymagało oparcia decyzji na już wykonanych naukowych analizach i wiedzy naukowców zaprezentowanej w artykułach naukowych i książkach. W oparciu o tę wiedzę, zarekomendowano metodę wielopoziomową poprzez dekompozycję zadania. Każda lokalizacja jest inna i będzie wymagała indywidualnego określenia potrzeb przyszłych użytkowników dla planowanej przestrzeni otoczenia budynku i jego bilansu energetycznego. W świetle praktyki, etap planowania przestrzeni otoczenia budynku, jako elementu jego bilansu, nie odbywa się obecnie na etapie projektowania ale po zakończeniu inwestycji. Analizy wielokryterialne w takim

przypadku, w oparciu o sztywne, zero-jedynkowe wytyczne, nie są możliwe do przeprowadzenia. Tak więc opracowanie wytycznych projektowych dla optymalnego projektu otoczenia budynku wymaga procedury opartej na wiedzy i doświadczenie wykwalifikowanych projektantów. Jak wynika z dotychczas przeprowadzonych badań można użyć mierzalnych wskaźników na poszczególnych poziomach optymalizacji i projektowania (co zostało wykazane). Kolejną kwestią jest to, iż wynik optymalizacji jest bardzo wrażliwy na przyjmowane przedziały ograniczeń dla zmiennych decyzyjnych, zmiennych kryterialnych. Stosowane proste procedury i wytyczne nie są możliwe do zastosowania. Wymaga to od projektanta dogłębnej wiedzy.

6.3.5. Projekt otoczenia budynku wpływa na parametry energetyczne budynku i wpływ ten zależy od rodzaju, oraz sposobu realizacji wypełnienia ścian wnętrza krajobrazowego drzewami. Próba opisanie wpływu projektu ścian wnętrza krajobrazowego – szpaleru drzew na parametry energetyczne budynku zależnością matematyczną została zrealizowana przez zaproponowanie współczynnika przezierności **JF - JOLI Factor (Join Optimisation of Landscape Interior)** i określenie dla niego wartości.

6.3.6. Cel badawczy został zrealizowany. Określono zależności pomiędzy wybranymi elementami przyrodniczymi architektury krajobrazu a budynkiem, rozumianymi jako wpływ projektu zieleni na zapotrzebowanie cieplne budynku w funkcji czasu, zależne od rodzaju drzewostanu i jego wieku. Zrealizowano również cele pośrednie określając: wpływ przezierności zieleni (drzew) otaczającej budynek mieszkalny (jednorodzinny) na jego zapotrzebowanie cieplne., wskaźniki przezierności (doprecyzowanie ażurowości drzew) dla wybranych gatunków drzew i wskazując narzędzia do zintegrowanego projektowania wybranych drzewostanów, towarzyszących budynkowi, i jego bilansu cieplnego odniesionych do czasu użytkowania, a tym samym trwałości budynku, lub czasu wzrostu drzew, po którym drzewostan osiąga formę dojrzałą.

6.3.7. Wyniki badań całkowicie potwierdziły tezę pracy, że projektowanie wielokryterialne i wielopoziomowe jest narzędziem umożliwiającym wprowadzenie kryterium kształtowania zieleni (ze szczególnym uwzględnieniem drzew) do optymalizacji zużycia energii i komfortu cieplnego pomieszczeń budynków.

6.3.8. Szczegółowy opis: danych wejściowych, które posłużyły do określenia wariantów przyjętych do porównania, kryteriów przyjętych do oceny rozwiązań metodami wielokryterialnymi i wielopoziomowymi, standaryzowania danych, użytego oprogramowania i uzyskanych wyników badań przeprowadzonych przez autorkę pozwala na replikowalność³⁸⁸.

6.4. Zastosowanie wyników badań w projektowaniu

6.4.1. Włączenie uzyskanych krzywych regresji do zadania optymalizacyjnego na etapie projektowania pozwoli na przyjęcie efektywnych wartości zmiennych decyzyjnych takich jak: wielkości przeszklenia, grubości termoizolacji, sprawności systemów sterowania instalacjami do ogrzewania. Jednocześnie pozwoli na świadome, poparte analizami inżynierskimi, planowanie otoczenia budynku elementami takimi jak: typ drzewa, odległość od budynku, typ zwartości szpaleru drzew (np. wnętrza obiektywne, lub konkretne). Uzyskane wyniki mają praktyczne przełożenie na projektowanie najbliższego otoczenia budynku.

6.4.2. Wyniki badań mogą być bardzo przydatnym narzędziem, służącym architektom krajobrazu do projektowania otoczenia budynku zintegrowanego z jego bilansem energetycznym, co może wpłynąć na rozwój metod kształtowania zespołów wnętrz architektoniczno-krajobrazowych.

6.4.3. Uzyskane wyniki mogą także być wykorzystywane w szerszej skali - do tworzenia planów zagospodarowania przestrzennego, a z pewnością powinny się stać podstawą projektu zagospodarowania terenu.

³⁸⁸ Replikowalność badań - umożliwienie powtarzalności badań i sprawdzenia rzetelności badacza, jest „jednym z elementów ruchu *open science* (otwartej nauki) – podejścia do badań naukowych, które promuje otwarty dostęp do danych, metod i wyników badań oraz ich transparentność i replikowalność.” [za:] Pogotowie statystyczne, P-hacking, <https://pogotowiestatystyczne.pl/slowniki/p-hacking/> (01.06.2024).

6.4.4. Uzyskane wyniki mogą wpłynąć na kształtowanie Modelowania Informacji o Krajobrazie (LIM). Informacje pozyskane w wyniku przeprowadzenia analiz oddziaływania projektu zieleni wysokiej na działce na bilans energetyczny budynku: mogą stanowić jedną z warstw systemu LIM (Landscape Information Modeling – Modelowanie danych o krajobrazie).

6.4.5. Praca i jej wyniki powinny być zastosowane w projektowaniu przez architektów i inżynierów budownictwa oraz architektów krajobrazu przy projektowaniu budynków i ich otoczenia. Uzyskane wyniki badań potwierdzają, iż otoczenie budynku, które stanowi zieleń wysoka, zmienia się i wpływa na bilans energetyczny. Mimo stosowania typowych lat meteorologicznych i statystycznych, postuluje się, aby wprowadzić nowe wytyczne i procedurę projektowania budynków przez inżynierów budownictwa, opierającą się na analizach wieloletnich nie zaś jak do tej pory na bilansie jednorocznym.

6.4.6. Zieleń, szczególnie wysoką w analizach rozwoju zrównoważonego, wprowadza się, jako towarzyszącą nie zaś mającą duży wpływ na bilans energetyczny. Na podstawie uzyskanych wyników można postulować zmiany w punktach kryterialnych procedur rozwoju zrównoważonego.

6.4.7. Rezultat pracy powinien znaleźć zastosowanie w projektowaniu szczególnie budynków niskoenergetycznych przez inżynierów budownictwa.

6.4.8. Do projektowania budynków powinny zostać opracowane nowe wytyczne wprowadzające nowy termin techniczny nazwany „współczynnikiem przezierności”.

6.4.9. Wyniki pracy mogą znaleźć zastosowanie w procesie dydaktycznym na uczelniach wyższych szczególnie na kierunkach: Architektura, Budownictwo Lądowe, Architektura krajobrazu czy Gospodarka przestrzenna, a także w edukacji w szkołach średnich przy realizacji Programów edukacyjnych lub Grantów zapoznających uczniów z zasadami tworzenia obiektów architektury i architektury krajobrazu.

6.5. Perspektywy rozwoju badań

6.5.1. Przeanalizowane zagadnienie może wpłynąć na rozwój metod kształtowania zespołów wewnątrz architektoniczno-krajobrazowych.

6.5.2. Po uzyskaniu wyników analiz, dalsze działania badawcze powinny obejmować:

- weryfikację przyjętego modelu schematu do modelowania drzew,
- wprowadzenia możliwości modelowania układów drzew w swobodniejszych układach przestrzennych (rozumianych jako większa ażurowość, nasadzenia niekoniecznie w linii prostej),
- uzupełnianie i doskonalenie sposobu wyznaczania IF współczynnika przezierności, (szczególnie w odniesieniu do konkretnych gatunków drzew),
- rozszerzenie zakresu badań na większe projekty z zakresu architektury krajobrazu (zielen osiedlowa, tereny zieleni publicznej, parki),
- analizy zależności pomiędzy projektem zieleni otaczającej budynek, a jego parametrami energetycznymi w innych strefach klimatycznych.

BIBLIOGRAFIA

1. Amborski K., *Teoria sterowania, podręcznik programowany*, PWN, Warszawa 1987
2. Anderson C., *Leafscan*, wyd.© 2017 Carlos Anderson, o aplikacji można dowiedzieć się na stronie on-line [dpwhttps://itunes.apple.com](https://itunes.apple.com) (31 marca 2023).
3. Apollo M., Grzyl B., *Zastosowanie analizy wielokryterialnej do oceny i wyboru rozwiązania pokrycia dachowego*, Materiały Budowlane, 8/2022 (nr 600), Warszawa 2022.
4. Appleyard D., Lynch K., Myer J.R., *The View from the road*, MIT, Cambridge 1964.
5. ASHRE, *Thermal comfort conditions*, Standard 55-64, New York 1966. (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
6. Aumann R. J., Heifetz A., *Incomplete information*, Elsevier - Handbook of Game Theory with Economic Applications, Chapter 43 , Volume 3, 2002, s. 1665-1686.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1574000502030060>. (dostęp 21.04.2024).
7. Bellon S., Zybura H., Andrzejczyk T., *Wzrost i rozwój odnowień jodły, buka, dębu i lipy pod okapem drzewostanu modrzewiowego o różnym stopniu przerzedzenia*, Sylwan 1983, nr 9,10, <https://agro.icm.edu.pl> > agro (dostęp 5.11.2019)
8. Białogrodzki J., Borowiecki P., Dzido T., Furmańczyk H., Giaro K., Janczewski R., Kubale M., Małafiejski M., Manuszewski K., Nadolski A., Piwakowski K., Szyfelbein D., Żyliński P., *Optymalizacja dyskretna. Modele i metody kolorowania grafów*, WNT, Warszawa 2002, s. 62-63.
9. Bidou D., *The HQE approach: Realities and perspectives of building environmental quality*, Management of Environmental Quality, 17(5), Augsburg 2006, pp. 587–592.

10. Bobek W., *Nowoczesne technologie budowlane wykorzystywane podczas wprowadzania drzew w silnie przekształconych przestrzeniach miasta*, Czasopismo Techniczne, Kraków 2010, s. 269-277.
11. Boczoń A., Wróbel M., *Wpływ suszy na pobór wody przez sosnę zwyczajną (Pinus Sylvestris L.) o różnej pozycji w drzewostanie*, Leśne Prace Badawcze, Grudzień 2015, Vol. 76 (4), s. 370–376.
12. Bogdanowski J., Łuczyńska-Bruzda M., Nowak Z., *Architektura krajobrazu*, PWN, Warszawa 1981.
13. Bogdanowski J., *Metoda jednostek i wnętrz architektoniczno-krajobrazowych (JARK-WAK) w studiach i projektowaniu (podstawowe wiadomości)*, wyd.4 Politechnika Krakowska, Kraków, 1989-1999.
14. Bogdanowski J., *Style, kompozycja i rewitalizacja w polskiej sztuce ogrodowej*, PK 1994, s. 24.
15. Bogdanowski Janusz, *Kompozycja i planowanie w architekturze krajobrazu*. PAN 1976.
16. Bogosłowski W. N., *Procesy cieplne i wilgotnościowe w budynkach*, Arkady, 1985, s. 68-63.
17. Borkowski A, Perski Z., Wojciechowski T., Józków G., Wójcik A., *Landslide smapping in Rożnów Lake vicinity, Poland using airborne laser scanning data*, ActaGeodyn. Geomater. 2011, vol. 8, No.3 (163), s. 325-333. .
18. Borowski J. *Drzewo - budowa i funkcjonowanie [Tree - construction and functioning*. In: Witkoś-Gnach K., Tyszko-Chmielowiec P. (eds), *Drzewa w krajobrazie. Podręcznik Praktyka [Trees in the landscape. Practical manual]*. Fundacja Ekorozwoju, Wrocław, 2014: 17-26. 2014.
19. Borowski J. *Zielone ściany i pnącza – alternatywa czy norma? [Green walls and climbers – alternative or standard]*. Zielen Miejska, 2(94): 48 -50. 2015.
20. Borowski J., Lachota P., *Dobór drzew i krzewów do warunków przyulicznych Warszawy i miast centralnej Polski*, Rocznik Dendrologiczny Vol.54, Warszawa, 2006, s. 83-93.

21. Böhm A., *Planowanie przestrzenne dla architektów krajobrazu : o czynniku kompozycji : podręcznik dla studentów wyższych szkół technicznych*, ISBN 83-7242-398-9, Wydawnictwo PK, Kraków 2006.
22. Böhm A., *Spatial planning for landscape architects: on the composition factor: a handbook for students of technical colleges*, wyd, Politechnika Krakowska, Kraków, 2006.
23. Böhm A., *Architektura krajobrazu, jej początki i rozwój*, Politechnika Krakowska 1994.
24. Brandt M. A., Dzieniszewski W., Gierliński J., Holnicki-Szuls J., Jedno S., Marks W., Niemierko A., Owczarek S., Stachowicz A., *Podstawy optymalizacji elementów konstrukcji budowlanych*, PWN, Warszawa 1978, s. 40-41.
25. Brandt M. A., Dzieniszewski W., Jedno S., Marks W., Owczarek S., Wasiutyński Z., *Kryteria, i metody optymalizacji konstrukcji*, PWN, Warszawa 1977, str. 256-257.
26. Bruckner A., *Słownik etymologiczny języka polskiego*, Kraków 1927 (przedruk 1958).
27. Brzezińska S., *Obliczanie zapotrzebowania na ciepło*, wyd. Verlag Dashofer 2011.
28. Buhyoff G.J., Riesenman M.F., *Experimental manipulation of dimensionality in landscape preference judgments: a quantitative validation*, Leisure Sciences 2 1979, s. 221-238.
29. Cabała K., Zaworski S., Gintowt J., *The influence of fitting of a window on a heat transfer coefficient and an energy balance of a building*, Technical Transaction, Z 5-B/2014, Kraków 2014, s. 33-38.
30. Campbell G.S., J.M. Norman, *The description and measurement of plant canopy structure*, pp. 1-19 In: Russell G., Marshall B., Jarvis P.G. (editors). *Plant Canopies: Their Growth, Form and Function*, Cambridge University Press, 1990.
31. Celadyn W., *Architektura energooszczędna w planowaniu przestrzennym*, Czasopismo Techniczne z. 18. Architektura z. 8-A , Kraków 2010.

32. Celadyn W., *Energy Concepts For Buildings. Methods of Presentation (Koncepcje energetyczne budynków. Metody prezentacji)*, Czasopismo Techniczne 2-A/2/, Kraków 2011, s. 15-25.
33. Celadyn W., *Wpływ roślinności, jako pokrycia, na kształtowanie powierzchni dachowych*, rozprawa doktorska, Czasopismo Techniczne, Kraków 1982.
34. Chmielewski T. J., *Diagnozowanie i projektowanie stylu krajobrazu, Problemy Ekologii Krajobrazu*, T. XXXIII. 31-51.
35. Chwieduk D., *Pozyskiwanie oraz konwersja termicznej energii słonecznej w budynku*, IPPT PAN, Warszawa 2006, s. 14-245.
36. Chwieduk D., *Recommendation for Energy concept of building*, Technical Transaction, Wyd. Politechnika Krakowska, Kraków 2012, s. 45-54.
37. Chu A. T. W., Kalaba R. E., Spingarn K., *A comparison of two methods for determining the weights of belonging to fuzzy sets*, Journal of Optimization Theory and Application, volum 27, Springer 1979, s. 531-538.
38. Chyrczakowski S., Jendo S., Jęrzejuk H., Marks W., Owczarek S., Paczkowski W., *Optymalizacja wielokryterialna budynków energooszczędnych*, praca wykonana z projektu badawczego nr 7TO7E 01410, KBN 1996-1998, s. 14- 17.
39. Cieśla K., Gintowt J., *Analiza porównawcza elementów operatu oddziaływania na środowisko*, Wyd. Akademii Podlaskiej. Siedlce, s. 146-150.
40. Croft H., Chen J. M., *Leaf Pigment Content*, Elsevier, 2018, s. 117-142.
41. Cycoń D., *Szyba z powłoką kwantową z nagrodą za innowacyjność podczas BAU w Monachium*, ML System, <https://mlsystem.pl/szyba-z-powloka-kwantowa-z-nagroda-za-innowacyjnosc-podczas-bau-w-monachium/> (dostęp 21.04.2023).
42. Diemianow W. F., Małoziemow W.N., *Wstęp do metod minimaksymalizacji*, WNT, Warszawa 1975, s. 141-161.
43. Doroszewski W., (redakcja), *Słownik Języka Polskiego*, PWN, s. 460 <https://sjp.pwn.pl/so/lista/P.html> dostęp (23.05.2023).

44. Doroszewski W., (zastępcy Stanisław Skorupka, Halina Auderska), *Słownik Języka Polskiego*, PAN, T7, Warszawa 1965, s. 240.
45. Dudzińska A., *Skuteczność osłon przeciwsłonecznych w kształtowaniu komfortu cieplnego w pasywnym budynku użyteczności publicznej*, Czasopismo Inżynierii Łądowej, Środowiska i Architektury, 2015, z. 62, nr 2, s. 39-48.
46. Dudzińska A., *Thermal comfort in the passive sport center in Słomniki*, Czasopismo Techniczne, Kraków, 2012, s. 65-72.
47. Dylla A., Pawłowski K., *Wady w procedurze obliczania współczynnika ciepła*, Czasopismo Techniczne, Kraków 2007, s. 35-45.
48. Dunaj B., (redaktor naukowy), *Słownik Współczesnego Języka Polskiego*, Wilga, Warszawa 1996, s. 898.
49. Eastman J. R., *Guide to GIS and Image Processing*, vol. 2, Clark Labs Clark University, IDRISI 32 Release 2, Worcester, USA 2001.
50. Ebel W., Feist W., *Ergebnisse zum Stromverbrauch im Passivhaus Darmstadt-Kranichstein*, in "Stromsparen im Passivhaus"; protocollband Nr. 7 zum Arbeitskreis Kostengünstige Passivhäuser, PHI, Darmstadt 1997.
51. *European Fun Palm Guide*, <https://gardenbeast.com/european-fan-palm-guide>, dostęp 31 marca 2023.
52. Fabijanowska K., *Elementy naturalne środowiska. Tablice-drzewa, krzewy*. Instytut Architektury Krajobrazu, Politechnika Krakowska, Kraków 2014, s. 32, 38, 82, 112, 126, 144.
53. Feist W., Logo T., *Comparison of measurements and simulation, Energy balance and temperature characteristics*, Protocol Volume No. 5 of the Research Group for Cost-efficient Passive Houses, Passive House Institute, Darmstadt 1997.
54. Feist W., *Pakiet do projektowania budynków pasywnych, PHPP*, Passivhaus Institut, Darmstadt 2007, s. 121.
55. Feist W., *Passive House in Darmstadt-Kranichstein*, 2nd Edition International Passive House, Conference in Düsseldorf, 1998.

56. Feist W., Thumulla J., Muzennberg U., Darup B. S., *Podstawy budownictwa pasywnego*, (opracowanie wersji polskiej G. Schlagowski, Polski Instytut Budownictwa Pasywnego), Gdańsk 1983, s.20-45.
57. Feist W., *Zalecenia dotyczące wilgotności powietrza wewnętrznego zimą w domach z instalacją wentylacyjną, zwłaszcza w domach pasywnych*, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2000.
58. Fanger P.O. *Komfort cieplny*, Arkady 1974, s. 9-10, s.33-34, s. 74, s. 192-205,
59. Fanger P.O., Popoiółek Z., Wargocki P., *Środowisko wewnętrzne wpływ na zdrowie komfort i wydajność pracy*, wyd. Politechnika Śląska, Gliwice 2003.
60. Feist W., Loga T., Comparison of measurements and simulation, Energy balance and temperature characteristics, Protocol Volume No. 5 of the research Group for Cost-efficient Passive Houses, Passive House Institute, Darmstadt 1997.
61. Feldbaum A. A., *Podstawy teorii optymalnych układów sterowania automatycznego*, PWN, Warszawa 1967
62. Felekoglu B., *A new approach to the characterization of particle shape and surface properties of powders employed in concrete industry*, Construction and Building Materials 2009, 23 (2), s. 1154-1162.
63. Fila K., Furman M., Gintowt J., *Illumination of architecture. The problem of light pollution*, Technical Transactions, Z 5-B/2014, Kraków 2014, s. 85- 90.
64. Findensein W., Szymanowski J., Wierzbicki A., *Metody obliczeniowe optymalizacji*, Wyd . Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1974, s. 158-194, s. 237.
65. Fishburn P. C., *Retrospective on the utility theory of von Neumann and Morgenstern*, Journal of Risk and Uncertainty vol. 1989), s. 127–157. <https://ideologia.pl/teoria-gier/> (dostęp 21.03.2024)
66. Güneralpa B., Gertnera G., Mendoza G., Anderson A., *Evaluating probabilistic data with a possibilistic criterion in land-restoration decision-making: Effects on the precision of results*, Fuzzy Set and Systems vol. 158, 2007, s. 1546– 1560.

67. Gintowt J. *Optymalizacja wielopoziomowa i wielokryterialna obiektów budowlanych*, Building Physics In Theory and Practice, Łódź, 2005 tom 1 volume I-2005, s. 96-102.
68. Gajewska M., *Złoża hydrofitowe z pionowym przepływem ścieków. Charakterystyka procesów i zastosowań*, Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska, PAN, vol 150, Warszawa 2019, s. 3.
69. Gintowt J., *Budownictwo energooszczędne, wybrane kryteria optymalizacji grubości termoizolacji a ekologiczne skutki*, Bielsko-Biała 2004, s. 123-128.
70. Gintowt J., *Czas zwrotu kosztów docieplenia ścian budynków mieszkalnych jako element wyboru rozwiązania technologicznego*, Przegląd Budowlany, miesięcznik Polskiego związku Inżynierów i Techników Budownictwa, 1995, s. 16-18.
71. Gintowt J., *Czas zwrotu kosztów docieplenia ścian budynków mieszkalnych jako element wyboru rozwiązania technologicznego*, wyd. Politechnika Krakowska, ENERGODOM 1994, Kraków 1994, s. 51-58.
72. Gintowt J., *Czas zwrotu kosztów docieplenia ścian budynków mieszkalnych*, Konferencja Studentów i Młodych Pracowników Nauki, Kazimierz Dolny, 1987.
73. Gintowt J., *Ecological aspects of passive house as an example of completion of an investment*, Technical Transaction , Civil engineering 2011.
74. Gintowt J., *Ewaluacja kryterium ekologicznego i ekonomicznego ze względu na pojemność cieplną na przykładzie budynku biurowego*, Technical Transactions, z. 3. Budownictwo z. 2-B, Kraków 2012, s. 132-138.
75. Gintowt J., Lossow-Samek B., *Energochłonność budynku jako element wyboru rozwiązania technologicznego na przykładzie budynku mieszkalnego*, Czasopismo Techniczne- ENERGODOM 1993, Kraków 1993.

76. Gintowt J., Łopata S., Maludziński B., Mika Ł., *Audyt Energetyczny na potrzeby termomodernizacji oraz oceny energetycznej budynków*, praca zbiorowa pod redakcją Adama Tabora, TOM I, *Podstawy prawne, Certyfikacja i Termomodernizacja, Pompy ciepła, Wentylacja i klimatyzacja*, Gintowt J., Rozdział II, *Certyfikacja Energetyczna Budynków*, Wyd. Centrum Szkleń i Organizacji Systemów Jakości Politechniki Krakowskiej 2009, s. 233-338.
77. Gintowt J., Łysik P., *Comparative analysis of the criteria used to select the optimal Energy savings variants in building. Selected issues*, Technical Transaction , Z 5-B/2014, Kraków 2014, s. 97-102.
78. Gintowt J., *Multicriterial and multileveled optimization of buildings*, Technická Univerzita v Kosiciach- Stavebna fakulta, BUDOWA A ENERGIA, Podbanske, 2005, s. 98-101.
79. Gintowt J., *Ocena dociepleń obiektów budowlanych ze względu na kryterium jakości cieplnej*, ENERGODOM 2004 Zakopane, Czasopismo Techniczne, Kraków 2004, s. 499-504.
80. Gintowt J., *Ocena mikologiczna wybranych obiektów budowlanych po awarii instalacji wodnej do ogrzewania*, Sekcja Budownictwa Ogólnego Komisji Urbanistyki Architektury o/PAN w Krakowie, Kraków, 2003, s.104-109.
81. Gintowt J., *Ochrona środowiska a budownictwo pasywne*, Ekologia a Budownictwo, wyd. PZITB oddział Bielsko-Biała, Bielsko-Biała, 2009, s. 13-18.
82. Gintowt J., *Optimization of Low Energy Building in the Low Regulations*, Technická univerzita v Košiciach- Stavebná fakulta, "BUDOWA A ENERGIA", Podbanske 2003, s. 71-74.
83. Gintowt J., *Optimization of low energy buildings of single-family houses*, Technická univerzita v Košiciach- Stavebná fakulta, BUDOWA A ENERGIA, Podbanske 2007, s. 87-90.
84. Gintowt J., *Optymalizacja wielokryterialna obiektów budowlanych*. Praca zbiorowa pod redakcją Tadeusza Bobki, Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym, Częstochowa 2005,

85. Gintowt J., *Optymalizacja wybranych przedsięwzięć energooszczędnych w audycie energetycznym*, Czasopismo Techniczne 2002, s. 103-109.
86. Gintowt J., *Optymalna izolacyjność termiczna przegród budowlanych ze względu na krytyczną wilgotność powierzchni*, Konferencja Naukowo-Techniczna Renowacja Budynków i Modernizacja Obszarów Zabudowanych, Zielona Góra, 2005, s. 133-142.
87. Gintowt J., *Pasywne pozyskiwanie energii*, Fizyka Budowli w teorii i Praktyce, Łódź vol. II 2007, s. 61-66.
88. Gintowt J., Stachowicz A., *Kształt podstawy budynku a pasywne pozyskiwanie energii*, Fizyka Budowli w teorii i Praktyce, Łódź 2009, vol. II, s. 43-44.
89. Gintowt J., Stachowicz A., *Kształt podstawy budynku a pasywne pozyskiwanie energii*, Fizyka Budowli w teorii i Praktyce, Łódź, 2009, vol. II, s. 43-44.
90. Gintowt J., *Systemy słoneczne w budownictwie jednorodzinym w Polsce*, Janowice, wyd. Politechniki Krakowskiej 1993, s. 79-84.
91. Gintowt J., *The passive building as an environmental protection*, Technická Univerzita v Košiciach- Stavebná fakulta, BUDOWA A ENERGIA 9 , 2009, Koszyce, s. 37-40.
92. Gintowt J., *The reasons of Mould Development on Construction Elements and Regard to Allergic Illnesses Due to Moulds*, Polish Journal of Environmental Studies Vol. 13, Supplement I (2004), II-14, s. 11-14.
93. Gintowt J., *Współczynnik temperaturowy na wewnętrznej powierzchni przegrody jako kryterium doboru grubości termoizolacji*, Kwartalnik Polskiego Towarzystwa Energetyki Słonecznej „Polska Energetyka Słoneczna”, 2006, nr 3-4/ 2006, s. 14-17.
94. Gintowt J., *Zanieczyszczenie światłem- interdyscyplinarny problem*, KOSMOS Problemy nauk biologicznych Polskie Towarzystwo Przyrodników im. Kopernika, TOM 64 Numer 4, 2015, s. 545-552
95. Godet J. D., *Przewodnik do rozpoznawania drzew i krzewów*, Delta, Kielce, s. 5-255.

96. Gordon B. D., T. R. Hoffmann T. R., *Fortran a structured, disciplined style*, University of Minnesota, McGraw-Hill Book Company, 1978.
97. Groot Morris H. (H. de Groot Morris) *Optima statistical decisions*, McGraw- Hill Inc., 1981, s. 114-1115.
98. Grysiewicz J., Kosmala M., *Zieleń przeciw decybelom*, Problemy nr 2/78.
99. Harasymiuk J., Szafranko E., Walentynowicz K., *Ponowna ocena oddziaływania inwestycji budowlanej na środowisko*, Materiały Budowlane, SIGMA-NOT, Warszawa 12/2022, s. 79-81.
100. Haupt P., Gil- Mastalerczyk J., Gardyńska-Kieliś E., *Multi-Criteria Evaluation of Accessibility of Contemporary Public Utility Buildings – on the Example of Kielce*, wyd. Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2024, s. 18-33.
101. Hejmanowska B., Hnat E., *Wielokryterialna analiza lokalizacji zabudowy na przykładzie gminy Podegrodzie*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Zarząd Główny Stowarzyszenia Geodetów Polskich, AGH, Warszawa 2009 ,s.109-121.
102. Hobler T., *Ruch ciepła i wymienniki*, wyd.3, WNT, Warszawa 1968, s. 94-95, s. 98, s. 99.
103. Hołownia P., *Wpływ przestrzennych mostków termicznych na podstawowe parametry fizyczne jednowarstwowych przegród budowlanych*, Czasopismo Techniczne 1-B/2007, Kraków 2007, s. 83-90.
104. Hosseinzadeh Lotfi F., Fallahnejad R., *Imprecise Shannon's Entropy and Multi Attribute Decision Making*, Entropy, Tehran 2010, s. 53-62.
105. Choo E.U., Wedley W. C., *Optimal criterion weights in repetitive multicriteria decision-making*, The Journal of the Operational Research Society, vol. 36, 1985, s. 983–992.
106. Horwitz L., Sarachik P. E., *Davidons method in Hilbert space*, SIAM J. Appl. Math., Vol.16, 1968, s. 676-696.
107. Hwang C.L., Lin M. J., *Group Decision Making under Multiple Criteria: Methods and Applications*, Springer:, Germany, Berlin 1987, s. 374-354.

108. Islam S., Roy T.K., *A new fuzzy multi-objective programming: Entropy based geometric programming and its application of transportation problems*, European Journal of Operational Research Vol. 173, 2006, s. 387–404.
109. Janc A., *Analiza Kosztów i Korzyści w Ocenie Przedsięwzięć Inwestycyjnych*, Ruch Prawniczy, Ekonomiczny i Socjologiczny, R o k X L V I — z e s z y t 3, wyd. Uniwersytetu Poznańskiego, Poznań 1984, s. 143-155.
110. Jeż J., *Biogeotechnika*, wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2008. s. 189- 203.
111. Jeż J., *Przyrodnicze aspekty bezpiecznego budownictwa*, wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2008. S. 181-185.
112. Jędrzejuk H., Klemm K., Marks W., *Multicriteria optimization of buildings arrangement based on wind criteria*, Archives of Civil Engineering , LIV, 4, 2008, s. 751-767.
113. Jędrzejuk H., Marks W., *Evolutional optimization of Energy-saving buildings*, Archives of Civil Engineering , LI, 3, 2005, s. 395-413.
114. Jędrzejuk H., Marks W., *O korzyściach z optymalizacji budynków mieszkalnych* , Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, Tom II, 2007, s. 109-112.
115. Jurkiewicz P., *Dom pasywny. Budowa domu pasywnego z zastosowaniem popularnych rozwiązań budowlanych*. Murator plus.pl.18/10/2012.
116. Kacprzak D., *Metoda SAW Z Przedziałowymi Danymi i Wagami Uzyskanymi za Pomocą Przedziałowej Entropii Shannona*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, Katowice 2018, s. 144-155.
117. Kamiński J., *Osiedle ekologiczne a krajobraz*, praca doktorska, Politechnika Warszawska, 2014.
118. Kamionka L. W., *Multi-Criteria Assessment Methods and Their Impact on the Ecological Quality of the Built Environment*, TEKA Komisji Urbanistyki i Architektury O/PAN w Krakowie, Kraków 2023, s. 277-300.

119. Kisilewicz T., *Wpływ izolacyjnych, dynamicznych i spektralnych właściwości przegród na bilans cieplny budynków energooszczędnych*, wyd. Politechnika Krakowska, Kraków, 2008, s. 157-170.
120. Kittler R., Mikler J., *Zaklady využívania slnečného žiarenia*, VEDA, 1986, s. 32-58.
121. Klemm K., *Kompleksowa ocena warunków mikroklimatu w luźnych i zwartych strukturach urbanistycznych*, Warszawa 2011, hps.biblos.pk.edu.pl-aktualizacja 31.05.2018 godz. 20:15.
122. Klemm K., Marks W., Klemm A. J., *Multicriteria optimisation of the building arrangement with application of numerical simulation*, Building and Environment Journal, 2000, s. 537-544.
123. Klemm K., *Wpływ zmian w układzie zabudowy na przepływ powietrza*, Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, Wyd. Politechniki Łódzkiej, Tom IV, zeszyt 2, 2011.
124. Kossecka E., Bzowska D., *Obliczanie dobowych sum promieniowania słonecznego na płaszczyzny nachylone przy wykorzystaniu zależności dla współczynników przeźroczystości atmosfery*, Materiały konferencyjne, KNT Łódź '93, Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, na prawach rękopisu, s. 45-52.
125. Krajewska K., Śliwińska., Gintowt J., *“Designing of passive residential buildings – case study*, Technical Transactions, Z 5-B/2014, Kraków 2014, s. 131-136.
126. Kronenberg J., Bergier T., *Wyzwania zrównoważonego rozwoju w Polsce*, Fundacja Sendzimira, Biblioteka Śląska, Kraków 2010, s. 392-409.
127. Książek M., *Multi Assessment of Selected Solutions for the Building Structural Walls*, Procedia Engineering vol. 91, Elsevier 2014, s. 407-411. [tłum. własne].
128. Kuc S., *Warunki wyboru technologii budowlanych we współczesnej architekturze krajobrazu*, Czasopismo Techniczne z. 9. Architektura z. 4-A, Kraków 2007, s. 105-112.
129. Kuc Sabina, *Okna przestrzenne jako baza tworzenia okien kwiatowych*, rozprawa doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków 1997, s. 236-243.

130. Kulczak J., *Metoda szeregowania priorytetów (Analytical Hierarchy Process – AHP)*. <https://jacekluczak.pl/images/download/JMroz5.4.pdf> (dostęp 21.03.2024)
131. Kusionowicz T. *Praktyczne aspekty optymalizacji projektowania na przykładzie realizacji zespołu mieszkaniowego w Krakowie, Problemy projektowania architektoniczno-budowlanego w aktualnych warunkach społeczno-ekonomicznych*, red. Jan Kurek. T. 2, wyd. PK., Kraków 1995, s. 65-70.
132. Kusionowicz T., *Problemy projektowania budynków mieszkalnych a zdrowie człowieka : wybrane zagadnienia*, wyd. PK, Kraków 2008, s. 182-193.
133. Kwoczyńska B., Uruszczak M., Myga-Piątek U., Szczepańska M., *Planowanie krajobrazu a rozwój regionalny. Architektura krajobrazu w polityce rozwoju regionalnego w Polsce*, Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego, Kraków 2015.
134. Leśnikowski W., *Wojciech Leśnikowski architekt obywatel świata*, Politechnika Krakowska, Kraków 2012, s. 48.
135. Lichołai L., *Możliwości zastosowania odnawialnych źródeł energii w miastach przyszłości*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, z. 64, nr3/II, Rzeszów 2015, s. 181-192.
136. Linde M. S. B., *Słownik Języka Polskiego*, tom IV dedykowany księciu Adamowi Czartoryskiemu, Zakład Narodowy imienia Ossolińskich 1811, wyd.2 Lwów 1858, s. 612.
137. Lityński J., *Liczbowa klasyfikacja typów cyrkulacji i typów pogody dla Polski*, Prace PIHM 97, Warszawa 1969.
138. Lorenc H. , *Kłęski Żywiolowe a Bezpieczeństwo Wewnętrzne Kraju*, (redakcją), Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2012, s. 1-330.
139. Lynch K., *The image of the City*, Cambridge Massachusetts: MIT Press, 1960.

140. Łątka D., Gintowt J., *Ocena metodologii obliczania charakterystyki energetycznej na przykładzie budynku mieszkalnego jednorodzinnego*, Wyd. Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, Olsztyn 2009, s. 417-419.
141. Łowicki D., *Ocena krajobrazu na potrzeby planowania przestrzennego w Aglomeracji Poznańskiej*, 2014, PEK, T. XXXVIII, s. 125-134.
142. Marchwiński J., Zielonko-Jung K., *Współczesna architektura proekologiczna*, PWN, Wydanie 1, dodruk 1, Warszawa 2012, s. 83.
143. Mazur J., *Plants as natural anti-dust filters – preliminary research*, Technical Transactions, Politechnika Krakowska, Kraków 2018, s. 165-172.
144. Mikulski L., *Teoria sterowania w problemach optymalizacji konstrukcji i systemów*, Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2007, s. 40-78.
145. Manterys T., *Wpływ obciążenia dróg ruchem pojazdów na aktywność osuwisk n terenach fliszu karpackiego*, praca doktorska, Kraków 2016.
146. Morris A. S., *ISO 14000: Environmental Management Standards Engineering and Financial Aspects*, Department of Automatic Control and Systems Engineering University of Sheffield, UK 2004.
147. Mrówczyńska M., Skiba M., Bazan-Krzywoszańska A., Sztubecka M., *Household standards and socio-economic aspects as a factor determining energy consumption in the city*, Elsevier, 2020, s. 4-8. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261920301926> (dostęp 12.05.2024)
148. Mrówczyńska M., Skiba M., Leśniak A., Bazan-Krzywoszańska A., Janowiec F., Sztubecka M., Grech R., Kazak J. K., *A new fuzzy model of multi-criteria decision support based on Bayesian networks for the urban areas decarbonization planning*, *Energy Conversion and Management*, 2022, s. 14- 17. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890422008251> (dostęp 15.04.2024).

149. Musiał M., Lichołai L., *The Impact of a Mobile Shading System and a Phase-Change Heat Store on the Thermal Functioning of a Transparent Building Partition*, MDPI Materials, 2021.
150. Musiał M., Lichołai L., Katunský D., *Modern Thermal Energy Storage Systems Dedicated to Autonomous Buildings*, MDPI energies 2023, s. 1-28.
151. Myczkowski Z., *Kreacja konserwatorska w krajobrazie kulturowym*, Czasopismo Techniczne, Kraków 2007, s.57-59.
152. Nazar K., Kozłowski S., *Wprowadzenie do fizjologii klinicznej*, PZWL, Warszawa 1995.
153. Neumann J. (J.von Neuman), *Theory games and economic behavior - J. von Neumann and O. Morgerstern*, INTERBOOKS 2021.
154. Niedźwiecka-Filipiak I., *Proponowana metoda sektorowej analizy wnętrza krajobrazowych jako integralna część opracowań dla programu Odnowa Wsi, Architektura Krajobrazu*, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu 2005, s. 11-17.
155. Niedźwiecka-Filipiak I., Rubaszek J., Podolska A., Pyszczyk J., *Sectoral Analysis of Landscape Interiors (SALI) as One of the Tools for Monitoring Changes in Green Infrastructure Systems*, Sustainability, 2020. (open access).
156. Niezabitowska E. D., *Metody i techniki badawcze w architekturze*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2014.
157. Niezabitowski A. M., *O strukturze przestrzennej obiektów architektonicznych*, Wydawnictwo Naukowe Śląsk, Katowice 2017, s. 24.
158. Nita J., Myga-Piątek U., *Geotourist potential of post-mining regions in Poland.*, *Bulletin of Geography, Physical Geography Series*, No 7, 2014, s. 139-156.
159. Nobel P. S., Forseth I. N., Long S. P., *Photosynthesis and Production in a Changing Environment: Canopy structure and daylight interception*, SPRINGER, 1994, s. 79-90.

160. Osyczka A., *Computer aided multicriterion optimization system (CAMOS), Software Package in Fortran*, International Software Publisher, 1992, s. 56-58.
161. Ozimek A., *Miara krajobrazu. Obiektywizacja oceny widoków i panoram wspomaganą narzędziami komputerowymi*, wyd. Politechnika Krakowska, Kraków 2019, s. 45-147.
162. Ozimek A., *Oprogramowanie dla architektów krajobrazu*, Zielen Miejska nr 1/2017, s. 18-21.
163. Ozimek A., *the virtual garden – on the computer modelling and visualisation of trees*, Topiarius, Studia krajobrazowe, wydanie monograficzne, T. 2. Politechnika Krakowska.
164. Ozimek P., Ozimek A., *Analiza Krajobrazu przy użyciu narzędzi cyfrowych*, Instytut Architektury Krajobrazu, Politechnika Krakowska, Kraków 2015.
165. Ozimek P., J. Tarko, P. Łabędź, *Cyfrowe modele analizy krajobrazu bazujące na cyfrowych modelach terenu systemów informacji przestrzennej*, Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego, 14 Komisja Krajobrazu Kulturowego PTG, Sosnowiec, 2010, s. 342-351.
166. Panek, A., *E-Audyt metoda oceny oddziaływania na środowisko obiektów budowlanych*, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa 2002.
167. Parker, G.G., *Structure and microclimate of forest canopies*, In: Lowman, M.D. and N.M. Nadkarni (editors). *Forest Canopies*. Academic Press, San Diego, CA 1995, pp. 73-106.
168. Parson K. *Human thermal environments. The effects of hot, moderate and cold environments on human health, comfort and performance*. Taylor&Francis, Boca Raton 2003.
169. Patoczka P., *Mała architektura we wnętrzach krajobrazu*, Instytut Architektury Krajobrazu, wyd. Politechnika Krakowska, Kraków 2012.
170. Patoczka Piotr, *Pojęcia Stosowane w Architekturze Krajobrazu*, Teka Kom. Arch. Urb. Stud. Krajobr. – OL PAN, 2012, VIII/1, s. 116-123.

171. Pawłowski K., *Efektywność zewnętrznych przegród budowlanych i ich złączy w aspekcie cieplno-wilgotnościowym*, rozprawa doktorska, UPT, Bydgoszcz 2008.
172. Perski Z., Wojciechowski T., Wójcik A., Nescieruk P., *Techniki naziemne, lotnicze i satelitarne w rozpoznawaniu osuwisk*, Geoinżynieria, drogi, mosty, tunele tom IV, Inżynieria Spółka z o.o., Kraków 2013 , s. 30-35.
173. Parson K. H., *Thermal environments. The effects of hot, moderate and cold environments on human health, comfort and performance*, Taylor&Francis, Boca Raton 2003.
174. Pilecka M., Szwarek D., Manterys T., *Wpływ drgań drogowych na propagację deformacji wzdłuż czynnej powierzchni poślizgu i stateczność nasypów na terenach osuwiskowych*, Politechnika Krakowska, Kraków 2016, s. 394-402.
175. Pirowski T., *Lokalizacja obiektu z zastosowaniem analizy wielokryterialnej – ważonej kombinacji liniowej, Metoda wielokryterialna (MCE/WLC)-lokalizacja inwestycji* , GEOINFORMACJA, AGH, Kraków, https://fotogrametria.agh.edu.pl/~tpirowsk/Analizy_w_modelu_rastrowym_GIN (dostęp 21.03.2024)
176. Pisarek M., Gargała M., Lichołai L., *Polskie ogrody pokazowe jako nowe miejsce destynacji turystów*, wyd. PAN KPZK, numer 163, 2015, s. 103-120.
177. Podhalański B., *Optymalizowanie zużycia energii w metropoliach*, Technical Transactions, Kraków 2014, s. 205-210.
178. Pogorzelski J. A., Awksientjuk J., *Katalog mostków cieplnych. Budownictwo tradycyjne*, ITB, Warszawa 2003.
179. Polar R., Gintowt J., *Effect of Reveberation on Speech. Intelligibility, Logatom test "in Situ"*, Technical Transactions, Z 5-B/2014, Kraków 2014, s. 223-228.
180. Press W. H., Teukolsky S. A., Vetterling W. T., Flannery B. P., *Numerical Recipes*, chapter 10: *Minimization or Maximization of Functions*, Cambridge University Press, Third ed., 2007, s. 487-562.

181. Rakowska J., Radwan K., Śłosorz Z., *Problems of estimation the size and shape of grain solids*, Zespół Laboratoriów Badań Chemicznych i Pożarowych, Badania i Rozwój, 4014/c/httpwww_bg_utp_edu_plartbtp3201203_12rakowska.pdf, (dostęp 29.03.2023).
http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-article-BGPK-3625-4014/c/httpwww_bg_utp_edu_plartbtp3201203_12rakowska.pdf, (dostęp 29.03.2023).

182. Rausch A., Deiters C., *A Constructive Approach to Compositional Architecture Design*, Software, Architecture on the 5th European Conference, ECSA 2011, dblp-schloss DAGSTUHL, Leibniz-Zentrum für Informatik, Essen 2011.

183. Rawle A., *Podstawowe pojęcia z dziedziny analizy ziarnistości. Cz. 1*, LAB 1/2000, s. 22-26.
184. Rawle A., *Podstawowe pojęcia z dziedziny analizy ziarnistości. Cz. 2*, LAB 1/2001, s. 10-14.

185. Recknagel H., Springer E., Hofmann W., Schramek H., *Ogrzewanie i klimatyzacja*, wyd. I, EWFE, Gdańsk 1994, s. 986-989.

186. Rojtenberg J. N., *Teoria sterowania*, Biblioteka Naukowa Inżyniera, PWN, Warszawa 1978, s. 2-442.

187. Rossi E., *Low level environmental lead exposure – a continuing challenge*, Clin. Biochem. Rev. vol. 29, 2008, s. 63–70.

188. Rożek P., *Nowoczesne metody numeryczne w budowaniu katalogu mostków cieplnych, w ścianach dwuwarstwowych*, Praca dyplomowa nr 6855, UPT, Bydgoszcz 2007.

189. Rynowski P., Teleszewski T. J., *Modelowanie pola temperatury mostków cieplnych przy wykorzystaniu metody elementów skończonych*, Civil and Environmental Engineering, Budownictwo i Inżynieria Środowiska, wyd. Politechnika Białostocka 2011, s. 85-90.

190. Ryńska E., *Coraz bardziej SMART*, Builder Architektura i Design, 2017, http://buildercorp.pl/wp-content/uploads/2017/02/B_02_2017_smart.pdf (dostęp 20.03.2024)

191. Rysz K., *Multi-criteria assessment as a tool supporting the spatial planning process*, rozprawa doktorska, Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach, Katowice 2021.
192. Saaty T.L., *The analytic hierarchy process what it is and how it is used*, Volume 9, Issues 3–5, Elsevier 1987, s.162.
193. Schurma R., *PLGBC- Polskie Stowarzyszenie Budownictwa Ekologicznego*, Visio Architects and Consultants prowadzi działalność w obszarze zrównoważonego konsultingu, architektury oraz tworzenia Kart Zielonych Produktów, LEED, BREEAM, DGNB, EU GREENBUILDING, <https://plgbc.org.pl>, (dostęp 31.03.2023).
194. Seneta W., *Dendrologia, część 1*, PWN, Warszawa 1987, s. 85-87.
195. Seneta W., *Dendrologia, część 2*, PWN, Warszawa 1987, s. 277.
196. Seneta W., Dolatowski J., Zieliński J., *Dendrologia*, PWN, Warszawa 2022, s. 1-832.
197. Shafer E. I., Mietz J., *It Seems Possible to Quantify Scenic Beauty in Photographs*, [on-line]U.S.D.A. Forest Service Research Paper NE-162, 1970 s.4
https://www.fs.usda.gov/ne/newtown_square/publications/research_papers/pdfs/scanned/OCR/ne_rp162.pdf (16.06.2023)
198. Shannon C.E. , *A mathematical theory of communication*, Bell System Technical Journal vol. 27 1948, s. 379–423.
199. Siewniak M., Mitkowska A., *Tezaurus Sztuki Ogrodowej*, Oficyna Wyd. RYTM, Warszawa 1998.
200. Siewniak Marek; Siewniak Margarita, *Zintegrowany pomiar statyki drzewa*, Stowarzyszenie Konserwatorów Zabytków, Warszawa 2005.
201. Sikorski P., Parafjańczuk S., Wierzba M., Sikorska D., Borowski J., Vitasović I. K., *Case of illegal dispersion in riverside forests in terms of high tourist pressure, problems of water management in forest, urban and rural areas*, Wydawnictwo Naukowe Bogucki, Poznań 2015, s. 131-144.

202. Siuta-Olcha A., *Przyczyny i skutki zmian dyrektywy unii europejskiej w sprawie charakterystyki energetycznej budynków*, Chłodnictwo i Klimatyzacja 2024. <https://www.polskiinstalator.com.pl/artykuly/prawo-i-finanse/3306-przyczyny-i-skutki-zmian-dyrektywy-unii-europejskiej-w-sprawie-charakterystyki-energetycznej-budynk%C3%B3w>. (dostęp 21.06.2024).
203. Skiba M., *Ocena atrakcyjności krajobrazu*, wyd. ZUT, Szczecin, s.293-304.
204. Skiba M., *Rozmyte miary percepcji krajobrazu*, Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego PTG, nr 10/2008, Zarządzanie krajobrazem Kulturowym, Sosnowiec 2008, s. 123-130.
205. Skovgaard R. Møller, Rhodes M. K., Larsen T. S., Møller R. S., *DGNB building certification companion: sustainability tool for assessment, planning, learning, and engaging (staple)*, 2056-3280 (online), et al., Int. J. of Energy Prod. & Mgmt., Vol. 3, No. 1, WIT Press 2018, s. 57–68. <https://www.witpress.com/elibrary/eq-volumes/3/1/2161> (dostęp 21.03.2024).
206. Szkup-Jabłońska M., Karakiewicz B., Grochans E., Jurczak A., Zaremba-Pechmann L., Rotter I., Nowak-Starz G., Samochowiec J., *The effects of lead level in the blood on social functioning in children with developmental disabilities*, Psychiatria Polska, tom XLV, 2011, numer 5, s. 713–722.
207. *Słownik dla mediów najważniejsze pojęcia i zwroty w meteorologii*, METEO, IMGW PIB, https://imgw.pl/sites/default/files/inline-files/slownik-dla-mediow_cmok_0.pdf
208. Smardon R.C., Palmer J.F., Felleman J.P., *Foundatoinis for visual Project Analysis*, A.Wiley-Interscience Publications, New York 1986.
209. Stachniewicz R., *Metody oceny efektywnej grubości docieplania ścian zewnętrznych*, wyd. Politechniki Białostockiej, Białystok 2012, s. 103-108.

210. Stachowicz A., Gintowt J., *Oddziaływanie materiałów i technologii na zdrowie wykonawców i użytkowników*, wyd. ITB oddział Bielsko-Biała, Ekologia a Budownictwo, Bielsko-Biała 1993, s. 145-151.
211. Stachowicz A., Gintowt J., *Optymalne projektowanie budynków o niskim zapotrzebowaniu na energię jako problem optymalizacji wielopoziomowej*, Materiały Konferencyjne, Fizyka Budowli w Teorii i praktyce, Łódź '95, s. 317-323.
212. Stachowicz A., Gintowt J., *Optymalne projektowanie Budynków Jako Problem Optymalizacji Wielokryterialnej*, Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, Building Physics in Theory and Practice, Łódź 1995, s. 96-102.
213. Stachowicz A., Gintowt A., *Optymalizacja wybranych kształtów podstawy budynków mieszkalnych jako zadanie optymalizacji wielokryterialnej*, Budownictwo i Inżynieria Środowiska: Energia odnawialna, Innowacyjne rozwiązania, Materiały i Technologie dla Budownictwa, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, z. 47, Rzeszów 2008, s. 473-476.
214. Stachowicz A., Gintowt J., *Low-energy Buildings Design as a case of Multilevel optimization*, International Conference , Technická univerzita v Košiciach- Stavebná fakulta, BUDOWA A ENERGIA, 1997, Koszyce, s. 351- 354.
215. Stachowicz A., Gintowt J., *Optymalne projektowanie budynków o niskim zapotrzebowaniu na energię jako problem optymalizacji wielokryterialnej*, Czasopismo Techniczne, Kraków 1996, s. 35-40.
216. Stachowicz A., Gintowt J., *Optymalne projektowanie budynków o niskim zapotrzebowaniu na energię jako problem optymalizacji wielopoziomowej*, wyd. Politechnika Łódzka, Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, Łódź 1995, s. 317-323.
217. Staniewska A., *Oblędne Ogrody: idea krajobrazu terapeutycznego w kompozycji zespołów szpitali psychiatrycznych XIX i początku XX wieku*, wyd. PK, Kraków 2020.
218. Stefański T., *Teoria sterowania. Układy dyskretne, nieliniowe, procesy stochastyczne oraz optymalizacja statyczna i dynamiczna*, Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Kielce 2001, Tom II, passim.

219. Strzeszewski M., Wereszczyński P., *Metoda obliczania obciążenia cieplnego budynków wg normy PN-EN 12831 Poradnik*, wyd. II rozszerzone, Elektra, Warszawa 2016, s. 17.
https://elektra.pl/download/pl/katalogi/nowa_norma.pdf, (dostęp 14.04.2024)
220. Sudoł-Szopińska I., Chojnacka A., *Praktyczne aspekty oceny narażenia pracowników zatrudnionych w warunkach środowiska zimnego za pomocą wskaźników WCI i IREQ*. „Bezpieczeństwo Pracy” 2(425)2007, s. 16-19.
<https://bibliotekanauki.pl/articles/180502> (dostęp 2.12.2023)
221. Sudoł-Szopińska I., Sobolewski A., Chojnacka A., *Ocena obciążenia termicznego pracowników za pomocą wskaźnika WBGT - aspekty praktyczne*, Bezpieczeństwo Pracy, 10(421)2006, s. 16-20.
<https://bibliotekanauki.pl/articles/180502> (dostęp 2.12.2024).
222. Swoczyna T., Kalaji H. M., Pietkiewicz S., Borowski J., *Ability of various tree species to acclimation in urban environments probed with the JIP-test*, Urban Forestry & Urban Genin, 14(3), 2015, s. 544-553.
223. Sych M.; Hodor K., *Komponowanie krajobrazu przestrzeni osiedlowej ogrodami pionowymi*, Czasopismo Techniczne, Kraków 2012,
224. Szafranko E., *Możliwości zastosowania metod analizy wielokryterialnej przy doborze rozwiązań materiałowo-technologicznych w konstrukcjach budowlanych*, Materiały Budowlane, Warszawa 2015, s. 50.
225. Szafranko E., *Możliwości Wykorzystania analizy Wielokryterialnej w Procesie Inwestycyjno-Budowlanym*, Inżynieria i Budownictwo (7), Warszawa 2016, s. 179-185.
226. Szafranko E., *Ways to Determine Criteria in Multi-Criteria Methods Applied to Assessment of Variants of a Planned Building Investment*, Czasopismo Techniczne, wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2014, s. 42-47.
227. Szatkowska Iwona, *Wiele możliwości systemów informacji geograficznej*, Zieleń Miejska nr 1/2017

228. Sznurawa A., Migacz M., Gintowt J., *Kolektory słoneczne- ocena projektu w programie RETScreen® International*, Wyd. Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, 2012, s. 159-164.
229. Szopliński Z., *Badanie i projektowanie układów regulacji. Metody eksperymentalne i modelowe*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1975, s. 278.
230. Sztubecka M., Maciejko A., Skiba M., *The Landscape of the Spa Parks Creation through Components Influencing Environmental Perception Using Multi-Criteria Analysis*, Sustainability, 2022.
231. Szuba B., *Energooszczędny kwartał mieszkaniowy, Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym*, wyd. Politechniki Częstochowskiej Vol. 8, 1/2019, s. 47-57.
232. Szuba B., *Nowe pola badawcze w architekturze - elektromagnetyczna struktura obiektu architektonicznego*, Budownictwo 23, s.313, s.307-315.
233. Śliwińska E. *Komfort cieplny ludzi na chłodnych i termoneutralnych stanowiskach pracy*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1988.
234. Śliwowski L. *Mikroklimat wewnątrz i komfort cieplny ludzi w pomieszczeniach*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2000.
235. Tabak P., Stanuszek K., Gintowt J., *Vision & reality – Glückstien quartier-conceptual design of a housing estate in the technology of passive house-project analysis*. Technical Transactions, Z 5-B/2014, Kraków 2014, s. 271- 276.
236. Thirlwall A.P., *Growth and Development*, Publisher. Lynne Rienner Pub, Boulder 1995, s. 190. <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=resources.+com%2Fekonomia-rozwoju> (dostęp 8.05.2024)
237. Topolski M., Żurek J., Gintowt J., *Porównanie badań jakościowych z ilościowymi badaniami MES dla dwuwymiarowego przepływu ciepła*, Międzynarodowa Konferencja InBuild Studentów i Doktorantów, Materiały konferencyjne, PK, Kraków 2014.

238. Topolski M., Żurek J., Gintowt J., *Collation of Qualitative research with quantitative FEM research in terms of two dimensional heat flow*, Technical Transactions, Z 5-B/2014, Kraków 2014, s. 272-282.
239. Traczyk W. Z., Trzebski A., *Fizjologia człowieka z elementami fizjologii klinicznej i stosowanej* PZWL, Warszawa 2004.
240. Ujma A., Lis A., *Ocena efektów termomodernizacji wybranych obiektów użyteczności publicznej*, Politechnika Warszawska Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii w Płocku, Płock 2014, s. 43-54.
241. Unwin K. I., *The relationship of observer and landscape in landscape evaluation*, Transactions of the institute of British geographers, no. 66, 1975, s. 130-133.
242. Wesołowski Ł., *Wpływ przeszklonych ścian osłonowych na kształtowanie warunków użytkowych i środowiskowych w pomieszczeniach mieszkalnych*, rozprawa doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków 2013, s. 40-60.
243. Wessolly L., Erb M., *Manual of Tree Statics and Tree Inspection*, Patzer Verlag 2016.
244. Węgiel A., Maliński T., Bocianowski J., Rączka G., Sugiero D., *Wzory empiryczne do określania wieku drzew robinii akacjowej (Robinia pseudoacacia L.) na podstawie obwodu pnia*, Sylwan 161 (10) 2017, s. 831- 841.
245. Wielgus K., Myczkowski Z., *Krajobrazy zaniechane*, Technical Transactions, Politechnika Krakowska, Kraków 2007, s. 179-181.
246. D. von Winterfeld, G. W. Fischer G. W., *Multi-attribute utility theory: models and assessment procedures*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht·Holland 1975, s. 7-85.
247. Wohlleben P., *Sekretne życie drzew*, wyd. Otwarte 2016.
248. K. H. Wojciechowski, *Problemy percepcji i oceny estetycznej krajobrazu*, PKWN 1986.
249. Wojnar L., Kurzydłowski J.K., Szala J., *Praktyka analizy obrazu*, wyd. Polskie Towarzystwo Stereologiczne, Kraków 2002.

250. Wouters P., Schietecata J., Standaert P., Kasperkiewicz K., *Ciepno-wilgotnościowa ocena mostków cieplnych*, ITB, Warszawa 2004.
251. Zachariasz A., *O architekturze krajobrazu, kompozycji krajobrazu i specjalistycznej terminologii – rozważania wprowadzające*, Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego - Dissertations of Cultural Landscape Commission Nr 32, Komisja Krajobrazu Kulturowego Polskiego Towarzystwa Geograficznego, Sosnowiec 2016, s. 11-29.
252. Zachariasz A., *Parki przyszłości – o różnych koncepcjach kształtowania terenów zieleni w miastach*, Technical Transactions, Politechnika Krakowska, Kraków 2012.
253. Zawiślak T., Nemeč J., Kurowska-Łazarz R., Tylman-Drwal A., Wójcik L., *Słownik Tematyczny Terminów, Wyrażeń i Zwrotów stosowanych w prognozach meteorologicznych*, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa 2010, s. 1-50.
254. Związek Szkółkarzy Polskich, *Najlepsze drzewa dedykowane terenom zieleni*, Zielen Miejska nr 1/2017, s. 27-29.
255. Zwieriew A. S., *Meteorologia synoptyczna*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1965, s. 1-575.
256. Żakowski J., *Z noblistą prof. Robertem Aumannem o grach społecznych, wywiad z noblistą Robertem Aumannem, matematykiem, który otrzymał Nobla za teorię gier w naukach o ekonomii*, „Polityka” 2008. <https://www.polityka.pl/tygodnikpolityka/spoleczenstwo/259140,1,z-noblista-prof-robertem-aumannem-o-grach-spoecznych.read> (dostęp 22.03.2024).

Dyrektywy, Obwieszczenia

257. Directive 2002/91/EC of European Parliament and the Council of 16 December 2002 on the *Energy Performance of the Buildings*
258. Dyrektywa 2002/91/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Europejskiej, *W sprawie charakterystyki energetycznej budynków, 2002, s.13-20.*
259. Dyrektywa 2009/28/WE, *W sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych* zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE, Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, 5.6.2009, s. L 140/23.
260. Dyrektywa 2009/28/WE, *W sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych* zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE, op. cit., s. L153/13-L153/14.
261. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego 2010/31/WE, *W sprawie charakterystyki energetycznej*, Dz.U.U.E, 2010.153.13, s. 1-2.
262. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/WE, *W sprawie charakterystyki energetycznej* budynków, 2010, s.L153/15-L153/16.
263. Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami KOBiZE <https://www.kobize.pl/pl/fileCategory/id/28/wskazniki-emisyjnosci> (dostęp 20.03. 2024).
264. Komunikat Komisji do Rady Parlamentu Europejskiego, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno- Społecznego oraz Komitetu Regionów, Inicjatywa Rynków pionierskich dla Europy, 2007, s.15-16.
265. Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 15 kwietnia 2022 roku, *W sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*, Dz.U. 2022 poz. 1225.
266. *W sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*, Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 z późn. zmianami

267. *Prawo Ochrony Środowiska (POŚ)* Dz. U. z 2001 r. Nr 62, poz. 627, ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. z późn. zm. (rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 r. *W sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku* Dz. U. z 2014 r., poz. 112)
268. Ustawa z dnia 3 października 2008 r. *O udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko*, Dz. U. 2008 nr 199 poz. 122.

Normy

269. *Ashrae Handbook Fundamentals: Inch-Pound Edition (ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS INCH-POUND SYSTEM)*, wyd. Robert Pearsons, 2001.
270. EN ISO 14040:2006, *Environmental management- Life Cycle Assessment- Principles and framework*, 2006, s. 3-18.
271. ISO 14040:1997 *Environmental management – Life Cycle Assessment – Principles and framework*.
272. PN- EN 15251:2012, *Parametry wejściowe środowiska wewnętrznego dotyczące projektowania i oceny charakterystyki energetycznej budynków, obejmujące jakość powietrza wewnętrznego, środowisko cieplne, oświetlenie , akustykę*.
273. PN- EN ISO 7730:2006(U): *Ergonomia. Środowisko termiczne umiarkowane. Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego*.
274. PN ISO 9836:2022-07, *Właściwości użytkowe w budownictwie. Określanie i obliczanie wskaźników powierzchniowych i kubaturowych*.
275. PN-78/B-03421: *Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi*.
276. PN-B-02403:1982, *Ogrzewnictwo. Temperatury obliczeniowe zewnętrzne*.

277. PN-EN 12524:2003, *Materiały i wyroby budowlane. Właściwości cieplno-wilgotnościowe. Tabelaaryczne wartości obliczeniowe.*
278. PN-EN 12831:2006, *Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.*
279. PN-EN ISO 102111-1, *Mostki cieplne w budynkach. Strumień cieplny i temperatura powierzchni. Ogólne metody obliczania.*
280. PN-EN ISO 102111-2, *Mostki cieplne w budynkach. Obliczanie strumieni cieplnych i temperatury powierzchni. Liniowe mostki cieplne.*
281. PN-B-02403:1982, *Ogrzewnictwo. Temperatury obliczeniowe zewnętrzne.*
282. PN-EN ISO 13788:2013-05, *Cieplno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacji międzywarstwowej. Metody obliczania.*
283. PN-EN ISO 13789:2017-10, *Cieplne właściwości użytkowe budynków . Współczynniki przenoszenia ciepła przez przenikanie i wentylację. Metoda obliczania.*
284. PN-EN ISO 13790 2009, *Energetyczne Właściwości Użytkowe Bud. Obliczanie Zużycia Energii Na Potrzeby Ogrzewania I Chłodzenia.*
285. PN-EN ISO 52016-1, *metodach obliczania zapotrzebowania na energię i obciążenia cieplnego ogrzewania i chłodzenia budynków.*
286. PN-EN ISO 6946:2017-10 - wersja angielska, *Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metody obliczania.* (Data publikacji 04-10-2017).
287. PN-EN ISO 7730:2006(U): *Ergonomia. Środowisko termicznie umiarkowane. Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego.*

Strony internetowe

288. <https://www.laspolski.pl/s/19/3596/3596-robinia-akacyjowa-%E2%80%93-zagrozenie-dla-lasow-czy-niewykorzystany-potencjal-15-162019> (dostęp 12.03.2023)
289. https://drzewa.nk4.netmark.pl/atlas/dab/dab_szypulkowy/dab_szypulkowy.php (dostęp 12.03.2023)
290. https://www.poznan.lasy.gov.pl/edukacja/-/asset_publisher/i4ZQ/content/modrzew-lesny-przebieraniec (dostęp 12.03.2023)
291. <https://www.portalsamorzadowy.pl/ochrona-srodowiska/trwaja-przeglady-drzew-w-miastach-niektore-czeka-wycinka-inne-korekta,437451.html> (dostęp 12.03.2023).
292. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a1/Hemispherical_photography (dostęp 12.03.2023)
293. <https://gardenbeast.com/european-fan-palm-guide> (dostęp 12.03.2023)
294. <https://www.biblos.pk.edu.pl/> (dostęp 12.03.2023)
295. <https://plgbc.org.pl> (dostęp:31.03.2023).
296. <https://itunes.apple.com> (dostęp 12.03.2023)
297. http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-article-BGPK-3625-4014/c/httpwww_bg_utp_edu_plartbtp3201203_12rakowska.pdf (dostęp 12.03.2023)
298. <http://www.versantvision.com/eira> (dostęp 12.03.2023)
299. <https://www.energystar.gov> (dostęp 12.03.2023)
300. <https://www.greenkey.global/join-fee> (dostęp 12.03.2023)
301. <https://www.usgbc.org/leed> (dostęp 2. 02.2024)
302. <https://www.agenziacasaclima.it/en/welcome-1.html> (dostęp 12.03.2023)
303. <https://smartbuildingcollective.com/sbc-framework> (dostęp 12.03.2023)

304. <https://www.agenziacasaclima.it/en/welcome-1.html> (dostęp 12.03.2023)
305. <https://www.iiba.org/business-analysis-certifications/ecba/> (dostęp 12.03.2023)
306. <https://www.gresb.com/nl-en/> (dostęp 12.03.2023)
307. <https://lebanon-gbc.org/> (dostęp 12.03.2023)
308. <https://www.nordic-swan-ecolabel.org/> (dostęp 12.03.2023)
309. <https://bregroup.com/products/breem/> (dostęp 3.02.2024) (dostęp 12.03.2023)
310. <https://thegbi.org/> (dostęp 12.03.2023)
311. <https://www.grihaindia.org/griha-rating> (dostęp 12.03.2023)
312. <https://www.dgnb.de/en/certification/> (dostęp 6.04.2024) (dostęp 12.03.2023)
313. <https://www.gbig.org/collections/14970> (dostęp 12.03.2023)
314. <https://www.sbtool.cz.> (dostęp 12.03.2023)
315. <https://www.hqegbc.org/en/qui-sommes-nous-alliance-hqe-gbc/la-certification-hqe/> (dostęp 12.03.2023)
316. <https://www.fitwel.org/centerforactivedesign> (dostęp 12.03.2023)
317. <https://www.greenpointrated.com/greenpoint-rated/> (dostęp 12.03.2023)
318. <https://www.sgbc.se/certifisering/miljobyggnad/> (dostęp 12.03.2023)
319. <https://www.homeinnovation.com/ngbs> (dostęp 12.03.2023)
320. <https://www.builtgreen.net> (dostęp 12.03.2023)
321. <https://www.nzgbc.org.nz/homestar> (dostęp 12.03.2023)
322. <https://cedbik.org/en/green-buildings/best-residential-certificate> (dostęp 12.03.2023)
323. <https://cedbik.org/> (dostęp 12.03.2023)
324. <https://www.gbcbrasil.org.br/certificacao/certificacao-casa/> (dostęp 12.03.2023)
325. <https://pearlcertification.com/> (dostęp 12.03.2023)
326. <https://www.igbc.ie/certification/hpi/home-performance-index/> (dostęp 12.03.2023)
327. <https://www.activehouse.info/> (dostęp 12.03.2023)
328. <https://casa.cccs.org.co/proceso-de-certificacion/> (dostęp 12.03.2023)
329. <https://plgbc.org.pl> (dostęp 12.03.2023)
330. <https://www.ul.com/services/environmental-claim-validation> (dostęp 12.03.2023)
331. <https://plgbc.org.pl/zrownowazone-budownictwo/certyfikacje-wielokryterialne/well/> (dostęp 12.03.2023)

332. <https://maro.eu/wiedza/trendy-i-aktualnosci/certyfikat-well-na-czym-polega> (dostęp 12.03.2023)
333. https://imgw.pl/sites/default/files/inline-files/slownik-dla-mediow_cmok_0.pdf (dostęp 12.03.2023)
334. <https://www.gov.pl/web/archiwum-inwestycje-rozwoj/dane-do-obliczen-energetycznych-budynkow>. (dostęp 12.03.2023)
335. <https://meteo.imgw.pl/> (dostęp 12.03.2023)
336. <https://www.polskiinstalator.com.pl/artykuly/prawo-i-finanse/3306-przyczyny-i-skutki-zmian-dyrektywy-unii-europejskiej-w-sprawie-charakterystyki-energetycznej-budynk%C3%B3w> (dostęp 12.03.2023)
337. <https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/current> (dostęp 12.03.2023)
338. <https://www.imgw.pl/sites/default/files/2020-08/klimat-tom-iii-kleski-zywiolowe-a-bezpieczenstwo-wewnetrzne-kraju-min-new.pdf> (dostęp 12.03.2023)
339. <https://columbusenergy.pl/blog/olow-w-panelach-fotowoltaicznych-czy-jest-niezbedny> (dostęp 12.03.2023)
340. <https://www.szmaragdoweogrody.pl> (dostęp 16.03.2024)
341. <https://bibliotekanauki.pl/articles/180502> (dostęp 2.12.2023)
342. <https://www.gov.pl/web/ia/nowa-wersja-eira> (dostęp 20.02.2024)
343. <https://attendseco.com/ahpaccreditations/> (dostęp 4.04.2024)
344. <http://www.datagis.pl/strona/analizy-wielokryterialne> (dostęp 21.03.2024).
345. <https://jacekluczak.pl/images/download/JMroz5.4.pdf> (dostęp 21.03.2024).
346. <https://certivea.fr/solutions/labels-environnement> (dostęp 21.03.2024)
347. https://fotogrametria.agh.edu.pl/~tpirowsk/Analizy_w_modelu_rastrowym_GIN (dostęp 21.03.2024)
348. <https://www.witpress.com/elibrary/eq-volumes/3/1/2161> (dostęp 21.03.2024).
349. <https://ideologia.pl/teoria-gier/> (dostęp 21.03.2024)
350. <https://www.polityka.pl/tygodnikpolityka/spoleczenstwo/259140,1,z-noblista-prof-robertem-aumannem-o-grach-spolecznych.read> (dostęp 22.03.2024).

351. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1574000502030060>. (dostęp 21.04.2024).
352. <https://www.polityka.pl/tygodnikpolityka/spoleczenstwo/259140,1,z-noblista-prof-robertem-aumannem-o-grach-spoecznych.read> (dostęp 22.03.2024)
353. <https://www.kobize.pl/pl/fileCategory/id/28/wskazniki-emisyjnosci> (dostęp 20.03. 2024)
354. <https://www.wfosgw.poznan.pl/wp-content/uploads/2018/01/Definicja-i-wz%C3%B3r-efektu-OA-2018.pdf>. (dostęp 15.04.2023)
355. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261920301926> (dostęp 12.05.2024)
356. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890422008251> (dostęp 15.04.2024).
357. https://www.bayesfusion.com/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw97SzBhDaARIsAFHXUWC40S6HZgjY-ZvqAWfLjNetHPP-WJy6EBRI6BgoNZS_6COWDSBrfk8aAtUDEALw_wcB. (dostęp 12.04.2024)
358. <https://eko-pomiar.com.pl/normy-halasu-w-srodowisku/> (dostęp 15.04.2024)
359. <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=resources.+com%2Fekonomia-rozwoju> (dostęp 8.05.2024)
360. <https://budownictwo.dekra.pl/zrownowazone-budownictwo/certyfikacja-well.html> (dostęp 17.04.2024)
361. <https://www.inwestycje.plus/charakterystyka-systemu-well-certyfikat-well/> (dostęp 17.05.2024)
362. <https://maro.eu/wiedza/trendy-i-aktualnosci/certyfikat-well-na-czym-polega> (dostęp 18.05.2024).
363. <https://agro.icm.edu.pl/agro> (dostęp 5.11.2019)
364. <https://sjp.pwn.pl/so/lista/P.html> (dostęp 23.05.2023)
365. <https://www.westagroup.pl/pl/produkt/433-przesla--bramy--furtki-ogrodzeniowe> (dostęp 21.04.2023)
366. <https://www.flickr.com/photos/126011099@N05/> (dostęp 22.04.2023)

367. <https://www.grupapbs.com.pl/porady/porada/okna-do-domu-energooszczednego.html> (dostęp 14.06.2023).
368. <https://inzynierbudownictwa.pl/wymagania-prawne-oraz-kryteria-doboru-swietlikow-i-klap-dymowych/> (dostęp 15.04.2023)
369. http://buildercorp.pl/wp-content/uploads/2017/02/B_02_2017_smart.pdf (dostęp 20.03.2024)
370. <https://mlsystem.pl/szyba-z-powloka-kwantowa-z-nagrada-za-innowacyjnosc-podczas-bau-w-monachium/> (dostęp 21.04.2023).
371. <https://sjp.pwn.pl/so/lista/P.html> dostęp (23.05.2023)
372. <https://www.architekturaibiznes.pl/priva-lite-szklo-o-zmiennej-przeziernosci,9865.html> (dostęp 15.06.2023).
373. http://galaxy.agh.edu.pl/~olesiak/rysunek/04_przekroje.pdf (dostęp 14.04.2024).
374. https://elektra.pl/download/pl/katalogi/nowa_norma.pdf (dostęp 14.04.2024).
375. <https://www.wfosgw.poznan.pl/wp-content/uploads/2018/01/Definicja-i-wz%C3%B3r-efektu-OA-2018.pdf>. (dostęp 14.05.2023).
376. <https://architektura.muratorplus.pl/technika/wiezowce-vertical-forest-w-mediolanie-aa-Z31k-p6Zh-WjiF.html> (dostęp 14.04.2023).
377. https://www.fs.usda.gov/ne/newtown_square/publications/research_papers/pdfs/scanned/OCR/ne_rp162.pdf (16.06.2023)
378. <https://pogotowiestatystyczne.pl/slowniki/p-hacking/> (01.06.2024).
379. <https://www.domoweklimaty.pl/czytelnia/wymagania-techniczne-budynku-w-zakresie-naslonecznienia>, (dostęp 19 grudnia 2023).

ZESTAWIENIE ILUSTRACJI I TABEL

Spis ilustracji.

il. 1. Parametry definiujące jakość budynku w cyklu LCA. [Opracowanie własne] na podstawie EN ISO 14040 i EN ISO 14044.	8
il. 2. Parametry definiujące jakość budynku (DGNB, LEED) [Opracowanie własne]	9
il. 3. Elementy otoczenia budynku podlegające certyfikacji LEED, BREEAM, DGNB. [Opracowanie własne]na podstawie LEED: https://www.usgbc.org/leed (dostęp 2.02.2024), BREEAM: https://bregroup.com/products/breeam/ (dostęp 3.02.2024), DGNB: https://www.dgnb.de/en/certification/ (dostęp 6.04.2024).	10
il. 4. Czujnik do pomiaru średniej temperatury metodą suchej poczernionej kuli. [Opracowanie własne].....	14
il. 5. Wpływ temperatury na stan fizyczny i psychiczny człowieka. [Opracowanie własne] na podstawie (W.Z. Traczyk, A. Trzebski, Fizjologia człowieka z elementami fizjologii klinicznej i stosowanej).....	15
il. 6. Parametry definiujące jakość budynku [Opracowanie własne]na podstawie LEED: https://www.usgbc.org/leed (dostęp 2.02.2024), DGNB: https://www.dgnb.de/en/certification/ (dostęp 6.04.2024).).	19
il. 7. Schemat narzędzi badawczych użytych w pracy. [Opracowanie własne].	29
il. 8. Etapy przeprowadzania analizy wielokryterialnej [Opracowanie własne] na podstawie http://www.datagis.pl/strona/analizy-wielokryterialne (dostęp 21.03.2024).....	49
il. 9. Kryteria oceny budynku [Opracowanie własne] na podstawie: L. W. Kamionka., MultiI-Criteria Assessment Methods and Their Impact on The Ecological Quality of The Built Environment, TEKA Komisji Urbanistyki i Architektury O/PAN w Krakowie, Kraków 2023, s. 287.	52
il. 10. Kryteria oceny budynku – zmienne decyzyjne otoczenia budynku. Podział wg kryterium środowiskowego i socjologicznego [Opracowanie własne].	64
il. 11. Obszar celów, zbiór kompromisów.[Opracowanie własne] na podstawie S. Chyrczakowski, S. Jendo, H. Jęrzajuk, W. Marks, S. Owczarek, W. Paczkowski, praca wykonana z projektu badawczego nr 7TO7E 01410, KBN 1996-1998.....	72
il. 12. Ekonomiczna grubość termoizolacji. [Opracowanie własne].	74

- il. 13. Graficzne przedstawienie metody złotego podziału. [Opracowanie własne].. 77
- il. 14. Graficzne przedstawienie definicji Cauch`ego - metody poszukiwania zbieżności funkcji.[Opracowanie własne] 78
- il. 15. Graficzne przedstawienie zasady tworzenia ciągu wewnętrznych funkcji kary. [Opracowanie własne] na podstawie: T. Hobler, Ruch ciepła i wymienniki, wyd.3, WNT, Warszawa 1968, s. 94-95. 80
- il. 16. Przewidywany procent niezadowolonych w funkcji przewidywanej średniej oceny. [Opracowanie własne]. Źródło: P.O. Fanger, Komfort cieplny 85
- il. 17. Kryteria oceny wyrobu budowlanego w ocenie LCA. [Opracowanie własne] 87
- il. 18. Projekt apartamentowca. Rzut powtarzalnej kondygnacji. Źródło: K. Krajewska, M. Śliwińska, J. Gintowt, Designing of passive residential buildings – case study. 103
- il. 19. Osiedle mieszkaniowe "diamentowe apartamenty". Projekt realizowany w ramach konkursu. Źródło: P. Tabak, K. Stanuszek, J. Gintowt, Vision & reality – Glückstien quartier- conceptual design of a housing estate in the technology of passive house-project analysis. 104
- il. 20. Etapy realizacji budynku mieszkalnego i projektowania jego otoczenia w praktyce. [Opracowanie własne]..... 105
- il. 21. Rysunek: Wnętrze architektoniczne (1) oraz krajobrazowe (2): a – płaszczyzna (podłoga, teren), b – ściany, c – sklepienie, d – bryły wolno stojące [Źródło: Bogdanowski J., Kompozycja i planowanie w architekturze krajobrazu, Ossolineum, PAN, Wrocław 1976, s. 61.] 112
- il. 22. Ściana konkretna. Źródło: www.encyklopedialesna.pl..... 113
- il. 23. Ściana obiektywna. www.encyklopedialesna.pl 113
- il. 24. Ściana subiektywna. www.encyklopedialesna.pl 113
- il. 25. Bosco Verticale wieże w Milano, Źródło: <https://architektura.muratorplus.pl/technika/wiezowce-vertical-forest-w-mediolanie-aa-Z31k-p6Zh-WjiF.html> (dostęp 14.04.2023)..... 115
- il. 26. Schemat ściany konkretnej murowej- szereg budynków. [Opracowanie własne] 115
- il. 27. Schemat ściany konkretnej - szereg zieleni- szereg drzew. [Opracowanie własne] 115
- il. 28. Zależność głębokości nasłonecznienia pomieszczenia w zależności od wieku drzewa iglastego, okres wiosna, lato, jesień. [Opracowanie własne] 116

- il. 29. Zależność głębokości nasłonecznienia pomieszczenia w zależności od wieku drzewa iglastego, okres zimy. [Opracowanie własne]..... 116
- il. 30. Szybkość wzrostu drzew zimozielonych z rodziny Taxodiaceae-cyprisykowate. Źródło: W. Seneta, Dendrologia, część 1, PWN, Warszawa 1987, s. 87. 118
- il. 31. Formy korony i czas wzrostu dla wybranych drzew liściastych, [źródło: K. Fabijanowska, Elementy naturalne środowiska. Tablice-drzewa, krzewy] 120
- il. 32. Formy korony i czas wzrostu dla wybranych drzew iglastych. [Źródło: K. Fabijanowska, Elementy naturalne środowiska. Tablice-drzewa, krzewy] 121
- il. 33. Pierwszy ogród pionowy dostosowany do warunków klimatycznych w Polsce. Źródło: <https://www.plantia.pl/article/ogrody-wertykalne-w-polsce-czy-znasz-ich-tajemnice-439> (01.06.2024). 124
- il. 34. Oryginał tekstu (starodruk) ze Słownika Języka Polskiego definiujący słowo „przezierny” , źródło: W. Doroszewski (redakcja), Słownik Języka Polskiego, PWN, powołuje się na Dygas.Now. VIII, 107, Pol. Tyg. Lek. 33, 1954, s. 460. <https://sjp.pwn.pl/so/lista/P.html> (dostęp (23.05.2023.) 128
- il. 35. Przykład obiektywizacji widoku architektonicznego - widoku. źródło: E.I.Shafer, J. Mietz, It Seems Possible to Quantify Scenic Beauty in Photographs U.S.D.A. Forest Service Research Paper NE-162, 1970 s.4 [online]. https://www.fs.usda.gov/ne/newtown_square/publications/research_papers/pdfs/scanned/OCR/ne_rp162.pdf (16.06.2023) 133
- il. 36. Przykład analizy sektorowej widoku. Źródło: I. Niedźwiecka- Filipiak, Proponowana metoda sektorowej analizy wnętrza krajobrazowych jako integralna część opracowań dla programu Odnowa Wsi, Architektura Krajobrazu 2005, s. 11-17. 134
- il. 37. Zacienienie budynku od sąsiedniego budynku z długościami cienia dla cyklu całorocznego. ECOTECT- PrtScr z ekranu. [Opracowanie własne]. 137
- il. 38. Zacienienie w zależności od kierunku i elewacji budynku. ECOTECT- prscr z ekranu. [Opracowanie własne]..... 138
- il. 39. Przykład modelowania drzewa w programie Blender. Źródło: A. Ozimek A., The virtual garden – on the computer modelling and visualisation of trees, Topiarius, Studia Krajobrazowe, T. 2, Uniwersytet Rzeszowski, Rzeszów 2017, s. 31-41..... 142

- il. 40. Przykład modelowania drzewa w programie 3DS Max. Źródło: A. Ozimek
Ozimek A., The virtual garden – on the computer modelling and visualisation
of trees, Topiarius, Studia Krajobrazowe, T. 2, Uniwersytet Rzeszowski,
Rzeszów 2017, s. 31-41.. 143
- il. 41. Leafscan do określania powierzchni liści. [Źródło:
[https://www.google.com/search?client=firefox-b-
d&q=Anderson+C.%2C+Leafscan%2C+wyd.%C2%A9+2017+Carlos+Anderson](https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=Anderson+C.%2C+Leafscan%2C+wyd.%C2%A9+2017+Carlos+Anderson)
n] 145
- il. 42. Struktura procesu projektowania zintegrowanego z otoczeniem i przypisane
mu kryteria oceny Ki. [Opracowanie własne]..... 151
- il. 43. Sposób wymiarowania wysokości. [Opracowanie własne] na podstawie:
M. Strzeszewski, P. Wereszczyński, Metoda obliczania obciążenia cieplnego
budynków wg normy PN-EN 12831 Poradnik, wyd. II rozszerzone, Elektra,
Warszawa 2016, s. 17. <https://elektra.pl/d>.
https://elektra.pl/download/pl/katalogi/nowa_norma.pdf,
http://galaxy.agh.edu.pl/~olesiak/rysunek/04_przekroje.pdf (dostęp 14.04.2024)
..... 156
- il. 44. Efekt współczynnika przezierności drzewa dla elewacji wschodniej w
zależności od azymutu Słońca, okres lata. [Opracowanie własne] 159
- il. 45. Efekt współczynnika przezierności drzewa dla elewacji wschodniej w
zależności od azymutu Słońca, okres zimy. [Opracowanie własne]..... 159
- il. 46. Korona drzewa liściastego dla okresu wegetacyjnego zima. [Opracowanie
własne], 160
- il. 47. Korona drzewa liściastego dla okresu wegetacyjnego wiosna. [Źródło: Jan
Zych - zgoda autora]. 160
- il. 48. Zróżnicowanie pokroju ze względu na sposób pielęgnacji drzewa.
[Opracowanie własne]..... 160
- il. 49. Zróżnicowanie pokroju ze względu na sposób pielęgnacji drzewa i nietypowy
wzrost. [Opracowanie własne] 161
- il. 50. Nietypowy pokrój brzozy z jednym pniem. [Opracowanie własne]..... 161
- il. 51. Nietypowy pokrój brzozy z kilkoma pniami. [Opracowanie własne] 162
- il. 52. Nietypowy pokrój drzewa z kilkoma pniami. [Opracowanie własne]..... 162
- il. 53. Nietypowy pokrój drzewa. Przykład wzrostu z wieloma pniami. Stan marzec
2023 rok.[Opracowanie własne] 162

- il. 54. Nietypowy pokrój drzewa. Przykład wzrostu z wieloma pniami. Przykład zabiegów pielęgnacyjnych. Zmieniająca azurowość drzewa. Stan maj 2024rok. [Opracowanie własne] 163
- il. 55. Ilustracja (przykład nr 1) konarów drzew w okresie zimowym do analizy prześwitów-przezierności. Gniazdo lęgowe ptaków w koronie drzewa. [Opracowanie własne]..... 164
- il. 56. Ilustracja (przykład nr 2) konarów drzew w okresie zimowym do analizy prześwitów-przezierności. Gniazda lęgowe ptaków w koronie drzewa. [Opracowanie własne]..... 165
- il. 57. Konwersja nieregularnej cząstki 3D na 2D o ortogonalnym i symetrycznym kroku. [Opracowanie własne] 166
- il. 58. Konwersja nieregularnej cząstki 3D na 2D o ortogonalnym i symetrycznym kroku na tzw. „ziarno”. [Opracowanie własne] 166
- il. 59. Przykład kompilacji metody ortogonalnej i metody miar rozmytych do wyznaczenia współczynnika przezierności. [Opracowanie własne]..... 167
- il. 60. Zacienienie przez szereg budynków. [Opracowanie własne] 171
- il. 61. Zacienienie przez szereg drzew. Konkretne wypełnienie ściany zespołu wnętrza architektoniczno-krajobrazowego. [Opracowanie własne] 172
- il. 62. Rodzaje drzew, dla których przeprowadzona zostanie analiza kształtowania bezpośredniego otoczenia budynku (przedstawione według pór roku). [Opracowanie własne]..... 173
- il. 63. Kształtowanie elementów przyrodniczych krajobrazu dla wariantów ze zmiennymi: odległością od budynku, przeziernością, wysokością drzew i długością szpaleru drzew, typami drzew.[Opracowanie własne] 173
- il. 64. Warianty modelowania ze względu na odległość od budynku, długość szpaleru, wysokość, współczynnik przezierności. [Opracowanie własne] 174
- il. 65. Zależność głębokości nasłonecznienia pomieszczenia w zależności od wieku drzewa i jego odległości od budynku okres zimy, dla drzew iglastych. . [Opracowanie własne]..... 174
- il. 66. Zależność głębokości nasłonecznienia pomieszczenia w zależności od wieku drzewa, jego odległości od budynku okres zimy dla drzew liściastych. . [Opracowanie własne]..... 175

- il. 67. Drzewo liściaste. Strefa doświetlenia pomieszczenia w przypadku młodego drzewa w okresie zimowym i dorosłego drzewa w okresie letnim. [Opracowanie własne] 175
- il. 68. Drzewo iglaste. Strefa doświetlenia pomieszczenia w przypadku młodego drzewa w okresie zimowym i dorosłego drzewa w okresie letnim. [Opracowanie własne] 176
- il. 69. Drzewo iglaste fazy wzrostu i zacienienie pomieszczenia. [Opracowanie własne] 176
- il. 70. Warianty analizy ze względu na: strony świata, wzrost drzewa, azymut słońca.[Opracowanie własne] 177
- il. 71. Wykonane badania ujęte schematycznie. [Opracowanie własne]. 178
- il. 72. W pracy wykonano badania, część pierwsza- przegląd literatury. [Opracowanie własne]..... 179
- il. 73. W pracy wykonano badania- część pierwsza- ograniczenia. [Opracowanie własne]..... 180
- il. 74. W pracy wykonano badania , część 2, zdefiniowanie luki badawczej. [Opracowanie własne]..... 180
- il. 75. Etapy projektu i realizacji budynku pod kątem włączenia projektu otoczenia do projektowania.[Opracowanie własne]..... 182
- il. 76. Tempo wzrostu drzewa: wysokość i wielkość przyrostów bocznych dla drzewa iglastego (Thuja plicata).[Opracowanie własne] na podstawie: własne autorki badania in situ, W. Seneta, J. Dolatowski, J. Zieliński, Dendrologia, PWN, 2022, K. Fabijanowska, Elementy naturalne środowiska. Tablice-drzewa, krzewy, wyd. Politechnika Krakowska, Kraków2014. 187
- il. 77. Tempo wzrostu drzewa: wysokość i wielkość przyrostów bocznych dla drzewa liściastego zimozielonego (Dąb turnera).[Opracowanie własne] na podstawie: własne autorki badania in situ, W. Seneta, J. Dolatowski, J. Zieliński, Dendrologia, PWN, 2022, K. Fabijanowska, Elementy naturalne środowiska. Tablice-drzewa, krzewy, wyd. Politechnika Krakowska, Kraków2014. 187
- il. 78. Tempo wzrostu drzewa: wysokość i wielkość przyrostów bocznych dla drzewa liściastego (Tilia cordata).[Opracowanie własne] na podstawie: własne autorki badania in situ, W. Seneta, J. Dolatowski, J. Zieliński, Dendrologia, PWN, 2022, K. Fabijanowska, Elementy naturalne środowiska. Tablice-drzewa, krzewy, wyd. Politechnika Krakowska, Kraków2014. 188

il. 79. Schemat przygotowania zdjęć do wyznaczenia ażurowości drzew. [Opracowanie własne].....	190
il. 80. Propozycja włączenia drzew do bilansu zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków. Uwzględnienie drzew na etapie pierwszym – projektowanie budynku. [Opracowanie własne].....	192
il. 81. Scanner laserowy Riegl VZ-400 (www.reiegl.com, dostęp:28.04.2024).	199
il. 82. Skanowanie skanerem laserowym Riegl VZ-400 drzew iglastych i drzew liściastych. [Opracowanie własne].....	202
il. 83. Teledetekcja ponowna wykonana po trzech latach od pierwszych pomiarów. [Opracowanie własne].....	202
il. 84. Korelowanie punktów chmury w celu połączenia skanów.[Opracowanie własne].	203
il. 85. Połączone skany nałożone na fotografię (skorelowaną w czasie ze skanowaniem) [Opracowanie własne]	203
il. 86. Chmura punktów-zarówno punkty skanowanych obiektów jak i zanieczyszczeń pyłowych zawieszonych w powietrzu.[Opracowanie własne].	204
il. 87. Połączone skany naniesione na fotografię. Inna konfiguracja patrzenia. Widoczny "cień" drzew iglastych do wyznaczenia współczynnika przezierności, por. z il. poprzednią nr 74. [Opracowanie własne].....	205
il. 88. Przykład przygotowania zdjęcia do obliczania średniej wartości wypełnienia pól siatki podziału do nie wypełnionych. [Opracowanie własne].....	206
il. 89. Przykład wariantu i kroku optymalizacyjnego nazwanego jgi, wydruk z programu CAMOS. [Opracowanie własne].....	208
il. 90. Krok optymalizacyjny. Wydruk z programu CAMOS.[Opracowanie własne]	209
il. 91. Minimum globalne dla funkcji celu. Zależność funkcji celu $F1F2$ od proporcji boków podstawy $x(6)$ i wielkości przeszklenia na $x(1)$, $x(2)$, $x(3)$, $x(4)$ na elewacjach. [Opracowanie własne].....	212
il. 92. Zależność minimum globalnego od warunków ograniczających i ich kresu górnego. [Opracowanie własne].....	212
il. 93. Wielkość powierzchni przeszklenia na elewacji wschodniej wyrażona % udziałem w powierzchni całej ściany wschodniej. [Opracowanie własne]	216

il. 94. Wykres Pareto dla przeszkleń na ścianie wschodniej.[Opracowanie własne]	216
il. 95. Elewacja południowa. [Opracowanie własne].....	219
il. 96. Elewacja zachodnia. [Opracowanie własne].....	219
il. 97. Elewacja północna. [Opracowanie własne].....	219
il. 98. Elewacja wschodnia.[Opracowanie własne].....	220
il. 99. Szkic. Parter. [Opracowanie własne].....	220
il. 100. Usytuowanie ścian konkretnych w zależności od stron świata. Okres wzrostu 20 lat. Drzewa iglaste. [Opracowanie własne].....	224
il. 101. Schemat usytuowania drzew iglastych (<i>Thuja plicata</i>) w odniesieniu do stron świata i budynku. Wariant obliczeniowy pierwszy.[Opracowani własne]. (Wariant obliczeniowy drugi zieleń w kierunkach E-W.)	225
il. 102.Schemat usytuowania drzew liściastych (<i>Tilia cordata</i>) w odniesieniu do stron świata i budynku. Wariant obliczeniowy trzeci.[Opracowani własne]. Schemat usytuowania drzew liściastych (<i>Tilia cordata</i>) w odniesieniu do stron świata i budyńku. Wariant obliczeniowy trzeci.[Opracowani własne].	225
il. 103. Schemat usytuowania drzew liściastych (<i>Tilia cordata</i>) w odniesieniu do stron świata i budynku. Wariant obliczeniowy czwarty.[Opracowani własne].	225
il. 104. Drzewa iglaste. Różnica zapotrzebowania energii do celów ogrzewania w zależności od zacięnienia o stałej wartości $F_{sh, gl}=0,95$ i zmiennej $F_{sh, gl} 0,45-$ $0,95$. Okres użytkowania budynku 20 lat. [Opracowanie własne].....	230
il. 105. Drzewa iglaste. Próba oszacowania współczynnika przezierności JF. Różnica zapotrzebowania energii do celów ogrzewania w zależności od zacięnienia o stałej wartości $F_{sh, gl}=0,95$ i zmiennej $F_{sh, gl} 0,45-0,95$. Okres użytkowania budyńku 20 lat. [Opracowanie własne].....	230
il. 106. Usytuowanie ścian konkretnych w zależności od stron świata NESW-północ, wschód, południe, zachód. Okres wzrostu drzew liściastych 20 lat. Drzewa zimozielone, drzewa gubiące liście na zimę. [Opracowanie własne]	232
il. 107. Usytuowanie ścian konkretnych w zależności od stron świata. EW-wschód, zachód. Okres wzrostu drzew liściastych 20 lat. Drzewo zimozielone.[Opracowanie własne]	233

- il. 108. Drzewa liściaste. Różnica zapotrzebowania energii do celów ogrzewania w zależności od zacienienia o stałej wartości F_{sh} , $g_l=0,95$ i zmiennej F_{sh} , $g_l=0,45-0,95$. Okres użytkowania budynku 20 lat. [Opracowanie własne] 236
- il. 109. Drzewa liściaste zimozielone. Próba oszacowania współczynnika przezierności JF. Różnica zapotrzebowania energii do celów ogrzewania w zależności od zacienienia o stałej wartości F_{sh} , $g_l=0,95$ i zmiennej F_{sh} , $g_l=0,45-0,95$. Okres użytkowania budynku 20 lat. [Opracowanie własne] 237
- il. 110. Oszacowana wartość współczynnika przezierności dla drzew liściastych zimozielonych w przedziale czasu od 1 roku do 20 lat. [Opracowanie własne] 239
- il. 111. Oszacowana wartość współczynnika przezierności dla drzew liściastych, $0,45 < r_z < 0,9$ w przedziale czasu od 1 roku do 20 lat. Zależność $Q_{K,H}$ [kWh/20lat] dla stałej wartości r_z i zmiennej r_z ze zróżnicowaną wartością JF dla r_z lato i r_z zima. [Opracowanie własne] 243
- il. 112. Oszacowana wartość współczynnika przezierności dla drzew liściastych, $0,45 < r_z < 0,8$ w przedziale czasu od 1 roku do 20 lat. Zależność $Q_{K,H}$ [kWh/20lat] stałej wartości r_z i zmiennej r_z ze zróżnicowaną wartością JF dla r_z lato i r_z zima. [Opracowanie własne] 244
- il. 113. Wybór rodzaju wykresu a wiarygodność linii trendu. Wykres słupkowy. [Opracowanie własne] 244
- il. 114. Wybór rodzaju wykresu a wiarygodność linii trendu. Wykres punktowy. [Opracowanie własne] 245
- il. 115. Wybór najlepszego rozwiązania, budynek optymalny według: min.kosztu budowy (bez kosztu instalacji), min energii końcowej, rodzaju drzew i sposobu ich posadzenia w otoczeniu budynku, kierunku . [Opracowanie własne]. 247

Spis tabel

- Tabela 1. Punkty kryterialne przyznawane budynkowi za projekt zieleni jako otoczenia architektonicznego wnętrza krajobrazowego według procedury LEED i BREEAM. [Opracowanie własne] na podstawie LEED: <https://www.usgbc.org/leed> (dostęp 2.02.2024), BREEAM: <https://bregroup.com/products/breem/> (dostęp 3.02.2024). 12

Tabela 2. Zalecane temperatury maksymalne dla pomieszczeń według kategorii pomieszczeń dla oceny komfortu cieplnego. [Opracowanie własne] na podstawie K. Nazar, S. Kozłowski, <i>Wprowadzenie do fizjologii klinicznej</i> , PZWL, Warszawa 1995, Directive 2002/91/EC of European Parliament and the Council of 16 December 2002 on the Energy Performance of the Buildings....	13
Tabela 3. Zestawienie wybranych skrótów nazw według kolejności alfabetycznej. [Opracowanie własne].....	36
Tabela 4. Oznaczenia użyte w pracy w kolejności alfabetycznej [Opracowanie własne].	39
Tabela 5. Struktura wariantów i kryteriów. [Opracowanie własne] [za]: F. Hosseinzadeh Lotfi, R. Fallahnejad, Imprecise Shannon's Entropy and Multi Attribute Decision Making, Entropy, Tehran 2010, s. 53-62.....	47
Tabela 6. Część pierwsza. Certyfikaty według tzw. rozwoju zrównoważonego, uszeregowane wg daty wprowadzenia, dla budynków o funkcji: usługowe, hotele, turystyczne, biurowe, handlowe, szkolne, winiarnie, magazynowe, medyczne, przemysłowe, biura, oraz nowe, użytkowane i poddane renowacji [Opracowanie własne] na podstawie https://www.energystar.gov , https://www.greenkey.global/join-fee , https://www.usgbc.org/leed , https://www.agenziacasaclima.it/en/welcome-1.html , https://smartbuildingcollective.com/sbc-framework , https://www.agenziacasaclima.it/en/welcome-1.html , https://www.iiba.org/business-analysis-certifications/ecba/ , https://www.gresb.com/nl-en/ , https://lebanon-gbc.org (dostęp 23.04.2024)....	62
Tabela 7. Część druga (tabeli 6). Certyfikaty według tzw. rozwoju zrównoważonego, uszeregowane wg daty wprowadzenia, dla budynków o funkcji: usługowe, hotele, turystyczne, biurowe, handlowe, szkolne, winiarnie, magazynowe, medyczne, przemysłowe, biura, oraz nowe, użytkowane i poddane renowacji [Opracowanie własne] na podstawie https://www.agenziacasaclima.it/en/welcome-1.html , https://www.iiba.org/business-analysis-certifications/ecba/ , https://www.gresb.com/nl-en/ , https://lebanon-gbc.org/ . (dostęp 23.04.2024)..	63
Tabela 8. Metody obliczeniowe, kryteria przyjęte do optymalizacji kształtu i min. energii użytkowej do ogrzewania, min koszt inwestycji. [Opracowanie własne].	193

Tabela 9. Narzędzia, metody i środowisko obliczeń energii użytkowej do celów ogrzewania dla autorskiej metody włączającej drzewa do bilansu wieloletniego. [Opracowanie własne].....	194
Tabela 10. Kryteria, zmienne decyzyjne uszeregowane według kryterium: społecznego, technicznego, ekonomicznego, przestrzennego, środowiskowego,, funkcjonalnego przyjęte do badań i analiz. [Opracowanie własne].....	197
Tabela 11. Oznaczenia, nazwy i ich znaczenie, zastosowanie w skaningu. [Opracowanie własne].....	201
Tabela 12. Zestawienie wartości funkcji kryterialnych i funkcji celu dla wariantów optymalizacji proporcji boków podstawy, wielkości przeszklenia na poszczególnych elewacjach w zależności od ich usytuowania, grubości termoizolacji. [Opracowanie własne].....	211
Tabela 13. Zależność simplex boków podstawy od minimum globalnego funkcji celu: minimum energii i minimum kosztu inwestycyjnego. Zmienna decyzyjna $x(6)$ to wartość oporu cieplnego termoizolacji. [Opracowanie własne]	214
Tabela 14. Wartości optymalnej powierzchni przeszklenia na poszczególnych elewacjach budynku. [Opracowanie własne].....	215
Tabela 15. Zestawienie wariantów dla optymalizacji grubości termoizolacji ścian. [Opracowanie własne].....	218
Tabela 16. Układ warstw ściany zewnętrznej budynku. [Opracowanie własne]	222
Tabela 17. Zestawienie warstw stropu nad parterem oraz ich grubości i właściwości. [Opracowanie własne].....	222
Tabela 18. Zestawienie warstw podłogi na gruncie oraz ich grubości i właściwości.[Opracowanie własne].	223
Tabela 19. Zestawienie okien i drzwi według ich wymiarów i usytuowania w pomieszczeniach. Usytuowanie okien i ich oznaczenia na ilustracji 71. [Opracowanie własne].....	223
Tabela 20. Charakterystyki cieplne przegród zewnętrznych zoptymalizowanego budynku parterowego jednorodzinnego.[Opracowanie własne].....	223
Tabela 21. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacienienia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii między stałą a zmienną wartością zacienienia. Porównanie dla stałej wartości $r_z=0,95$. [Opracowanie własne].....	226

- Tabela 22. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacinienia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartości zacinienia. Porównanie dla $r_z=0,5$. [Opracowanie własne] 226
- Tabela 23. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacinienia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartości zacinienia. Porównanie dla $r_z=0,9$. [Opracowanie własne] 227
- Tabela 24. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacinienia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartości zacinienia. Porównanie dla $r_z=0,8$. [Opracowanie własne] 227
- Tabela 25. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacinienia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartością zacinienia. Porównanie dla $r_z=0,7$. [Opracowanie własne]..... 228
- Tabela 26. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacinienia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii użytkowej przy stałej a zmiennej wartości zacinienia. Porównanie dla $r_z=0,6$. [Opracowanie własne] 228
- Tabela 27. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacinienia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartością zacinienia. Porównanie dla $r_z=0,45$. [Opracowanie własne]..... 228
- Tabela 28. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacinienia [Opracowanie własne]..... 232
- Tabela 29. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacinienia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej oraz zmiennej wartości zacinienia. Porównanie dla $r_z=0,95$. [Opracowanie własne] 233
- Tabela 30. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacinienia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartości zacinienia. Porównanie dla $r_z=0,5$. [Opracowanie własne] 234
- Tabela 31. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacinienia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartością zacinienia. Porównanie dla $r_z=0,9$. [Opracowanie własne]..... 234
- Tabela 32. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacinienia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartości zacinienia. Porównanie dla $r_z=0,85$. [Opracowanie własne] 235

- Tabela 33. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacielenia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartości zacielenia. Porównanie dla $r_z=0,7$. [Opracowanie własne]..... 235
- Tabela 34. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacielenia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartości zacielenia. Porównanie dla $r_z=0,6$. [Opracowanie własne]..... 235
- Tabela 35. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacielenia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartości zacielenia. Porównanie dla $r_z=0,45$. [Opracowanie własne]..... 236
- Tabela 36. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacielenia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartości zacielenia, różna dla okresu lata, zimy. Porównanie dla $r_z=0,95$. [Opracowanie własne]..... 240
- Tabela 37. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacielenia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartości zacielenia, różna dla okresu lata, zimy. Porównanie dla $r_z=0,5$. [Opracowanie własne]..... 240
- Tabela 38. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacielenia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartości zacielenia, różna dla okresu lata, zimy. Porównanie dla $r_z=0,9$. [Opracowanie własne]..... 241
- Tabela 39. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacielenia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartości zacielenia, różna dla okresu lata, zimy. Porównanie dla $r_z=0,8$. [Opracowanie własne]..... 241
- Tabela 40. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacielenia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartości zacielenia, różna dla okresu lata, zimy. Porównanie dla $r_z=0,7$. [Opracowanie własne]..... 241
- Tabela 41. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacielenia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartości zacielenia, różna dla okresu lata, zimy. Porównanie dla $r_z=0,6$. [Opracowanie własne]..... 242

- Tabela 42. Zapotrzebowanie energii do celów ogrzewania budynku w zależności od zacielenia w przedziale czasu 20 lat. Różnica energii przy stałej a zmiennej wartości zacielenia, różna dla okresu lata, zimy. Porównanie dla $r_z=0,45$.
[Opracowanie własne]..... 242
- Tabela 43. Wybór wariantu optymalnego w zależności od rodzaju drzewa, usytuowania względem budynku, proporcji boków pola podstawy budynku.
[Opracowanie własne]..... 246
- Tabela 44. Zestawienie wybranych danych dla wariantów wyznaczania wskaźnika przezierności JF. [Opracowanie własne]..... 249
- Tabela 45 Zestawienie obszarów oceny, kryteriów oceny budynków uszeregowane według roku wprowadzenia certyfikatu dla budynków o funkcji użytkowej: mieszkalne oraz szkolne, domy spokojnej starości, wakacyjne, usługowe, administracyjne, edukacyjne, obiekty logistyczne, publiczne oraz nowe i użytkowane [Opracowanie własne] 309
- Tabela 46. część 1. Zestawienie obszarów oceny, kryteriów oceny budynków uszeregowane według roku wprowadzenia certyfikatu dla wszystkich typów budynków oraz nowych i użytkowanych. [Opracowanie własne]..... 310
- Tabela 47. część 2 tabeli 1. Zestawienie obszarów oceny, kryteriów oceny budynków uszeregowane według roku wprowadzenia certyfikatu dla wszystkich typów budynków oraz nowych i użytkowanych. [Opracowanie własne] na podstawie: na podstawie: 12. Berde Philippine GBC <https://berdeonline.org/#about-berde>, 13. GSAS, GORD <https://gsas.gord.qa/>, <https://www.gord.qa/>, 14. IGBC, Indian GBC: <https://worldgbc.org/gbc/indian-green-building-council/>, 15. EDGE: <https://g4e.pl/uslugi/certyfikacja-edge/>, 16. Casa Colombia: <https://www.gerenciadeedificios.com/en/2017062111107/news/enterprises/casa-colombia-cccs-certification-tool.html>, 17. HKGBC: <https://www.hkgbc.org.hk/eng/beam-plus/beam-plus-new-buildings/>, 18. Greenship: <https://www.green-ship.eu/>, 19. GBI: <https://gbip.com.pl/>, 20. MCBE: <http://mcbe.pk.edu.pl>, 21. SEED : <https://seednet.gov.in/PDFFILES/Chapter%201.pdf>, 22. RELi: <https://www.gbci.org/reli>; USGBC: <https://www.usgbc.org/> 311
- Tabela 48. Zestawienie obszarów oceny, kryteriów oceny budynków uszeregowane według roku wprowadzenia certyfikatu dla budynków mieszkalnych nowych i użytkowanych [Opracowanie własne] na podstawie: 1. GreenPoint Rated:

<https://www.greenpointrated.com/greenpoint-rated/> 2. Miljöbyggnad SGBC:
<https://www.sgbc.se/certifiering/miljobyggnad/>, 3. NGBS, Home Innovation
 Research Labs <https://www.homeinnovation.com/ngbs>, 4. Built Green:
<https://www.builtgreen.net>, 5. Homestar, NZGBC:
<https://www.nzgbc.org.nz/homestar>, 6. CEDBIK-B.E.S.T:
<https://cedbik.org/en/green-buildings/best-residential-certificate>,
<https://cedbik.org/>, 7. GBC Brasil Casa:
<https://www.gbcbrazil.org.br/certificacao/certificacao-casa/>, 312

Tabela 49. Zestawienie obszarów oceny, kryteriów oceny budynków uszeregowane
 według roku wprowadzenia certyfikatu dla komponentów budowlanych,
 głównego kryterium jakim jest KOMFORT użytkownika [Opracowanie
 własne] 1. GREENGUARD, Environmental Claim Validation:
<https://www.ul.com/services/environmental-claim-validation>, 2. WELL:
[https://plgbc.org.pl/zrownowazone-budownictwo/certyfikacje-
 wielokryterialne/well/](https://plgbc.org.pl/zrownowazone-budownictwo/certyfikacje-wielokryterialne/well/). 313

**WNĘTRZE KRAJOBRAZOWE
A PARAMETRY ENERGETYCZNE BUDYNKU
OPTYMALIZACJA WIELOKRYTERIALNA
I WIELOPOZIOMOWA
W PROJEKTACH ARCHITEKTURY
KRAJOBRAZU**

STRESZCZENIE

W ostatnich latach kraje Unii Europejskiej, wprowadzając zmiany legislacyjne, odnoszące się do różnych gałęzi gospodarki, konsekwentnie realizują politykę zrównoważonego rozwoju, szczególnie w zakresie podwyższania efektywności energetycznej budynków, które według szacunkowych danych zużywają około 40 % zasobów energii. Na zużycie energii w budownictwie mieszkaniowym wpływ ma zagospodarowanie przestrzenne wokół budynku, a szczególnie zieleń wysoka.

Wnikliwy przegląd literatury przedmiotu potwierdził, że w procedurach dotyczących rozwoju zrównoważonego nie ma przepisów, które wprowadzałyby obligatoryjne uwzględnienie wzrostu zieleni wysokiej na bilans energetyczny budynku mieszkalnego. Komparatywne badania literaturowe obejmowały zarówno publikacje z drugiej połowy XX wieku, jak i obecnie kontynuowane badania naukowe. Technika deskryptywna publikacji naukowych dotyczyła poszukiwania odpowiedzi na pytanie: czy i w jaki ewentualnie sposób zieleń jest włączana w analizy bilansu energetycznego budynków. W tym kontekście zdefiniowano lukę badawczą.

Celem niniejszego opracowania było przeprowadzenie badań zmierzających do określenia zależności pomiędzy wybranymi elementami przyrodniczymi architektury krajobrazu a budynkiem. Sprowadzało się to do analiz wpływu projektu zieleni na zapotrzebowanie cieplne budynku w funkcji czasu, zależne od rodzaju drzewostanu i jego wieku. Celami pośrednimi było określenie wskaźnika przezierności wybranych gatunków drzew, a także dobór i opracowanie narzędzi do zintegrowanego projektowania zadrzewienia towarzyszącego budynkowi w aspekcie bilansu

energetycznego wolno stojącego domu mieszkalnego w całym cyklu wzrostu ogrodu przydomowego.

Zakres pracy zawężony został do wybranych elementów przyrodniczych wnętrza lub zespołu wnętrza krajobrazowych zlokalizowanych w sąsiedztwie wolno stojącego jednorodzinne budynek mieszkalnego oraz ich wpływu na bilans energetyczny budynku.

Analiza przeprowadzona została dla uwarunkowań klimatycznych w strefie umiarkowanej o cechach przejściowych. Zakres merytoryczny dotyczył dwóch ścieżek badań literaturowych skorelowanych ze sobą. Pierwsza z nich dotyczyła metod, sposobów kształtowania oraz oceny krajobrazów, druga – badań związanych z rozwojem metod optymalizacyjnych ukierunkowanych na wybrane wnętrza krajobrazowe.

Na tej podstawie sformułowano tezę pracy, zgodnie z którą projektowanie wielokryterialne i wielopoziomowe jest narzędziem umożliwiającym wprowadzenie kryterium kształtowania zieleni (ze szczególnym uwzględnieniem drzew) do optymalizacji zużycia energii i komfortu cieplnego pomieszczeń budynków.

Przeгляд oprogramowania, które mogłoby być przydatne zarówno do optymalizacji energetycznej budynku, jak i do modelowania drzew i określenia, w jaki sposób zacieniają budynek udowodnił, że brakuje w tym zakresie uniwersalnych rozwiązań. Szczególnie trudne okazało się obliczanie wpływu drzewostanu na parametry energetyczne obiektu budowlanego, wariantowane kalkulacji w czasie i zależności od fazy rozwoju drzew, ich typu (liściaste, iglaste) i pory roku.

Aby zrealizować postawiony problem badawczy, zadanie optymalizacji podzielono na dwa poziomy. W fazie pierwszej przeprowadzono optymalizację wolno stojącego budynku mieszkalnego pod kątem energetycznym. Istotnym kryterium było w tym przypadku zapewnienie we wnętrzach komfortu termicznego bez efektu przegrzania.

Na kolejnym poziomie przeprowadzono badania wpływu układu i rodzaju drzew w ogrodzie przydomowym na bilans energetyczny budynku. Kształtowanie zieleni dotyczyło wybranych gatunków drzew, dla których kryteriami wyboru były takie parametry jak: pokrój, maksymalna wysokość wzrostu, rozrost boczny, rodzaj drzew (liściaste, liściaste zimozielone, iglaste). Rozważane były gatunki rodzime, nieintrodukowane. Natomiast czas analizy wpływu zieleni na bilans energetyczny to czas wzrostu drzewa (rozumiany jako osiągnięcie jego dojrzałości). W obliczeniach uwzględniano dane klimatyczne dotyczące nasłonecznienia w okresie całego roku dla strefy umiarkowanej.

Przyjęto, iż determinantą rodzaju zadrzewienia jest także współczynnik przezierności. Określenie tego parametru metodą projekcyjną na płaszczyznę odwzorowuje stan rzeczywisty z wystarczającą dokładnością. Opracowano autorską metodę określenia wskaźnika przezierności drzew JOLY FACTOR (Join Optimisation of Landscape Interior). Na podstawie badań in situ z wykorzystaniem skaningu laserowego oraz fotografii przyjęto orientacyjne wartości wskaźnika i korelacje między nimi a wybranymi gatunkami drzew, wskazano narzędzia do zintegrowanego projektowania wskaźników JF, zdefiniowano autorską metodę JF Programming dla realizacji rozwiązania zadania nieliniowej optymalizacji tych parametrów.

Otrzymane wyniki dowiodły, że w przypadku drzew iglastych w pierwszej fazie ich wzrostu zacienienie budynku jest małe, co skutkuje dużymi zyskami z nasłonecznienia. Po kilkunastu latach zyski od nasłonecznienia maleją i zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania zwiększa się. Tak jest dla okresu zimy. Dla okresu lata, oznacza to, że zacienienie nie opuszcza do nadmiernych zysków słonecznych, które powodują przegrzanie pomieszczenia (tj. wzrost temperatury wewnętrznej powyżej komfortu termicznego). Podobną sytuację możemy obserwować dla drzew liściastych, jednak z zastrzeżeniem, że w zimie, kiedy tego typu drzewa przyjmują formę bezlistną, ich przezierność wzrasta, co wiąże się z wyższymi zyskami z nasłonecznienia. O tej porze roku jest to sytuacja korzystna.

Temat podjęty w niniejszej dysertacji jest nowatorski, a badania naukowe nad problemem dotyczącym wpływu projektu wnętrza krajobrazowego na parametry energetyczne budynku pozwolą na opracowanie teoretycznych podstaw dla określenia przestrzennych i czasowych relacji między zielenią wysoką projektowaną na działce a zużyciem energii w budynku. Zastosowany autorski program obliczeniowy ze względu na dostępność danych nasłonecznienia, może być stosowany do obliczeń dla różnych układów zieleni, zróżnicowanych typów (iglastych, liściastych) oraz różnych faz ich wzrostu.

**LANDSCAPE INTERIOR AND ENERGY PARAMETERS
OF THE BUILDING
MULTI-CRITERIA AND MULTI-LEVEL OPTIMIZATION
IN LANDSCAPE ARCHITECTURE PROJECTS**

SUMMARY

In recent years, European Union countries, by introducing legislative changes relating to various sectors of the economy, have been consistently implementing a sustainable development policy, especially in terms of increasing the energy efficiency of buildings, which, according to estimates, consume about 40% of energy resources. Energy consumption in residential construction is influenced by the spatial development around the building, especially high greenery.

A thorough review of the literature on the subject confirmed that there are no provisions in the procedures for sustainable development that would introduce obligatory consideration of the increase in tall greenery on the energy balance of a residential building. Comparative literature research included both publications from the second half of the 20th century and current scientific research. The descriptive technique of scientific publications concerned the search for answers to the question: of whether and how greenery is included in the analysis of the energy balance of buildings. In this context, a research gap was defined.

The aim of this study was to conduct research aimed at determining the relationship between selected natural elements of landscape architecture and the building. It came down to analysing the impact of the greenery project on the building's thermal demand as a function of time, depending on the type of tree stand and its age. The intermediate goals were to determine the transparency index of selected tree species, as well as to select and develop tools for the integrated design of the tree cover accompanying the building in terms of the energy balance of a detached residential house throughout the entire growth cycle of the home garden.

The scope of the work was narrowed to selected natural elements of the interior or a set of landscape interiors located in the vicinity of a detached single-family residential building and their impact on the building's energy balance. The analysis was carried out for climatic conditions in the temperate zone with transitional features. The substantive scope concerned two paths of literature research correlated with each other. The first one concerned methods, and ways of shaping and assessing

landscapes, the second one – was research related to the development of optimization methods focused on selected landscape interiors.

On this basis, the thesis of the work was formulated, according to which multi-criteria and multi-level design is a tool enabling the introduction of the criterion of shaping greenery (with particular emphasis on trees) to optimize energy consumption and thermal comfort of building rooms.

A review of software that could be useful both for energy optimization of the building and for modelling trees and determining how they shade the building proved that there are no universal solutions in this area. It turned out to be particularly difficult to calculate the impact of a tree stand on the energy parameters of a building, with variant calculations over time and depending on the phase of tree development, their type (deciduous, coniferous) and the season.

To implement the research problem, the optimization task was divided into two levels. In the first phase, the energy efficiency of a detached residential building was optimized. An important criterion in this case was to ensure thermal comfort in the interior without the effect of overheating.

At the next level, research was carried out on the impact of the arrangement and type of trees in the home garden on the energy balance of the building. Shaping the greenery concerned selected tree species, for which the selection criteria were parameters such as: shape, maximum growth height, lateral growth, and type of trees (deciduous, deciduous evergreen, coniferous). Native, non-introduced species were considered. However, the time of analysis of the impact of greenery on the energy balance is the time of tree growth (understood as reaching its maturity). The calculations considered climatic data regarding sunlight throughout the year for the temperate zone.

It was assumed that the transparency coefficient also determines the type of tree cover. Determining this parameter using the projection method onto a plane reproduces the actual situation with sufficient accuracy. An original method for determining the tree transparency index, JOLY FACTOR (Join Optimization of Landscape Interior), was developed. Based on in situ research using laser scanning and photography, approximate indicator values and correlations between them and selected tree species were adopted, tools for the integrated design of JF indicators were indicated, and the proprietary JF Programming method was defined to solve the task of nonlinear optimization of these parameters.

The obtained results proved that in the case of conifers, in the first phase of their growth, the shading of the building is low, which results in large gains from sunlight. After a dozen or so years, solar gains decrease

and the demand for heat for heating increases. This is for the winter period. For the summer period, this means that shading does not result in excessive solar gains that cause overheating of the room (i.e. an increase in the internal temperature above thermal comfort). We can observe a similar situation for deciduous trees, but with the caveat that in winter, when these types of trees become leafless, their translucency increases, which is associated with higher gains from sunlight. At this time of year, it is a favorable situation.

The topic discussed in this dissertation is innovative, and scientific research on the problem of the impact of landscape interior design on the energy parameters of the building will allow the development of theoretical foundations for determining the spatial and temporal relationships between tall greenery designed on the plot and energy consumption in the building. The proprietary calculation program used, due to the availability of sunlight data, can be used for calculations for various greenery systems, various types (conifers, deciduous trees) and various phases of their growth.

ANEKS

Tabela 45 Zestawienie obszarów oceny, kryteriów oceny budynków uszeregowane według roku wprowadzenia certyfikatu dla budynków o funkcji użytkowej: mieszkalne oraz szkolne, domy spokojnej starości, wakacyjne, usługowe, administracyjne, edukacyjne, obiekty logistyczne, publiczne oraz nowe i użytkowane [Opracowanie własne] na podstawie.³⁸⁹

Lp.	Certyfikat	Nazwa, tłumaczenie nazwy	Data wprowadzenia	Kraj wprowadzenia, w jakim kraju obowiązuje certyfikat	Typy budynków, etapy cyklu życia	Obszary oceny, kryteria, ilość punktów, % udział w ocenie
1	2	3	4	5	6	7
1	Nordic Swan Ecolabel	Oznakowanie ekologiczne Nordycki Labędź	1989	Dania, Finlandia, Islandia, Norwegia, Szwecja	mieszkalne, szkolne, domy spokojnej starości, domy wakacyjne,	energia, środowisko, odpady, środowisko wewnętrzne, materiały, zarządzanie jakością procesu budowlanego, wymagania jakościowe i regulacyjne
2	BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method, Metoda Oceny Oddziaływania Budynku na Środowisko	1990	Wielka Brytania	mieszkalniowe, biurowe, handlowe, przemysłowe i magazynowe, hotelowe, szkolne, nowe, użytkowane, renowacje	energia 19%, zdrowie i dobre samopoczucie 15%, materiały 12,5%, zarządzanie 12%, zanieczyszczenia 10%, wykorzystanie terenu i ekologia 10%, odpady 7,5%, transport 8%, woda 6%, innowacje 10pkt
3	Green Globes	Zielone Globy	2004	USA, Kanada	mieszkalne, usługowe, administracyjne, nowe, renowacje	energia 380pkt, środowisko wewnętrzne 200pkt, lokalizacja 115pkt, materiały 100pkt, woda 85pkt, emisje 70pkt, zintegrowany proces projektowania 50pkt
4	GRIHA	Green Rating for Integrated Habitat Assessment, Ocena Ekologiczna dla Zintegrowanych Siedlisk	2007	tylko Indie	mieszkalne, edukacyjne, medyczne, usługowe; nowe, użytkowane	efektywność energetyczna 18pkt, zarządzanie wodą 16pkt, zrównoważone planowanie przestrzenne 12pkt, komfort 12pkt, zrównoważone materiały budowlane 12pkt, strategicznie społeczno-ekonomiczne 8pkt, monitoring 7pkt, odpady 6pkt, LCC 5pkt, innowacje 5pkt, zarządzanie budową 4pkt
5	DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, Niemieckie Stowarzyszenie Budownictwa Zrównoważonego	2009	Niemcy	mieszkalne, biurowe, handlowe, przemysłowe, hotelowe, szkolne, administracyjne, szpitale, obiekty logistyczne, nowe, użytkowane, renowacje	ekologia 23%, technologia 23%, ekonomia 22%, społeczno-kulturowy aspekt 22%, jakość procesu 10%, lokalizacja - dodatkowy aspekt
6	Three Star	Trzy gwiazdy	2009	Chiny	mieszkalne, publiczne	oszczędność: ziemi i środowiska naturalnego, energii, wody, materiałów: jakość środowiska wewnętrznego, zarządzanie
7	SBTool CZ	Sustainable Building Tool, Narzędzie do Zrównoważonego Budownictwa Czechy	2010	Czechy	mieszkalne, biurowe, szkoły; nowe, użytkowane	ŚRODOWISKO: efekt wyspy ciepła, wykorzystanie terenów, certyfikowane materiały, zużycie energii, OZE, oddanie do użytkowania, recykling, zarządzanie środowiskowe, elastyczność i adaptowalność, zużycie wody, recykling wody, użycie wody deszczowej, SPOLECZENSTWO: jakość powietrza, komfort termiczny, wizualny, akustyczny, ergonomiczny, łączność, bezpieczeństwo, świadomość zrównoważonego rozwoju, dostępność miejskiego transportu, EKONOMIA (LCC - Low Carbon Consultant, Konsultant ds. Niskoemisyjnej)
8	HQE	Haute Qualité Environnementale, Wysoka jakość środowiska	2012	Francja	mieszkalne, biurowe, handlowe, przemysłowe, hotelowe, szkolne, administracyjne, szpitale, obiekty logistyczne, nowe, użytkowane, renowacje	* ENERGIA, ŚRODOWISKO: lokalizacja, komponenty, miejsce budowy, woda, odpady, eksploatacja, ZDROWIE: jakość przestrzeni, jakość powietrza, jakość wody, KOMFORT: termiczny, akustyczny, wizualny, zapachowy
9	Fitwel, Center of Active Design	Fitwel, Centrum Aktywnego Projektowania	2016	USA; międzynarodowy m.in. USA, Kanada, Szwecja, Tajlandia, UK	mieszkalne, usługowe; nowe, użytkowane	lokalizacja, przestrzenie zewnętrzne, schodowe, środowisko wewnętrzne, miejsca pracy, przestrzenie wspólne, zaopatrzenie w wodę, kafelecie i sklepy z gotową żywnością, automaty sprzedające i bary z przekąskami, procedury awaryjne, środki transportu, wejścia i parter, klatki windy, miejsca pracy, przestrzenie wspólne, kafelecie i sklepy z gotową żywnością, automaty sprzedające i bary z przekąskami, procedury awaryjne

* Część I: zarządzanie środowiskiem; dotyczy zarządzania projektem i uwzględnia rolę i zaangażowanie każdego z uczestników. Część II: ocena oddziaływania budynku na środowisko; stanowi ocenę projektu w zakresie 14 celów pogrupowanych w 4 obszary: Energia i oszczędności: 1. Energia, 2. Woda, 3. Uproszczone utrzymanie Zdrowie i bezpieczeństwo: 1. Jakość przestrzeni, 2. Jakość wody, 3. Jakość powietrza Środowisko: 1. Położenie, 2. Materiały, 3. Plac budowy, 4. Odpady Komfort użytkownika: 1. Ciepłota-wilgotnościowy, 2. Akustyczny, 3. Wizualny, 4. Zapachowy

- 389 1. <https://www.nordic-swan-ecolabel.org/>,
2. <https://www.cbre.pl/insights/articles/certyfikacja-budynkow-komercyjnych>,
3. <https://thegbi.org/greenglobes/why-green-globes/>,
4. <https://www.grihaindia.org/about-griha>,
5. DGNB: <https://www.dgnb.de/en/certification/>,
6. Three Star: <https://www.gbigo.org/collections/14970>, 7. SBTool CZ: <https://www-sbtool-cz.>,
8. HQE: <https://www.hqegbc.org/en/qui-sommes-nous-alliance-hqe-gbc/la-certification-hqe/>,
9. Fitwell, Center of Active Design: <https://www.fitwel.org/centerforactivedesign>.

Tabela 46. część 1. Zestawienie obszarów oceny, kryteriów oceny budynków uszeregowane według roku wprowadzenia certyfikatu dla wszystkich typów budynków oraz nowych i użytkowanych. [Opracowanie własne]³⁹⁰

L.p.	część pierwsza tabeli Certyfikat	Nazwa, tłumaczenie nazwy	Data wprowadzenia	Kraj wprowadzenia, w jakim kraju obowiązuje	Typy budynków, etapy cyklu życia	Obszary oceny
1	2	3	4	5	6	7
1	NABERS	National Australian Built Environment Rating System, Krajowy Australijski System Oceny Środowiska Zabudowanego	1998	Australia	wszystkie typy budynków; nowe, użytkowane	energia, woda, odpady, środowisko wewnętrzne
2	EEWH	Ecology, Energy Saving, Waste Reduction and Health, Ekologia, oszczędność energii, redukcja odpadów i zdrowie	1999	tylko Tajwan	wszystkie typy budynków, nowe, użytkowe	oszczędność energii 28pkt, ekologia 27pkt, zdrowie 27pkt, redukcja odpadów 18pkt
3	KGBC, Korea GBC	Korean Green Building Councils, Koreańskie Stowarzyszenie Budownictwa Ekologicznego	2000	tylko Korea Południowa	wszystkie typy budynków; nowe, użytkowane	lokalizacja, transport, energia, materiały i zasoby, woda, zanieczyszczenia, zarządzanie, ekologia, jakość środowiska wewnętrznego
4	Verde	Valoración de Eficiencia de Referencia de Edificios (Building Reference Efficiency Evaluation, Ocena efektywności referencyjnej budynku	2002	Hiszpania	wszystkie typy; nowe, modernizowane; nowe, użytkowane	lokalizacja budynku, jakość środowiska wewnętrznego: powietrze, światło, hałas, komfort, zarządzanie zasobami: energia, woda, materiały, integracja społeczna: dostępność, szkolenia, komunikacja, jakość techniczna budynku: monitoring, dokumentacja, konserwacja
5	Green Star GBCA	Green Star Green Building Council of Australia, Zielona Gwiazda Australijskie Stowarzyszenie Budownictwa Ekologicznego	2003	tylko Australia	wszystkie typy budynków, nowe, użytkowane	zarządzanie, środowisko wewnętrzne, energia, transport, woda, materiały, ekologia, emisje, innowacje
6	CASBEE	Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency, Kompleksowy System Oceny Efektywności Środowiska Zabudowanego	2004	tylko Japonia	wszystkie typy budynków, nowe, użytkowane	lokalizacja, energia, zasoby i materiały, środowisko zewnętrzne, jakość usług, środowisko wewnętrzne
7	Protocol Itaca	Protokół Itaka	2004	Włochy	wszystkie typy budynków; nowe, użytkowane	konsumpcja zasobów 53,6%, jakość środowiska wewnętrznego 18,2%, obciążenie środowiska 17,5%, jakość usług 6,7%, lokalizacja 4%
8	BCA Green Mark	Building and Construction Authority Green Mark, Program Certyfikacji Zielonego Znaku	2005	tylko Singapur	wszystkie typy budynków, nowe, użytkowane	projektowane dostosowane do warunków klimatycznych, charakterystyka energetyczna budynku, zarządzanie zasobami, inteligentne i zdrowe budownictwo, wspieranie działań proekologicznych
9	LBC, US GBC, Canada GBC	The Living Building Challenge, US Green Building Council, Canada Green Building Council, Rozwój Istniejących Budynków, Amerykańskie Stowarzyszenie Budownictwa Ekologicznego, Kanadyjskie Stowarzyszenie Budownictwa Ekologicznego	2006	USA; międzynarodowy: m.in. USA, Kanada, Nowa Zelandia, UK, Włochy, Singapur, Chiny	wszystkie typy budynków, nowe, użytkowane	lokalizacja, woda, energia, zdrowie i szczęście, materiały, równość, piękno
10	Minergie	Szwajcarski standard energetyczny dla domów niskoenergetycznych	2007	Szwajcaria	wszystkie typy budynków; nowe, użytkowane	energia
11	LOTUS, Vietnam GBC	LOTUS, Greeb Building Council, Wietnamskie Stowarzyszenie Budownictwa Ekologicznego	2008	tylko Wietnam	wszystkie typy budynków; nowe, użytkowane	energia 32pkt, lokalizacja i środowisko 21pkt, zdrowie i komfort 14pkt, woda 13pkt, materiały i zasoby 12pkt, zarządzanie projektem 8pkt, wyjątkowa wydajność 8pkt

³⁹⁰ Na podstawie:

1.NABERS: <https://www.nabers.gov.au/>, 2.EEWH: <https://eewh.tw/>, KGBC, Korea GBC: <https://www.kgbc.com/>, 3.Verde: <http://www2.gbce.es/en/pagina/verde-certificate>, 4.Green Star GBCA: <https://www.gbca.org.au/project-directory.asp>, 5.CASBEE: <https://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/certificationE.ht>, 6.Protocol Itaca: <https://absolgroup.com/en/portfolio/new-buildings-itaca-protocol/>, 7.BCA Green Mark: <https://www.mnd.gov.sg/our-work/greening-our-home/bca-green-mark>, 8.LBC, US GBC, Canada GBC: <https://www.usgbc.org/organizations/world-green-...>, 9.Minergie: <https://www.minergie.com/>, LOTUS, Vietnam GBC: <https://vgbc.vn/en/rating-systems/>.

Tabela 47. część 2 tabeli 46. Zestawienie obszarów oceny, kryteriów oceny budynków uszeregowane według roku wprowadzenia certyfikatu dla wszystkich typów budynków oraz nowych i użytkowanych. [Opracowanie własne] na podstawie:

12. Berde, Philippine GBC <https://berdeonline.org/#about-berde>, 13. GSAS, GORD <https://gsas.gord.qa/>, <https://www.gord.qa/>, 14. IGBC, Indian GBC: <https://worldgbc.org/gbc/indian-green-building-council/>, 15. EDGE: <https://g4e.pl/uslugi/certyfikacja-edge/>, 16. Casa Colombia: <https://www.gerenciadeedificios.com/en/2017062111107/news/enterprises/casa-colombia-cccs-certification-tool.html>, 17. HKGBC: <https://www.hkgbc.org/hk/eng/beam-plus/beam-plus-new-buildings/>, 18. Greenship: <https://www.green-ship.eu/>, 19. GBI: <https://gbip.com.pl/>, 20. MCBE: <http://mcbe.pk.edu.pl>, 21. SEED: <https://seednet.gov.in/PDFFILES/Chapter%201.pdf>, 22. RELi: <https://www.gbci.org/reli/>; USGBC: <https://www.usgbc.org/>

L.p.	część 2 tabeli Certyfikat	Nazwa, tłumaczenie nazwy	Data wprowadzenia	Kraj wprowadzenia, w jakim kraju obowiązuje	Typy budynków, etapy cyklu życia	Obszary oceny
1	2	3	4	5	6	7
12	Berde, Philippine GBC	Building for Ecologically Responsive Design Excellence, Green Building Council; Budynek zapewniający doskonałość w projektowaniu przyjaznym środowisku, Stowarzyszenie ds. Budownictwa Ekologicznego	2009	tylko Filipiny	wszystkie typy budynków; nowe, użytkowane	zarządzanie, użycie terenu i ekologia, efektywność energetyczna, woda, odpady, zielone materiały, transport, jakość środowiska wewnętrznego, emisje
13	GSAS, GORD	Global Sustainability Assessment System (Globalny System Oceny Zrównoważonego Rozwoju), Gulf Organisation for Research & Development (Organizacja Zatoki Perskiej ds. Badań i Rozwoju)	2009	tylko Katar	wszystkie typy budynków; nowe, użytkowane	energia 24%, woda 16%, środowisko wewnętrzne 14%, wartości kulturowe i ekonomiczne 13%, lokalizacja 9%, dostępność lokalizacji 8%, materiały 8%, zarządzanie i eksploatacja 8%
14	IGBC, Indian GBC	Indian Green Building Council (Indyjska Rada Budownictwa Ekologicznego)	2009	Indie	wszystkie typy budynków; nowe, użytkowane	efektywność energetyczna 30pkt, oszczędność wody 19pkt, materiały i zasoby 16pkt, wybór lokalizacji 14pkt, jakość środowiska wewnętrznego 9pkt, innowacje i rozwój 7pkt, zrównoważona architektura i inżynieria 5pkt
15	EDGE	Enhanced Data rates for Global Evolution	2010	USA; międzynarodowy (125 krajów)	wszystkie typy budynków; nowe, użytkowe	energia, woda, materiały
16	Casa Colombia	Council for Sustainable Construction (Rada ds. Budownictwa Zrównoważonego)	2010	tylko Hong Kong	wszystkie typy budynków; użytkowane	zintegrowane projektowanie i zarządzanie budową, zdrowie, zrównoważona lokalizacja, materiały i odpady, zużycie energii, zużycie wody, innowacje i dodatki
17	BEAM Plus, HKGBC	Building Environmental Assessment Method (Metoda oceny oddziaływania budynku na środowisko), Hong Kong Green Building Council (Rada Budownictwa Ekologicznego w Hongkongu)	2010	tylko Hong Kong	wszystkie typy budynków; użytkowane	zintegrowane projektowanie i zarządzanie budową, zdrowie, zrównoważona lokalizacja, materiały i odpady, zużycie energii, zużycie wody, innowacje i dodatki
18	Greenship	"Zielony statek"	2011	tylko Indonezja	wszystkie typy budynków (powierzchnia minimum 2500 m ²), nowe, użytkowane	efektywność energetyczna 26pkt, zużycie wody 21pkt, zagospodarowanie terenu 17pkt, zasoby i materiały 14pkt, zdrowie i komfort 10pkt, zarządzanie środowiskowe budynkiem 13pkt
19	GBI	Global Business Intelligence (Globalna Inteligencja Biznesowa)	2011	tylko Malezja	wszystkie typy budynków; nowe, użytkowane	energia, woda, materiały
20	MCBE, Małopolskie Centrum Budownictwa Energooszczędne	certyfikat opracowany wspólnie z Narodową Agencją Poszanowania Energii oraz Polską Akademią Nauk	2015	Polska	wszystkie typy budynków	zużycie energii, jakość wykonania budynku, klimat wewnętrzny: komfort cieplny, jakość powietrza: wpływ budynku na środowisko, ślad węglowy
21	SEED	Standard for Energy and Environmental Design (Standard dotyczący Projektowania Energetycznego i Środowiskowego)	2016	Pakistan	wszystkie typy budynków; nowe, użytkowane, renowacje	zintegrowany proces zarządzania projektem, zrównoważony transport i wybór lokalizacji, zrównoważony rozwój terenu, gospodarka wodna i wydajność, efektywność energetyczna i monitorowanie, zasoby naturalne i materiały, jakość środowiska wewnętrznego, innowacyjność
22	RELI, USGBC	Renewable Energy Long Island (Energia Odnawialna): U.S. Green Building Council (U.S. Stowarzyszenie Budownictwa Ekologicznego)	2019	USA	wszystkie typy budynków; nowe, użytkowane	podejście holistyczne, gotowość na wypadek zagrożenia, adaptacja do zagrożeń, vitalność społeczności, produktywność, zdrowie i różnorodność, energia, woda i żywność, materiały i artefakty, kreatywność stosowana

Tabela 48. Zestawienie obszarów oceny, kryteriów oceny budynków uszeregowane według roku wprowadzenia certyfikatu dla budynków mieszkalnych nowych i użytkowanych [Opracowanie własne] na podstawie:

1. Green Point Rated: <https://www.greenpointrated.com/greenpoint-rated/>
2. Miljöbyggnad SGBC: <https://www.sgbc.se/certifiering/miljobyggnad/>,
3. NGBS, Home Innovation Research Labs <https://www.homeinnovation.com/ngbs/>,
4. Built Green: <https://www.builtgreen.net/>,
5. Homestar, NZGBC: <https://www.nzgbc.org.nz/homestar/>,
6. CEDBIK-B.E.S.T: <https://cedbik.org/en/green-buildings/best-residential-certificate/>, <https://cedbik.org/>,
7. GBC Brasil Casa: <https://www.gbcbrazil.org.br/certificacao/certificacao-casa/>,
8. Pearl Certification: <https://pearlcertification.com/>,
9. HPI, Irish GBC: <https://www.igbc.ie/certification/hpi/home-performance-index/>,
10. Active House: <https://www.activehouse.info/>,
11. Casa Colombia: <https://casa.ccs.org.co/proceso-de-certificacion/>,
12. Certyfikat Zielony Dom PLGBC : <https://plgbc.org.pl/>.

L.p.	Certyfikat	Nazwa, tłumaczenie nazwy	Data wprowadzenia	Kraj wprowadzenia, w jakim kraju obowiązuje	Typy budynków, etapy cyklu życia	Obszary oceny
1	GreenPoint Rated	"Ocena Punktu Ekologicznego"	2003	tylko USA	mieszkalne, nowe, użytkowane	efektywność energetyczna, jakość powietrza, zdrowie, woda, ochrona zasobów, społeczność
2	Miljöbyggnad SGBC	Sweden Green Building Council, Środowisko Budowlane Szwedzkiej Rady Budownictwa Ekologicznego	2005	Szwecja	mieszkalne, nowe, użytkowane	zapotrzebowanie na moc grzewczą, obciążenie instalacji solarnej, zużycie energii, udział energii odnawialnej, dźwięk, radon, wentylacja, ochrona przed wilgocią, zimowy klimat termiczny, letni klimat termiczny, światło dzienne, legionella, dziennik materiałów budowlanych, stopniowe wycofywanie substancji niebezpiecznych, wpływ budynku na klimat
3	NGBS, Home Innovation Research Labs	National Green Building Standard® (Krajowy Standard Budownictwa Ekologicznego®), Strona główna: Innowacyjne Laboratoria Badawcze	2008	USA	mieszkalne, nowe, użytkowane	efektywność energetyczna, zużycie wody, zasoby, zagospodarowanie terenu, eksploatacja i konserwacja, jakość powietrza
4	Built Green	Zbudowany Ekologicznie	2012	tylko Kanada	mieszkalne, nowe, renowacje	energia, materiały, lokalizacja i woda, jakość powietrza
5	Homestar, NZGBC	New Zealand Green Building Council (Stowarzyszenie Budownictwa Ekologicznego Nowej Zelandii)	2010	Nowa Zelandia	mieszkalne	energia, zdrowie i komfort, woda, odpady, zarządzanie, materiały, lokalizacja, innowacje
6	CEDBIK-B.E.S.T	Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği'nin (Stowarzyszenie Budownictwa Zielonego Przyjaznego Środowisku)	2013	Turcja	mieszkalne	zintegrowane zielone zarządzanie projektem, użytkowanie terenu, oszczędność wody, efektywność energetyczna, zdrowie i dobre samopoczucie, materiały i zasoby, społeczność mieszkaniowa, eksploatacja, innowacje
7	GBC Brasil Casa*	Green Building Council "DOM" (Stowarzyszenie Budownictwa Ekologicznego "DOM")	2014	tylko Brazylia	mieszkalne	atmosfera 28pkt, wdrożenie 21pkt, jakość środowiska wewnętrznego 18pkt, energia i materiały i zasoby 14pkt, efektywne wykorzystanie wody 12pkt, wymagania społeczne 5pkt, innowacje 10pkt, kredyty regionalne 2pkt
8	Pearl Certification	"certyfikat perłowy"	2015	tylko USA	mieszkalne; użytkowane	przegrody budynku, ogrzewanie i klimatyzacja, obciążenie cieplne podstawowe (ciepła woda, elektronika), zarządzanie energią w budynku, odnawialne źródła energii i magazyny energii
9	HPI, Irish GBC	Home Performance Index (Indeks Wydajności Domu), Irlandzie Stowarzyszenie Budownictwa Ekologicznego	2016	tylko Irlandia	mieszkalne; nowe, użytkowane	środowisko, ekonomia, zdrowie i komfort, jakość, zrównoważona lokalizacja
10	Active House	Aktywny Dom	2017	Dania, międzynarodowy (m.in. Rosja, Kanada, UK, Chiny)	mieszkalne, nowe	komfort: światło słoneczne, komfort termiczny, jakość powietrza, energia: zapotrzebowanie na energię, dostarczanie energii, energia pierwotna, środowisko: wpływ na środowisko, zużycie wody, zrównoważona konstrukcja
11	Casa Colombia	Dom Kulubijski	2017	tylko Kolumbia	mieszkalne	efektywność energetyczna 23pkt, zrównoważony rozwój środowiska 19pkt, materiały 15pkt, oszczędność wody 14pkt, dobre samopoczucie 14pkt, odpowiedzialność społeczna 8pkt, zrównoważony rozwój 4pkt
12	Certyfikat Zielony Dom PLGBC	Polish Green Building Council, Polskie Stowarzyszenie Budownictwa Ekologicznego	2020	Polska	mieszkalne	wielokryterialna certyfikacja dla budownictwa mieszkaniowego efektywność energetyczna, oze, lokalizacja, jakość powietrza w pomieszczeniach, zrównoważone i zdrowe materiały, zielone zasady projektowania, budowa i bieżące zarządzanie nieruchomością, oświetlenie i zacielenie; Badania: termowizja, szczelność

Tabela 49. Zestawienie obszarów oceny, kryteriów oceny budynków uszeregowane według roku wprowadzenia certyfikatu dla komponentów budowlanych, głównego kryterium jakim jest KOMFORT użytkownika [Opracowanie własne].

1. GREENGUARD, Environmental Claim Validation: <https://www.ul.com/services/environmental-claim-validation>,

2. WELL: <https://plgbc.org.pl/zrownowazone-budownictwo/certyfikacje-wielokryterialne/well/>.

L.p.	Certyfikat	Nazwa, tłumaczenie nazwy	Data wprowadzenia	Kraj wprowadzenia, w jakim kraju obowiązuje	oceniane komponenty, typy budynków	Obszary oceny
1	GREENGUARD, Environmental Claim Validation	Walidacja dotycząca ochrony środowiska (ECV)	od 2001, certyfikacja UL (Underwriters Laboratories- Certyfikaty Bezpieczeństwa dla branży budownictwo) uzyskana w 2011	USA	materiały budowlane, meble, wyposażenie; jakość powietrza w budynkach wszystkich typów, użytkowane	** jakość powietrza, emisje pyłów i zanieczyszczeń, emisje lotnych związków organicznych, wilgotność
2	WELL	nie ma w języku polskim zamiennika nazwy, w dosłownym znaczeniu DOBRZE	2014	USA	mieszkalne, biurowe, handlowe, hotelowe, szkolne, szpitale, restauracje, nowe, użytkowane	(prozdrowotne cechy budynków); oceniane: powietrze, odżywianie, światło, ruch, komfort, umysł; woda,
<p>** lakiery do mebli i wyposażenia wnętrz otrzymały świadectwo Environmental Claim Validation (ECV) wydane przez Amerykański Instytut Certyfikacyjny UL (Underwriters Laboratories_ Laboratoria Certyfikujące, Certyfikaty Bezpieczeństwa dla materiałów budowlanych), światowego lidera w certyfikacji produktów. Jest to rygorystyczna, niezależna weryfikacja, która potwierdza zaangażowanie ICA Group (Industria Chimica Adriatica - Przemysł chemiczny Adriatyku) zarówno w zakresie innowacji, ponieważ produkty te mają naprawdę wyjątkowe właściwości fizykochemiczne, jak i w zakresie ochrony środowiska</p>						