



**POLITECHNIKA  
GDAŃSKA**


Wydział Architektury

Imię i nazwisko autora rozprawy: Mateusz Gerigk  
Dyscyplina naukowa: Architektura i urbanistyka

## ROZPRAWA DOKTORSKA

Tytuł rozprawy w języku polskim: Wielokryterialne projektowanie budynków wielofunkcyjnych ze szczególnym uwzględnieniem kryterium elastyczności funkcjonalnej

Tytuł rozprawy w języku angielskim: Multi-criteria design of multifunctional buildings with particular emphasis on the criterion of functional flexibility

Promotor  <i>podpis</i>	Drugi promotor  <i>podpis</i>
prof. dr hab. inż. arch. Antoni Taraszkiewicz	
Promotor pomocniczy  <i>podpis</i>	Kopromotor  <i>podpis</i>

Gdańsk, rok 2017



## OŚWIADCZENIE

Autor rozprawy doktorskiej: Mateusz Gerigk

Ja, niżej podpisany, wyrażam zgodę /nie wyrażam zgody\* na bezpłatne korzystanie z mojej rozprawy doktorskiej zatytułowanej:

Wielokryterialne projektowanie budynków wielofunkcyjnych ze szczególnym uwzględnieniem kryterium elastyczności funkcjonalnej do celów naukowych lub dydaktycznych.<sup>1</sup>

Gdańsk, dnia 25.04.2017

podpis doktoranta

Świadomy odpowiedzialności karnej z tytułu naruszenia przepisów ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (Dz. U. z 2006 r., nr 90, poz. 631) i konsekwencji dyscyplinarnych określonych w ustawie Prawo o szkolnictwie wyższym (Dz. U. z 2012 r., poz. 572 z późn. zm.),<sup>2</sup> a także odpowiedzialności cywilno-prawnej oświadczam, że przedkładana rozprawa doktorska została napisana przeze mnie samodzielnie.

Oświadczam, że treść rozprawy opracowana została na podstawie wyników badań prowadzonych pod kierunkiem i w ścisłej współpracy z promotorem prof. dr hab. inż. arch. Antonim Taraszkiewiczem, drugim promotorem <drugi promotor>, promotorem pomocniczym <promotor pomocniczy>, kopromotorem <kopromotor>\*.

Niniejsza rozprawa doktorska nie była wcześniej podstawą żadnej innej urzędowej procedury związanej z nadaniem stopnia doktora.

Wszystkie informacje umieszczone w ww. rozprawie uzyskane ze źródeł pisanych i elektronicznych, zostały udokumentowane w wykazie literatury odpowiednimi odnośnikami zgodnie z art. 34 ustawy o prawie autorskim i prawach pokrewnych.

Potwierdzam zgodność niniejszej wersji pracy doktorskiej z załączoną wersją elektroniczną.

Gdańsk, dnia 25.04.2017

podpis doktoranta

Ja, niżej podpisany, wyrażam zgodę/nie wyrażam zgody\* na umieszczenie ww. rozprawy doktorskiej w wersji elektronicznej w otwartym, cyfrowym repozytorium instytucjonalnym Politechniki Gdańskiej, Pomorskiej Bibliotece Cyfrowej oraz poddawania jej procesom weryfikacji i ochrony przed przywłaszczeniem jej autorstwa.

Gdańsk, dnia 25.04.2017

podpis doktoranta

\*) niepotrzebne skreślić

<sup>1</sup> Zarządzenie Rektora Politechniki Gdańskiej nr 34/2009 z 9 listopada 2009 r., załącznik nr 8 do instrukcji archiwalnej PG.

<sup>2</sup> Ustawa z dnia 27 lipca 2005 r. Prawo o szkolnictwie wyższym: Rozdział 7 Odpowiedzialność dyscyplinarna doktorantów, Art. 226.





## **OPIS ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

**Autor rozprawy doktorskiej:** Mateusz Gerigk

**Tytuł rozprawy doktorskiej w języku polskim:** Wielokryterialne projektowanie budynków wielofunkcyjnych ze szczególnym uwzględnieniem kryterium elastyczności funkcjonalnej

**Tytuł rozprawy w języku angielskim:** Multi-criteria design of multifunctional buildings with particular emphasis on the criterion of functional flexibility

**Język rozprawy doktorskiej:** polski

**Promotor rozprawy doktorskiej:** prof. dr hab. inż. arch. Antoni Taraszkiewicz

**Data obrony:**

**Słowa kluczowe rozprawy doktorskiej w języku polskim:** wielokryterialne projektowanie, budynek wielofunkcyjny, elastyczność funkcjonalna

**Słowa kluczowe rozprawy doktorskiej w języku angielskim:** multi-criteria design, multifunctional building, functional flexibility

**Streszczenie rozprawy w języku polskim:** Rozprawa doktorska porusza problematykę związaną z wielokryterialnym projektowaniem budynków wielofunkcyjnych, w którym kryterium elastyczności funkcjonalnej zostało zaproponowane jako czynnik priorytetowy.

Praca zawiera analizę obiektów wielofunkcyjnych umożliwiającą usystematyzowanie aktualnej wiedzy w zakresie projektowania tych obiektów oraz dokonanie ich klasyfikacji.

Proces projektowy obiektu wielofunkcyjnego jest elementem cyklu życia budynku i ma na ten cykl decydujący wpływ.

W pracy autor dowodzi, że możliwe jest stworzenie wielokryterialnego modelu projektowania współczesnego obiektu wielofunkcyjnego. Przedstawiony model o charakterze teoretycznym zastosowany w praktyce projektowej może zapewnić projektowanym budynkom wielofunkcyjnym wysoki stopień adaptacji do aktualnych potrzeb użytkowników na etapie eksploatacji. Model ten jest także ideą, która w holistyczny sposób pozwala spełniać zmieniające się wymogi dotyczące kształtowania obiektów wielofunkcyjnych w intensywnie zabudowanych ośrodkach miejskich, przy jednoczesnym uwzględnieniu zasad związanych z dążeniem do rozwoju zrównoważonego.

**Streszczenie rozprawy w języku angielskim:** The dissertation presents the problems associated with multicriterial design of multifunctional buildings, where the criterion of functional flexibility has been proposed as a priority factor.

The scientific research includes an analysis of multifunctional objects that enables them to systematize current knowledge in the design process of these objects and to classify them.

The multifunctional design process is a part of the life cycle of a building and has a decisive impact on the whole process.

In the paper, the author argues that it is possible to create multicriteria model of contemporary multifunctional building design process. The presented theoretical model applied in the design practice can provide the designed multifunctional buildings with a high degree of adaptation to the current needs of users during the operation phase. This model is also an idea which, in a holistic way, allows to meet the changing requirements for creating multifunctional buildings in intensively built urban center with respect to the principles of sustainable development.



Mateusz Gerigk. Wielokryterialne projektowanie budynków wielofunkcyjnych ze szczególnym uwzględnieniem kryterium elastyczności funkcjonalnej. Rozprawa doktorska.



**WYDZIAŁ ARCHITEKTURY  
KATEDRA ARCHITEKTURY MIESZKANIOWEJ I UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ**

**Wielokryterialne projektowanie budynków  
wielofunkcyjnych ze szczególnym uwzględnieniem  
kryterium elastyczności funkcjonalnej**

Rozprawa doktorska

Autor: mgr inż. arch. Mateusz Gerigk

Promotor: prof. dr hab. inż. arch. Antoni Taraszkiewicz, prof. nadzw. PG

Gdańsk 2017





## PRZEDMOWA

Podjęta w dysertacji problematyka ma na celu analizę obecnie istniejących budynków wielofunkcyjnych, a także przedstawienie zintegrowanego podejścia projektowego w odniesieniu do obiektów o złożonej strukturze funkcjonalnej. W dzisiejszych czasach, kiedy racjonalne gospodarowanie zasobami naturalnymi jest wyzwaniem najwyższej rangi, architektura powinna charakteryzować się dalekowzroczną wizją, uwzględniającą możliwe zagrożenia wynikające z konieczności dokonywania przekształceń i przeobrażeń powstających struktur przestrzennych. Sposób w jaki przestrzeń miejska będzie się rozwijać jest bowiem nie do końca przewidywalny i zależy od wielu zmiennych czynników: ekonomicznych, ekologicznych, jak i społecznych. Zmiana sposobu podejścia do projektowania współczesnych obiektów architektonicznych, zwłaszcza wdrożenie zasady projektowania wielokryterialnego, pozwoli uniknąć większości zagrożeń zarówno dla przestrzeni miejskiej, jak i szeroko pojętego środowiska naturalnego.

*Pragnę podziękować tym wszystkim,  
bez pomocy i wsparcia których  
praca ta nie mogłaby powstać.*

*Dziękuję szczególnie mojemu promotorowi i mentorowi  
Panu Profesorowi Antoniemu Taraszkiewiczowi  
za inspirację naukową oraz opiekę merytoryczną.*

*Dziękuję rodzinie i przyjaciołom.*

## SPIS TREŚCI

<b>1</b>	<b>Wstęp.....</b>	<b>5</b>
1.1	Prezentacja tematu.....	5
1.2	Podstawowe definicje w omawianej dziedzinie.....	6
1.3	Przedmiot badań związanych z rozprawą.....	9
1.4	Plan badań.....	10
1.5	Ogólne tendencje rozwojowe w omawianej dziedzinie.....	11
1.6	Aplikacyjny wymiar badań zawartych w pracy.....	11
<b>2</b>	<b>Geneza rozprawy. Cel, tezy i zakres pracy .....</b>	<b>13</b>
2.1	Geneza rozprawy.....	13
2.2	Motywacja podjęcia tematu.....	14
2.3	Cel badań.....	14
2.4	Przyjęte metody badawcze.....	15
2.5	Tezy badawcze.....	17
2.6	Zakres pracy.....	18
<b>3</b>	<b>Aktualny stan wiedzy z zakresu obiektów wielofunkcyjnych .....</b>	<b>20</b>
3.1	Kontekst historyczny.....	20
3.2	Struktura formalna obiektów wielofunkcyjnych.....	25
3.3	Współczesne podejście do projektowania obiektów wielofunkcyjnych.....	29
3.4	Metodyka projektowania oraz optymalizowania systemów wielofunkcyjnych.....	36
3.5	Zmiana sposobu użytkowania obiektów. Nadawanie nowej funkcji.....	38
<b>4</b>	<b>Proponowana metoda badań obiektów wielofunkcyjnych w zakresie funkcjonalności, efektywności, bezpieczeństwa i ochrony środowiska .....</b>	<b>40</b>
4.1	Opis i struktura metody badawczej.....	40
4.2	Funkcjonalność obiektu w zabudowie miejskiej.....	43
4.3	Efektywność budynku w strukturze miejskiej.....	46
4.4	Bezpieczeństwo obiektu.....	48
4.5	Wpływ obiektu wielofunkcyjnego na ochronę środowiska.....	50
4.6	Klasyfikacja obiektów wielofunkcyjnych.....	52
4.7	Budynek elastyczny funkcjonalnie.....	56
<b>5</b>	<b>Modelowanie wielokryterialne obiektów elastycznych funkcjonalnie z uwzględnieniem ich walorów urbanistycznych, architektonicznych oraz estetycznych .....</b>	<b>58</b>
5.1	Percepcja przestrzeni architektonicznej i urbanistycznej.....	59

5.2	Estetyka obiektów wielofunkcyjnych .....	61
5.3	Projektowanie geometrii obiektu. Modelowanie osobliwości kształtu.....	63
5.4	Modelowanie funkcjonalności obiektu .....	66
5.5	Modelowanie efektywności obiektu .....	70
5.6	Modelowanie bezpieczeństwa obiektu .....	72
5.7	Cykl życia systemu elastycznego funkcjonalnie .....	76
5.8	Wewnętrzny system funkcjonalny.....	79
5.9	Zewnętrzny system funkcjonalny .....	80
5.10	System otoczenia zewnętrznego .....	81
<b>6</b>	<b>Model własny wielokryterialnego projektowania obiektów funkcjonalnie elastycznych z uwzględnieniem ich walorów urbanistycznych, architektonicznych oraz estetycznych .....</b>	<b>83</b>
6.1	Metoda holistyczna w projektowaniu obiektów elastycznych funkcjonalnie.....	84
6.2	Model matematyczny.....	86
6.3	Model geometryczny .....	90
6.4	Model fizyczny .....	93
6.5	Model numeryczny .....	95
6.6	Model projektowania estetyki struktury architektonicznej i urbanistycznej .....	98
6.7	Model funkcjonalny obiektu elastycznego funkcjonalnie .....	100
6.8	Model efektywności obiektu wielofunkcyjnego .....	103
6.9	Model bezpieczeństwa obiektu wielofunkcyjnego .....	105
6.10	Model wielokryterialny w ujęciu systemowym.....	107
6.11	Proces projektowania budynku przy użyciu proponowanego modelu .....	110
6.12	Graficzne odwzorowanie systemu funkcjonalnie elastycznego .....	115
<b>7</b>	<b>Weryfikacja badań dotyczących projektowania obiektów funkcjonalnie elastycznych - wnioski i uwagi końcowe.....</b>	<b>122</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>127</b>
	<b>SPIS TABEL.....</b>	<b>134</b>
	<b>ZESTAWIENIE RYSUNKÓW .....</b>	<b>135</b>

## 1 Wstęp

### 1.1 Prezentacja tematu

Tematem rozprawy doktorskiej jest "Wielokryterialne projektowanie budynków wielofunkcyjnych ze szczególnym uwzględnieniem kryterium elastyczności funkcjonalnej".

Obszary zurbanizowane w obecnych czasach charakteryzują się dynamicznym rozwojem. Rozwój ten wiąże się z przemianami, których główną istotą jest zaspokajanie bieżących potrzeb społeczeństwa. *Nowe formy działalności gospodarczej, rozwój usług oraz systemów łączności i komunikacji zachodzi w tak szybkim tempie, iż trudno jest przewidzieć kierunki zmian (52)*. Aktualnie, budynki o charakterze wielofunkcyjnym są coraz częściej stosowaną formą zagospodarowania przestrzennego współczesnych miast. Nowobudowane, złożone struktury wielofunkcyjne muszą spełniać aktualne wymagania ekonomiczne, ekologiczne oraz społeczne. Ponadto budynki wielofunkcyjne, będące systemami o dużej złożoności powinny odznaczać się funkcjonalnością, efektywnością oraz bezpieczeństwem. Opisanie technik projektowania współczesnych budynków wielofunkcyjnych oraz usystematyzowanie aktualnych czynników dotyczących tworzenia budynków wielofunkcyjnych pozwalają podjąć problematykę związaną z systemowym projektowaniem struktur wielofunkcyjnych oraz określić nowe kryteria mające istotny wpływ na dalszy rozwój tego procesu.

W celu zaspokojenia szybko zmieniających się potrzeb użytkowników istniejących budynków, bardzo często obiektom tym nadawana jest nowa funkcja. Stopień transformacji funkcjonalnych jest jednak uzależniony od wielu czynników, na przykład od tego, czy pozwala na to stan techniczny danego budynku. W odniesieniu do wybranych realizacji, przedstawionych w dalszych rozdziałach, niniejsza praca zawiera propozycję nowego, systemowego ujęcia struktury projektowanego obiektu wielofunkcyjnego, która to struktura podlega określonym kryteriom. W rozprawie, na podstawie analizy istniejącego stanu wiedzy jak i doświadczeń oraz obserwacji wynikających z praktyki zawodowej, przedstawione zostało modelowe ujęcie procesu projektowego budynku wielofunkcyjnego, które przewiduje zmianę funkcji w czasie jego eksploatacji. Przewodnią myślą wybranego tematu badawczego, dotyczącego tworzenia obiektów wielofunkcyjnych, jest uwzględnienie już w procesie projektowym kryterium związanego z przyszłymi, możliwymi transformacjami funkcjonalnymi.

Kryterium elastyczności funkcjonalnej, czyli możliwości zmiany funkcji w sposób możliwie prosty i przewidziany już na etapie projektowym, jest w niniejszej rozprawie elementem innowacyjnym. Elastyczność funkcjonalna może stać się kluczowym parametrem budynków wielofunkcyjnych, który umożliwi w sposób zoptymalizowany rozwijać się ośrodkom miejskim. Współczesne dynamiczne zarządzanie nieruchomościami wskazuje bowiem pilną potrzebę modyfikowania budynków w zależności od aktualnych, zmieniających się potrzeb rynkowych.

Wyszczególnienie obecnie stosowanych kryteriów zmian funkcjonalnych, jak i ustalenie kryteriów nowych, wprowadzanych na etapie projektowania, stanowić będzie podstawę do potwierdzenia przyjętych w rozprawie tez badawczych. W zamyśle rozwijania badań związanych z zabudową wielofunkcyjną ważnym elementem jest przedstawienie modelowej struktury, która pozytywnie wpływa na relacje pomiędzy jej użytkownikami a otoczeniem, w tym środowiskiem naturalnym. *Obecnie, kontrolę nad rozrastaniem się miast pełni planowanie przestrzenne. Przeciwnym działaniem wobec ekspansywnego rozrostu ośrodków miejskich powinno stać się intensywne wykorzystanie obecnych zasobów terenowych. Wzrost zainwestowania w aktualnie zagospodarowaną przestrzeń pozwoli zminimalizować rozwój horyzontalny ingerujący w środowisko naturalne (28).* W obecnych czasach, kiedy człowiek musi racjonalnie planować przestrzeń, architektura wielofunkcyjna a przede wszystkim elastyczna funkcjonalnie, może stać się elementem niezbędnym w nowoczesnym, proekologicznym procesie kształtowania środowiska intensywnie zurbanizowanego.

## 1.2 Podstawowe definicje w omawianej dziedzinie

Poniżej zostały przytoczone definicje, które mają na celu przybliżenie tematyki

### 1.2.1 budynek wielofunkcyjny:

- *jeden lub kilka połączonych ze sobą obiektów zawierający różne funkcje (np. społeczne) lub różne przeznaczenie (np. biura, restauracja), gdzie obiekt oraz jego funkcje stanowią jedną zintegrowaną całość włączając w to elementy podziemne (59);*
- *(ang. mixed-use), założenie, w którym występują co najmniej trzy różne funkcje, w tym handlowa (43);*

- 1.2.2 przestrzeń wielofunkcyjna - *przestrzeń zaprojektowana w taki sposób, aby zaspokoić różne potrzeby na mniejszej powierzchni (5);*
- 1.2.3 zabudowa śródmiejska - *zgrupowanie intensywnej zabudowy na obszarze funkcjonalnego śródmieścia (74);*
- 1.2.4 obiekt budowlany - *budynek wraz z instalacjami i urządzeniami technicznymi, budowla stanowiąca całość techniczno-użytkową wraz z instalacjami i urządzeniami (94);*
- 1.2.5 zrównoważony rozwój - *zaspokojenie potrzeb obecnych pokoleń bez zmniejszania możliwości przyszłych pokoleń do zaspokojenia ich potrzeb (99);*
- 1.2.6 funkcja użytkowa - *organizacja przestrzeni podporządkowana potrzebom społecznym możliwa do osiągnięcia poprzez zastosowane środki techniczne oraz potwierdzona przez zastosowany styl (33);*
- 1.2.7 funkcjonalizm - *[łac.], arch. kierunek w architekturze, urbanistyce i sztuce użytkowej, którego głównym założeniem było wysunięcie na plan pierwszy funkcji i uzależnienie od niej zarówno elementów technicznych, jak i estetycznych (10);*
- 1.2.8 funkcjonalny -
1. *dobrze spełniający swoją funkcję,*
  2. *dotyczący funkcjonowania lub funkcji czegoś w jakimś systemie (11);*
- 1.2.9 elastyczność funkcjonalna - *możliwość dostosowania funkcji obiektu do aktualnych potrzeb danego użytkownika przy minimalnych kosztach materialnych oraz niematerialnych;*
- 1.2.10 wielofunkcyjne miasto - *miasto zawierające więcej niż jedną funkcję lub funkcje istniejące w tym samym miejscu i/lub w tym samym czasie; miasto uwarunkowane skupieniem różnorodnych działań w jednym miejscu lub czasie (4);*

- 1.2.11 efektywność funkcjonowania - *ocena analizy kosztów przy wykorzystaniu mierników: czasu, współczynników i mierników wartościowych* (60);
- 1.2.12 niezawodność obiektu - *zdolność do funkcjonowania w określonym czasie (np. w okresie założonej trwałości obiektu) bez niesprawności* (86);
- 1.2.13 bezpieczeństwo - (*ang. safety*) - *sytuacja, w której nie występuje ryzyko niemożliwe do przyjęcia; obejmuje: zdrowie, bezpieczeństwo, ochronę środowiska, ochronę mienia (definicja OECD)* (9);
- 1.2.14 równowaga przyrodnicza – *rozumie się przez to stan, w którym na określonym obszarze istnieje równowaga we wzajemnym oddziaływaniu: człowieka, składników przyrody żywej i układu warunków siedliskowych tworzonych przez składniki przyrody nieożywionej* (15);
- 1.2.15 ochrona środowiska – *rozumie się przez to podjęcie lub zaniechanie działań, umożliwiające zachowanie lub przywracanie równowagi przyrodniczej; ochrona ta polega w szczególności na:*
- a) racjonalnym kształtowaniu środowiska i gospodarowaniu zasobami środowiska zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju,*
  - b) przeciwdziałaniu zanieczyszczeniom,*
  - c) przywracaniu elementów przyrodniczych do stanu właściwego* (15);
- 1.2.16 projektowanie z uwzględnieniem optymalizacji wielokryterialnej - *projektowanie z uwzględnieniem najlepszego rozwiązania względem ustalonej listy kryteriów oceny (kryteriów optymalizacji) dążące do celów, które należy osiągnąć oraz gdy istnieją różne sposoby realizacji tych celów* (76);
- 1.2.17 system - *zbiór współdziałających ze sobą elementów, funkcjonalna całość wyodrębniona z otoczenia, na którą otoczenie oddziałuje za pośrednictwem wielkości wejściowych (bodźców), i która zwrotnie oddziałuje na otoczenie za pośrednictwem wielkości wyjściowych (reakcji)* (30);
- 1.2.18 obiekt techniczny - *zespół systemów, maszyn, urządzeń i ludzi, związanych ze sobą zarówno w sensie strukturalnym, jak i funkcjonalnym i mający*

*do wykonania ściśle określone samodzielne zadanie w ciągu zadanego czasu w dokładnie sprecyzowanych warunkach zewnętrznych (67);*

1.2.19 ergonomiczność i estetyka obiektu - *zbiory cech wpływających na komfort jego użytkowania i obsługiwanie (87);*

1.2.20 model matematyczny - *sformułowanie zadania modelowania w postaci relacji matematyczno-logicznych, charakteryzuje się najwyższym stopniem abstrakcji - umożliwia operowanie symbolami i wyciąganie wniosków jakościowych (30);*

### **1.3 Przedmiot badań związanych z rozprawą**

Podstawowym przedmiotem badań związanych z rozprawą jest struktura budynku wielofunkcyjnego, stanowiąca pewnego rodzaju system. Dzięki zastosowaniu metody holistycznej, możliwe jest przeanalizowanie przedmiotowej struktury budynku nie tylko jako autonomicznej całości, ale również w szerszym kontekście, w relacji z otoczeniem.

W pracy poddano analizie przykłady zrealizowanych obiektów wielofunkcyjnych i projekty architektoniczne takich obiektów, wyselekcjonowane pod kątem ich więzi z otoczeniem oraz strukturą funkcjonalnej.

Obiekt wielofunkcyjny stanowi element systemu współczesnego obszaru zurbanizowanego. Skala oraz lokalizacja budynku wielofunkcyjnego charakteryzującego się elastycznością funkcjonalną została w pracy ukazana w ujęciu modelowym. Należy zaznaczyć, że temat obejmuje obiekty zlokalizowane w obrębie aglomeracji miejskiej, rozwiniętej technologicznie o intensywnym sposobie użytkowania. Współcześnie, obiekty lokalizowane w zabudowie śródmiejskiej implikują w swoim programie użytkowym funkcje podstawowe oraz towarzyszące. Różnorodne funkcje łączą się ze sobą oraz wpływają na siebie wzajemnie dając w efekcie bardzo złożony układ wielofunkcyjny.



## 1.4 Plan badań

Przeprowadzone w rozprawie badania składają się z części wstępnej, części zasadniczej oraz zakończenia. Pierwszy rozdział zawiera wprowadzenie do tematu. Drugi rozdział opisuje genezę rozprawy, motywację podjęcia tematu oraz przedstawia cele, tezy i zakres badań.

Część zasadnicza złożona jest z pięciu rozdziałów. Na początku w rozdziale trzecim, przedstawiony został aktualny stan wiedzy obejmujący tematykę badawczą. W pierwszej fazie badań analizie poddane zostały przykłady realizacji budynków wielofunkcyjnych. Analiza przykładów stanowi podstawę do dalszych rozważań. Pierwsza faza badań ma na celu usystematyzowanie wiedzy na temat wielofunkcyjności. Wyodrębnione charakterystyki istniejących struktur wielofunkcyjnych pozwalają spojrzeć schematycznie na stosowane układy funkcjonalne oraz pozwalają poddać je ocenie. Następnie dokonana jest analiza porównawcza współczesnych form wielofunkcyjnych. Rozdział czwarty opisuje metodę analizy obiektów wielofunkcyjnych. Opisane zostały również relacje funkcjonalne zachodzące pomiędzy obiektem a otaczającą go zabudową miejską. Na podstawie przeprowadzonych analiz opracowany został system klasyfikacji obiektów wielofunkcyjnych.

W drugiej fazie badań przeprowadzona jest analiza inżyniersko-technicznych metod projektowania współczesnych obiektów wielofunkcyjnych. Zaproponowana została modelowa metoda badań obiektów wielofunkcyjnych. Następnie przedstawiony został sposób modelowania wielokryterialnego obiektów elastycznych funkcjonalnie. Element końcowy drugiej fazy badań stanowi opracowany wielokryterialny model współczesnego obiektu wielofunkcyjnego.

W rozdziale piątym opisane zostało modelowanie wielokryterialne obiektów wielofunkcyjnych z uwzględnieniem ich walorów architektonicznych, estetycznych oraz urbanistycznych.

Rozdział szósty przedstawia model własny wielokryterialnego projektowania obiektów wielofunkcyjnych. Zakończenie rozdziału szóstego opisuje proces projektowania budynku wielofunkcyjnego przy użyciu proponowanego modelu oraz zawiera graficzne odwzorowanie systemu funkcjonalnie elastycznego.

Ostatni siódmy rozdział stanowi zakończenie rozprawy. Przedstawiona została weryfikacja badań dotyczących projektowania obiektów elastycznych funkcjonalnie

oraz potwierdzone zostały tezy badawcze. Przedstawione zostały również wnioski i uwagi końcowe.

### **1.5 Ogólne tendencje rozwojowe w omawianej dziedzinie**

W obecnych czasach obiekty wielofunkcyjne stanowią przeważającą formę zagospodarowania przestrzeni miejskiej. Różnorodność oraz złożoność funkcjonalna obiektów zmierza do integracji coraz większej ilości funkcji miejskich w coraz większych obiektach, włączając w to budynki o przeznaczeniu mieszkaniowym. Obecnie projektowane budynki wielofunkcyjne odpowiadają współczesnym oczekiwaniom gospodarczym oraz społecznym. Ich kształtowanie jest procesem o dużym stopniu skomplikowania. Budynki te w swojej złożoności, muszą umiejętnie godzić ze sobą użytkowników różnych funkcji w obrębie jednego systemu wielofunkcyjnego. Nie wszystkie jednak z tych budynków można będzie w sposób prosty i racjonalny przekształcać wraz ze zmieniającymi się potrzebami funkcjonalnymi.

Budynki wielofunkcyjne są obecnie, (poza zabudową mieszkaniową), głównym elementem kształtującym współczesne aglomeracje miejskie w obrębie obszarów śródmiejskich. Dlatego też ważnym czynnikiem mającym wpływ na jakość środowiska zabudowanego jest optymalne planowanie jego struktury użytkowej już na etapie projektowym. Jak wykazuje S. Arangio, *współczesny szybki rozwój przestrzeni miejskiej charakteryzuje się intensywnym wykorzystaniem przestrzeni. W rezultacie, nowobudowana architektura miejska skupia obiekty o różnorodnym przeznaczeniu. W ostatnich latach projektowane, budowane oraz zarządzane są coraz bardziej złożone strukturalnie budynki, aby zaspokoić rosnące potrzeby społeczeństwa (2).*

### **1.6 Aplikacyjny wymiar badań zawartych w pracy**

Na podstawie wcześniej przedstawionych tendencji rozwojowych w omawianej dziedzinie, w niniejszej pracy postawione zostało pytanie: czy obecnie projektowane struktury będą w stanie w przyszłości równie dobrze spełniać swoje przeznaczenie? Przedstawione w dysertacji metody badawcze niosą ze sobą wartości teoretyczne, dzięki którym możemy w sposób kompleksowy odnieść się do procesu projektowego. Ponadto

wyniki przedstawionych badań mogą mieć również wymiar użyteczny, gdyż przy zastosowaniu praktycznym mogą okazać się przydatne w procesie projektowania budynków wielofunkcyjnych, charakteryzujących się elastycznością funkcjonalną. Przedstawione w rozprawie badania stanowią podstawę do dalszych rozważań na temat udoskonalania procesu projektowego obiektów wielofunkcyjnych oraz zarządzania tym procesem.

## **2 Geneza rozprawy. Cel, tezy i zakres pracy**

### **2.1 Geneza rozprawy**

Temat: "Wielokryterialne projektowanie budynków wielofunkcyjnych ze szczególnym uwzględnieniem kryterium elastyczności funkcjonalnej" został podjęty za przyczyną licznych przesłanek:

Obecnie zauważalna jest intensyfikacja zabudowy wielofunkcyjnej na obszarze zurbanizowanym. Widoczny jest również wzrost liczby badań nad problematyką dotyczącą tematyki łączenia ze sobą wielu funkcji.

Istnieje potrzeba usystematyzowania aktualnego zakresu wiedzy dotyczącej obiektów wielofunkcyjnych. Usystematyzowania wymaga również problematyka dotycząca cyklu życia budynku od fazy projektowania poprzez funkcjonowanie, aż do zużycia.

Zaobserwowana została potrzeba systemowego podejścia w projektowaniu architektonicznym obiektów wielofunkcyjnych, która niesie ze sobą ulepszenie procesu projektowego.

Zoptymalizowany sposób zabudowy ma pozytywny wpływ na ochronę środowiska. Istnieje potrzeba systematycznego określenia czynników pozwalających kształtować obiekty wielofunkcyjne o złożonej strukturze. Poprawa warunków eksploatacyjnych budynków wielofunkcyjnych związanych z modyfikacją ich struktury funkcjonalnej w czasie, może nieść za sobą korzyści natury ekonomicznej, społecznej oraz proekologicznej.

W procesie projektowania obiektów wielofunkcyjnych kluczową jest umiejętność zaspokojenia potrzeb wszystkich interesariuszy biorących udział w inwestycjach miejskich. To od nich zależy, jak będzie wyglądała w przyszłości przestrzeń zurbanizowana.

Przedstawienie systemowego wielokryterialnego modelu projektowania budynków wielofunkcyjnych może stanowić podstawę do zmiany podejścia w planowaniu przestrzennym aglomeracji miejskich.

## 2.2 Motywacja podjęcia tematu

Motywacją podjęcia tematu jest, wynikająca z dotychczasowej działalności naukowej i zawodowej autora, chęć przedstawienia odpowiedzi na ważne pytania: jak powinno wyglądać projektowanie obiektów wielofunkcyjnych obecnie oraz jak powinno ono wyglądać w przyszłości?

W literaturze przedmiotu znaleźć można wiele pozycji dotyczących wyżej wymienionych zagadnień oraz szeroko rozumianej problematyki budynków wielofunkcyjnych. W aktualnych badaniach można zauważyć jednak znaczącą lukę, zwłaszcza w zakresie projektowania obiektów wielofunkcyjnych, charakteryzujących się elastycznością funkcjonalną. Implementacja aktualnego stanu wiedzy wraz z przedstawioną metodyką badawczą, pozwala na rozwinięcie proponowanej tematyki oraz opracowanie niniejszej dysertacji.

## 2.3 Cel badań

Celami przedłożonych w rozprawie badań są:

- 2.3.1 Usystematyzowanie wiedzy w zakresie istniejących budynków wielofunkcyjnych.
- 2.3.2 Wykazanie, że wielofunkcyjne obiekty odgrywają istotną rolę w kształtowaniu przestrzennym zabudowy miejskiej oraz korzystnie wpływają na ochronę środowiska przyrodniczego.
- 2.3.3 Stworzenie metody badań obiektów wielofunkcyjnych.
- 2.3.4 Stworzenie teoretycznego modelu wielokryterialnego podejścia do projektowania współczesnych obiektów wielofunkcyjnych.
- 2.3.5 Stworzenie schematu struktury wielofunkcyjnej przy użyciu proponowanego modelu z uwzględnieniem cech budynku wielofunkcyjnego, które mają wpływ na funkcjonalność, efektywność, bezpieczeństwo oraz ochronę środowiska.
- 2.3.6 Stworzenie schematu obiektu wielofunkcyjnego, elastycznego funkcjonalnie.

### 2.3.7 Udowodnienie przydatności wykorzystania wyników badań w praktycznych działaniach projektowych.

## 2.4 Przyjęte metody badawcze

Zaproponowane w pracy metody badawcze posiadają zróżnicowany charakter i pozwalają na rzetelne uzasadnienie podjętej tematyki oraz celu rozprawy. Usystematyzowanie aktualnej wiedzy oraz analiza informacji związanych z tematyką pracy jest podstawą do opracowania klasyfikacji obiektów wielofunkcyjnych oraz do przedstawienia holistycznej metody projektowania obiektów wielofunkcyjnych. Zastosowanie przyjętych metod badawczych pozwala na udowodnienie poprawności przyjętych w rozprawie tez.

### 2.4.1 Usystematyzowanie wiedzy dotyczącej wielofunkcyjności

Usystematyzowanie wiedzy ma na celu przybliżenie tematyki rozprawy doktorskiej oraz jej umiejscowienie względem aktualnych potrzeb społecznych, ekonomicznych oraz ekologicznych. Przedstawiony jest tu również wątek tworzenia na przestrzeni dziejów obiektów wielofunkcyjnych, które realizowane były na miarę możliwości technicznych oraz potrzeb społecznych danej epoki.

### 2.4.2 Analiza porównawcza współczesnych form wielofunkcyjnych

Na podstawie wybranych przykładów, projektów i realizacji współczesnych obiektów przedstawione są aktualne trendy w projektowaniu budynków wielofunkcyjnych. Dzięki porównaniu różnych zastosowań struktury wielofunkcyjnej możliwe jest również określenie czynników, które mają wpływ na jej kształtowanie.

### 2.4.3 Opracowanie systemu klasyfikacji obiektów wielofunkcyjnych

Dzięki porównaniu różnorodnych przykładów możliwe jest opracowanie systemu klasyfikacji obiektów wielofunkcyjnych. Zebrane informacje w początkowej fazie badań pozwalają na wyodrębnienie charakterystycznych cech budynków pod kątem ich zdolności funkcjonalnych.

#### 2.4.4 Analiza inżyniersko-technicznych metod projektowania współczesnych obiektów wielofunkcyjnych

Wprowadzona jest wieloaspektowa analiza metod projektowania współczesnych obiektów wielofunkcyjnych. Pozwala ona na dokładne określenie parametrów technicznych, które powinny spełniać obiekty wielofunkcyjne oraz ustalenie w jaki sposób tego typu obiekty powinny być projektowane. Struktura obiektu wielofunkcyjnego jest przedstawiona w ujęciu matematycznym za pomocą schematu.

#### 2.4.5 Analiza literatury związanej z tematyką badań

Przeprowadzone są prace studialne dostępnej aktualnie literatury krajowej i zagranicznej. Tematyka badawcza, poza literaturą ściśle reprezentującą dziedzinę architektura i urbanistyka, wymaga również uzupełnienia o studia literatury z dziedzin naukowych blisko związanych z przedmiotem badań. Opracowanie metody holistycznej w projektowaniu budynków wielofunkcyjnych oparte jest także na literaturze dotyczącej efektywności, bezpieczeństwa oraz ochrony środowiska. Istotną rolę odgrywa również ujęcie matematyczne oraz wspomaganie komputerowe w projektowaniu. Wybrane elementy dziedzin zbliżonych do tematyki rozprawy uwydatniają możliwości jakie niesie ze sobą zastosowanie optymalizacji wielokryterialnej w projektowaniu architektonicznym.

#### 2.4.6 Opracowanie wielokryterialnego modelu współczesnego obiektu wielofunkcyjnego

Powyższe metody badawcze umożliwiają całościowy ogląd procesu współczesnego projektowania obiektów wielofunkcyjnych. Efektem jest opracowanie modelu, który uwzględnia aktualne wymagania dotyczące kreowania struktur elastycznych funkcjonalnie. Istotą opracowanego modelu jest ujęcie współczesnego skomplikowanego obiektu architektonicznego w usystematyzowaną strukturę wielofunkcyjną. Opisanie elementów składowych, czyli podsystemów modelu, oraz opisanie relacji pomiędzy nimi jest kompilacją informacji przedstawionych w całym zakresie pracy.

## 2.5 Tezy badawcze

### 2.5.1 Wielofunkcyjność współczesnych struktur miejskich projektowanych systemowo stanowi jeden z najważniejszych elementów rozwoju zrównoważonego.

Zadaniem jest udowodnienie, że stosowanie obiektów o charakterze wielofunkcyjnym w intensywnie użytkowanej tkance miasta ma pozytywny wpływ na rozwój ośrodków miejskich a jednocześnie sprzyja poszanowaniu środowiska. Poprzez systemowe podejście w projektowaniu możliwa jest do osiągnięcia lepsza organizacja przestrzeni miejskiej. *Integracja funkcji miejskich* (24), integracja różnych funkcji w obrębie jednej struktury jest czynnikiem generującym korzyści ekonomiczne, ekologiczne oraz społeczne. Ponadto tworzenie obiektów, które pozwalają na łatwe dostosowanie funkcji do aktualnych potrzeb użytkowników niweluje nakłady ekonomiczne oraz energetyczne, niezbędne do adaptacji konwencjonalnie projektowanej przestrzeni.

### 2.5.2 Funkcjonalna elastyczność budynków ujęta w wielokryterialnym procesie projektowania jest jedną z najbardziej pożądanых cech współczesnych miast.

Obserwując współczesne trendy w projektowaniu przestrzeni wielofunkcyjnej można zaobserwować, że struktura miasta ulega dynamicznym przemianom. Powyższa teza potwierdza potrzebę tworzenia obiektów wielofunkcyjnych, które w czasie ich użytkowania można wielokrotnie dostosowywać do potrzeb użytkowników. Budynki, które już w fazie projektowej mają przewidzianą możliwość zmiany ich programu funkcjonalno-użytkowego wprowadzają korzyści związane z ograniczeniem eksploatacji zasobów materialnych oraz niematerialnych związanych z dostosowaniem do nowego przeznaczenia. Analiza rozwoju struktury architektonicznej współczesnych miast w odniesieniu do użytkowników wykazuje zapotrzebowanie na obiekty, których strukturę funkcjonalną można modyfikować w prosty i szybki sposób.



## 2.6 Zakres pracy

Budynki wielofunkcyjne, stanowiące przeważający sposób zagospodarowania centralnych przestrzeni miast, stanowią liczną grupę, którą można poddać analizie. Praca w swoim zakresie obejmuje obiekty o złożonej strukturze funkcjonalnej, w których liczba integrowanych funkcji oraz ich interakcja wymaga systemowego podejścia, zarówno na etapie analizy rozwiązań gotowego już budynku, jak i na etapie projektowania.

Osiągnięte rezultaty posiadają wymiar teoretyczny jak i praktyczny. Teoretyczny zakres prac obejmuje usystematyzowanie wiedzy na temat budynków wielofunkcyjnych oraz zawiera metodę prowadzenia analizy tych obiektów. Wyniki przeprowadzonych badań, uzyskane poprzez analizę inżyniersko-techniczną metod projektowania budynków wielofunkcyjnych, mogą być z kolei przydatne w praktyce z zakresu projektowania architektonicznego.

W kwestii wymagań dotyczących projektowania nowoczesnych obiektów wielofunkcyjnych do zakresu pracy wliczają się także aktualne przepisy oraz tendencje projektowe. Opracowane również zostały dodatkowe kryteria w celu optymalizacji struktury wielofunkcyjnej w odniesieniu do ochrony środowiska naturalnego, gdzie elastyczna funkcjonalność budynków stanowi element kluczowy dla zachowania stabilnego rozwoju ośrodków miejskich.

### 2.6.1 Zakres czasowy badań

Badania rozpoczynają się od omówienia przykładów historycznych - począwszy od czasów starożytnych. Istotą jest tu przeanalizowanie genezy oraz ewolucji myśli architektonicznej związanej z tworzeniem przestrzeni wielofunkcyjnych. W głównej mierze zakres czasowy pracy obejmuje jednak czasy współczesne, w których tworzenie złożonych struktur o charakterze wielofunkcyjnym nabiera dynamicznego tempa.

### 2.6.2 Zakres rzeczowy badań

Przedmiotem badań są współczesne istniejące obiekty wielofunkcyjne, ich koncepcje architektoniczne oraz proces projektowy związany z ich tworzeniem. Zakres rzeczowy badań dotyczy funkcjonalności projektowanych budynków oraz modyfikacji ich wewnętrznej funkcji w czasie. Ponadto praca obejmuje problematykę związaną z lokalizacją nowoczesnych budynków wielofunkcyjnych w środowisku miejskim.

Istotnym aspektem pracy jest relacja pomiędzy budynkiem wielofunkcyjnym a miastem oraz wpływ otoczenia miejskiego na kreowanie budynków wielofunkcyjnych.

### 2.6.3 Zakres miejscowy badań

Zakresem miejscowym przedmiotowych badań jest centrum współczesnego miasta. To właśnie obszary centralne aglomeracji miejskich charakteryzują się najbardziej intensywnym użytkowaniem oraz najbardziej dynamicznymi zmianami w zakresie struktury funkcjonalnej.

### 3 Aktualny stan wiedzy z zakresu obiektów wielofunkcyjnych

Istotą tej części pracy jest przedstawienie struktury architektonicznej obiektów wielofunkcyjnych. Analiza przykładów realizowanych struktur o różnorodnym przeznaczeniu ma na celu przedstawienie obecnego podejścia do ich projektowania. Celem jest wykazanie, że współczesne obiekty wielofunkcyjne są złożonymi systemami, których forma oddziałuje na strukturę miasta na wielu płaszczyznach. *Struktura wielofunkcyjna powinna spełniać wymogi przestrzenne, funkcjonalne, bezpieczeństwa, ekologii i ekonomii (25).*

Do aktualnego stanu wiedzy w omawianym obszarze badań wprowadza nas analiza historycznych przykładów obiektów wielofunkcyjnych. Następnie na podstawie analizy przykładów obiektów współczesnych, opisana została ich struktura oraz cechy charakterystyczne. Analizie poddano również współczesne podejście do projektowania, metodykę projektowania oraz optymalizowanie współczesnych systemów wielofunkcyjnych. Przedstawiony został również problem zmiany sposobu użytkowania budynków, w celu dostosowania ich do nowej funkcji wynikającej z aktualnych potrzeb użytkowników.

#### 3.1 Kontekst historyczny

Już w czasach starożytnych, gdy tworzyły się pierwsze struktury miejskie, dążono do integracji ich funkcji użytkowych. Na rysunku 3.1. przedstawiony został modelowy widok Agory w Atenach z drugiego wieku przed naszą erą. W starożytnej Grecji Agora zaspokajała potrzeby dużej ilości użytkowników na ograniczonej przestrzeni. *W okresie klasycznym Agora ateńska była miejscem handlu, a także wielkich zgromadzeń mieszkańców i debat politycznych. W tym miejscu odbywały się wybory urzędników i sądy skorupkowe, wystawiano sztuki teatralne, a także organizowano zawody sportowe (39).*

Architekturę Agory możemy określić mianem wielofunkcyjnego zespołu obiektów, który był ważnym elementem miasta, integrującym jego przestrzeń i jego mieszkańców. Znajdowały się tam budynki o różnorodnym przeznaczeniu. Na miarę możliwości technicznych tamtej epoki Agora przybrała znaczącą skalę zapewniając dynamiczny rozwój życia publicznego.

Najwcześniejsza zachowana myśl teoretyczna *De architectura*, napisana przez Witruwiusza na początku 1 w.n.e. określiła dobry budynek mianem trwałego, użytecznego i pięknego (97).



**Rysunek 3.1.** Agora: model Agory w Atenach, jak mogła wyglądać w 2 w. p. n. e. American School of Classical Studies at Athens. (<https://www.britannica.com/topic/agora>)

Kolejnym przykładem historycznego obiektu wielofunkcyjnego jest budynek Ratusza Staromiejskiego w Toruniu, przedstawiony na rysunku 3.2. Jest to przykład średniowiecznej architektury mieszczańskiej realizowanej w środkowej Europie. Jak pisze E. Gąsiorowski *obecny kształt ratusz zawdzięcza głównie szeroko zakrojonej inwestycji budowlanej z lat 1391-1399, prowadzonej w stylu gotyckim, prawdopodobnie pod kierunkiem polskiego budowniczego miejskiego, mistrza Andrzeja... Wyburzono wówczas stare budynki handlowe, pozostawiając jedynie wieżę, i dokonano połączenia funkcji administracyjnych, handlowych i sądowniczych w jednym budynku, co było rozwiązaniem unikalnym w ówczesnej Europie* (22). Budynek Ratusza Staromiejskiego w Toruniu, jako przykład obiektu wielofunkcyjnego, jest przejawem dążenia do zintegrowania codziennego życia mieszkańców Torunia poprzez połączenie funkcji administracyjnej, handlowej, sądowniczej oraz reprezentacyjnej. Charakter wielofunkcyjny został tu osiągnięty poprzez znaczną przebudowę budynku. W późniejszym okresie, po nadbudowie o kolejną kondygnację, obiekt ten zawierał w sobie również arsenał oraz bibliotekę. W gęstej strukturze miasta odznacza się on znaczącą kubaturą oraz wyróżnia dominantą w postaci wieży zegarowej.





**Rysunek 3.2.** Ratusz Staromiejski w Toruniu w tkance miejskiej. Widok aktualny.  
fot. W. Kardas, Agencja Gazeta, (<http://torun.wyborcza.pl/torun/51,48723,20927260.html?i=0>)

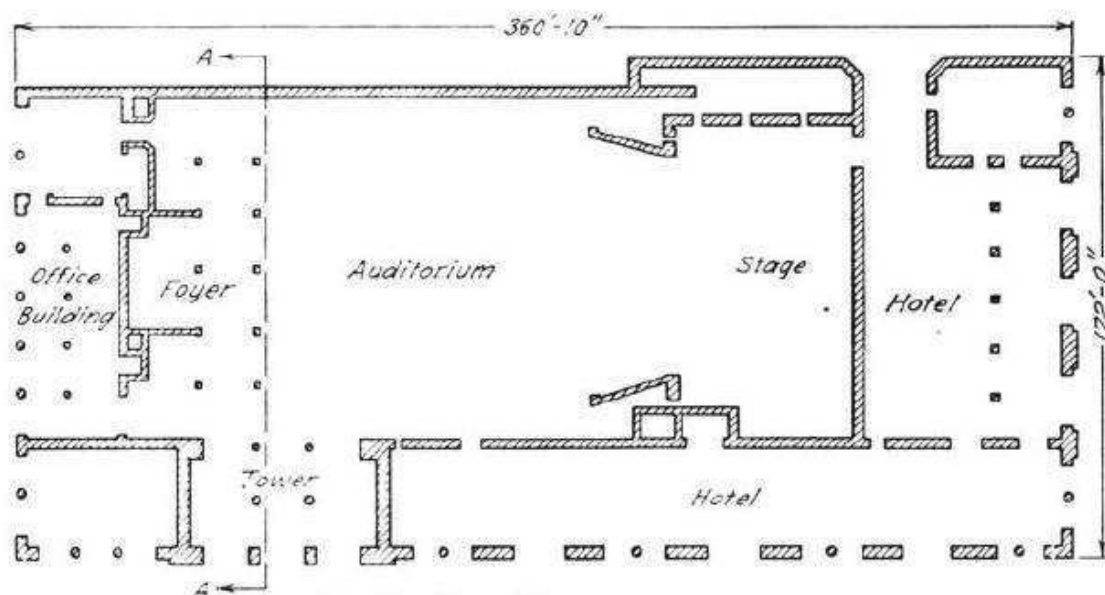


**Rysunek 3.3.** Auditorium Building, Chicago, Stany Zjednoczone. Projekt: Louis H. Sullivan i D. Adler, 1889 r. fot. J. W. Taylor,  
([https://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Auditorium\\_Building17.jpg](https://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Auditorium_Building17.jpg))

Powyższe przykłady są przejawem dążenia do integracji funkcjonalnej, której skala oraz nasycenie były dyktowane możliwościami technicznymi oraz

ekonomicznymi tych epok. Bardziej intensywny rozwój nowoczesnych form wielofunkcyjnych stał się możliwy dopiero po rewolucji przemysłowej, która była początkiem dynamicznych zmian cywilizacyjnych. Jak pisze C. Głuszek *nowe budowle i elementy w historycznej tkance są przejawem ciągłości historycznego rozwoju struktur przestrzennych i zmieniających się potrzeb użytkowników* (29).

Rozwój technologiczny oraz rozwój produkcji przemysłowej zapewniły możliwość tworzenia się rozbudowanych aglomeracji miejskich, które przybrały rozmiar wielokrotnie większy niż do tej pory. Obszary zurbanizowane nasycone bardzo dużą ilością infrastruktury zaczęły rozwijać się w kierunku wertykalnym. Teren w obszarze zabudowanym musiał zaspakajać potrzeby rosnącej liczby mieszkańców o różnorodnych potrzebach. Powyżej na rysunku 3.3. przedstawiony został budynek Auditorium Building w Chicago w Stanach Zjednoczonych Ameryki, projektu architektów z tak zwanej Szkoły chicagowskiej. Obiekt ten jest przykładem w jaki sposób zmieniło się podejście do projektowania w stosunku do epok minionych. *W XIX wieku budynek ten był najbardziej znanym na świecie budynkiem w Chicago. Stanowił symbol odbudowy miasta po pożarze w 1871 roku oraz jego bogactwa, kulturalnych aspiracji i kreatywności. ... Budynek mieścił w sobie scenę z widownią liczącą 4237 osób, ponadto hotel na czterysta pokoi oraz sto trzydzieści sześć biur* (46). Auditorium Building został zaprojektowany przede wszystkim jako stała scena operowa. Utrzymanie tej sceny miały zapewniać mieszczące się w tym samym budynku funkcje komercyjne (biura, hotel itp.) (98). Wejście do teatru znajduje się w dziewiętnastopiętrowej wieży... pozostała część struktury posiada wysokość dziesięciu pięter. Układ opisywanego budynku przedstawiony został na rysunku 3.4. Analiza rysunku ukazuje, że rozkład obciążenia na powierzchni budynku jest bardzo nierównomierny. Pod wieżą stężenie obciążenia jest bardzo duże. Z drugiej strony, poniżej posadzki teatru masa materiału wydobytego z piwnicy jest większa niż zaprojektowane obciążenie budynku. Ponadto, wymagania dla głównej sali w podpiwniczeniu, szczególnie pod sceną, sprawiły, że konieczne jest ustalenie fundamentów poniżej górnej części wysuszonych warstw gliny. Wszystkie te czynniki zaproponowali architekci Adler i Sullivan, twierdząc, że fundamenty muszą być zaprojektowane z większą starannością. Pan Adler był sam inżynierem o dużych umiejętnościach i pracował w General Sooy Smith jako konsultant od konstrukcji fundamentowych (65).



**Rysunek 3.4.** Rzut parteru, Auditorium Building, Chicago, Stany Zjednoczone. Projekt: Louis H. Sullivan i D. Adler, 1889 r. (65).

Nurt Szkoły chicagowskiej znany jest z wprowadzenia elementów komercyjnych w architekturze. Według C. W. Condit'a architekturę Szkoły chicagowskiej należy interpretować z kilku punktów widzenia: *po pierwsze, w odniesieniu do technik konstrukcyjnych oraz formy budynków, którą one umożliwiają; po drugie w odniesieniu do nowego spojrzenia na estetykę zewnętrzną nowoprojektowanej formy budynku dla XIX wieku; i wreszcie w stosunku do późniejszego rozwoju tej stylistycznej rewolucji, którą zaczęła. ... Bardziej bezpośrednie znaczenie dla architektów, zwłaszcza Szkoły chicagowskiej, miało zastosowanie żelaza w konwencjonalnym typie zabudowy* (8). Jednak kluczowym osiągnięciem w architekturze dla omawianego nurtu stało się podejście określane mianem funkcjonalizmu, objęte w czasach późniejszych terminem modernizmu. Zaawansowane struktury konstrukcyjne stały się czynnikiem, który umożliwił kreowanie złożonych zespołów funkcjonalnych jakie do tej pory nie były budowane oraz na skalę, która wcześniej nie była osiągalna (rysunek 3.5.).

Określany mianem twórcy wysokościowców L. H. Sullivan pisze *... forma zawsze podąża za funkcją, i to jest prawo. Jeżeli funkcja się nie zmienia, forma się nie zmienia. Granitowe skały, zawsze tajemnicze wzgórza, pozostaną na wieki; piorun żyje, wchodzi w kształt, i zamiera, w mgnieniu oka* (84).



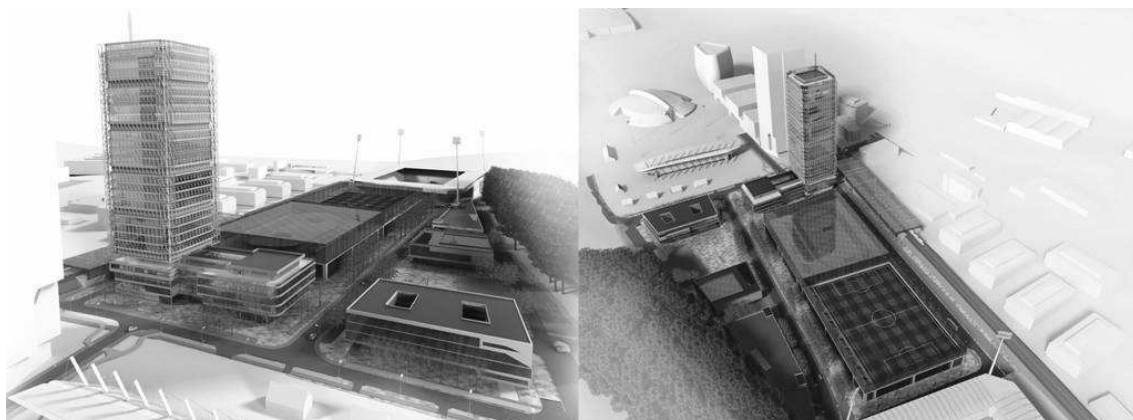


**Rysunek 3.5.** Midtown Manhattan widziany z Rockefeller Center w 1932 roku, Nowy Jork, Stany Zjednoczone. Autor nieznany.  
(<https://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:NewYorkCityManhattanRockefellerCenter.jpg>)

### 3.2 Struktura formalna obiektów wielofunkcyjnych

W niniejszej części pracy przedstawione zostały przykłady, które obrazują w jakiej skali jest obecnie stosowana integracja funkcji oraz jakie daje ona możliwości w odniesieniu do otoczenia. *Budynek wielofunkcyjny, to taki obiekt, który zawiera w swoim programie funkcjonalno-użytkowym co najmniej dwie funkcje. Aktualne tereny metropolitalne charakteryzują się typowo wielofunkcyjnym sposobem zabudowy. Warto jednak podkreślić, że wielofunkcyjność nie zawsze wiąże się z efektywnością. Istotą problemu jest łączenie ze sobą odpowiednich funkcji dla danej lokalizacji, w relacjach z otoczeniem (28).* Przedmiotem badań w niniejszej rozprawie są budynki o złożonej strukturze funkcjonalno-użytkowej, które obejmują w swoim zakresie nie tylko kilka połączonych ze sobą funkcji, ale także elementy strukturalne łączące przestrzeń miejską w szerokim kontekście.

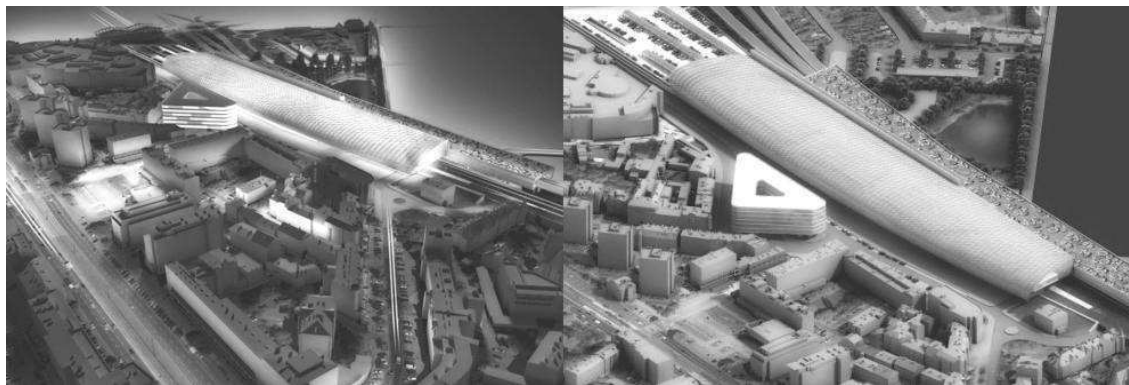




**Rysunek 3.6.** Zespół budynków użyteczności publicznej - Centrum im. Mariana Mokwy w Gdyni. Projekt dyplomowy magisterski: Mateusz Gerigk WAPG, 2011 r. a) Perspektywa (z lewej); b) Widok z lotu ptaka (z prawej). (24)

Przedstawiony na rysunku 3.6. projekt Centrum im. Mokwy w Gdyni (24), to obiekt wysokościowy, zawierający w programie funkcjonalnym przestrzeń biurową, konferencyjną, gastronomiczną, magazynową, oraz garaż podziemny. Częścią przedstawionego projektu jest koncepcyjna lokalizacja przystanku Pomorskiej Kolei Metropolitalnej. Zestawienie funkcji w danej lokalizacji ma za zadanie usprawnić warunki komunikacyjne na terenie, na którym znajdują się wielkogabarytowe obiekty sportowe. Dodatkowo obiekt ten wpisuje się funkcjonalnie w otoczenie uzupełniając jego program o zabudowę o charakterze biurowym.

Budynek wielofunkcyjny może stać się integralną częścią użytkową przestrzeni miejskiej. Na rysunku 3.7. przedstawiony został przykład rewitalizacji stacji kolejowej w Gdańsku Wrzeszczu autorstwa pracowni projektowej „Fort” z Gdańska. *Podstawowym celem tego projektu jest zaspokojenie funkcji o charakterze transportowym. Obiekt ten zapewnia obsługę dworca kolejowego, obsługę komunikacji kołowej jak i pieszej. Dodatkowo pod futurystyczną szklaną powłoką zlokalizowane zostały funkcje o charakterze handlowym, usługowym, rekreacyjnym oraz administracyjnym* (28). Obiekt usytuowano ponad infrastrukturą transportową (trakcji i dworca kolejowego), która stanowi barierę w kształtowaniu ciągłości przestrzeni urbanistycznej. Proponowana koncepcja jest godna uwagi ze względu na spójne łącznie przerwanej funkcjonalnej struktury miasta.



**Rysunek 3.7.** Rewitalizacja stacji kolejowej Gdańsk - Wrzeszcz oraz terenów sąsiadujących. Projekt koncepcyjny: Fort Architekci: P. Mazur, A. Taraszkiewicz, W. Targowski, M. Skrzypek - Łachińska, 2010 r. a) Widok z lotu ptaka nocą (z lewej).; b) Perspektywa (z prawej). (<http://www.fort-architekci.pl>)



**Rysunek 3.8.** Stacja Melbourne's Flinders St., Melbourne, Australia. Projekt koncepcyjny: Zaha Hadid Architects, BVN Architecture, 2013 r. a) Perspektywa (z lewej).; b) Widok z lotu ptaka (z prawej). (<http://www.archdaily.com/412837/the-flinders-street-station-shortlisted-proposal-zaha-hadid-architects-bvn-architecture>)

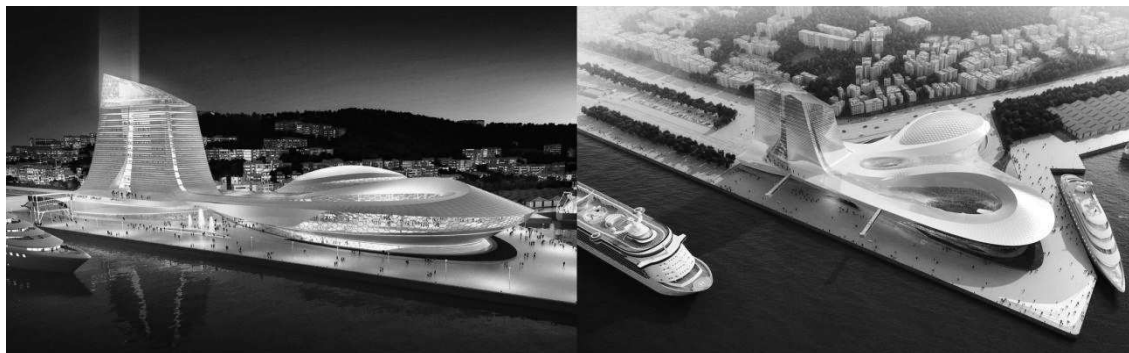
Na rysunku 3.8. przedstawiony został projekt koncepcyjny Stacji Melbourne's Flinders St. autorstwa Zaha Hadid Architects oraz BVN Architecture. Jest on integralną częścią istniejącego dworca kolejowego. Głównym celem projektu było stworzenie nie tylko stacji kolejowej, ale także wielofunkcyjnego centrum transportowego. Prezentowany projekt zawiera w sobie funkcje obsługi transportowej dworca, które stanowią spójny element miejskiego systemu logistycznego, oferujący duże powierzchnie przeznaczone na cele publiczne. Ponadto wielopoziomowa struktura stanowi punkt orientacyjny w przestrzeni miasta, posiadający w programie użytkowym gastronomię, wielopoziomową powierzchnię biurową oraz platformę widokową.



**Rysunek 3.9.** De Rotterdam, Rotterdam, Holandia. Projekt: OMA, Rem Koolhaas, 2013 r. a) Perspektywa (z lewej). (<http://media-cdn.tripadvisor.com/media/photo-s/05/54/e9/09/facade-de-rotterdam.jpg>); b) Schemat funkcjonalny (w środku). (<http://www.designbuild-network.com/projects/de-rotterdam/images/3-de-rotterdam.jpg>) c) Widok od frontu (z prawej). (<http://www.studiovandamme.com/wp-content/uploads/2013/10/Rotterdam-Wilhelminapier-NL2.jpg>)

Obiekt De Rotterdam (zaprojektowany przez biuro architektoniczne OMA) przedstawiony na rysunku 3.9. jest przykładem współczesnego obiektu wielofunkcyjnego. Jego struktura prezentuje pionowe nawarstwienie funkcji miejskich. Składa się z trzech połączonych ze sobą wież zawierających biura, apartamenty, hotel, centrum konferencyjne, sklepy, restauracje, kawiarnie oraz liczne inne usługi. *Projekt powstał na terenie dawnej dzielnicy portowej i jest impulsem do dynamicznej rewitalizacji tego rejonu miasta (28).* Dzięki zastosowaniu formy wysokościowej możliwe było wprowadzenie dużej ilości funkcji, co pozwoliło wygenerować znaczącą siłę oddziaływania na duży fragment miasta.

Niezależnie od lokalizacji obiekty wielofunkcyjne zawierają w swoim programie użytkowym coraz większą ilość funkcji, co w połączeniu z dążeniem do intensywnego wykorzystania terenu wiąże się z projektowaniem coraz wyższych i coraz bardziej złożonych struktur. Na rysunku 3.10. przedstawiony został projekt koncepcyjny Terminalu portowego Keelung na Tajwanie autorstwa Asymptote Architecture. Przedłożony projekt stanowi odpowiedź na zadanie konkursowe postawione przez władze miasta.



**Rysunek 3.10.** Terminal portowy, Keelung, Tajwan. Projekt koncepcyjny: Asymptote Architecture: H. Rashid, L. A. Couture, 2012 r. a) Perspektywa (z lewej). b) Widok z lotu ptaka (z prawej). (<http://www.asymptote.net/keelung-slide-show>)

Ze względu na uwarunkowania topograficzne oraz gęstą zabudowę Keelung potrzebuje kompleksowo zaprojektowanego budynku obsługi portu, który w sposób minimalny ingerowałby w środowisko naturalne, zapewniając przy tym możliwości dalszego rozwoju portu. Proponowany obiekt ma za zadanie zwiększyć zdolności eksploatacyjne portu poprzez obsługę zarówno towarową jak i pasażerską. We wnętrzu mają znaleźć się przestrzenie biurowe, obsługi pasażerskiej, handlowe oraz rekreacji. Obiekt ma być również spójnie połączony z obsługą transportu komunikacji publicznej oraz indywidualnej.

### 3.3 Współczesne podejście do projektowania obiektów wielofunkcyjnych

Opisując przestrzeń miejską, K. Zielonko - Jung wykazuje, że *powszechnie znane zasady kształtowania budynków nie są wystarczające. W przypadku zwartej zabudowy miejskiej istnieje konieczność selektywnego wyboru znanych rozwiązań bądź ich modyfikowania, tak by odpowiadały indywidualnym możliwościom danej lokalizacji* (103).

E. Kent, E. Reshef i B. Politi w 1995 roku opublikowali studium przypadku dla wielofunkcyjnego budynku na potrzeby edukacji dla lokalnej społeczności. W powyższej pracy sformułowany został model dla budynku wielofunkcyjnego. Przedstawione zostały tu również: charakterystyka programowa, charakterystyka fizyczna oraz kwestie związane z zastosowaniem modelu przedmiotowego budynku. Opisane zostały funkcje budynku oraz zależności pomiędzy nimi przedstawione w formie schematycznych diagramów. W podsumowaniu autorzy formułują wniosek,



*że projekt zagospodarowania terenu oraz krótkoterminowe jak i długoterminowe plany budynku mają wpływ na decyzję, czy budynek stanowi czasowe czy też trwałe rozwiązanie dla usług przeznaczonych dla niego w najbliższej przyszłości; oraz gdzie lokalizować budynek o długoterminowym przeznaczeniu (36).*

Tematyka budynków wielofunkcyjnych blisko wiąże się z architekturą „inteligentną”, którą opisuje J. Kopietz - Unger. Jako przykłady przedstawia ona obiekty tworzone przez interdyscyplinarne zespoły pod kierownictwem architektów oraz przyszłych użytkowników. Wprowadzone zostało pojęcie budynków hybrydowych, *łącznie pomieszczenia do pracy i mieszkania, tworząc moduły, których przeznaczenie można zmieniać w zależności od potrzeb. Architekci opracowują w projekcie modele podziału wnętrza i fasad. Mieszkańcy wybierają moduł, który w późniejszym okresie może zostać powiększony lub pomniejszony, w zależności od potrzeb mieszkańców. Przedstawiony został projekt budynku hybrydowego, realizacji Bieling und Partner Architekten. W budynku „Hybride Erschließung” znajduje się około 20 lokali, o powierzchni od 43 do 120 m<sup>2</sup>. Struktura pomieszczeń pozwala na dowolne połączenie mieszkań i miejsc pracy w jednym domu. Funkcje są wyraźnie oddzielone. Podział funkcji jest widoczny już na parterze. Wejście do powierzchni handlowych i biur znajduje się od wschodu, a do mieszkań wchodzi się od zachodu. Schody wewnętrzne z dwoma wejściami z różnych stron pozwalają na podział funkcji na wyższych kondygnacjach. Jednostki mieszkaniowe oraz usługowe mogą zostać oddzielone i działać niezależnie od siebie, ale mogą także bez dużego wysiłku zostać połączone. Połączenie jednostek może nastąpić na całej powierzchni stropu. Możliwość łączenia lokali istnieje także w pionie, aby uzyskać dwupoziomowe jednostki lub wspólny obszar roboczo-mieszkaniowy (38).* Przedstawiony fragment tekstu świadczy o dużym potencjale architektury wielofunkcyjnej, która w łatwy sposób może być modyfikowana w czasie. Powyższy przykład dotyczy obiektu o stosunkowo małej skali. Uwarunkowania, jakie stwarza intensywnie zagospodarowane centrum miasta są dużo bardziej złożone.

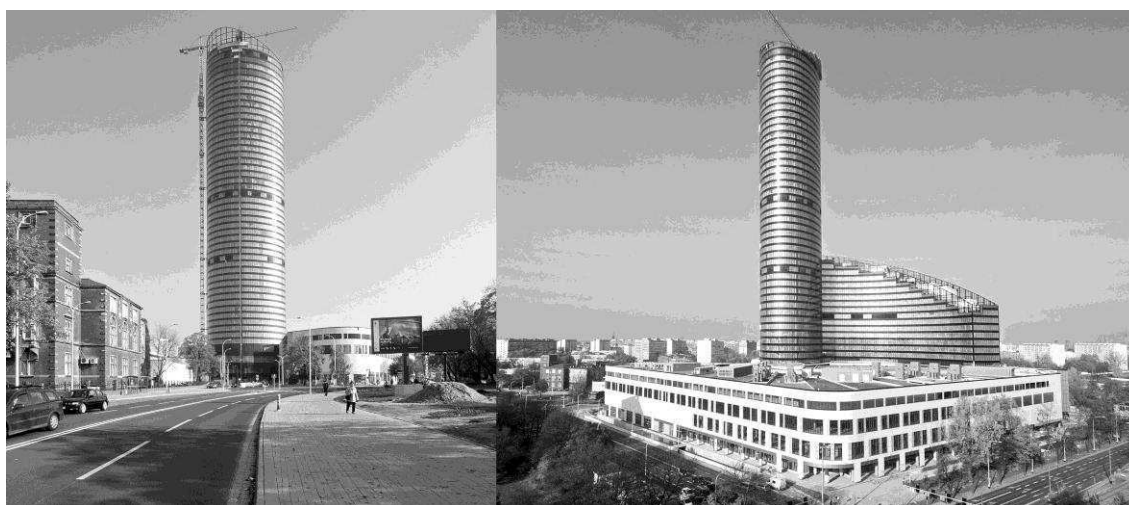
W rozprawie doktorskiej opisującej wpływ współczesnych obiektów handlowych na strukturę śródmieść, S. Ledwoń wprowadza tezy, które zasługują na uwagę w odniesieniu do tworzenia obiektów wielofunkcyjnych: *Możliwa jest realizacja obiektów handlowych zintegrowanych funkcjonalnie i przestrzennie ze strukturami śródmiejskimi. ... Możliwe jest sterowanie dalszym rozwojem współczesnych obiektów handlowych (42).* Powyższe tezy zostały uzasadnione poprzez analizę obiektów, które

cechują pozytywne relacje ze śródmieściami. *Powodują one na przykład wzmacnianie ogólnej oferty usługowej, stają się interesującymi elementami kompozycji urbanistycznej o architekturze wysokiej jakości, poprawiają jakość przestrzeni publicznej i wizerunek dzielnicy centralnej. Takie oddziaływanie jest warunkowane integracją obiektu handlowego ze strukturą śródmiejską* (42). Autor opisuje dalej, że integracja polega na doborze rodzaju i wielkości programu, lokalizacji oraz formy architektoniczno - urbanistycznej tego obiektu. *Miasto i obiekt... mogą się wzajemnie uzupełniać. Ograniczenie negatywnych oddziaływań obiektów... oraz wspomaganie ich integracji ze strukturami śródmiejskimi wymaga kontrolowania ich rozwoju* (42). Według S. Ledwonia *wymagane jest opracowanie takich metod, narzędzi i procedur sterowania dalszym rozwojem obiektów handlowych, które pozwolą na ukierunkowanie tego rozwoju, na wspomaganie rozwoju śródmieść, a nie ich degradację* (42). Współcześnie tworzone obiekty handlowe ewidentnie kwalifikują się do grupy obiektów wielofunkcyjnych. Zatem można stwierdzić, że propozycja integracji funkcjonalnej oraz umożliwienia przekształcania funkcjonalnego obiektu w czasie, może nieść ze sobą również korzyści dla wydajności i dalszego rozwoju nie tylko samych budynków, ale również i ośrodków miejskich.

Jak zauważa P. Szewczyk, *nie monitoruje się proporcji pomiędzy ukształtowanymi dośrodkowo przestrzeniami centrów handlowych a miejscami ogólnodostępnymi..., czego efektem jest brak strategii służących ich równoważeniu w wielu miastach. Prowadzi to do ograniczeń dostępności i przzerwania ciągłości przestrzeni publicznej, jak również pustoszenia obszarów śródmiejskich* (85). Powyższe stwierdzenie pokazuje jak istotny jest sposób kształtowania obiektów wielofunkcyjnych w odniesieniu do otoczenia, w którym się znajdują, oraz które same mogą kreować.

Na rysunku 3.11. przedstawiony został budynek Sky Tower zlokalizowany we Wrocławiu, którego ostateczny projekt opracowany został przez architekta Dariusza Dziubińskiego. Wcześniej nad projektem pracowała firma architektoniczna Walas sp. z o.o., firma konstrukcyjna BWL Projekt oraz RWDI z Londynu, gdzie wykonane były analizy aerodynamiczne (79). Sky Tower został zaprojektowany jako złożony kompleks wielofunkcyjny. Jak przekazuje w wywiadzie Ł. Magdziarz *Sky Tower to swoiste miasto w mieście. Jest to zespół zabudowy apartamentowej z galerią handlową i strefą rekreacyjną oraz częścią biurową. W ofercie użytkowej obiektu znajdują się baseny, kort tenisowy, galeria sztuki, przychodnia, centrum SPA i fitness, ogród zimowy o powierzchni około 1000 m<sup>2</sup> z boiskiem do minigolfa* (63). Sky Tower

w kategoriach wysokość do dachu oraz wysokość do najwyższego położonego piętra jest najwyższym budynkiem w Polsce... Wysokość całkowita wynosi około 215 m... Komplex składa się z trzech budynków. Pierwszy - czterokondygnacyjny od piętra -1 do 2 podest. Budynek drugi, to 51 - kondygnacyjna wieża, w której znajdują się apartamenty oraz przestrzenie biurowe. Na dachu wieży jest klatka meteorologiczna oraz taras widokowy. Na 49 piętrze znajduje się najwyższy położony w Polsce oszklony punkt widokowy. Budynek trzeci, 19 - piętrowy, kaskadowy "żagiel", w którym znajdują się apartamenty oraz przestrzeń biurowa (78). Całkowita powierzchnia obiektu wynosi 171 tys. m<sup>2</sup> (80).



**Rysunek 3.11.** Sky Tower, Wrocław, Polska. Projekt wykonawczy: Dariusz Dziubiński Studio Architektoniczne "Fold" na podstawie koncepcji: Łukasz Magdziarz - Walas Sp. z o.o., 2012 r.  
a) Widok ze skrzyżowania ul. Wielkiej i Zaporoskiej (z lewej). (<http://dolny-slask.org.pl/954339,foto.html?idEntity=513567>)  
b) Widok od strony skrzyżowania ul. Powstańców Śląskich i Radosnej (z prawej). (<http://dolny-slask.org.pl/954363,foto.html?idEntity=513567>).

Powyższy przykład prezentuje podejście do projektowania budynków wielofunkcyjnych w skali kwartału. Warto zaznaczyć, że przedstawiona struktura wpisuje się w trend rozwoju współczesnych obszarów miejskich, które dążą do promowania skoncentrowanej zabudowy wysokościowej. Na rysunku 3.12. a) przedstawiony został widok z lotu ptaka na centrum Nowego Jorku, którego struktura składa się z bardzo dużej ilości obiektów wysokościowych o charakterze wielofunkcyjnym. Rozwój wielu współczesnych miast ukierunkowany jest na wzór zaprezentowanej metropolii. Na rysunku 3.12. b) pokazany został widok na Singapur, który tak jak Nowy Jork ukształtował strukturę centrum miasta poprzez zabudowę o charakterze wielopoziomowym. Na pierwszym planie rysunku ujęty został fragment

kompleksu hotelowego Marina Bay Sands zaprojektowanego przez Moshe Safdiego i zrealizowanego w 2011 roku. Jest to przykład obiektu wielofunkcyjnego, którego powierzchnia całkowita wynosi 845 tys. m<sup>2</sup>. W „podstawie” budynku znajduje się muzeum, dwie sale teatralne na 4 tys. osób, kasyno, punkty handlowo - usługowe oraz gastronomiczne wraz z funkcjami uzupełniającymi. Na „podstawie” zlokalizowane są trzy wieże wysokościowe o przeznaczeniu hotelowym. Zwieńczeniem budynku, na 55 piętrze, jest rozbudowany taras widokowy, gdzie znajduje się przestrzeń o charakterze rekreacyjnym z najdłuższym basenem zewnętrznym na świecie, gastronomią oraz ogrodem (75).



**Rysunek 3.12.** a) Centrum Nowego Jorku, Stany Zjednoczone. Widok z lotu ptaka. (z lewej). (<http://new.driftwooddreaming.co.uk/wp-content/uploads/2010/11/NY-BW-sky-line-3.jpg>)  
b) Centrum Singapuru. Widok z lotu ptaka. (z prawej). (<http://exploresingapore.sg/wp-content/uploads/2016/06/Teo-Soon-Haur-Aerial-Photography-Singapore-MBS-Skypark-1.jpg>).

Wraz z rozwojem potrzeb i aspiracji inwestorów oraz władz zarządzających rozwojem miast, promowane są struktury oferujące użytkownikom funkcje zaaranżowane w coraz bardziej efektowny sposób. Coraz częściej projektowane kompleksy wielofunkcyjne osiągają ogromną wysokość i kubaturę. Najwyższy budynek na świecie (przedstawiony rysunku 3.13. a)) jest złożoną strukturą wielofunkcyjną. Burj Khalifa (w tłumaczeniu na język polski "wieża Chalify") zaprojektowana została przez A. Smitha z przedsiębiorstwa Skidmore, Owings and Merrill LLP. Obiekt został ukończony w 2010 roku. Jego wysokość wynosi 828 m i obejmuje 162 kondygnacje. Powierzchnia, która wynosi 280 tys. m<sup>2</sup> zawiera biura, handel, usługi, lokale mieszkalne oraz hotel (81). Jak podkreślają projektanci *wysokość, tak jak powszechnie stosowany wiatr oraz światło słoneczne, mogą być dodatkowym źródłem energii* (44). Podejście projektowe przedstawione powyżej pokazuje w jaki sposób zostały uwzględnione dodatkowe kryteria w celu osiągnięcia najlepszej efektywności projektowanej struktury.



Kształtowanie skomplikowanych obiektów wielofunkcyjnych o dużej skali wiąże się z koncentracją funkcji oraz optymalizacją przestrzeni w obiekcie, jak i w jego otoczeniu. Poszukiwanie najbardziej praktycznych rozwiązań pozwala zaspokoić potrzeby zarówno materialne, społeczne jak i związane z ochroną środowiska. Biorąc pod uwagę powyższe, istotną kwestią jest to, w jaki sposób duży obiekt oddziałuje na otoczenie.

W Chengdu w Chinach w 2013 r. został wzniesiony największy kubaturowo budynek wielofunkcyjny na świecie. (rysunek 3.13. b). New Century Global Center o wysokości 100 m, długości 500 m oraz szerokości 400 m posiada 18 pięter. Jego powierzchnia użytkowa wynosi 1 700 tys. m<sup>2</sup>. Funkcjonalnie wewnątrz jest podzielone na cztery główne obszary przeznaczenia: hol główny - lobby, część hotelową o powierzchni około 400 tys. m<sup>2</sup>, park wodny w centralnej części oraz osiemnastokondygnacyjną część biurową o powierzchni użytkowej około 700 tys. m<sup>2</sup>. W programie użytkowym znajduje się „nadmorski kurort” ze zbiornikiem wodnym. Przy zbiorniku zlokalizowana jest sztuczna plaża o szerokości 400 m i powierzchni 5 tys. m<sup>2</sup> oraz największy wyprodukowany na świecie ekran LED. Kompleks zawiera kino z 14 salami, olimpijskie lodowisko, dwa 5 - gwiazdkowe hotele, centra handlowe, kilka obszarów ogólnodostępnych i rekreacji o tematyce śródziemnomorskiej. Ponadto obiekt zawiera teatralną salę koncertową na 1000 osób, centrum konferencyjne o powierzchni 10 tys. m<sup>2</sup>, przestrzenie ekspozycyjne o powierzchni 12 tys. m<sup>2</sup>, galerię sztuki oraz garaż na 15 tys. pojazdów (56). Część biurowa posiada 16 niezależnych wejść oraz 244 nowoczesne dźwigi windowe. Obiekt jest wyposażony w inteligentny system zarządzania budynkiem. Infrastruktura obiektu tworzy węzeł komunikacji kołowej indywidualnej na skrzyżowaniu głównych dróg miasta, umożliwiając dostęp do krajowych dróg szybkiego ruchu. Częścią obiektu jest rozbudowany przystanek autobusowy oraz stacja metra. Obiekt znajduje się w zasięgu 10 minut od lotniska. W założeniu logistycznym projekt przewiduje połączenie z obszarem ścisłego centrum miasta w czasie do 30 minut (93).



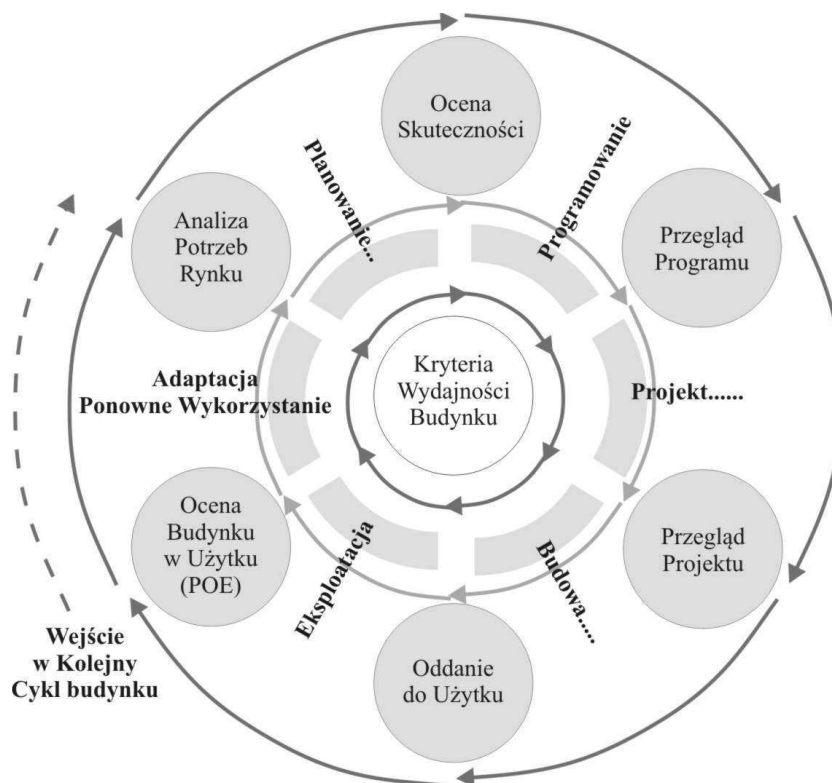
**Rysunek 3.13.** a) Burj Khalifa, Dubaj, Zjednoczone Emiraty Arabskie. Projekt: Adrian Smith, SOM LLP, 2010 r. (z lewej). (<http://vizts.com/burj-khalifa-world-tallest-skyscraper/>)  
b) New Century Global Center, Chengdu, Chiny. Shenzhen Zhongshen Architects Designing Ltd., 2013 r. (z prawej). (<http://s757.photobucket.com/user/davidwei01/media/2013FebShanghai/acaedb54564e9258c64e51df9d82d158ccbf4e12.jpg.html>).

Przedstawione powyżej parametry opisują największy do tej pory zbudowany na świecie kompleks wielofunkcyjny, który zawiera się w jednej kubaturze i zapewnia obsługę bardzo dużej ilości użytkowników. Sprawne funkcjonowanie obiektu nie byłoby możliwe bez rozwiązania problemu logistyki miejskiej. Obiekt zlokalizowany jest przy nabrzeżu, w centralnej części miasta i stanowi swego rodzaju centrum logistyczne obsługi pasażerskiej.

Przykłady najwyższego budynku na świecie oraz największego budynku na świecie wskazują, że aspiracje związane z projektowaniem dużych struktur wielofunkcyjnych są coraz bardziej ożywione. Wbrew pozorom stosowanie tego rodzaju struktur może okazać się pozytywne dla środowiska naturalnego, pod warunkiem, że będą stanowiły one przemyślaną część obszaru aglomeracji miejskiej, inteligentnie z nią połączoną i dobrze współpracującą.

### 3.4 Metodyka projektowania oraz optymalizowania systemów wielofunkcyjnych

Tematyka dotycząca funkcjonowania budynków, zwłaszcza budynków wielofunkcyjnych, jest obecnie przedmiotem badań prowadzonych na szeroką skalę. Interesującym zagadnieniem z tego zakresu jest badanie jakości budynku, czyli post-occupancy evaluation (POE). *POE jest to proces polegający na systematycznym gromadzeniu danych dotyczących wybudowanych obiektów, analizie tych danych oraz porównaniu ich z kryteriami wydajności* (19). Definicję POE bezpośrednio w odniesieniu do korzyści dla architektury przytaczają K. Hadjri i C. Crozier określając ją jako *systematyczne studiowanie budynku w użyciu, aby zapewnić architektom informacje o wydajności ich projektów oraz o ich właścicielach i użytkownikach, w celu tworzenia wytycznych umożliwiających osiągnięcie najlepszych rezultatów* (31). Powyższe stanowisko przedłożone zostało przez Royal Institute of British Architects - RIBA's Research Steering Group w 1991 roku. Badania POE dotyczące wydajności oraz cyklu życia budynków po ich zbudowaniu doprowadziły do stworzenia modelowego procesu związanego z Oceną Wydajności Budynku (Building Performance Evaluation, w skrócie BPE), który przedstawiony został przez W. Preisera i J. Nasara w formie diagramu (rysunek 3.14.) złożonego z kryteriów oceny oraz występujących zależności między nimi. Według autorów BPE, *całkowita wydajność zawiera reprezentację budynku w postaci jego oceny jakości, symboliki i oceny reakcji wpływu na użytkowników. Zrozumienie postrzeganej wizualnie jakości oraz włączenie tej wiedzy w ocenę wydajności budynku może być pomocne w tworzeniu bardziej humanitarnej przestrzeni dla ludzi. Symbolika oraz estetyka nie są oddzielne od funkcji* (69). Połączenie przedstawionych powyżej zagadnień związanych z POE oraz BPE stanowi rozbudowaną wiedzę, która może okazać się przydatna przy projektowaniu obiektów wielofunkcyjnych, w tym obiektów elastycznych funkcjonalnie. Jak pisze J. Uścińowicz, jedynie postęp cywilizacyjny może wyprowadzić ludzkość ze stanu pierwotnego i upadłego. Właśnie z tej koncepcji wyrasta *głęboko zakorzenione przekonanie o konieczności ciągłej innowacji, zmienności warunkującej postęp* (95).



**Rysunek 3.14.** Ocena wydajności budynku (BPE). Model procesu. Opracowanie własne na podstawie (69).

Struktura współczesnych miast w swoim złożonym charakterze jest miejscem lokalizacji dużej ilości obiektów wielofunkcyjnych. Analiza struktury urbanistycznej jest obecnie punktem wyjściowym do kreowania miejskiej architektury jako bardziej funkcjonalnej. W ujęciu krajobrazowym L. Nyka wskazuje na *poszerzenie narzędzi i instrumentów planowania miasta*. Obok analiz kompozycji urbanistycznych struktur i poszukiwania kolejnych zasad jej kształtowania pojawia się potrzeba ujęcia integrującego substancję zbudowaną z warunkami naturalnymi i ich traktowania nierozdzielonego. Wyznaczanie... szlaków przemierzania miasta, generowanie przepływu tego ruchu, uwzględnienie zmian w czasie, a więc przyjęcie myślenia procesowego wydaje się być nieodzowne w strategiach kształtowania współczesnego miasta (61). Pisząc o zmienności miasta, M. Kozaczko określa funkcjonalną zasadę kodu urbanistycznego. *Wszelkie procesy technologiczne zachodzą w przestrzeni, o dwojakim charakterze: przestrzeń przemiany (przetwarzania) masy i energii, oraz przestrzeń wymiany (najszerszej pojętego transportu) substratów i produktów. Znajduje to swoje odzwierciedlenie w konstrukcji kodu urbanistycznego*. M. Kozaczko dochodzi do wniosku, że *jeśli efektywność układu miejskiego ma rosnąć, to udział procesów*

*transportowych w ogólnym bilansie energetycznym musi spadać. Układ podlega zagęszczeniu. Proste zbliżanie budynków do siebie szybko prowadzi do przegęszczenia, powodując kolizje transportowe i - zamiast oszczędności - straty. Aby temu zapobiec, strukturę urbanistyczną poprzez jej konfigurację, można lepiej zagęścić. Następnym zagęszczenia układ zostaje skupiony wokół bardzo ograniczonej przestrzeni transportowej, zyskującej wysoką jakość i efektywność. Większe obiekty kodu powstają z mniejszych dzięki syntaktycznym regułom konfiguracji, zagęszczenia, i skupienia (40).* Powyższa funkcjonalna zasada pozwala przyjąć, że obiekty, które integrują wiele funkcji w jednym budynku wprowadzają korzystne efekty ekonomiczne, społeczne jak i środowiskowe dla otoczenia miejskiego. Budynki wielofunkcyjne mogą stać się również gwarantem rozbudowy systemu logistycznego obsługi miasta jako jego integralna część.

Jak piszą F. Flager, B. Welle, P. Bansal i G. Soremekun *praktycy z Architektury, Inżynierii i Konstrukcji (AEC) zwykle tworzą niewiele alternatyw projektowych przed wyborem ostatecznego projektu. Teoria projektowa wykazuje, że może to prowadzić do tworzenia nierentownych projektów. Przemysł lotniczy i samochodowy natrafił na podobne ograniczenia, gdzie ograniczenia zostały wyeliminowane z wykorzystaniem metody MDO (Multidisciplinary Design Optimization) - Multidyscyplinarnej Optymalizacji Projektu zaimplementowanej w oprogramowaniu PIDO. W rezultacie skutkowało to zredukowaniem czasu cyklu projektowego oraz ulepszoną wydajnością produktu (21).* F. Flager, B. Welle, P. Bansal i G. Soremekun przedstawili badania przypadku z zakresu architektury. Badaniom został poddany przykład projektu jednopokojowego budynku, gdzie przy zastosowaniu oprogramowania PIDO byli w stanie znacznie zwiększyć liczbę cykli projektowych w stosunku do tradycyjnych metod. Zamiast zwykłych dwóch do trzech cykli projektowych w typowym projekcie, przy użyciu dedykowanego oprogramowania byli w stanie przeanalizować ponad pięć tysięcy alternatywnych rozwiązań, z zakresu których mogli wybrać optymalne.

### **3.5 Zmiana sposobu użytkowania obiektów. Nadawanie nowej funkcji**

Budynki w wyniku eksploatacji ulegają zużyciu. Ze względu na ich stan wizualny, technologiczny czy techniczny mogą nie nadawać się do dalszego użytkowania. Stan zużycia jest różny dla każdego budynku i zależy od sposobu projektowania jego komponentów oraz konserwowania go w trakcie eksploatacji.

W momencie, gdy obiekt jest zdegradowany w takim stopniu, że nie nadaje się już do dalszego użytkowania należy go wyburzyć lub przedsięwziąć takie środki, które przywrócą go do stanu użytkowego. Istniejące budynki poddawane są remontowi kapitalnemu co często wiąże się ze zmianą ich funkcji. W zależności od planów inwestycyjnych funkcja w remontowanych budynkach ulega całkowitej zmianie lub modyfikacji. (rysunek 3.15.) Jest to proces zmiany funkcji użytkowej danego obiektu w czasie. Zmiana sposobu użytkowania skutkująca nadaniem nowej funkcji jest zjawiskiem, które poddane analizie może wykazać dodatkowe kryteria, mówiące o tym w jaki sposób mogą być projektowane nowe budynki wielofunkcyjne. Kwestia ta dotyczy modyfikacji struktury budynku wielofunkcyjnego nie tylko w zakresie stanu funkcjonalnego, ale również stanu wizualnego, technologicznego oraz technicznego w trakcie jej eksploatacji.



**Rysunek 3.15.** Proces zmiany sposobu użytkowania budynku. Opracowanie własne.



#### **4 Proponowana metoda badań obiektów wielofunkcyjnych w zakresie funkcjonalności, efektywności, bezpieczeństwa i ochrony środowiska**

Niniejszy rozdział opisuje proponowaną metodę prowadzenia badań nad obiektami wielofunkcyjnymi. Kluczowymi w proponowanej metodzie są aspekty związane z efektywnością i bezpieczeństwem struktury wielofunkcyjnej, oraz ochroną środowiska. Na tym etapie badań wprowadzona jest teoria, która ma na celu dokładne zbadanie zjawisk związanych z projektowaniem złożonych struktur wielofunkcyjnych.

Konieczne wydaje się skonfrontowanie podjętego do rozwiązania problemu z obecnie przyjętymi metodami w zakresie projektowania obiektów wielofunkcyjnych. Proponowana metoda robocza zawiera rozwinięcie standardowych praktyk. Spośród istniejącego zasobu metod wybrane zostały takie elementy, które po uzupełnieniu proponowanymi, będą stanowiły podstawę do opracowania modelu wielokryterialnego projektowania obiektów funkcjonalnie elastycznych.

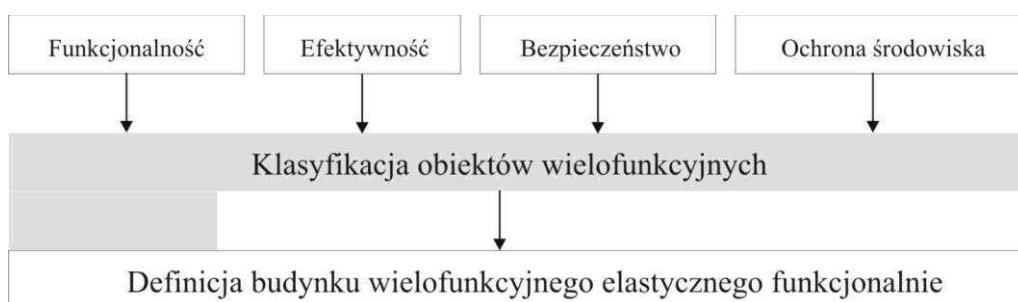
##### **4.1 Opis i struktura metody badawczej**

Ustalenie metody roboczej wymaga kompilacji obecnych doświadczeń w zakresie wielu dziedzin, które dyscyplina architektura i urbanistyka zawiera. Częścią przyjętej metody jest dokładne sprecyzowanie jakiego rodzaju obiekty wielofunkcyjne są przedmiotem rozważań. Pomimo zmieniających się trendów i pomimo różnorodności powstających obiektów wielofunkcyjnych, stosowane podejścia w projektowaniu są do siebie podobne i podporządkowane ustalonym regulacjom prawnym.

Metoda projektowa ma na celu całościowe przedstawienie procesu projektowania obiektu jako złożonego systemu wielofunkcyjnego. Dodatkowo struktura obiektu będzie miała możliwość rekonfiguracji swojego układu funkcjonalnego w czasie. Proponowana metoda zaprezentowana jest w postaci trzech założonych etapów.

Pierwszy etap składa się z analizy elementów o charakterze ogólnym, które powinny być przyjęte na samym początku badań obiektów wielofunkcyjnych. Analiza prowadzona w niniejszym rozdziale pozwoli wyodrębnić podstawowe kryteria niezbędne dla kolejnych etapów ujętych w kolejnych rozdziałach. Schemat analizy przedstawiony został na rysunku 4.1. Jest to analiza elementów struktury dotycząca:

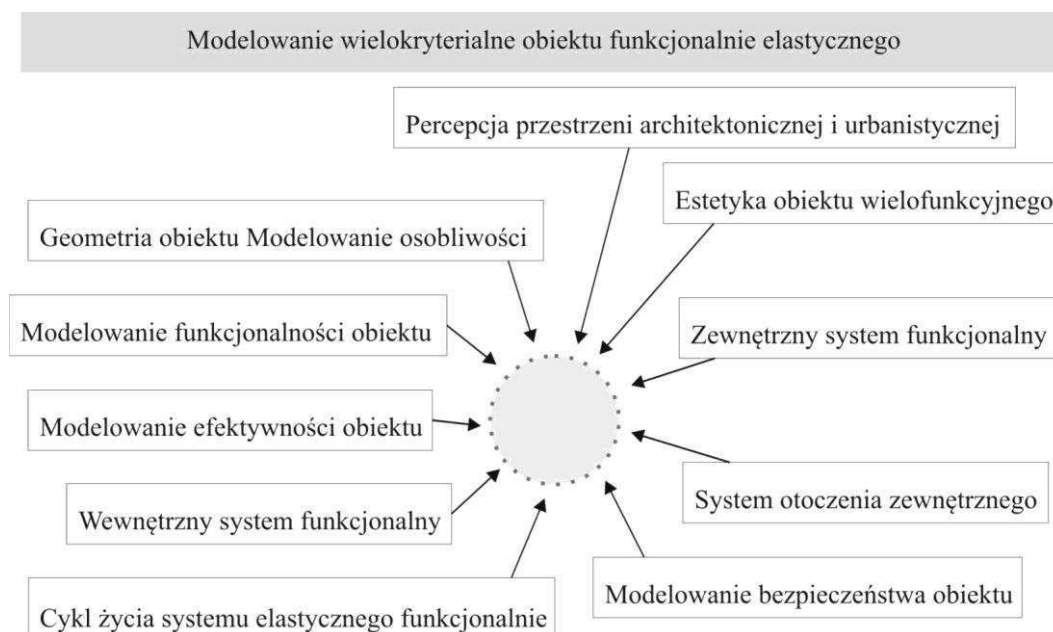
- Funkcjonalności obiektu w zabudowie miejskiej;
- Efektywności budynku w strukturze miejskiej;
- Bezpieczeństwa obiektu;
- Wpływu obiektu na ochronę środowiska;
- Klasyfikacji obiektów wielofunkcyjnych;
- Definicji budynku wielofunkcyjnego elastycznego funkcjonalnie.



**Rysunek 4.1.** Metoda badań budynków wielofunkcyjnych. Opracowanie własne.

Drugi etap stanowi proces modelowania wielokryterialnego obiektów elastycznych funkcjonalnie z uwzględnieniem walorów urbanistycznych, architektonicznych oraz estetycznych. Został on przedstawiony na rysunku 4.2. Proponowane kryteria będą zawierały się w następujących zakresach:

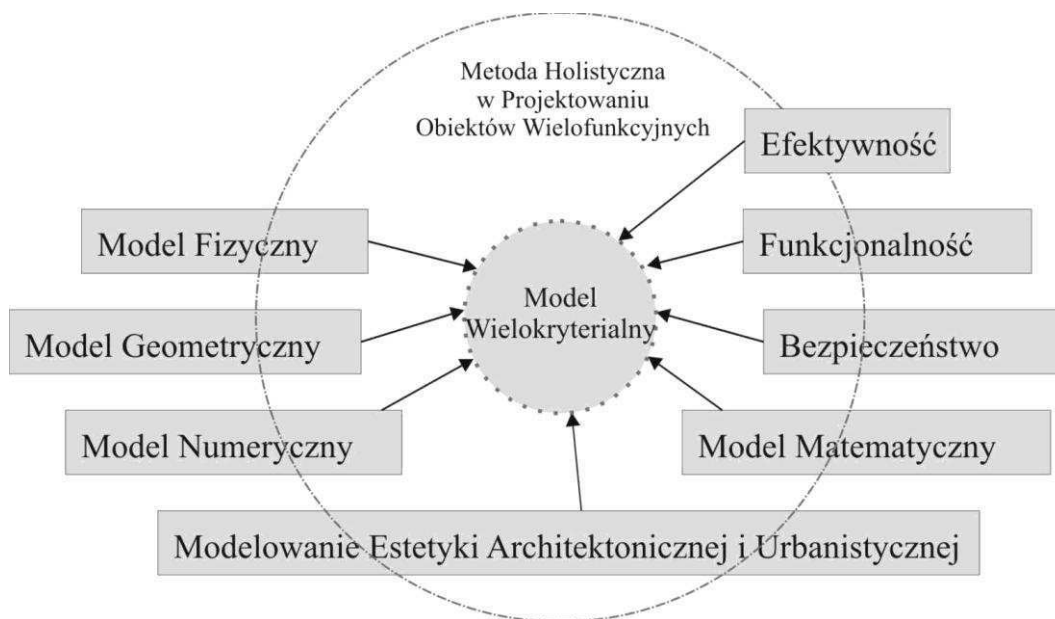
- Percepcja przestrzeni architektonicznej i urbanistycznej;
- Estetyka obiektów wielofunkcyjnych;
- Projektowanie geometrii obiektu;
- Modelowanie funkcjonalności obiektu;
- Modelowanie efektywności obiektu;
- Modelowanie bezpieczeństwa obiektu;
- Cykl życia systemu elastycznego funkcjonalnie;
- Wewnętrzny system funkcjonalny;
- Zewnętrzny system funkcjonalny;
- System otoczenia zewnętrznego.



**Rysunek 4.2.** Proces wielokryterialnego modelowania budynku wielofunkcyjnego elastycznego funkcjonalnie. Opracowanie własne.

Trzecim i ostatnim etapem metody będzie przedstawienie teoretycznego modelu wielokryterialnego projektowania obiektów funkcjonalnie elastycznych z uwzględnieniem ich walorów urbanistycznych, architektonicznych oraz estetycznych. Schemat modelu przedstawiony został na rysunku 4.3. Na tym etapie w formie podrozdziałów opisane są wymienione poniżej elementy:

- Metoda holistyczna w projektowaniu obiektów elastycznych funkcjonalnie;
- Model matematyczny;
- Model geometryczny;
- Model fizyczny;
- Model numeryczny;
- Modelowanie estetyki struktury architektonicznej i urbanistycznej;
- Model funkcjonalny;
- Model efektywności;
- Model bezpieczeństwa;
- Model wielokryterialny.



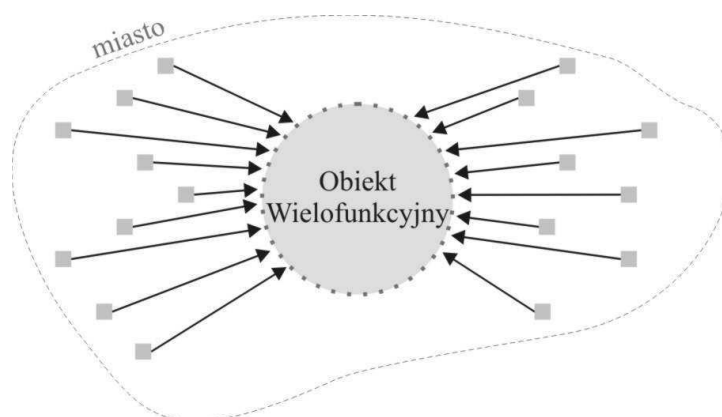
**Rysunek 4.3.** Schemat modelu projektowania obiektów wielofunkcyjnych elastycznych funkcjonalni. Opracowanie własne.

## 4.2 Funkcjonalność obiektu w zabudowie miejskiej

Zabudowa śródmiejska zawiera w swojej strukturze bardzo dużą liczbę funkcji. W związku z obecnymi trendami do tworzenia złożonych struktur wielofunkcyjnych, funkcje te stanowią zbiór elementów możliwych do zintegrowania w jednym obiekcie. Na rysunku 4.4. przedstawiony został zbiór funkcji. Są to funkcje uogólnione, gdzie możliwe by było wprowadzenie dodatkowych wyszczególnień, jednak z punktu widzenia niniejszej rozprawy nie ma potrzeby wprowadzania ich rozdrobnienia. Przytoczone w poprzednim rozdziale przykłady bardzo wyraźnie potwierdzają wzrost funkcjonalności obiektu, który jest wynikiem zintegrowania wielu funkcji. Analizując tendencje w tworzeniu budynków wielofunkcyjnych, poprzez nasycenie ich różnorodnymi funkcjami, użytkownicy mają możliwość realizowania swoich planów w jednym miejscu.



**Rysunek 4.4.** Zbiór funkcji współczesnej aglomeracji miejskiej. Opracowanie własne.



**Rysunek 4.5.** Schemat integracji funkcji współczesnej aglomeracji miejskiej. Opracowanie własne.

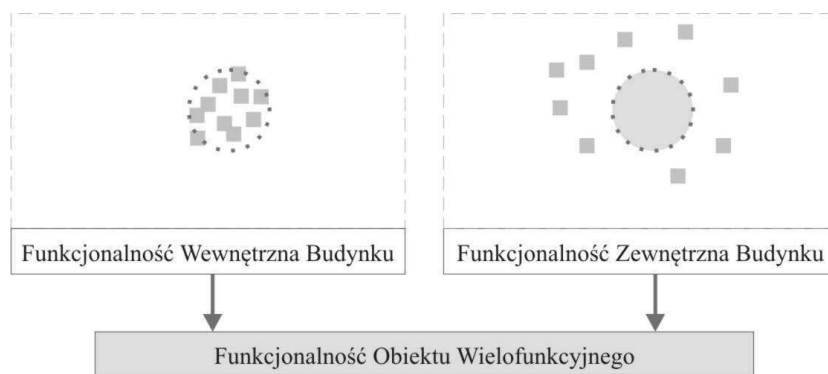
Funkcjonalność budynku wielofunkcyjnego będzie możliwa do określenia dopiero po zintegrowaniu konkretnych funkcji w jego strukturze. Ze zbioru funkcji przedstawionych na rysunku 4.4. możemy tworzyć dowolne struktury obiektów wielofunkcyjnych, gdzie dążenie do ich integracji przedstawione zostało na rysunku 4.5. Sposób zestawiania ze sobą funkcji jest elementem tworzenia struktury, który ma istotny wpływ na funkcjonalność danego obiektu. Zestawiane ze sobą funkcje tworzą pewnego rodzaju system, który bez odpowiedniego procesu projektowego może nie spełnić oczekiwań poprzez nieodpowiednie wewnętrzne relacje funkcjonalne oraz niekorzystny wpływ na otoczenie. Mimo, że regulacje prawne definiują parametry dla poszczególnych rodzajów budynków, jednak w niektórych przypadkach mogą one okazać się niewystarczające. Dlatego projektowanie obiektów wielofunkcyjnych wymaga spełnienia dodatkowych kryteriów w celu zapewnienia funkcjonalności systemu.

Badanie obiektów wielofunkcyjnych jest ściśle powiązane z relacjami funkcjonalnymi w odniesieniu do kontekstu, a mianowicie strukturalnej zabudowy miejskiej. *Istotna jest kwestia relacji miejskiego systemu logistycznego względem struktury urbanistycznej... Budynki wielofunkcyjne są typowym sposobem zabudowy obszarów metropolitalnych. Pozwalają one na kompaktowe oraz intensywne użytkowanie przestrzeni. Celami priorytetowymi dla proponowanego systemu są:*

- *Oszczędność terenu i poprawa jakości przestrzeni miejskiej;*
- *Ekonomiczna komunikacja;*
- *Tańsza infrastruktura techniczna;*
- *Łatwa dostępność usług;*
- *Rewitalizacja nieużytkowanej przestrzeni;*
- *Przeciwdziałanie chaotycznemu rozrastaniu się miast;*
- *Proekologiczny sposób zabudowy;*
- *Integracja systemu miejskiego z systemem ekologicznym;*
- *Stworzenie nowego modelu urbanizacji (26).*

Obiekt funkcjonalny, to taki obiekt, który dobrze spełnia swoją funkcję lub funkcjonuje w jakimś systemie (definicja (11)). Funkcjonalność obiektu wielofunkcyjnego można zatem rozpatrywać równolegle na dwóch płaszczyznach: ze względu na funkcje znajdujące się w obiekcie oraz ze względu na rolę jaką obiekt pełni jako element systemu miasta. Patrząc na strukturę budynku wielofunkcyjnego, jego obrys zewnętrzny wyznacza granicę pomiędzy sferami rozważania funkcjonalności. Patrząc całościowo na funkcjonalność danego obiektu trzeba brać pod uwagę obydwie postaci tej funkcjonalności, co zostało przedstawione na rysunku 4.6.





**Rysunek 4.6.** Schemat funkcjonalności obiektu w zabudowie miejskiej. Opracowanie własne.

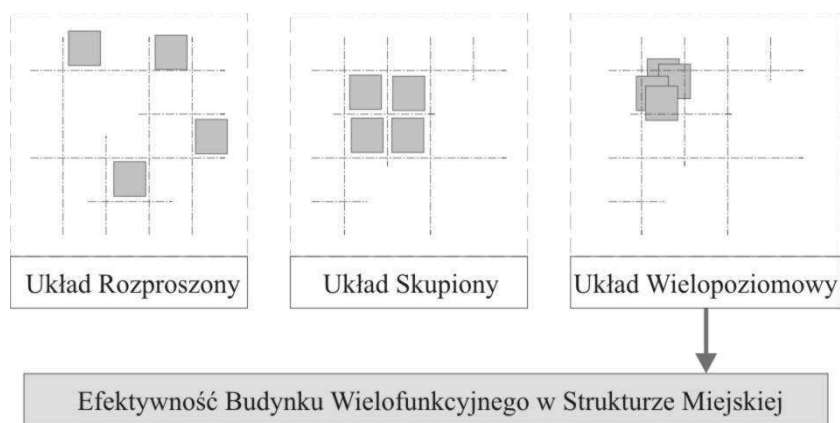
### 4.3 Efektywność budynku w strukturze miejskiej

Efektywny w najprostszym ujęciu oznacza dający dobre wyniki, wydajny (16). Na pełne zrozumienie pojęcia pozwala przedstawienie porównania efektywności z wydajnością. *Różnica między efektywnością (effectiveness) i wydajnością (efficiency) może być ukazana z trzech perspektyw, tj.: a) podejścia systemowego, ukierunkowanego na wejście, gdy mówimy o wydajności, i na wyjście, gdy mówimy o efektywności; b) podejścia organizacyjnego, gdy wydajność jest wynikiem analizy celów poprzez sposób użycia zasobów, co umożliwia jej poprawę poprzez wykorzystanie zaawansowanej technologii i lepszego zarządzania, a efektywność dotyczy ogólnej interpretacji celów; c) podejścia czynnikowego (ilościowego i jakościowego), gdzie rozumienie ilościowe dotyczy wydajności, a jakościowe - efektywności (70), na podstawie (88).*

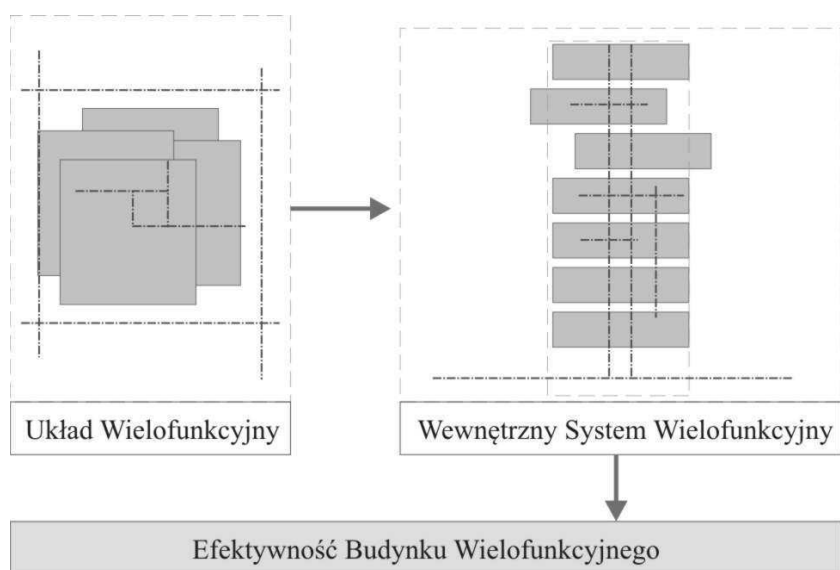
W przypadku budynków wielofunkcyjnych o możliwościach dynamicznej adaptacji, ważnym elementem związanym z efektywnością jest ich wydajność eksploatacyjna. X. Shi i W. Yang prowadzą badania nad techniką projektowania opartą na wydajności i optymalizacji, która według nich jest konieczna z punktu widzenia architekta. Według autorów *projektowanie oparte na wydajności jest filozofią projektowania, która musi być wspierana przez skuteczne oraz efektywne narzędzie symulacji komputerowej. Jednakże, większość jeżeli nie wszystkie problemy projektowania architektonicznego stanowią procesy o wielu parametrach (77).* W odniesieniu do stanowiska, że współczesne środki symulacji komputerowej nie są w stanie zapewnić całkowitej kontroli nad procesem projektowym, istotnym

elementem jest stworzenie modelu teoretycznego, na którego podstawie możliwe by było rozwijanie wielokryterialnej optymalizacji. Ma to bezpośredni wpływ na efektywność projektowanego budynku.

Efektywność budynku wielofunkcyjnego powinna być rozważana, podobnie jak funkcjonalność, w na poziomie funkcjonalności obiektu przestrzeni, którą kształtuje w otoczeniu urbanistycznym. Analizując urbanistykę współczesnego miasta, można wyodrębnić trzy układy rozłożenia funkcji. Układ rozproszony, układ skupiony oraz układ wielofunkcyjny. W tym zestawieniu układ wielofunkcyjny prezentuje największą efektywność, ze względu na koncentrację wielu funkcji w swojej strukturze. Układ wielofunkcyjny w postaci wielopoziomowej struktury stanowi najbardziej wydajny sposób zabudowy przestrzeni miasta.



**Rysunek 4.7.** Efektywność budynku wielofunkcyjnego w strukturze miejskiej. Opracowanie własne.



**Rysunek 4.8.** Efektywność budynku wielofunkcyjnego. Opracowanie własne.

Układ budynku wielofunkcyjnego wymaga utworzenia wielokondygnacyjnej struktury, która zapewni przestrzeń dla integrowanych funkcji miejskich. Wielopoziomowa struktura wielofunkcyjna stanowi system funkcjonalny, w którym funkcje zestawione są w bliskich relacjach. We wnętrzu funkcje łączą się ze sobą, przenikają się i zmieniają w czasie. Proces projektowania takiego obiektu powinien mieć na celu uniknięcie wynikających z układu konfliktów funkcjonalnych. Sposób w jaki zostanie ukształtowana struktura wewnętrzna obiektu wielofunkcyjnego będzie miał istotny wpływ na efektywność całkowitą budynku osadzonego w tkance miasta, co zostało pokazane na rysunku 4.8. Efektywność budynku wielofunkcyjnego powinna być potwierdzona przez spełnienie wszystkich założonych kryteriów projektowych.

#### 4.4 Bezpieczeństwo obiektu

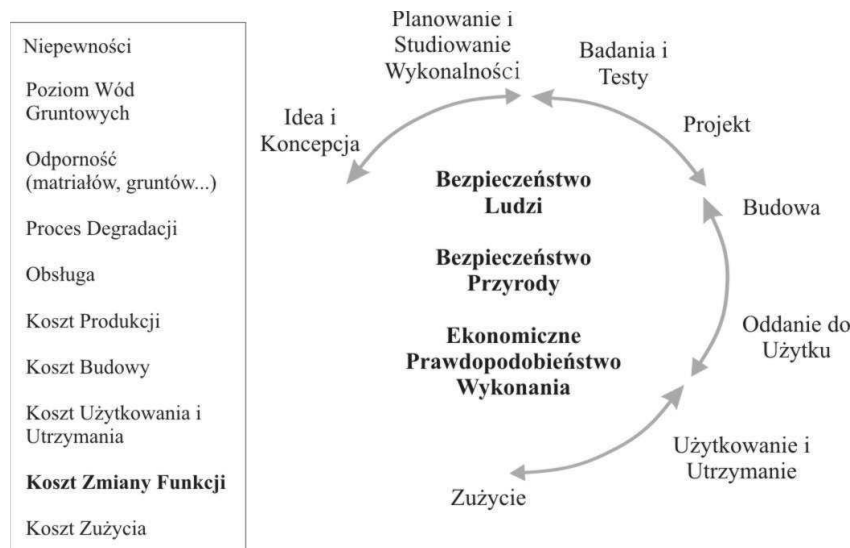
Bezpieczeństwo z definicji przedstawia sytuację, w której prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia jest jak najmniejsze. Bezpieczeństwo ściśle jest powiązane z ryzykiem. Jak definiuje N. Dulac w nawiązaniu do modelowania bezpieczeństwa i zarządzania ryzykiem w złożonych systemach inżynierskich, *ryzyko może przybierać różne formy takie jak zagrożenie projektu (związane z kosztami, harmonogramem czy wydajnością), jak również zagrożeniem finansowym oraz zagrożeniem dla życia ludzkiego* (13). N. Dulac podkreśla, że przyjmuje *rozszerzony punkt widzenia bezpieczeństwa, który obejmuje straty, takie jak straty ludzkie, straty misji lub celów, straty wyposażenia lub materialne i straty środowiskowe* (13). W rozpatrywaniu bezpieczeństwa oraz zarządzania ryzykiem obiektu wielofunkcyjnego powyższa złożona definicja w odpowiedni sposób przedstawia zakres odpowiedzialności spoczywającej na prawidłowo zaprojektowanym systemie inżynierskim.

Istotnym elementem we współczesnym procesie projektowym jest uwzględnienie bezpieczeństwa obiektu. Badania dotyczące projektowania obiektów wielofunkcyjnych pod kątem bezpieczeństwa prowadzą także M. Nilsson, F. Hakan i P. van Hees. *Budynki wielofunkcyjne charakteryzują się wieloma funkcjami społecznymi oraz komercyjnymi lokalizowanymi w jednym budynku lub zespołach połączonych budynków. Prawie każde większe miasto ma jeden lub więcej budynków, które można określić jako wielofunkcyjne, np. zawierające teatry, stację metra, centrum handlowe, gastronomię, biura i hotele, w tym samym budynku. Budynki te często są otwarte dla społeczeństwa, zapewniając obsługę wielu firm i najemców. Często tego typu budynki zawierają ważne*

*funkcje społeczne, takie jak obsługę środków transportu publicznego, urzędy gmin, itp. Wszystkie te czynniki przyczyniają się do ogólnej złożoności, wrażliwości i potencjalnie niedopuszczalnych konsekwencji dla społeczeństwa, w przypadku zaistnienia zagrożenia. Wystąpienie zagrożenia w takim obiekcie może spowodować poważne konsekwencje, takie jak utrata życia, uszkodzenie mienia, upośledzenie funkcjonowania społecznego lub gospodarczego (58). Biorąc pod uwagę elastyczność funkcjonalną obiektu, powyższe rozważania stają się punktem wyjściowym do dalszych badań nad bezpieczeństwem obiektów, których wewnętrzne środowisko może zostać poddane zmianom.*

Bezpieczeństwo obiektu wielofunkcyjnego zależne jest od prawidłowo funkcjonujących procedur począwszy od procesu projektowego, poprzez czas eksploatacji, aż do zużycia budynku lub zmiany funkcji (rysunek 4.9.). Jak zauważa N. Levenson *wszystkie ludzkie zachowania są spowodowane kontekstem, w którym występują, a operatorzy w zaawansowanych technicznie systemach są często na łasce zaprojektowanej automatyki, której używają. Wiele wypadków mających miejsce z winy operatora, wynikało również z wadliwej instalacji i zaprojektowanego interfejsu. Brak komunikacji pomiędzy ludźmi i maszynami staje się coraz częstszą przyczyną wypadków (45).*

Przy projektowaniu budynków obecnie brane są pod uwagę regulacje prawne oraz normy dotyczące bezpieczeństwa. Mają one bezpośrednio wpływ na konstrukcję budynku oraz minimalne standardy jego wyposażenia. Ponadto coraz częściej implementowane w projektach są zaawansowane systemy zarządzania budynkiem. *Nowoczesne budynki wyposażone są w układy automatyki oraz sieci komunikacyjne, które umożliwiają kontrolę i pełne sterowanie obiektem. Współczesne instalacje inteligentnych budynków bez problemu realizują zadania systemu BMS (ang. Building Management System), który steruje i monitoruje wszystkie systemy teletechniczne automatyki budynkowej oraz systemów zabezpieczeń (34). Projektowanie współczesnych obiektów wielofunkcyjnych powinno podlegać wszystkim możliwym regulacjom oraz możliwościom technicznym, w celu optymalizacji bezpieczeństwa. Do przemysłu N. Levensona, w ramach rozważań nad procesem projektowym, warto by było dodać techniki związane z szacowaniem ryzyka już na etapie projektowym. Może to okazać się korzystne ze względu na ujednoczenie metody optymalizowania bezpieczeństwa w złożonych systemach wielofunkcyjnych.*



**Rysunek 4.9.** Bezpieczeństwo w procesie projektowania budynku wielofunkcyjnego. Opracowanie własne na podstawie (20).

#### 4.5 Wpływ obiektu wielofunkcyjnego na ochronę środowiska

W kształtowaniu przestrzeni zabudowanej, czynnik środowiskowy jest obecnie jednym z ważniejszych w odniesieniu do równowagi przyrodniczej (definicja 1.2.14). W raporcie z 1987 roku Światowa Komisja ds. Środowiska i Rozwoju (ang. The World Commission on Environment and Development) przedstawiła *konceptję stabilnego rozwoju globalnego bez pomniejszania możliwości rozwoju przyszłych pokoleń* (99).

W odniesieniu do przestrzeni zurbanizowanej K. Bahauddin wykazuje, że *sukces oraz rozwój społeczny zależy od fizycznej infrastruktury. Dla przemysłu budowlanego tworzenie zrównoważonych konstrukcji daje możliwość osiągnięcia zrównoważonego rozwoju, biorąc pod uwagę czynniki przyrodnicze, socjoekonomiczne oraz kulturowe.* W szczególności, dotyczy to kwestii odnoszących się do: *projektowania i zarządzania budynkami, stosowanych materiałów, wydajności budynków, zużycia energii oraz surowców; rozpatrywanych w szerokim kontekście rozwoju miast oraz zarządzania nimi* (3). Jak zauważyła B. Majerska - Pałubicka, *w odniesieniu do zrównoważonego rozwoju, zasadniczym celem stają się działania zmierzające do optymalizacji aktualnych metod projektowania budynków i środowiska zabudowanego przy wykorzystaniu nowych możliwości technicznych i narzędzi projektowych. Konieczna staje się budowa schematu metod i strategii świadomego, interdyscyplinarnego*

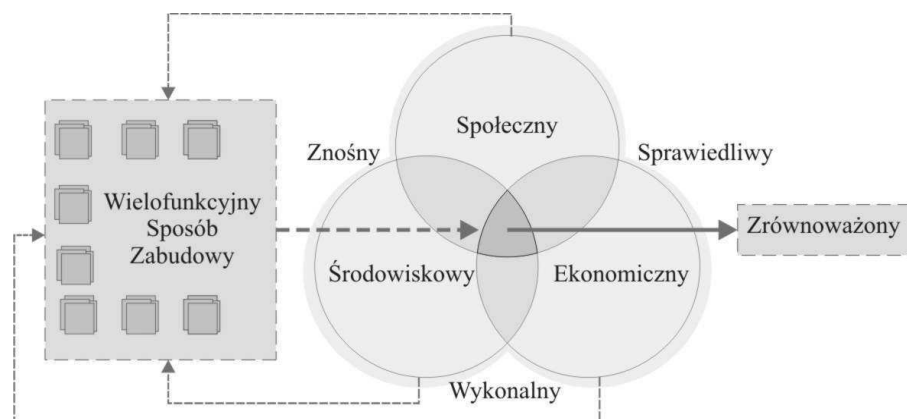
*projektowania obiektów architektonicznych w powiązaniu z kontekstem miejsca, systemami infrastruktury komunalnej, odnawialnymi źródłami energii, których zintegrowanie ma bardzo istotne znaczenie (50). Powyższe przesłanki potwierdzają, że sposób podejścia projektowego może mieć istotny wpływ na przyszłe kształtowanie zrównoważonego środowiska miejskiego, jednak nie ma ściśle określonych kierunków i sposobów dążenia do tego celu.*

*Współczesne ośrodki miejskie koncentrują coraz większą liczbę ludności poprzez nieustannie rozwijający się sektor usług. Rozwój terenów zurbanizowanych przyjmuje charakter ekspansywny. Ośrodki miejskie rozrastają się głównie poprzez zabudowę coraz większej powierzchni... Przeciwnym działaniem wobec ekspansywnego rozrostu ośrodków miejskich powinno stać się intensywne wykorzystanie obecnych zasobów terenowych. Wzrost zainwestowania w aktualnie zagospodarowaną przestrzeń pozwoli zminimalizować rozwój horyzontalny ingerujący w środowisko naturalne (28). Budynki wielofunkcyjne charakteryzujące się elastyczną funkcjonalnością mają za zadanie kreować intensywnie zagospodarowaną przestrzeń we współczesnych aglomeracjach miejskich. Takie podejście jest korzystne nie tylko ze względów funkcjonalnych. Korzyści zestawiania funkcji miejskich w zintegrowanych systemach mają również wymiar społeczny, ekonomiczny jak i proekologiczny. To właśnie koncentryczne podejście projektowe pozwala na osiągnięcie celu jakim jest rozwój zrównoważony (28). W kontekście gospodarki przestrzennej P. Lorens przedstawia podstawowe wytyczne dotyczące definiowania zasad zrównoważonego rozwoju. W odniesieniu do podstawowych wytycznych i zasad wynikających z przesłania zrównoważonego rozwoju wymienił następujące elementy:*

- Racjonalizację wykorzystania przestrzeni;*
- Tworzenie systemów obszarów chronionych;*
- Politykę transportową prowadzącą do zmniejszenia potrzeb transportowych;*
- Oszczędną gospodarkę zasobami;*
- Minimalizację konfliktów funkcjonalno - przestrzennych;*
- Dążenie do wielofunkcyjności poszczególnych obszarów;*
- Łączenie funkcji komplementarnych;*
- Ustalenie kierunków terytorialnego rozwoju zainwestowania miejskiego;*
- Kształtowanie tożsamości miasta i jego poszczególnych obszarów (47).*



Zabudowa wielofunkcyjna dzięki optymalizacji przyjętych rozwiązań projektowych jest w stanie wspomóc proces dążenia do założeń zrównoważonego rozwoju w sferze społecznej, ekonomicznej i środowiskowej, co schematycznie zostało przedstawione na rysunku 4.10.



**Rysunek 4.10.** Schemat wpływu elastycznego funkcjonalnie wielofunkcyjnego sposobu zabudowy na zrównoważonego rozwoju przedstawionego za pomocą diagramu Venna. Opracowanie własne. Diagram Venna zrównoważonego rozwoju na podstawie (49).

#### 4.6 Klasyfikacja obiektów wielofunkcyjnych

Klasyfikacja z definicji oznacza *systematyczny podział przedmiotów lub zjawisk na klasy, działy, podziały itp. dokonywany według określonej zasady* (37). W celu określenia dokładnego przedmiotu badań wymagane jest wprowadzenie systematycznego podziału obiektów wielofunkcyjnych. Definicja budynku wielofunkcyjnego, która przedstawiona została w punkcie 1.2.1 niniejszej rozprawy, stanowi prawidłowy i ogólny opis definiowanej struktury. Systematyka obiektów wielofunkcyjnych wymaga jednak wprowadzenia pewnego podziału. Podział ten z jednej strony odnosi się bezpośrednio do skali struktury i wielkości obiektu, z drugiej strony zaś przedstawia stopniowanie jakościowe, reprezentowane przez dany układ funkcjonalny.

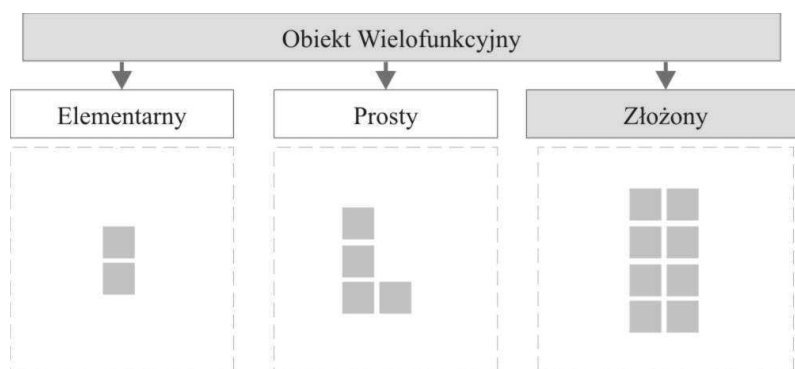
W najprostszym ujęciu obiekty wielofunkcyjne możemy przedstawić, tak jak to zostało zobrazowane na rysunku 4.11. Wprowadzony został tu podział odnoszący się do skali struktury funkcjonalnej, gdzie znajdują się budynki o charakterze elementarnym, prostym oraz złożonym, reprezentującym system wielofunkcyjny.

Budynek wielofunkcyjny elementarny - możemy określić jako jeden obiekt zawierający co najmniej trzy funkcje i posiadający niewielką skalę struktury, np. dom

jednorodzinny z garażem i wydzieloną częścią przeznaczoną na działalność gospodarczą.

Budynek wielofunkcyjny prosty - jeden lub kilka zintegrowanych ze sobą obiektów zawierających co najmniej trzy funkcje i posiadający niewielki stopień skomplikowania struktury, jak też umiarkowaną skalę, np. budynek mieszkalny wielorodzinny z usługami i handlem w parterze oraz garażem podziemnym.

Budynek wielofunkcyjny złożony - obiekt lub kilka zintegrowanych ze sobą obiektów posiadający co najmniej trzy funkcje o złożonym charakterze struktury funkcjonalnej i posiadający dużą skalę, np. centrum handlowo - usługowe zintegrowane z częścią mieszkalną, częścią biurową oraz parkingiem.



**Rysunek 4.11.** Schemat podziału budynków wielofunkcyjnych uwzględniający gradację ilościową. Opracowanie własne.

Jednak ilościowa zawartość funkcjonalna nie jest wystarczająca, aby przedstawić pełny zakres podziału. Z tego względu istnieje potrzeba wprowadzenia wielopoziomowej klasyfikacji, gdzie bardziej szczegółowo można rozróżnić podział obiektów ze względu na ich reprezentację jakościową. W odniesieniu do wszystkich obiektów wielofunkcyjnych przyjęte zostało minimum, gdzie obiekt wielofunkcyjny stanowi obiekt lub zespół obiektów zawierający co najmniej trzy funkcje stanowiące jedną zintegrowaną całość, włączając w to elementy podziemne (na podstawie definicji zaprezentowanej przez M. Nilssona i P. Van Heesa (59)).

Na rysunku 4.12. został przedstawiony podział jakościowy obiektów wielofunkcyjnych, gdzie wyróżnione zostały obiekty konwencjonalne, inteligentne oraz elastyczne funkcjonalnie.

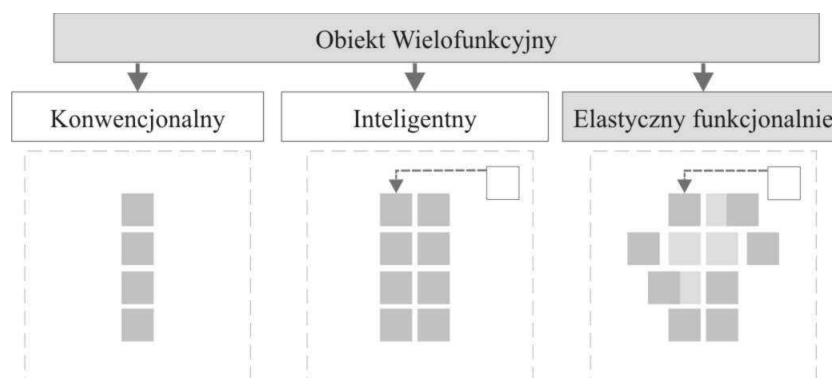
Obiekt konwencjonalny - spełnia minimalne kryteria wynikające z przepisów prawa, jest budowany przy minimalnym nakładzie finansowym, zapewnia podstawowe

warunki użytkowe w zakresie: zaopatrzenia w wodę, energię elektryczną, energię cieplną, usuwania ścieków, wody opadowej i odpadków.

Obiekt wielofunkcyjny inteligentny - zapewnia wydajną i efektywną kosztowo przestrzeń poprzez optymalizację swoich podstawowych elementów, w tym struktur, systemów, usług i zarządzania przy wzajemnych relacjach między nimi (57). Jest to obiekt wielofunkcyjny wyposażony w zaawansowane technologicznie systemy zarządzania budynkiem.

Obiekt elastyczny funkcjonalnie - obiekt inteligentny, wielofunkcyjny, stanowiący złożony system funkcjonalny i zaprojektowany z myślą o zmianie funkcji w trakcie użytkowania.

Ostatni wyszczególniony rodzaj budynków wielofunkcyjnych, czyli elastyczny funkcjonalnie, wprowadza kryterium czasu do organizacji struktury i stanowi o wkroczeniu w sferę dynamicznego zarządzania funkcjonalnością budynku w czasie.



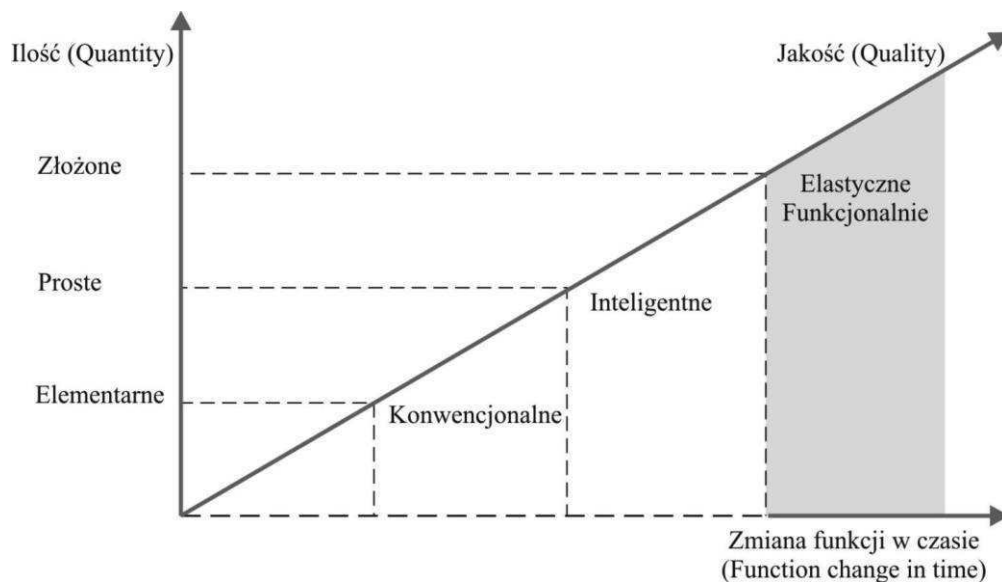
**Rysunek 4.12.** Schemat podziału budynków wielofunkcyjnych uwzględniający gradację jakościową. Opracowanie własne.

Całościowe przedstawienie klasyfikacji obiektów wielofunkcyjnych zostało zobrazowane za pomocą wykresu na rysunku 4.13. Poniższy wykres składa się z trzech osi, z których oś pionowa opisuje gradację ilościową; oś ukośna reprezentuje gradację jakościową; natomiast oś pozioma reprezentuje zmianę funkcji w czasie. Przedstawiona klasyfikacja pozwala na sklasyfikowanie dowolnego budynku wielofunkcyjnego.

W najprostszym przykładzie dom jednorodzinny z garażem oraz wydzieloną częścią na działalność gospodarczą może być zaprojektowany konwencjonalnie, czyli w sposób możliwie prosty. Przedstawiony dom jednorodzinny może również być inteligentny poprzez zastosowanie instalacji systemu zarządzania budynkiem oraz

zaawansowanych technologii energooszczędnych. Możemy również wyobrazić sobie sytuację, że budynek taki został zaprojektowany jako elastyczny funkcjonalnie, czyli posiadający przewidzianą możliwość zmiany funkcji mieszkaniowej, gospodarczej i garażowej na dowolną inną.

Skrajnym przykładem, o dużym stopniu złożoności, mogą być mega struktury jak np. wizjonerski pomysł P. Nevilla na projekt koncepcyjny obiektu tzw. X-Seed 4000, posiadający u podstawy bryły 6 kilometrów szerokości i 4 kilometry wysokości (przedstawiony na rysunku 4.14). Struktura posiada 800 pięter i może pomieścić od 500 tyś. do miliona mieszkańców (100). Z uwagi na brak dalszych opracowań jest to jedynie wizja, jednak tego typu złożona struktura ze względu na swoją skalę powinna w szczególnym stopniu przewidywać możliwość zmiany funkcji w czasie.

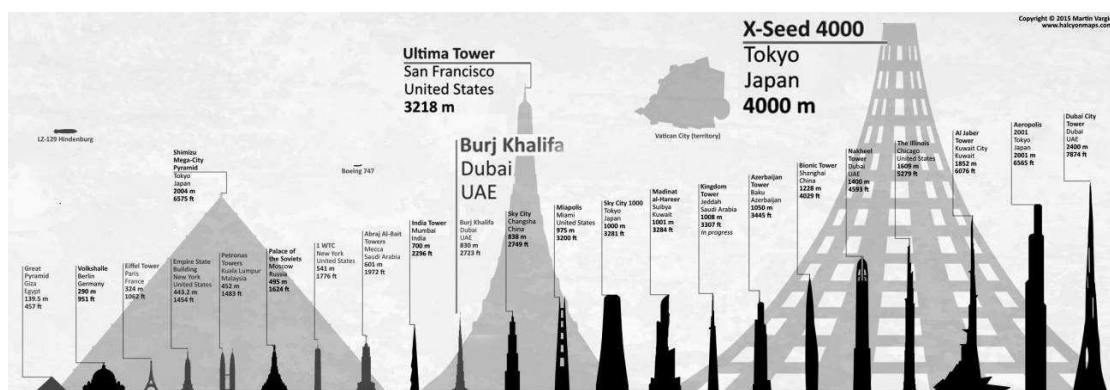


**Rysunek 4.13.** Wykres przedstawiający klasyfikację obiektów wielofunkcyjnych uwzględniający stopień ilościowy, jakościowy oraz zmianę funkcji w czasie. Opracowanie własne.

#### 4.7 Budynek elastyczny funkcjonalnie

Na podstawie stworzonej klasyfikacji budynków wielofunkcyjnych można stwierdzić, że obiekt elastyczny funkcjonalnie - jest to obiekt lub zespół obiektów zawierający co najmniej trzy funkcje stanowiące jedną zintegrowaną całość, włączając w to elementy podziemne, stanowiący złożony system funkcjonalny i zaprojektowany z myślą o zmianie funkcji w trakcie użytkowania.

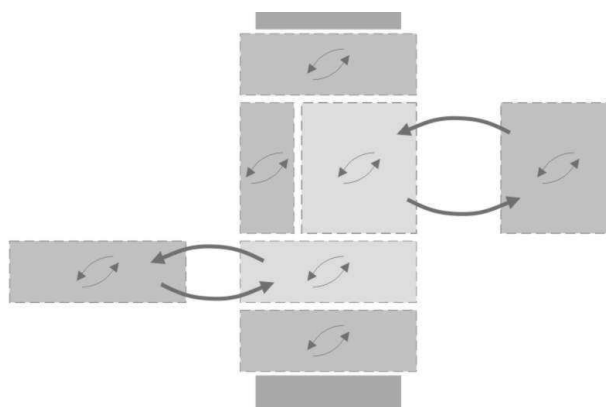
Wprowadzenie pojęcia budynku wielofunkcyjnego, elastycznego funkcjonalnie jest próbą przedstawienia teoretycznego podejścia w projektowaniu oraz stworzenia modelu współczesnego sposobu zabudowy śródmiejskiej. Ze względu na zakres tematu, obejmujący obszar funkcjonalny śródmieścia, w którym projektowane budynki osiągają coraz większe kubatury, przedmiot docelowy badań stanowią struktury o charakterze złożonym, prezentujące wysoki poziom integracji funkcjonalnej. Elastyczność funkcjonalna w odniesieniu do obiektów elementarnych i prostych jest jak najbardziej zasadna, jednak obiekty te nie prezentują optymalnego sposobu zabudowy. Obecne trendy rozwojowe skoncentrowanych aglomeracji miejskich wskazują na potrzebę stosowania obiektów o coraz większej skali i złożonej funkcji. Najczęściej realizowane są obiekty wysokościowe i wielofunkcyjne. Zestawienie największych zrealizowanych i projektowanych budynków na świecie zostało przedstawione na rysunku 4.14. Większość z tych obiektów to obiekty dopiero planowane, często wizjonerskie jednak da się tu zaobserwować wyraźną tendencję wzrostu gabarytów oraz stopnia złożoności funkcjonalnej. Dążność do uzyskania elastycznej funkcjonalności z pewnością mogłaby mieć pozytywny wpływ na sposób w jaki te przyszłościowe struktury będą projektowane.



**Rysunek 4.14.** Wykres przedstawiający najwyższe budynki na świecie zrealizowane, planowane oraz wizjonerskie. Niektóre z obiektów zostały dodane dla porównania jak np. Wieża Eiffla. (<http://infographics.xyz/wp-content/uploads/2015/12/X-Seed-4000.jpg>)

Elastyczność funkcjonalna budynku posiada oczywiście podstawowe znaczenie w procesie zmiany funkcji w obiekcie. Aktualnie zmiana funkcji w istniejącym budynku wiąże się z wprowadzeniem dezorganizacji w samym obiekcie jak i w jego otoczeniu oraz skutkuje dużymi nakładami finansowymi. Zmiana sposobu użytkowania wiąże się obecnie również bezpośrednio ze zmianą stanu wizualnego, technologicznego oraz technicznego budynku, co zostało pokazane na rysunku 3.15. Ponadto przy zmianach funkcjonalnych istniejących budynków generowane są duże ilości odpadów. Proces zmiany funkcji ma też często negatywny wpływ na krajobraz miasta, gdzie może dojść do niekorzystnej zmiany formy budynku lub jego elementów.

Elastyczna funkcjonalność jest sposobem na adaptowanie nowych funkcji w budynku przy minimalizowaniu negatywnych skutków tego procesu. Idea budynku wielofunkcyjnego, elastycznego funkcjonalnie przedstawiona została na rysunku 4.15. Istotą proponowanej koncepcji jest to, by obiekty zawierające wiele różnych form użytkowania oraz dużą ilość różnorodnych użytkowników mogły w jak najbardziej efektywny sposób zmienić przeznaczenie dowolnie wybranego elementu funkcjonalnego struktury bez wprowadzania zakłóceń dla całości obiektu jak i jego otoczenia. Biorąc pod uwagę realność zastosowania metody elastyczności funkcjonalnej, konieczne jest przeprowadzenie jej szczegółowej analizy. W dalszej części opracowania przedstawiony został model wielokryterialnego projektowania obiektów wielofunkcyjnych, który poprzedzony został analizą procesu modelowania obiektów elastycznie funkcjonalnych.



**Rysunek 4.15.** Idea budynku wielofunkcyjnego elastycznego funkcjonalnie. Opracowanie własne.



## **5 Modelowanie wielokryterialne obiektów elastycznych funkcjonalnie z uwzględnieniem ich walorów urbanistycznych, architektonicznych oraz estetycznych**

Sposób modelowania budynków wielofunkcyjnych jest istotny w odniesieniu do oczekiwanej społecznie estetyki oraz szeroko rozumianej funkcjonalności zarówno samego budynku jak i przestrzeni miejskiej. Modelowanie wielokryterialne obejmuje zakres modelowania kształtu, funkcjonalności, efektywności oraz bezpieczeństwa budynku stanowiącego system wielofunkcyjny. W niniejszej części pracy poruszona została kwestia cyklu życia struktury elastycznie funkcjonalnej dotycząca *funkcjonowania budynku począwszy od projektu, aż po zużycie* (68). Przedstawione zostało porównanie budynków realizowanych tradycyjnie z budynkami modelowanymi wielokryterialnie w celu wykazania korzyści płynących z zastosowania proponowanego podejścia, związanego z uwzględnieniem zmienności funkcji w czasie.

Jak zauważyli M. M. Moulaii, M. R. Bemanian, M. Mahammadjavad i N. Mokary, *inteligentne i zrównoważone budynki charakteryzuje dobre wypracowanie ich schematów, planów oraz wykonanie obiektu na budowie, aby uczynić je bardziej publicznie, środowiskowo, a także materialnie trwałymi* (54). Powyższe twierdzenie ściśle odnosi się do *projektowania z uwzględnieniem optymalizacji wielokryterialnej, czyli projektowania z uwzględnieniem najlepszego rozwiązania względem ustalonej listy kryteriów oceny (kryteriów optymalizacji) dążące do celów, które należy osiągnąć oraz gdy istnieją różne sposoby realizacji tych celów* (76).

Modelowanie wielokryterialne wymaga zatem wprowadzenia podziału struktury wielofunkcyjnej w ujęciu systemowym, gdzie wyróżnić można strukturę podsystemów wraz z tworzącymi je elementami podrzędnymi.

## 5.1 Percepcja przestrzeni architektonicznej i urbanistycznej

Według definicji, percepcja, *inaczej postrzeganie; jest uświadomioną reakcją narządu zmysłowego na bodziec zewnętrzny; sposobem reagowania, odbierania wrażeń* (66). Architektura i urbanistyka przestrzeni śródmiejskiej jest obecnie coraz bardziej nasycona zaawansowanymi systemami technologicznymi, które mają istotny wpływ na postrzeganie współczesnego budynku jak i miasta. Jak zauważa M. Dymnicka w *tw. architekturze wirtualnej podstawą procesu projektowania jest oparcie się na parametrach umożliwiających ciągle modelowanie projektu i dostosowywanie go do zmieniających się sytuacji. Granica pomiędzy fizycznie określoną przestrzenią zrealizowanego budynku a jego istniejącym w komputerze projektem przestaje mieć znaczenie* (14). Nowoczesne technologie informatyczne pozwalają na interaktywne postrzeganie współczesnej przestrzeni miejskiej a zarazem ułatwiają użytkownikom korzystanie z niej.

Oczywiście w percepcji przestrzeni podstawową rolę odgrywa wyraz architektoniczny budujących ją obiektów. Na wyraz ten wpływ ma jednak bardzo wiele, różnorodnych i często nie do końca określonych czynników. Jak pisze A. Taraszkiewicz: *wpływ na wyraz architektoniczny mają takie elementy, jak: struktura inwestorska, lokalizacja przedsięwzięcia, optymalizacja procesu inwestycyjnego, wybrany typ zabudowy, zakładany standard osiedla, budynku i mieszkania czy wreszcie, a może przede wszystkim, podstawy twórcze architektów* (89).

Postrzeganie architektury wiąże się jednak przede wszystkim ze strukturą obiektu widzianego i odbieranego z dalszej i bliższej perspektywy oraz z jego wnętrza. Ze względu na bezpośredni kontakt użytkownika z daną jednostką wielofunkcyjną istotnymi elementami dla percepcji są:

- estetyka obiektu,
- funkcjonalność obiektu,
- efektywność obiektu,
- bezpieczeństwo obiektu,
- dostęp do informacji o obiekcie.

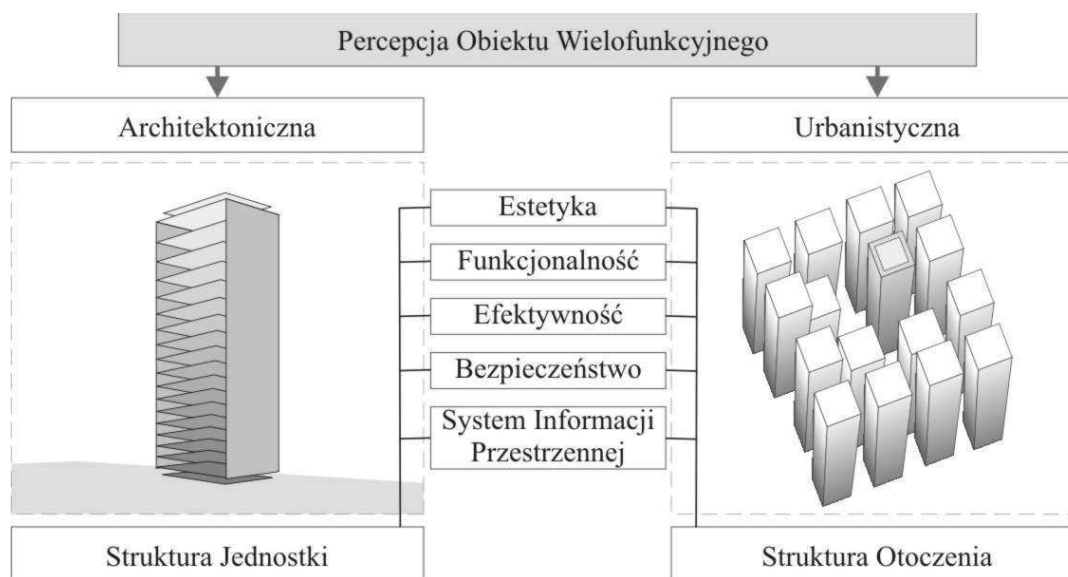
Pierwsze cztery elementy zostaną omówione w dalszej części pracy. Tu natomiast uwagę zwrócić należy na ostatni element, czyli dostęp do informacji o obiekcie.

W obecnych czasach dostęp i czytelność informacji jest niezbędna dla prawidłowego funkcjonowania użytkowników w aglomeracjach miejskich. Połączenie estetyki, funkcjonalności, efektywności i bezpieczeństwa z czytelnie zaprojektowaną sferą informacji przestrzennej stanowi o pozytywnej percepcji urbanistycznej obiektu wielofunkcyjnego. Swobodny przepływ informacji oraz identyfikacja wizualna jest niezbędna do poruszania się w strukturze wielofunkcyjnej. Szczególnie w przypadku, gdy struktura obiektu wielofunkcyjnego może dynamicznie modyfikować się w zakresie przeznaczenia poszczególnych elementów. A przecież obiekty wielofunkcyjne nie powinny być miejscem tylko i wyłącznie dedykowanym konkretnym funkcjom, *ale również, a może przede wszystkim, miejscem specjalnie zaaranżowanej przestrzeni, przebywania i kontaktów międzyludzkich - czyli tym, czym powinno być dobrze funkcjonujące środowisko zurbanizowane* (90). System informacji przestrzennej, który można łatwo dostosować do zmian jest elementem, który powinien być ujęty już na wczesnych etapach projektu.

W skali urbanistycznej obiekt jest odbierany jako element struktury miasta, gdzie decydującym jest wpływ otoczenia miejskiego na dany obiekt oraz wpływ tego obiektu na otoczenie zewnętrzne. W skoncentrowanej zabudowie miejskiej, gdzie kontakt z obiektem wielofunkcyjnym ma duża ilość różnorodnych użytkowników, na percepcję obiektu wpływ mają następujące elementy:

- estetyka otoczenia w relacji z obiektem;
- funkcjonalność otoczenia w relacji z obiektem;
- efektywność otoczenia w relacji z obiektem;
- bezpieczeństwo otoczenia w relacji z obiektem;
- dostęp do informacji o połączeniu struktury miasta z obiektem.

Na rysunku 5.1. został przedstawiony schemat percepcji obiektu wielofunkcyjnego, na którym widoczny jest sposób odbioru przestrzeni z wyodrębnieniem skali architektonicznej oraz urbanistycznej. Przy ujęciu całościowym percepcja w tych dwóch sferach powinna być spójna i odbywać się poprzez zapewnienie użytkownikom pozytywnych doznań natury nie tylko estetycznej, ale również w zakresie funkcjonalności, efektywności, bezpieczeństwa oraz zapewnienia łatwego dostępu do informacji związanych z tą przestrzenią.



**Rysunek 5.1.** Schemat elementów percepcji obiektu wielofunkcyjnego w przestrzeni miasta. Opracowanie własne.

## 5.2 Estetyka obiektów wielofunkcyjnych

Estetyka w najprostszej definicji określona jest jako dyscyplina filozoficzna o przedmiotach pięknych i przeżyciach z nimi związanych (17). W rozważaniach o funkcjonalizmie w estetyce architektury J. Tarnowski opisuje pojęcie estetyki w architekturze, które na przestrzeni dziejów zmienia swoje oblicze i wartość w odniesieniu do funkcjonalności. Autor wykazuje, że podejście do estetyki architektury w obecnych czasach musi się zmienić na rzecz poszukiwań rozwiązań, w których estetyka jest wyrazem przemyślanej funkcjonalności i nastawienia proekologicznego. Zbyt silne dążenia do wyszukanej estetyki, prowadzone często na skalę przemysłową, mają niekorzystny ekologicznie wpływ. *Należy więc porzucić te dążenia i używać takich materiałów i technologii, które zapewniają minimalizację negatywnego oddziaływania na środowisko. Projektowanie nastawione na efekt estetyczny musi zostać zastąpione projektowaniem na cel proekologiczny* (92).

Według P. Lorensa w odniesieniu do porządku architektonicznego i urbanistycznego *istniejąca różnorodność stylistyczna doprowadziła do ogromnego zróżnicowania krajobrazu przestrzeni nie zawsze z dobrym skutkiem. Problemy stylistyczne, w tym związane z wprowadzeniem określonego detalu lub stylu, nie są regulowane obowiązującymi planami, co prowadzi do ogromnej dowolności*

*architektów i inwestorów, a jedynym elementem ją ograniczającym lub warunkującym jest wyobrażenie estetyczne klientów (48).*

Porównując estetykę różnych rozwiązań architektonicznych bazujących na współczesnych technologiach i systemach pozyskiwania energii słonecznej S. Wehle-Strzelecka wykazuje, że *na integrację tych systemów z architekturą pozwalają walory funkcjonalne (możliwość wykorzystania w strukturze budynku, m.in. jako elementy zacieniające, fasadowe systemy osłonowe) oraz walory estetyczne (kolor, wielkość, kształt, stopień przezroczystości).*

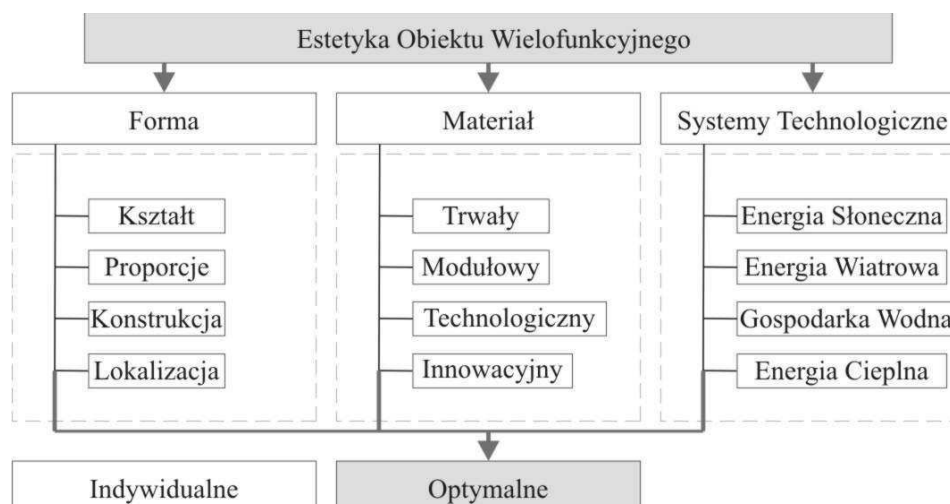
Na podstawie powyższych przesłanek można dojść do wniosku, że konieczne dążenie do zrównoważonego rozwoju za pomocą nowych technologii może być elementem budującym przyszłą estetykę obiektów wielofunkcyjnych. Priorytetem jest tu wdrażanie oraz adaptowanie systemów technologicznych w procesie projektowym współczesnych obiektów wielofunkcyjnych już na etapie koncepcji. Należy we wczesnych fazach projektowania przewidywać systemy odnawialnych źródeł energii, które stanowiłyby integralne elementy projektowanych struktur.

Podstawowymi elementami stanowiącymi o estetyce budynku są jego forma oraz zastosowane materiały. M. Sroka-Bizoń zaprezentowała artykuł, w którym za pomocą schematu przedstawiła formę strukturalną obiektu złożoną z funkcji, estetyki oraz techniki (82). Jednak czy w przypadku obiektu wielofunkcyjnego (gdzie funkcja może się zmienić) powyższy schemat będzie dalej aktualny? Z punktu widzenia estetyki obiektu wielofunkcyjnego, elastycznego funkcjonalnie forma jest elementem składowym funkcji. Odnosząc się ponownie do tekstu L. H. Sullivana ... *forma zawsze podąża za funkcją, i to jest prawo. Jeżeli funkcja się nie zmienia, forma się nie zmienia* (84), możliwe jest do przedstawienia twierdzenie odwrotne, że to właśnie funkcja podąża za formą.

Forma obiektu uzależniona jest od zaprojektowanego kształtu przestrzennego, zachowanych proporcji, konstrukcji oraz lokalizacji. Zmiana funkcji w odniesieniu do formy zewnętrznej budynku wielofunkcyjnego nie powinna skutkować zmianą estetyki przestrzennej miasta.

Stosowane materiały powinny charakteryzować się trwałością, modułowością, użyciem współczesnych technologii oraz innowacyjnością.

Estetyka współczesnego obiektu wielofunkcyjnego w zakresie formy, materiałów oraz systemów technologicznych powinna dążyć do optymalnych rozwiązań. Schemat estetyki obiektu wielofunkcyjnego został przedstawiony na rysunku 5.2.



**Rysunek 5.2.** Elementy estetyki obiektu wielofunkcyjnego w przestrzeni miasta. Opracowanie własne.

### 5.3 Projektowanie geometrii obiektu. Modelowanie osobliwości kształtu

Forma obiektu wielofunkcyjnego, przewidująca zmienność użytkowania jej elementów, powinna mieć taką strukturę geometryczną, która to umożliwi. Z definicji, geometria jest zespołem parametrów określających kształt i układ jakichś elementów, jak również zespołem powiązań tych elementów (23). Geometria ściśle odnosi się do kryteriów estetycznych omówionych wcześniej i powinna zawierać ich przestrzenne odwzorowanie. Kluczowe dla geometrycznej reprezentacji obiektu jest zapewnienie przestrzeni dla wszystkich przewidzianych procesów przebiegających w założonej strukturze.

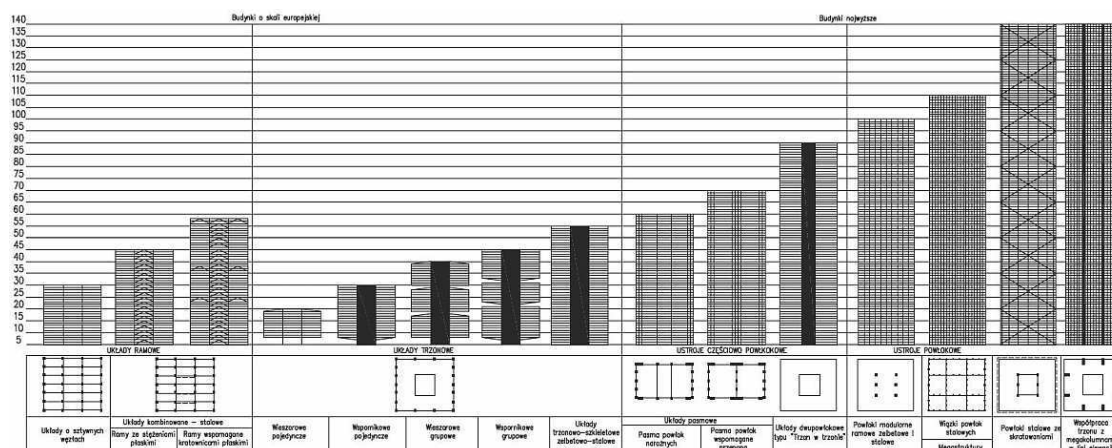
Geometria obiektu wielofunkcyjnego stanowi reprezentację przestrzenną formy obiektu w taki sposób, aby zapewnić miejsce niezbędne dla przewidywanych funkcji oraz ich obsługi. Podstawowy podział obsługi systemu jest prowadzony dwukierunkowo. Pierwszy kierunek dedykowany jest obsłudze procesów komunikacyjnych, natomiast drugi ukierunkowany na obsługę procesów technologicznych. Obsługiwane procesy uwarunkowane są zdefiniowanym układem konstrukcyjnym oraz programem użytkowym w nim zawartym. Geometria obiektu powinna również odnosić się do otoczenia, w którym obiekt się znajduje.

W procesie projektowania obiektów elastycznych funkcjonalnie geometria obiektu wymaga utworzenia stabilnej przestrzeni dedykowanej różnym funkcjom.



Określony stały schemat powinien jednak w pewnym zakresie umożliwiać różnego rodzaju modyfikacje. Geometria obiektu elastycznego funkcjonalnie wymaga wprowadzenia szkieletu, który zawiera funkcje stałe oraz takie przestrzenie, które w łatwy sposób można zaadaptować. Funkcje stałe odnoszą się do obsługi i komunikacji w budynku, przewidzianych technologii oraz powiązania obiektu z otoczeniem. Pozostałe części obiektu powinny zapewniać przestrzeń możliwie łatwą do adaptowania.

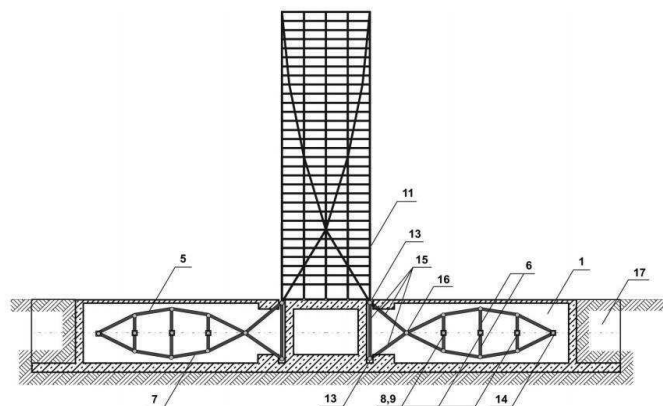
Wśród obecnie projektowanych obiektów wielofunkcyjnych istnieje duża różnorodność rozwiązań geometrii bryły. Proponowana struktura, w celu zapewnienia odpowiedniego stopnia efektywności powinna być strukturą wielopoziomową, która na jak najmniejszej powierzchni może obsługiwać jak największą ilość użytkowników. Tendencje w architekturze współczesnych obiektów wielofunkcyjnych wykazują, że najczęściej stosowaną formą jest struktura wysokościowa, która w najlepszy sposób realizuje powyższy postulat.



Rysunek 5.3. Klasyfikacja konstrukcji budynków wysokich (7) na podstawie (64).

W odniesieniu do układu konstrukcyjnego obiektów wysokościowych na rysunku 5.3 przedstawiona została klasyfikacja budynków wysokich. A. Z. Pawłowski i I. Cała przedstawili powyższą klasyfikację systemów konstrukcyjnych budynków wysokościowych do 140 m wysokości (64), gdzie obiekty najwyższe reprezentowane są poprzez ustrój powłokowy, stalowy ze skratowaniami oraz przy współpracy trzonu z megakolumnami w linii elewacji. System konstrukcyjny ma kluczowe znaczenie dla trwałości obiektu. J. Rębielak prowadzi badania nad budynkami o zespolonej formie

systemu konstrukcyjnego, który *pomimo wielu obciążeń i kondygnacji może być posadowiony na gruntach o słabej nośności lub na terenach szkód górniczych albo na terenach aktywnych sejsmicznie* (72). Jak wykazuje J. Rębielak dzięki zastosowaniu autorskiego systemu zespolonego nie jest konieczne prowadzenie fundamentów na dużą głębokość. Na rysunku 5.4 widoczna jest proponowana struktura, która stanowi inspirację dla zastosowania jej na potrzeby obiektu wielofunkcyjnego.

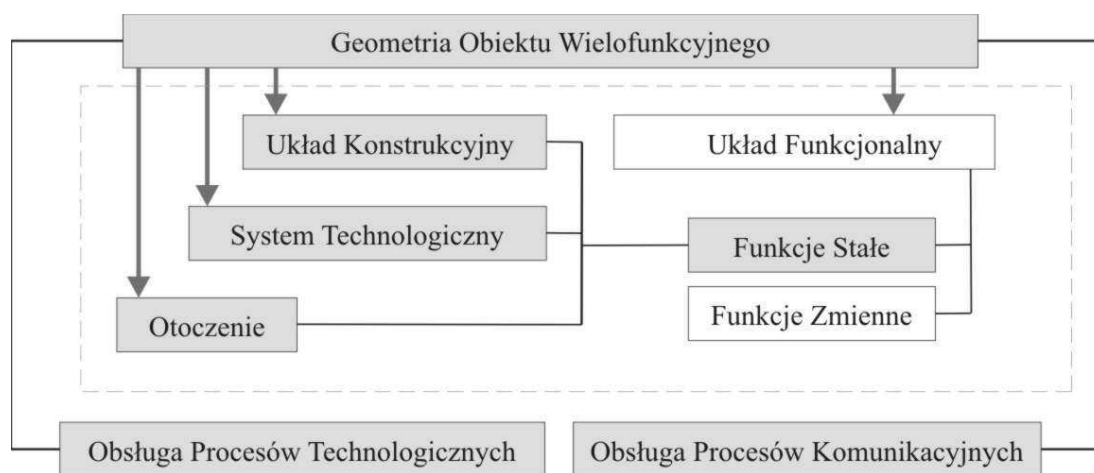


**Rysunek 5.4.** Schemat głównego przekroju pionowego budynku zaprojektowanego za pomocą zespolonej postaci systemu konstrukcyjnego (72).

Geometria budynku wielofunkcyjnego, elastycznego funkcjonalnie w ustalonym systemie konstrukcyjnym powinna zawierać odpowiedni system komunikacji pionowej i komunikacji poziomej. Ponadto geometria powinna być podporządkowana systemom technologicznym, które pozyskują energię z odnawialnych źródeł, np. wiatru czy słońca. K. Zielonko-Jung przedstawia badania w zakresie kształtowania budynków i przestrzeni miejskich w odniesieniu do zjawisk aerodynamicznych. *Rzetelna analiza danych istniejących uwarunkowań lokalizacji (np. warunki nasłonecznienia, wiatru, układu zabudowy sąsiadującej) oraz późniejsze badania, w jaki sposób projektowany budynek na nie odpowiada i w jaki sposób je zmienia, są podstawą projektowania w ogóle, a w szczególności gdy dążymy do rozwiązań zrównoważonych środowiskowo, np. niskoenergetycznych czy ekonomicznych pod względem zastosowanych rozwiązań konstrukcyjno materiałowych... Im większy i bardziej złożony funkcjonalnie i przestrzennie budynek, ten proces projektowania i optymalizowania jego formy jest bardziej złożony i wymaga większych nakładów środków i wiedzy* (102). Geometria struktury może być również kształtowana poprzez wprowadzenie zaawansowanych systemów instalacyjnych, na przykład wentylacji. Rozwiązania takie opisują

T. Błaszczński i J. Wdowicki (6) w kontekście kształtowania ekologicznych elewacji budynków.

Na rysunku 5.5 przedstawiony został schemat elementów składających się na geometrię obiektu wielofunkcyjnego, gdzie warte uwagi jest powiązanie układu konstrukcyjnego, funkcji stałych, systemu technologicznego oraz otoczenia. Relacje występujące pomiędzy tymi elementami mają kluczową rolę w kształtowaniu formy geometrycznej obiektu wielofunkcyjnego.



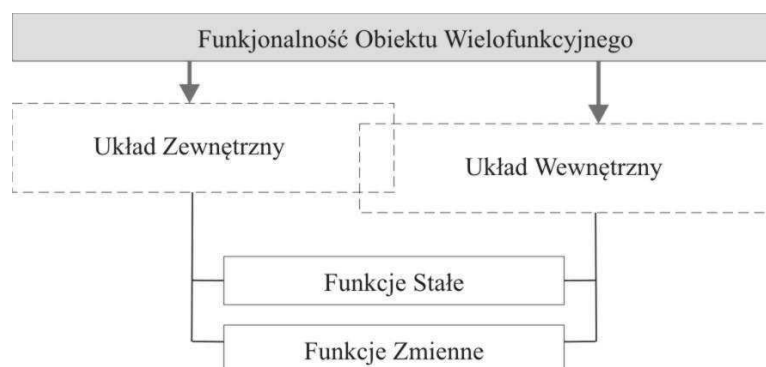
**Rysunek 5.5.** Schemat elementów tworzących geometrię obiektu wielofunkcyjnego elastycznego funkcjonalnie. Opracowanie własne.

#### 5.4 Modelowanie funkcjonalności obiektu

Inspirującą reprezentację układu funkcjonalnego przedstawili E. S. Mushtaha, M. Arar i F. Hamid, którzy zaprezentowali ocenę funkcjonalną budynku za pomocą podejścia matematycznego i dystrybucji sąsiedztwa w typologii mieszkaniowej (55). Autorzy przedstawiają sposób analizy funkcjonalnej na podstawie rzutów budynku za pomocą diagramu, który następnie jest poddany analizie w postaci wykresu reprezentującego relacje występujące w układzie. Badania nad strukturą funkcjonalną obiektów ostatecznie są zakończone wyznaczeniem macierzy w postaci tabeli, w której ujęte są elementy poddane analizie. Autorzy zaznaczają, że zaprezentowane podejście może być pomocne dla specjalistów w rozumieniu swojej architektury dzięki kompaktowej reprezentacji układów funkcjonalnych. Metoda jednak jest elementem

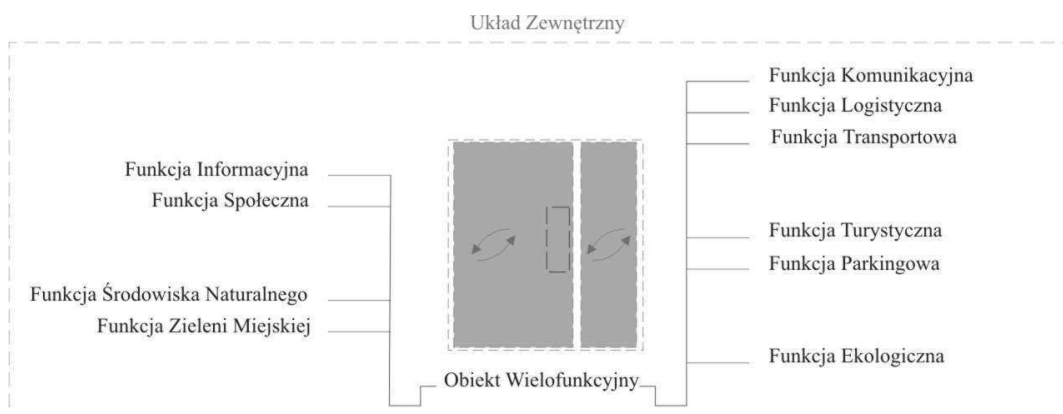
opisowym dla funkcji mieszkaniowej, który wymaga rozwinięcia przy kreowaniu systemu obiektu wielofunkcyjnego.

Modelowanie funkcjonalności obiektu wielofunkcyjnego wymaga ujęcia systemowego w taki sposób, aby przedstawić możliwości adaptacji danej struktury w czasie. Jak już wspomniano wcześniej istotne jest również wpisanie się proponowanego układu w system funkcjonalny miasta. Funkcjonalność obiektu można podzielić na: stałą, odnoszącą się do utrwalenia funkcjonowania struktury w mieście jak i funkcjonowania wewnątrz obiektu oraz zmienną w czasie, która jest wynikiem aktualnych potrzeb planowania przestrzennego miasta jak i potrzeb użytkowników. Na rysunku 5.6 przedstawiony został schemat elementów stanowiących o funkcjonalności obiektu wielofunkcyjnego, elastycznego funkcjonalnie. Funkcjonalność obiektu definiuje układ zewnętrzny oraz układ wewnętrzny, które przenikają się i zawierają elementy funkcjonalne stałe oraz zmienne.

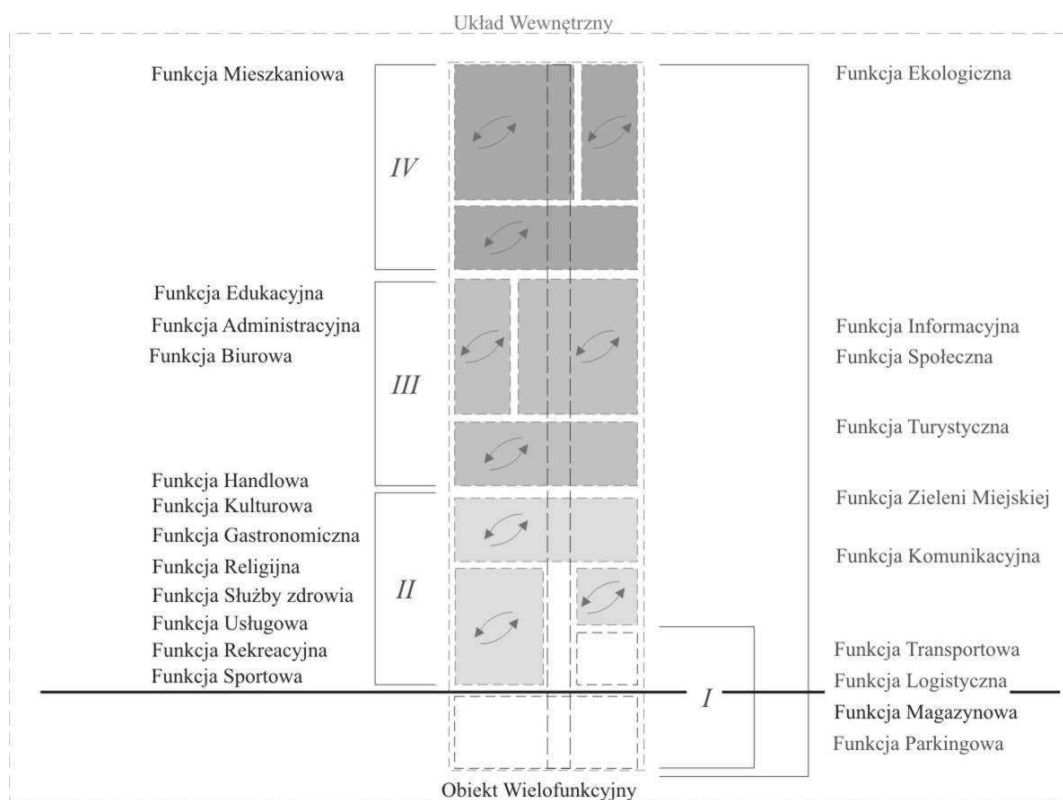


**Rysunek 5.6.** Schemat elementów stanowiących o funkcjonalności obiektu wielofunkcyjnego elastycznego funkcjonalnie. Opracowanie własne.

W odniesieniu do intensywnie zagospodarowanej przestrzeni miejskiej wymagane jest zapewnienie użytkownikom odpowiednich warunków użytkowania. Możliwość łatwego dostępu oraz nie wpływanie jednej funkcji na drugą są priorytetami, które powinien reprezentować system wielofunkcyjnego obiektu. Poniżej przedstawione zostały schematy: na rysunku 5.7 zewnętrznego układu funkcjonalnego oraz na rysunku 5.8 wewnętrznego układu funkcjonalnego dla obiektu wielofunkcyjnego, elastycznego funkcjonalnie.



**Rysunek 5.7.** Schemat zewnętrznego układu funkcjonalnego. Opracowanie własne.



**Rysunek 5.8.** Schemat wewnętrznego układu funkcjonalnego. Opracowanie własne.

Zewnętrzny układ funkcjonalny stanowi o zintegrowaniu obiektu wielofunkcyjnego z systemem funkcjonalnym miasta. Powinien on w możliwie spójny sposób współpracować z istniejącą tkanką miejską. Na zewnętrzny system funkcjonalny składają się następujące funkcje:

- funkcja informacyjna,
- funkcja społeczna,
- funkcja środowiska naturalnego,
- funkcja zieleni miejskiej,
- funkcja komunikacji,
- funkcja logistyczna,
- funkcja transportowa,
- funkcja turystyczna,
- funkcja parkingowa,
- funkcja ekologiczna.

Zdefiniowane elementy układu zewnętrznego ściśle łączą się z układem wewnętrznych funkcji. Układ zewnętrzny w zakresie każdego elementu staje się komplementarną częścią układu wewnętrznego. Funkcjonalność obiektu wielofunkcyjnego wymaga określenia hierarchii występujących w nim funkcji, która została przedstawiona na schemacie (rysunek 5.8.). Poza funkcjami wymienionymi powyżej możliwe do zastosowania są następujące funkcje:

- funkcja mieszkaniowa,
- funkcja edukacyjna,
- funkcja administracyjna,
- funkcja biurowa,
- funkcja handlowa,
- funkcja kulturowa,
- funkcja gastronomiczna,
- funkcja religijna,
- funkcja służby zdrowia,
- funkcja usługowa,
- funkcja rekreacyjna,
- funkcja sportowa,
- funkcja komunikacyjna,
- funkcja magazynowa.

Powyższe funkcje zostały wymienione w układzie gradacji pokazanym na schemacie (rysunek 5.8.). Gradacja ta dotyczy dostępności użytkowników

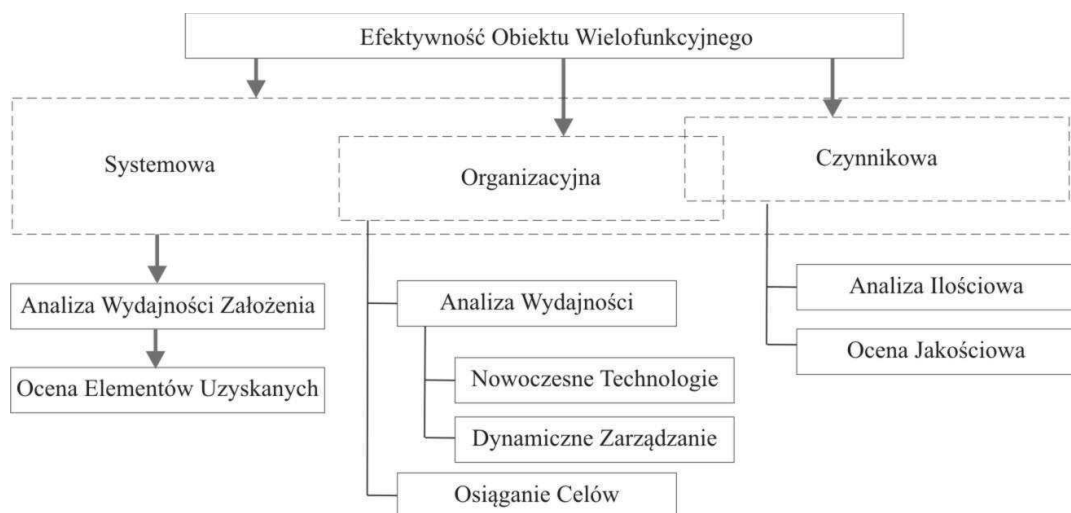


do poszczególnych funkcji, gdzie np. funkcja transportowa dostępna dla wszystkich jest z poziomu parteru, a np. funkcja komunikacji wewnętrznej obsługuje obiekt na całej jego wysokości. Funkcje administracyjna, edukacyjna oraz biurowa umieszczone są w kategorii dostępności tylko dla dedykowanych użytkowników wraz z możliwością dostępu publicznego. Natomiast funkcja mieszkaniowa zlokalizowana została w najwyższej kategorii (ze względu na ograniczenie dostępu), której lokalizacja umożliwia tworzenie przestrzeni półprywatnej i prywatnej, gdzie wymagana jest większa intymność a jednocześnie lepsza dostępność światła słonecznego.

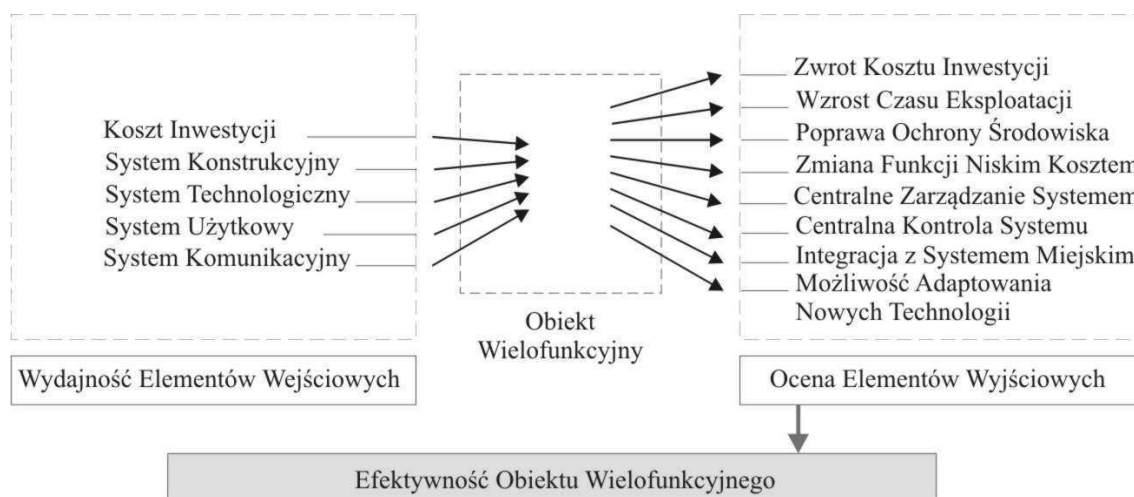
Przedstawiona gradacja rozmieszczenia pionowego funkcji umożliwia stworzenie podziału wertykalnego struktury na cztery strefy, które zostały oznaczone cyframi rzymskimi na rysunku 5.8. Podział ten wynika z wstępnie przyjętego planu dostępności do poszczególnych funkcji. Pierwsza strefa (*I*) obejmuje kondygnacje poniżej poziomu terenu oraz część parteru. Strefa druga (*II*) obejmuje w swoim zakresie kondygnacje zawierające funkcje o charakterze ogólnodostępnym. W trzeciej strefie (*III*) znajduje się przestrzeń o częściowo ograniczonej dostępności, natomiast strefa (*IV*) zawiera funkcje o charakterze prywatnym, przeznaczone na cele mieszkaniowe. Należy dodać, że przyjęty schemat strefowania jest umowny i dopuszcza stosowanie wybranych funkcji w obrębie całego obiektu.

## 5.5 Modelowanie efektywności obiektu

Modelowaną efektywność powiązaną z wydajnością obiektu wielofunkcyjnego należy rozważać w ujęciu systemowym, w którym brana pod uwagę jest również analiza organizacyjna jak i czynnikowa. Ze względu na złożony charakter struktury wielofunkcyjnej projektowanie jej wymaga symultanicznej analizy dużej ilości procesów z nią związanych. Na rysunku 5.9 przedstawiona została struktura oceny efektywności budynku wielofunkcyjnego, gdzie efektywność organizacyjna oraz czynnikowa są elementami zbioru ogólnej analizy systemowej. Schemat efektywności budynku wielofunkcyjnego przedstawiony został na rysunku 5.10.



**Rysunek 5.9.** Struktura oceny efektywności budynku wielofunkcyjnego. Opracowanie własne.



**Rysunek 5.10.** Schemat efektywności budynku wielofunkcyjnego. Opracowanie własne.

Podążając za powyższym schematem podstawowymi elementami wejściowymi, które są analizowane pod kątem wydajności są:

- koszt inwestycji;
- system konstrukcyjny;
- system technologiczny;
- system użytkowy;
- system komunikacyjny.

Elementy wejściowe stanowią podstawę do oceny elementów wyjściowych, gdyż stanowią o tym, w jaki sposób funkcjonuje dana struktura jako samodzielny obiekt oraz jako część systemu miejskiego. *Przy współcześnie stosowanych rozwiązaniach, budynki wielofunkcyjne wpływają na efektywniejsze działanie miast (28).* Poniżej przedstawione zostały elementy wymagające oceny, świadczące o efektywności projektowanej struktury:

- zwrot kosztu inwestycji;
- wzrost czasu eksploatacji;
- poprawa ochrony środowiska;
- zmiana funkcji niskim kosztem;
- centralne zarządzanie systemem;
- centralna kontrola systemu;
- integracja z systemem miejskim;
- możliwość adaptowania nowych technologii.

W odniesieniu do efektywności istotne jest użycie metod optymalizacji, o których piszą J. Kusiak, A. Danielewska - Tułeczka i P. Oprocha (41). Poprzez analizę procesu projektowego obiektu wielofunkcyjnego możliwy jest wybór najbardziej odpowiednich środków projektowych, które w przełożeniu na wdrożony obiekt, będą potwierdzały korzystny wpływ systemu we wszystkich zakresach jego zastosowania.

## **5.6 Modelowanie bezpieczeństwa obiektu**

Podstawą do wprowadzenia już na etapie projektu aspektu bezpieczeństwa obiektu wielofunkcyjnego jest cel, aby obiekt wielofunkcyjny reprezentował maksymalną niezawodność. Wprowadzenie zasad bezpieczeństwa ma wpływ na podejmowane podstawowe decyzje projektowe. Chodzi o to, aby przewidzieć możliwe zagrożenia występujące w całym procesie istnienia obiektu wielofunkcyjnego. Narzędziem niezbędnym jest zatem wprowadzenie zarządzania ryzykiem do procesu projektowego. Jak opisuje K. Jajuga *zarządzanie ryzykiem jest to podejmowanie decyzji i realizacja działań prowadzących do osiągnięcia przez ten podmiot akceptowalnego poziomu ryzyka... Zarządzanie ryzykiem podmiotu jest częścią składową zarządzania*

*tym podmiotem i stanowi nieodłączny element jego strategii. Zarządzanie ryzykiem podmiotu (w uproszczeniu) obejmuje następujące etapy:*

- identyfikacja zagrożenia,*
- pomiar ryzyka,*
- sterowanie ryzykiem,*
- monitorowanie i kontrola ryzyka (35).*

W celu zaprojektowania systemu obiektu wielofunkcyjnego konieczne jest odpowiednie zdefiniowanie możliwych powodów wystąpienia zagrożenia. W odniesieniu do eksploatacji oraz zarządzania zasobami techniki O. Downarowicz prezentuje czynniki, które mają wpływ na uszkodzenie obiektu. Autor wyróżnia starzenie się fizyczne oraz starzenie się ekonomiczne jako główne zagrożenia. *Starzenie fizyczne obiektu, to starzenie się w skutek oddziaływania na ten obiekt takich czynników jak:*

- czynniki mechaniczne,*
- czynniki elektryczne,*
- czynniki energetyczne,*
- czynniki klimatyczne,*
- czynniki przyrodnicze,*
- czynniki chemiczne i elektrochemiczne,*
- czynniki środowiskowe,*
- czynniki korozyjne (12), itp.*

Natomiast starzenie się ekonomiczne powstaje na skutek *starzenia fizycznego systemu, jak i postępu w rynkowej ofercie alternatywnych obiektów technicznych (12)*. System obiektu elastycznego funkcjonalnie ma na celu zapewnienie możliwie łatwej obsługi oraz dostosowanie do aktualnych potrzeb rynkowych a tym samym unikanie fizycznego i ekonomicznego starzenia się obiektu .

R. A. Stephans opisuje, że *spełnienie bezpieczeństwa polega na przepisach, standardach i prawie; odpowiedzialności inżynierskiej oraz pełnym spełnieniu minimalnych standardów. Natomiast bezpieczeństwo systemów polega*

na systematycznej analizie zagrożeń; pracy zespołowej oraz optymalizowaniu bezpieczeństwa (83). Powszechnymi technikami analizy ryzyka są:

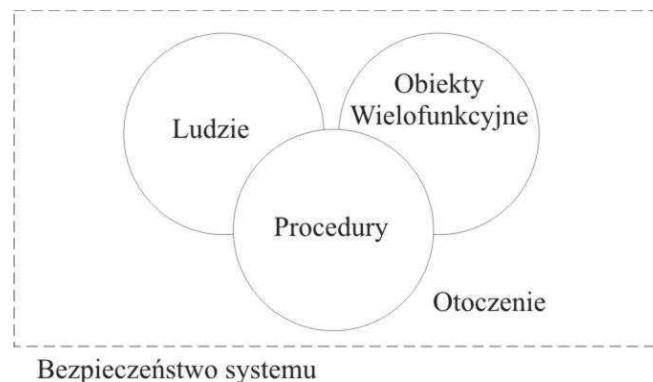
- Analiza rodzajów i skutków możliwych błędów, ang. *Failure modes and effects analysis (FMEA)*,
- Analiza drzewa błędów, ang. *Fault tree analysis (FTA)*,
- Analiza przepływu energii i barier, ang. *Energy trace and barrier analysis (ETBA)*,
- Przeoczenie w zarządzaniu i drzewo ryzyka, ang. *Management oversight and risk tree (MORT)*,
- Drzewo oceny projektu, ang. *Project evaluation tree (PET)*,
- Analiza zmian, ang. *Change analysis*,
- Analiza częstych przyczyn, ang. *Common cause analysis (83)*.

Autor wskazuje również kryteria projektowe, które pozwalają na przeprowadzenie ewaluacji bezpieczeństwa systemu. Są to:

- Projektowanie dla minimalnego ryzyka, czyli eliminowanie zidentyfikowanych zagrożeń albo zredukowanie ich wpływu na etapie projektu.
- Tolerowanie zagrożeń, czyli projekt musi tolerować błędy. Oznacza to minimalizowanie ryzyka od zagrożeń, które nie są możliwe do przewidzenia.
- Stopniowanie zawodny-bezpieczny. Błędy w systemie powinny być wykrywane w czasie funkcjonowania systemu poprzez testy, które są w stanie zapewnić, że krytyczne elementy systemu nie są zawodne.
- Zapewnienie urządzeń ostrzegawczych w przypadku, gdy pojawi się zagrożenie nieprzewidziane odpowiedni sygnał alarmowy przekazywany jest do personelu.
- Rozwinięcie procedur i szkoleń. Nie wszystkie zagrożenia mogą być kontrolowane przez system. Wykluczenie danych zagrożeń poprzez projekt jest niepraktyczne, dlatego wymagają one odpowiednich procedur i szkoleń.
- Specyficzne działania rozwojowe. Elementy cyklu życia połączone z inżynierią systemu bezpieczeństwa zawierają:
  - Analizę wstępną ryzyka, ang. *Preliminary hazard analysis (PHA)*,
  - Analizę ryzyka wymagań oprogramowania, ang. *Software requirement hazard analysis (SRHA)*,

- Analizę ryzyka dokumentacji projektowej, ang. *Design specification hazard analysis (DSHA)*,
- Analizę ryzyka podsystemów, ang. *Subsystem hazard analysis (SSHA)*,
- Analizę ryzyka systemu, ang. *System hazard analysis (SHA)* (83).

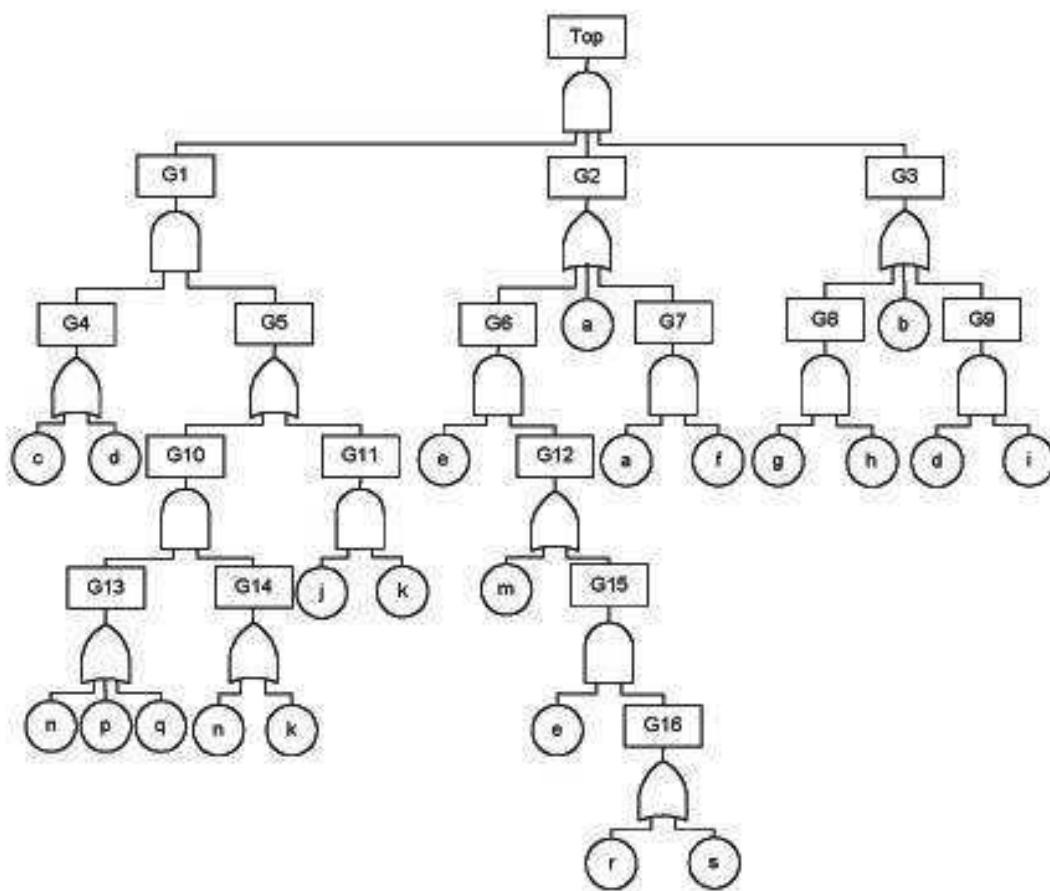
W odniesieniu do cyklu życia projektu konieczne jest przeprowadzenie odpowiednich analiz dla fazy koncepcji, fazy projektowej, fazy budowy, fazy eksploatacji oraz fazy zużycia już na etapie projektowym. Bezpieczeństwo jest jednym z podstawowych kryteriów przy projektowaniu obiektów wielofunkcyjnych. W odniesieniu do systemu bezpieczeństwa czynnik ludzki jest ważnym elementem tego systemu. Na rysunku 5.11 przedstawiony został schemat czynnika ludzkiego występującego w relacjach pomiędzy ludźmi, procedurami, budynkami oraz otoczeniem.



**Rysunek 5.11.** Schemat czynnika ludzkiego w relacjach ludzie, procedury, obiekty wielofunkcyjne, otoczenie. Opracowanie własne na podstawie (73).

Na rysunku 5.12 przedstawione zostało przykładowe drzewo błędów. Metoda drzewa logicznego pozwala na modelowanie procesu wystąpienia błędu w projektowanym systemie, na podstawie którego jest szacowane ryzyko. Poprzez wykonaną diagnozę możliwe jest potwierdzenie niezawodności systemu oraz optymalizację jego bezpieczeństwa.





Rysunek 5.12. Przykładowe drzewo zdarzeń dla teoretycznego błędu (71).

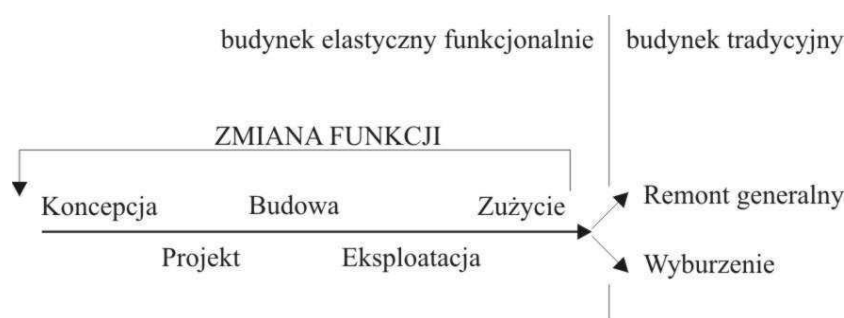
## 5.7 Cykl życia systemu elastycznego funkcjonalnie

Obecnie badanie cyklu życia danego zagadnienia jest metodą analizy powszechnie stosowaną w różnych dziedzinach nauki, jak i praktyki. *W podejściu projektowym, w odniesieniu do budynków tworzących przestrzeń zurbanizowaną, należy brać pod uwagę cały cykl życia produktu (101). Obecnie istniejące budynki planowane są jako obiekty posiadające swój konkretny cel przeznaczenia. Ostatni etap cyklu życia budynku tradycyjnego związany jest z dużymi nakładami finansowymi. Wyeksploatowany obiekt ze względu na bezpieczeństwo użytkowników oraz ze względu na brak możliwości adaptacji przeważnie przeznaczony jest do wyburzenia. Wyburzenie budynku wiąże się między innymi z problemem utylizacji odpadów oraz znacznym zanieczyszczeniem środowiska miejskiego. Alternatywnym rozwiązaniem jest*

*doprowadzenie obiektu do stanu użytecznego, co przeważnie okazuje się rozwiązaniem przewyższającym koszty wyburzenia i realizacji nowej inwestycji (28).*

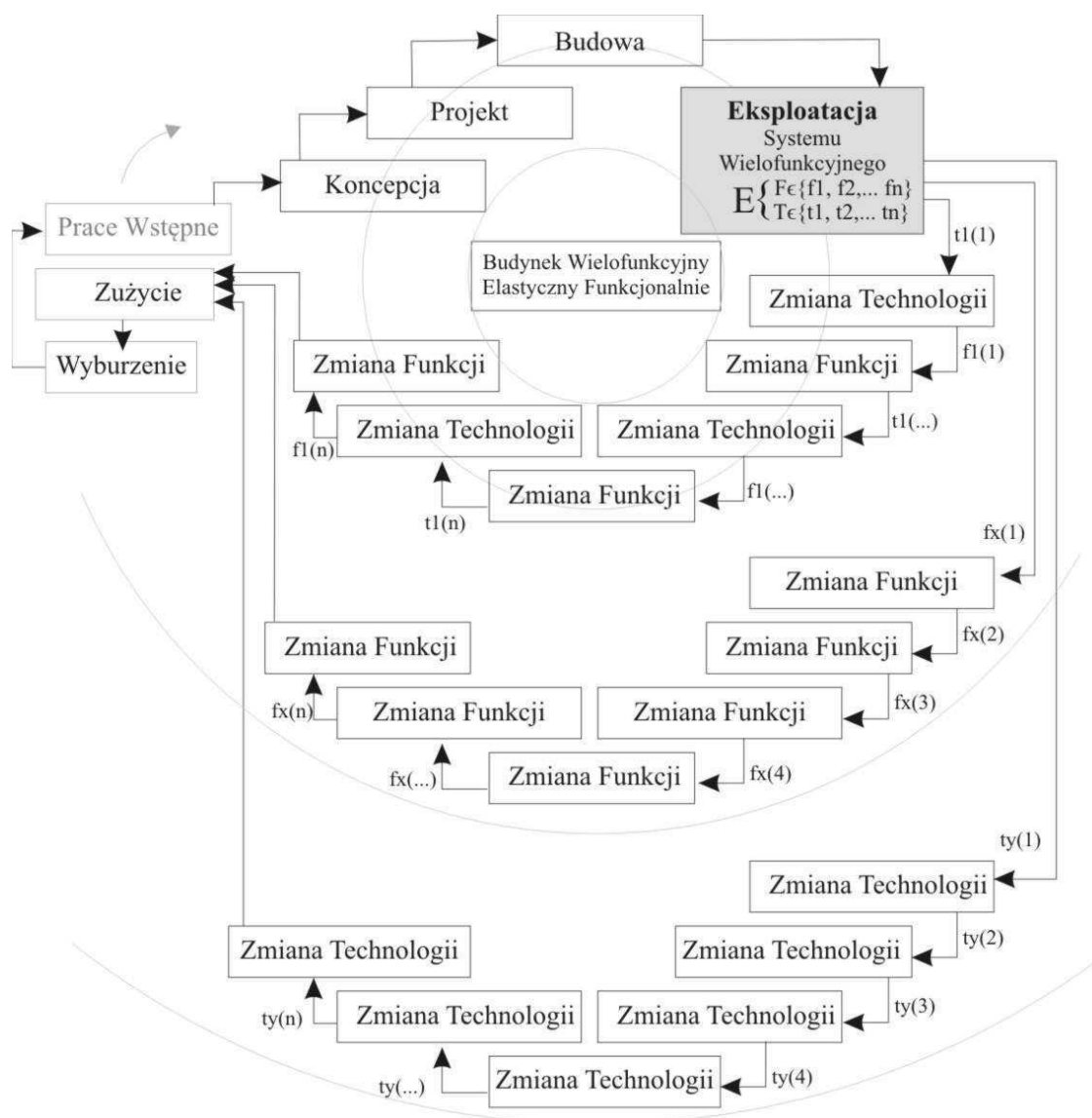
Podstawowy cykl życia budynku został przedstawiony wcześniej przy zagadnieniu oceny wydajności budynku, przy zmianie sposobu użytkowania oraz przy bezpieczeństwie ujętym w procesie projektowym. W celu zaprojektowania systemu w sposób optymalny wielokryterialna analiza cyklu życia budynku jest niezbędna.

Cykl życia w podstawowej formie zawiera fazy: koncepcyjną, projektową, budowy, eksploatacji oraz zużycia. Obiekt tradycyjny po fazie zużycia może przejść do fazy remontu generalnego lub fazy wyburzenia. Przy obiekcie elastycznym funkcjonalnie dodana zostaje faza związana ze zmianą funkcji. W uproszczeniu na rysunku 5.13 zostało przedstawione porównanie pomiędzy budynkiem elastycznym funkcjonalnie a budynkiem tradycyjnym.



**Rysunek 5.13.** Cykl życia budynku elastycznego funkcjonalnie w porównaniu z cyklem życia budynku tradycyjnego. Opracowanie własne na podstawie (28).

Cykl życia obiektu wielofunkcyjnego, elastycznego funkcjonalnie wymaga uwzględnienia ponownego wykorzystania w strukturze poszczególnych jej elementów. Struktura obiektu w każdej fazie cyklu życia jest podporządkowana możliwie łatwej zmianie zawartych w niej przestrzeni użytkowych. To właśnie powyższe podejście stanowi o indywidualności proponowanego modelu projektowego. Proponowane podejście przedstawia zmianę funkcji, która przewiduje dostosowanie dowolnego zakresu systemu wielofunkcyjnego obiektu. System obiektu wielofunkcyjnego składa się z elementów stanowiących zbiór funkcji oraz elementów stanowiących zbiór zastosowanych technologii. Istotny jest fakt, że zmiana funkcji przeważnie wymaga dostosowania technologii, aczkolwiek możliwa jest zmiana samej funkcji, jak i również samej technologii obsługującej system, jeżeli jest to możliwe oraz wymagane.



**Rysunek 5.14.** Cykl życia budynku elastycznego funkcjonalnie. Opracowanie własne.

Na rysunku 5.14 przedstawiony został cykl życia budynku wielofunkcyjnego, elastycznego funkcjonalnie. Faza eksploatacji przedstawiona została za pomocą zbioru systemu wielofunkcyjnego, w którym zawarty jest zbiór funkcji obiektu  $F \in \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$  oraz zbiór technologii zawartych w obiekcie  $T \in \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ . Podstawowym zadaniem obiektu wielofunkcyjnego, elastycznego funkcjonalnie jest zapewnienie ciągłości funkcjonowania pomimo zmian poszczególnych funkcji jak i technologii w trakcie eksploatacji.

Przedstawiony cykl życia obiektu jest w stanie zapewnić przydatność pod warunkiem spełnienia wszystkich kryteriów ujętych w procesie projektowym.

Głównym czynnikiem umożliwiającym stworzenie systemu wielofunkcyjnego elastycznego jest odpowiednie zaprojektowanie struktury konstrukcyjnej, która to umożliwi. Celem odpowiednio zaprojektowanej pod względem trwałości struktury jest maksymalne wydłużenie czasu eksploatacji i tym samym oddalenie w czasie stanu zużycia systemu.

Przed oddaniem obiektu do użytkowania cykl życia obiektu wielofunkcyjnego zawiera fazy projektowe, które warunkują prawidłową eksploatację systemu. Następujące fazy: faza prac przedprojektowych, faza koncepcji, faza projektu oraz faza budowy stanowią o tym jak będzie działał system wielofunkcyjny. Powyższe fazy opracowywane są w oparciu o uwarunkowania prawne, normy oraz standardy, które w wyniku postępu techniki są przedmiotem ciągłych analiz skutkujących ich udoskonalaniem. Projektowe fazy cyklu życia budynku powinny uwzględniać możliwość wystąpienia zmian w przepisach prawnych. W wyniku wystąpienia jakiegokolwiek zmiany system wielofunkcyjny jest w stanie dopasować się do nowych uwarunkowań bez konieczności znacznej ingerencji w zaprojektowaną strukturę.

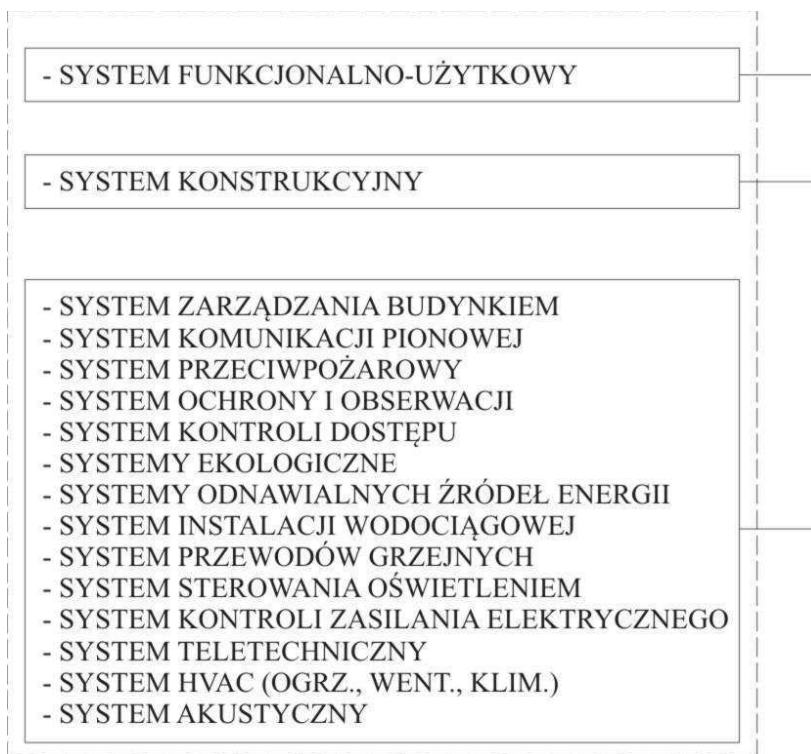
## **5.8 Wewnętrzny system funkcjonalny**

Na wewnętrzny system funkcjonalny składają się trzy podstawowe elementy, które można określić podsystemami. Odnoszą się one ściśle do struktury architektonicznej jednostki. Po pierwsze, wewnętrzną strukturę wielofunkcyjnego budynku definiuje jego program funkcjonalno-użytkowy. Program funkcjonalny jest skutkiem danych wyjściowych przedkładanych projektantom, definiowanych przez inwestora. Ponadto jest on wynikiem uwarunkowań prawnych oraz analiz prowadzonych dla danej lokalizacji.

Drugim elementem jest system konstrukcyjny, który związany jest z kształtowaniem geometrii obiektu i stanowi szkielet wewnętrznego systemu funkcjonalnego. System początkowo jest warunkowany ujęciem przestrzennym systemu funkcjonalnego i określany jest w ramach architektury. Następnie branża konstrukcyjna potwierdza oraz udoskonala przyjęte założenia strukturalne.

Trzecim elementem systemu wewnętrznego jest cała struktura technologiczna obsługująca wszystkie przewidziane dla budynku funkcje.

Na rysunku 5.15 przedstawiona została struktura podstawowa wewnętrznego systemu funkcjonalnego złożonego z podsystemów.



**Rysunek 5.15.** Wewnętrzny system funkcjonalny budynku wielofunkcyjnego elastycznego funkcjonalnie. Opracowanie własne.

## 5.9 Zewnętrzny system funkcjonalny

Zewnętrzny system funkcjonalny jest reprezentacją elementów struktury otaczającej tkanki urbanistycznej. Zewnętrzny system funkcjonalny składa się z podsystemów, które tworzą podstawę funkcjonowania ośrodków miejskich. Przedstawione podsystemy mają bezpośredni wpływ na techniczne funkcjonowanie obiektu i stanowią komplementarny układ powiązań z projektowaną strukturą. Na rysunku 5.16 przedstawiony został zbiór elementów tworzących zewnętrzny system funkcjonalny.

Pierwszy podsystem, zawierający warunki atmosferyczne jest jedynym elementem, który nie jest wytworzony przez działalność ludzką i nie może być sterowany przez człowieka. Jednak to właśnie on będzie umożliwiał zastosowanie większości systemów odnawialnych źródeł energii. Celem jest tu ujęcie w procesie projektowym elementów wykorzystujących energię słoneczną, energię wiatru oraz opady atmosferyczne.

Kolejne podsystemy reprezentują połączenia niezbędne dla procesów obsługi danej struktury. Projektowany system wewnętrzny danego obiektu staje się integralną częścią zewnętrznego systemu funkcjonalnego.



**Rysunek 5.16.** Zewnętrzny system funkcjonalny budynku wielofunkcyjnego elastycznego funkcjonalnie. Opracowanie własne.

## 5.10 System otoczenia zewnętrznego

Wielofunkcyjny obiekt jest częścią większego układu w odniesieniu do kontekstu zewnętrznego, który powinien być uwzględniony w procesie projektowym. Jak przedstawia S. Handy i M. Boarnet, w ujęciu urbanistycznym, *kontekst zewnętrzny, którym jest środowisko zabudowane, definiuje projektowany kontekst urbanistyczny miasta, planowanie przeznaczenia terenu, projektowanie systemu transportowego; oraz obejmuje wzorce aktywności ludzkiej w środowisku fizycznym* (32). System otoczenia zewnętrznego jest zbiorem elementów, które oddziałują na projektowany obiekt w ujęciu zarządzania przestrzenią miasta oraz w odniesieniu do środowiska naturalnego. Otoczenie zewnętrzne reprezentuje szeroki kontekst lokalizacji obiektu, który uwzględnia uwarunkowania prawno-polityczne, system gospodarczo-ekonomiczny oraz



system socjologiczny w ujęciu lokalnym, jednak uwzględniając procesy o zasięgu globalnym.

Na rysunku 5.17 przedstawiony został system otoczenia zewnętrznego dla projektowanego obiektu wielofunkcyjnego. System otoczenia zewnętrznego implikuje opisane wcześniej systemy, gdzie system wewnętrzny jest teoretycznie podporządkowany zewnętrznemu systemowi funkcjonalnemu. Od strony praktycznej zależności pomiędzy prezentowanymi systemami posiadają charakter złożony. Relacje podsystemów nie są jednorodne, a nawet zmienne.



**Rysunek 5.17.** System otoczenia zewnętrznego budynku wielofunkcyjnego elastycznego funkcjonalnie. Opracowanie własne.

## **6 Model własny wielokryterialnego projektowania obiektów funkcjonalnie elastycznych z uwzględnieniem ich walorów urbanistycznych, architektonicznych oraz estetycznych**

Niniejszy rozdział ma na celu przedstawienie wielokryterialnej techniki projektowania obiektów elastycznych funkcjonalnie. Opisana jest tu metoda holistyczna w projektowaniu, która zawiera zestawienie różnych modeli. Poprzez zastosowanie analizy modelu matematycznego, geometrycznego, fizycznego oraz numerycznego obiektu jesteśmy w stanie określić parametry techniczne budynku. Następnie proces projektowy jest rozwijany w zakresie estetyki obiektu, funkcjonalności, efektywności oraz bezpieczeństwa projektowanego obiektu. Wszystkie elementy procesu projektowego opisane powyżej składają się na model, który został zaprezentowany jako złożony system funkcjonalny, gdzie wszystkie elementy składowe modelu należy rozpatrywać łącznie. Jego celem jest przedstawienie kompleksowego podejścia projektowego, które umożliwia projektowanie obiektów zmiennych funkcjonalnie.

*Tradycyjne projektowanie opiera się na restrykcyjnym przestrzeganiu wymagań przepisów budowlanych, prawa oraz lokalnego planu zagospodarowania przestrzennego. Biorąc pod uwagę tylko środki wymienione powyżej zespół projektowy może wypracować nowy projekt. Po dokonaniu oceny, kiedy konstrukcja spełnia wymagania, jest gotowy do realizacji (91).*

*Inwestorzy ...zazwyczaj powinni być świadomi informacji w odniesieniu do projektu oraz jego limitów (96).*

Tradycyjne podejście do projektowania uwarunkowane jest potrzebami klienta, które stanowią wystarczające wytyczne dla zespołu projektowego, przy czym koszt inwestycji oraz czas realizacji inwestycji są tu kryteriami najważniejszymi. Tradycyjne podejście nie spełnia wszystkich niezbędnych wymogów. Branie pod uwagę ograniczonej ilości kryteriów może mieć wpływ na zmniejszenie bezpieczeństwa i niezawodności systemu oraz nieść ze sobą negatywny wpływ na funkcjonalność obiektu i ochronę środowiska. *Standaryzacja i przepisy wpływają na poprawę procesu projektowego, jednak nie są one w stanie zarządzać całą jego złożoną strukturą (91).*

## 6.1 Metoda holistyczna w projektowaniu obiektów elastycznych funkcjonalnie

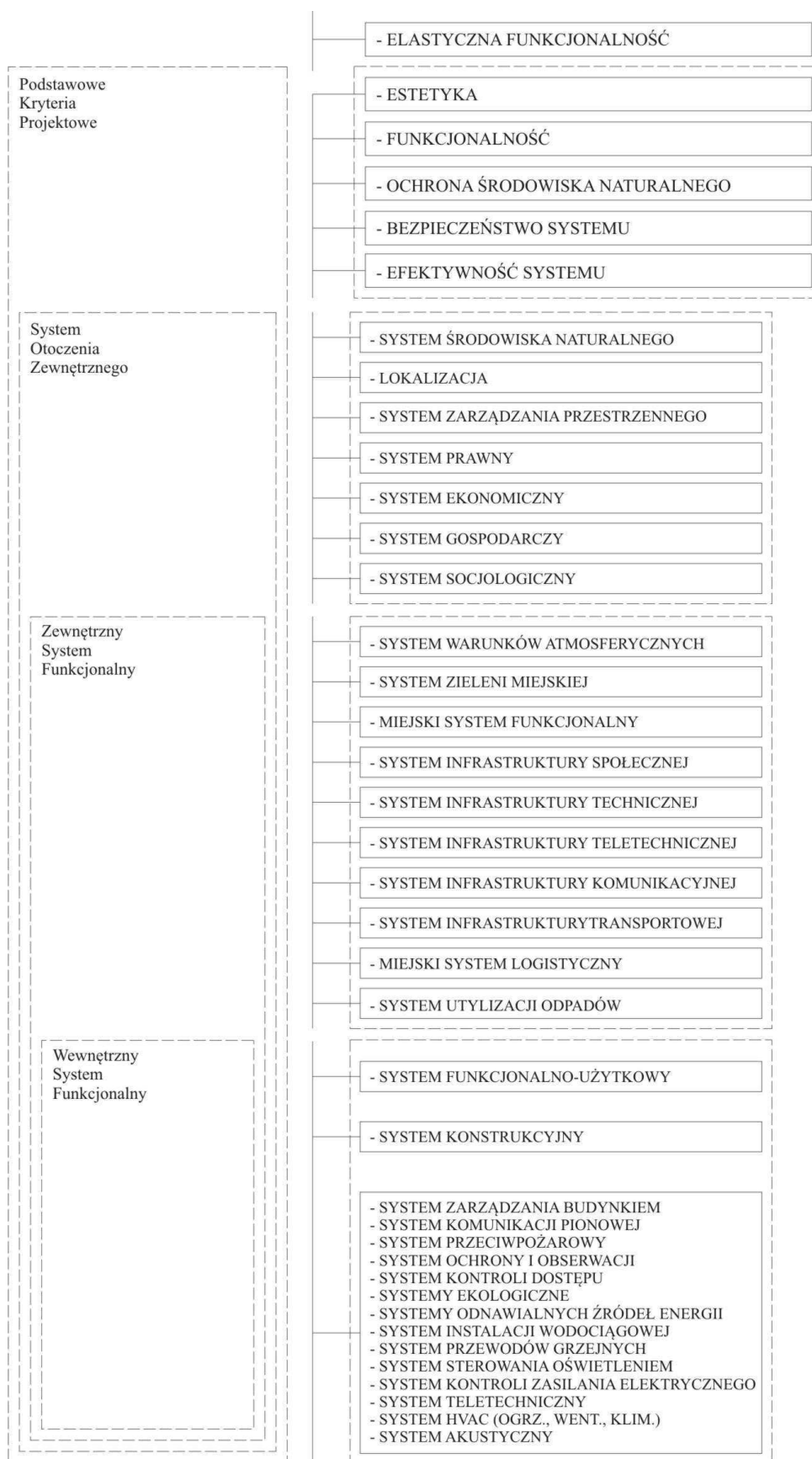
Przedstawienie całościowego podejścia do projektowania budynków wielofunkcyjnych wymaga syntezy całej struktury obiektu w złożony i zintegrowany system. *Synteza systemu wewnętrznego z zewnętrznym systemem w odniesieniu do otoczenia dopiero w połączeniu z głównymi założeniami projektowymi może stanowić całkowity obraz podejścia do projektowania obiektów wielofunkcyjnych (27).*

*Fundamentalną wartością holistycznej metody w projektowaniu budynków wielofunkcyjnych jest uchwycenie ogólnego zakresu systemu. Wynik procesu, którym jest projekt budynku wielofunkcyjnego, powinien być płynnie działającym systemem, gdzie funkcje nie wpływają na siebie negatywnie. Projekt obiektu wielofunkcyjnego wymaga podjęcia podejścia opartego na bezpieczeństwie w procesie projektowym z większą uwagą... Definiowanie podstawowych parametrów wielofunkcyjnego budynku może zaowocować jego wydajniejszym użytkowaniem. Optymalizacja trwałości powinna być podstawą każdego projektu architektonicznego (91).*

Metoda holistyczna w projektowaniu obiektów wielofunkcyjnych, elastycznych funkcjonalnie polega na rozbudowanej analizie złożonej struktury systemu oraz relacji, które występują pomiędzy jej podsystemami. Całościowy proces podporządkowany jest podstawowym filarom, które tworzą współczesną filozofię podejścia do architektury. Na rysunku 5.18 przedstawiony został schemat struktury metody holistycznej, uwzględniający podstawowe kryteria estetyki, funkcjonalności, ochrony środowiska, bezpieczeństwa oraz efektywności. Natomiast na rysunku 5.19 przedstawiony został zbiór podstawowych podsystemów metody holistycznej z uwzględnieniem kryterium elastyczności funkcjonalnej.



**Rysunek 6.1.** Schemat metody holistycznej w projektowaniu budynków wielofunkcyjnych. Opracowanie własne.



**Rysunek 6.2.** Zbiór podstawowych podsystemów metody holistycznej w projektowaniu wielokryterialnym budynków wielofunkcyjnych z uwzględnieniem kryterium elastyczności funkcjonalnej. Opracowanie własne.

## 6.2 Model matematyczny

J. Gutenbaum zajmuje się badaniem modelowania matematycznego systemów i definiuje, że zadaniem modelu matematycznego jest przedstawienie relacji matematyczno-logicznych, przy czym charakteryzuje się on najwyższym stopniem abstrakcji; umożliwia operowanie symbolami i wyciąganie wniosków jakościowych (30). Odwzorowanie matematyczne jest niezbędne ze względu na złożoność systemu jakim jest obiekt wielofunkcyjny. Ponadto przedmiotem badań jest obiekt elastyczny funkcjonalnie, co czyni proponowany system dynamicznym. Na rysunku 6.2 przedstawiony został zbiór podstawowych podsystemów, na które również składają się kolejne poziomy podsystemów. Przetworzenie tego systemu na język matematyczny stanowi logiczną reprezentację całości systemu. Model matematyczny jest podstawą do prowadzenia dalszych analiz dotyczących kryteriów projektowych oraz relacji występujących pomiędzy elementami systemu obiektu wielofunkcyjnego.

Model matematyczny obiektu należy zdefiniować poprzez określenie podstawowych elementów danej struktury. Po pierwsze, analiza systemu przedstawia wyodrębnione podsystemy za pomocą grupowania elementów w postaci zbiorów. Po drugie, określone zbiory zostały przedstawione w postaci grafu.

Główny zbiór  $ZW$ , jest to zbiór wszystkich elementów obiektu wielofunkcyjnego (1). Szczegółowość zawartości  $ZW$  została ograniczona ze względu na czytelność proponowanego schematu. Podzbiórmi  $ZW$  są następujące zbiory:  $O$  - zbiór elementów systemu otoczenia zewnętrznego (2),  $Z$  - zbiór elementów zewnętrznego systemu funkcjonalnego (3),  $W$  - zbiór elementów wewnętrznego systemu funkcjonalnego (4). Każdy podzbiór zawiera również zbiory elementów, które są składową tych elementów podrzędnych. Struktura wraz z opisem podstawowych zbiorów przedstawiona została na rysunku 6.3. Hierarchię zbiorów można opisać w następujący sposób:

$$ZW \in \{O, Z, W\} \quad (1)$$

$$O \in \{O_1, O_2, O_3, O_4, O_5, O_6, O_7\} \quad (2)$$

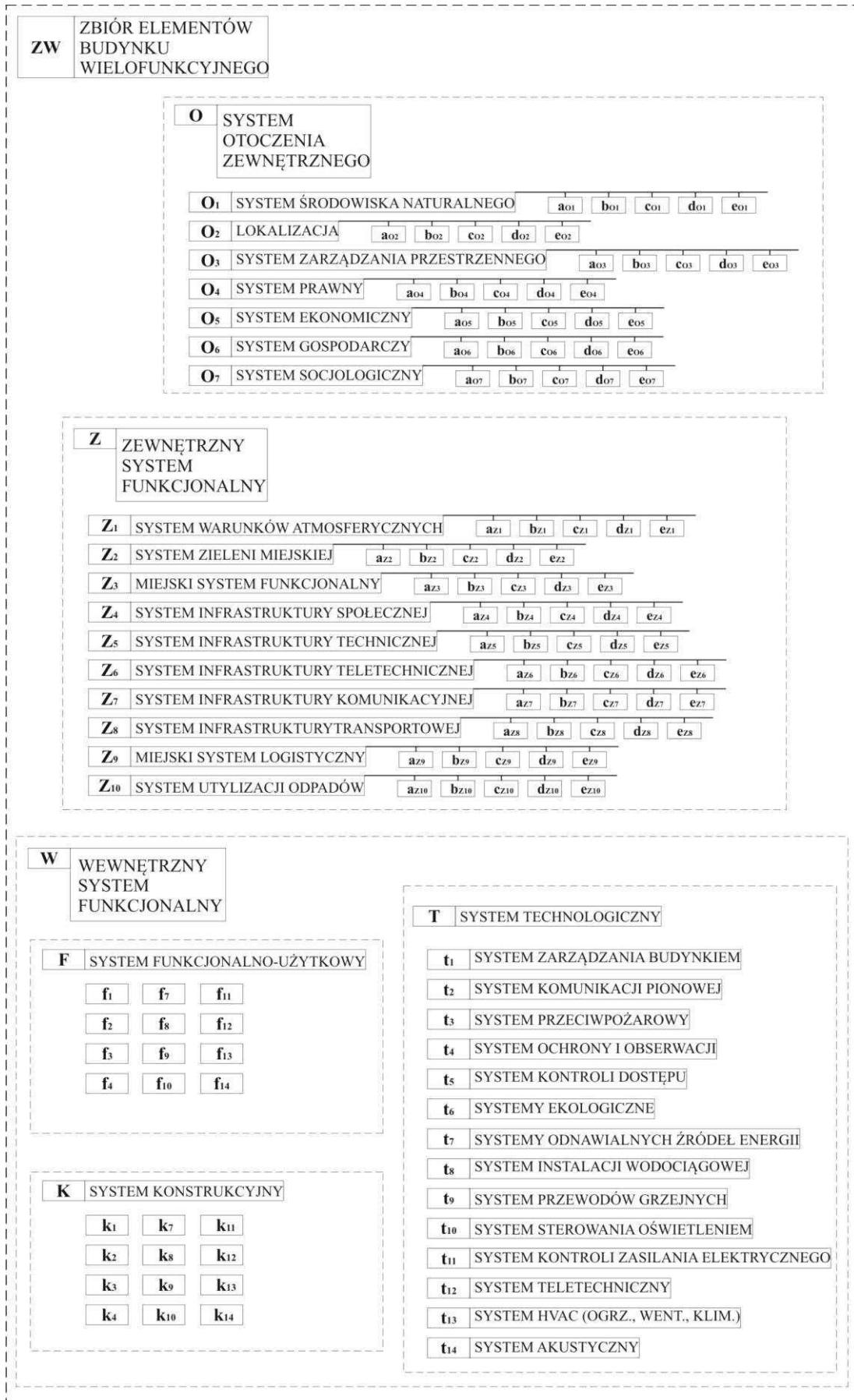
$$Z \in \{Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6, Z_7, Z_8, Z_9, Z_{10}\} \quad (3)$$

$$W \in \{F, K, T\} \quad (4)$$

$$F \in \{f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6, f_7, f_8, f_9, f_{10}, f_{11}, f_{12}, f_{13}, f_{14}\} \quad (5)$$

$$K \in \{k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7, k_8, k_9, k_{10}, k_{11}, k_{12}, k_{13}, k_{14}\} \quad (6)$$

$$T \in \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, t_9, t_{10}, t_{11}, t_{12}, t_{13}, t_{14}\} \quad (7)$$



Rysunek 6.3. Zbiór elementów budynku wielofunkcyjnego ZW. Opracowanie własne.

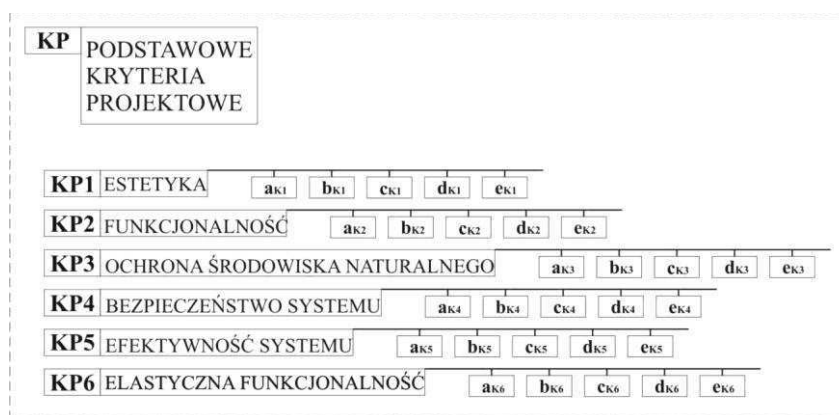


Zbiór  $W$  (4) zawiera podzbiory:  $F$  - zbiór funkcji występujących w budynku wielofunkcyjnym (5), gdzie dana funkcja przyjmuje charakter zmiennej względem potrzeb użytkownika; zbiór  $K$  - zbiór komponentów konstrukcyjnych tworzących strukturę obiektu wielofunkcyjnego (6) oraz zbiór  $T$  - zbiór technologii uwzględnionych w projekcie obiektu (7).

W celu uchwycenia pełnej reprezentacji matematycznej systemu obiektu wielofunkcyjnego konieczne jest jeszcze ujęcie zbioru kryteriów podstawowych  $KP$  (8), którym podporządkowany jest cały proces projektowy, który zawiera następujące elementy:  $K1$  - estetyka obiektu,  $K2$  - funkcjonalność obiektu,  $K3$  - ochronę środowiska naturalnego,  $K4$  - bezpieczeństwo systemu,  $K5$  - efektywność systemu,  $K6$  - elastyczność funkcjonalną obiektu.

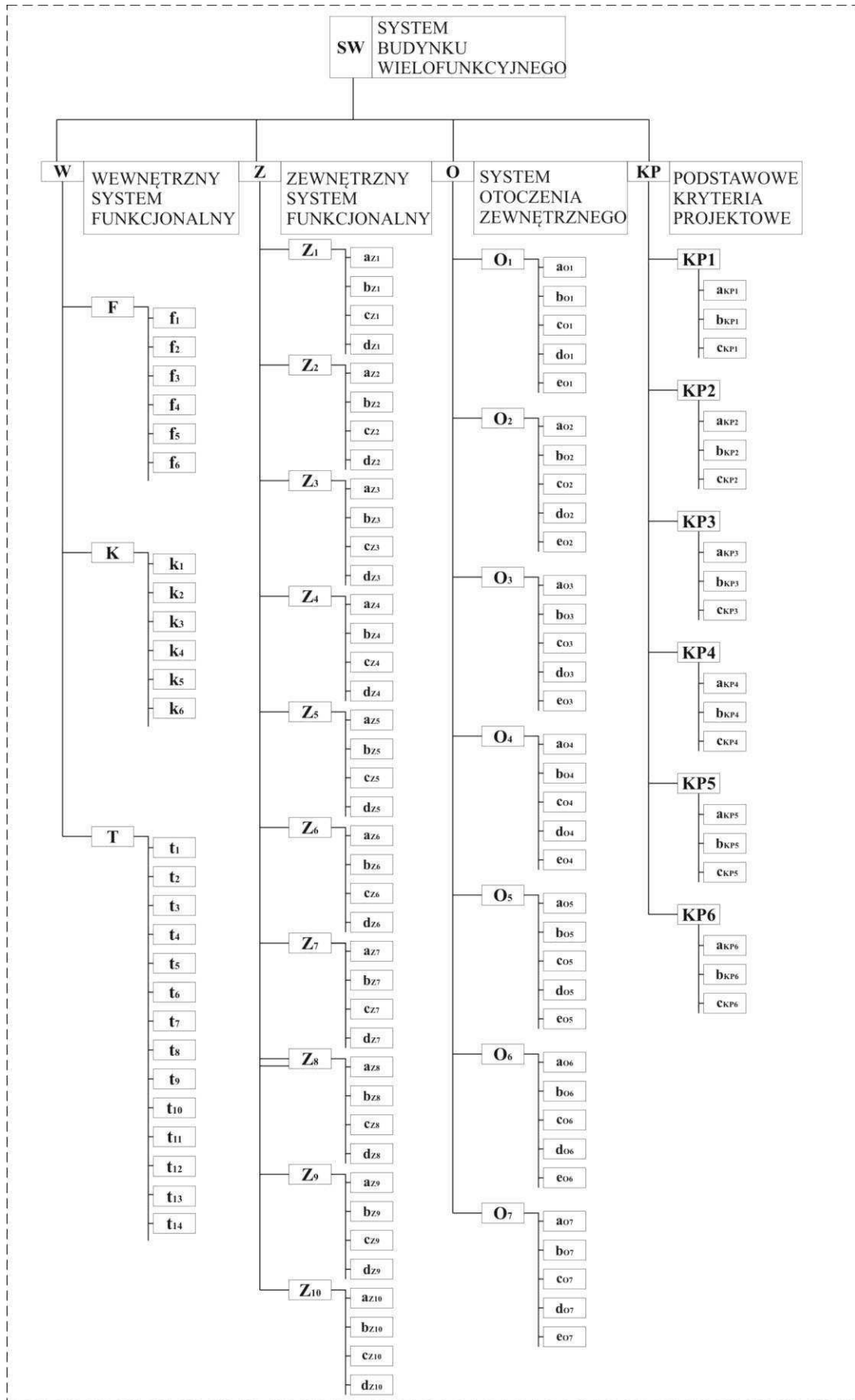
$$KP \in \{KP1, KP2, KP3, KP4, KP5, KP6\} \quad (8)$$

Na rysunku 6.4 przedstawiony został zbiór podstawowych kryteriów projektowych dla budynku wielofunkcyjnego elastycznego funkcjonalnie.



**Rysunek 6.4.** Zbiór podstawowych kryteriów projektowych  $KP$  dla budynku wielofunkcyjnego. Opracowanie własne.

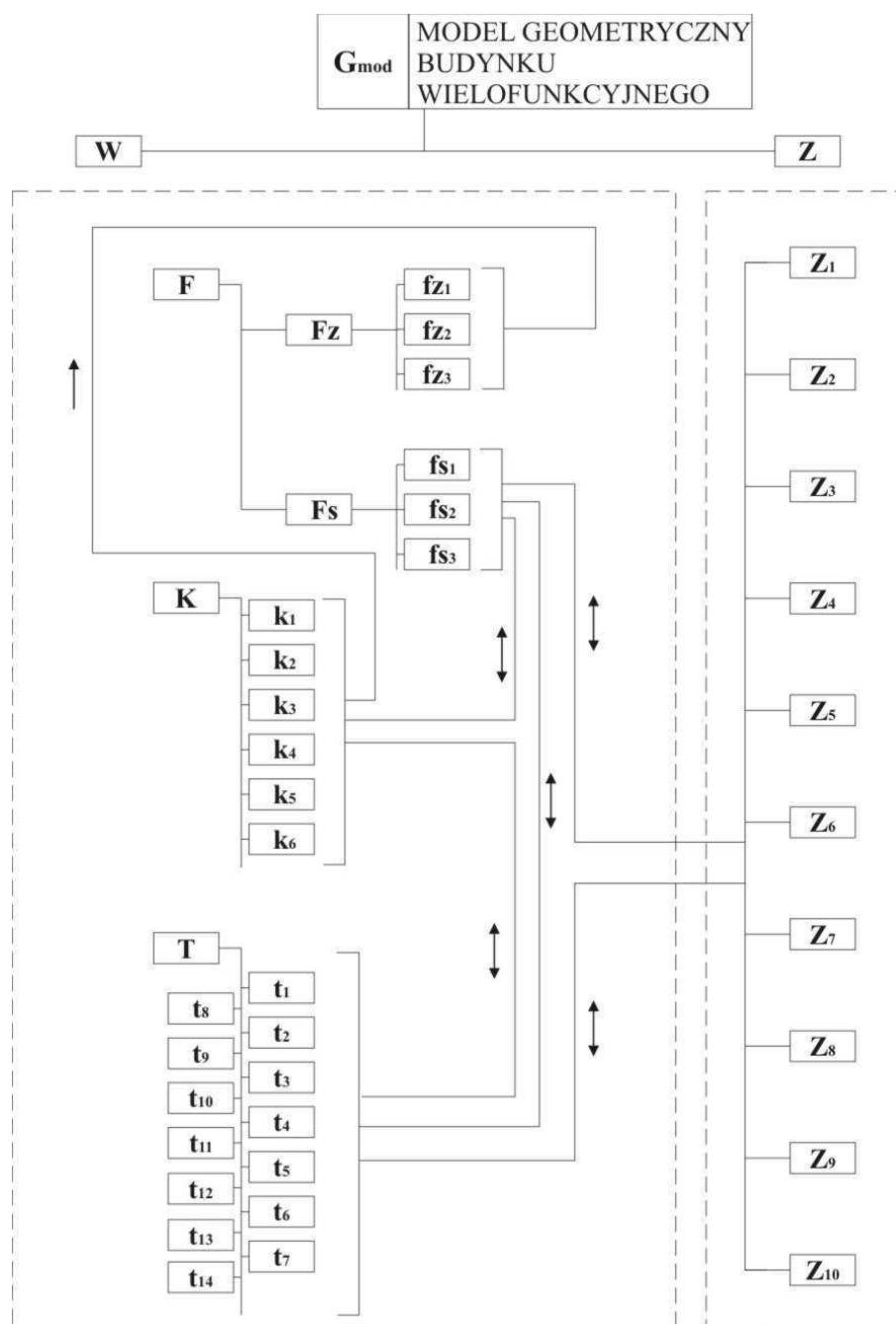
Dopiero poprzez syntezę omówionych powyżej zbiorów możliwa będzie pełna reprezentacja i analiza całego systemu budynku wielofunkcyjnego  $SW$ . Będzie ona możliwa właśnie poprzez reprezentację zbiorów określonych powyżej w formie grafu przedstawionego na rysunku 6.5. Przedstawione podejście matematyczne może stanowić element wyjściowy do prowadzenia dalszych badań w zakresie projektowania obiektów wielofunkcyjnych.



**Rysunek 6.5.** Graf reprezentujący strukturę systemu *SW* elementów budynku wielofunkcyjnego elastycznego funkcjonalnie. Opracowanie własne.

### 6.3 Model geometryczny

Model geometryczny obiektu wielofunkcyjnego  $G_{mod}$  w celu zapewnienia obsługi procesów komunikacyjnych oraz technologicznych ukształtowany jest za pomocą zbioru elementów konstrukcyjnych  $K$  w taki sposób, aby te komponenty umożliwiały obsługę zbioru funkcji  $F$  oraz zbioru technologii  $T$ .



**Rysunek 6.6.** Graf zależności pomiędzy elementami modelu geometrycznego budynku wielofunkcyjnego  $G_{mod}$ . Opracowanie własne.

Ponadto w procesie kształtowania geometrii konieczne jest uwzględnienie zbioru elementów zewnętrznego systemu funkcjonalnego  $Z$ .

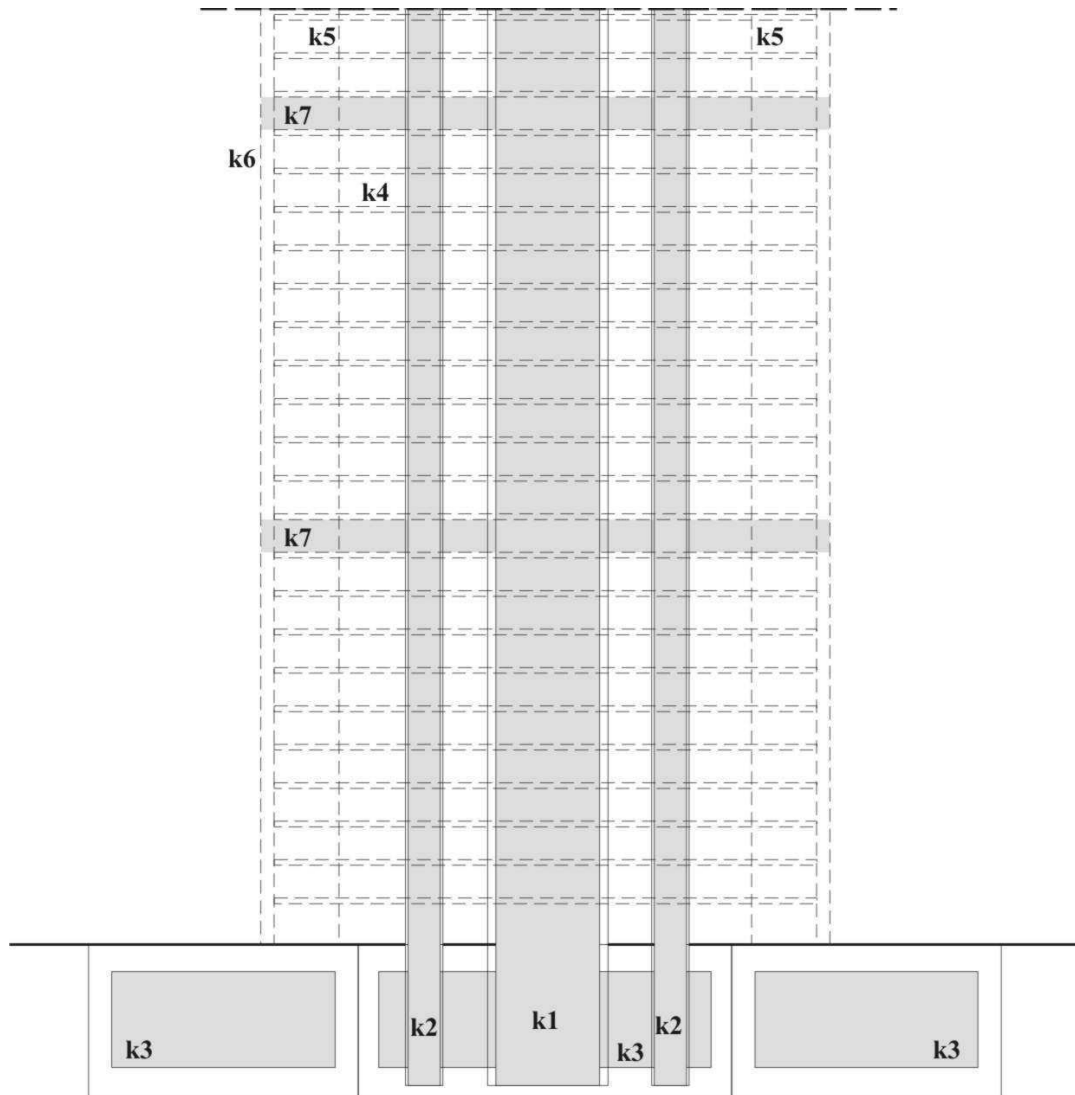
Zbiór funkcji  $F$  zawiera zbiór funkcji stałych  $F_s$  oraz zbiór funkcji zmiennych  $F_z$ . Należy wyróżnić funkcje stałe odnoszące się do elementów zewnętrznego systemu funkcjonalnego, jak i te które odnoszą się do zbioru elementów technologicznych  $T$ . Koordynacja tych elementów pozwala na określenie elementów konstrukcyjnych  $K$ . Geometria funkcji zmiennych jest uwarunkowana przez zbiór elementów konstrukcyjnych  $K$ . Na rysunku 6.6 przedstawiony został graf zależności pomiędzy elementami projektowanej geometrii obiektu.

Model geometryczny wymaga określenia elementów komponentów konstrukcyjnych, które zapewnią obsługę technologiczną oraz funkcjonalną bez zakłóceń spowodowanych zmianami w funkcjonowaniu, czy też modyfikacji technologii w obiekcie. Wymaga to wprowadzenia osobliwości projektowanego systemu.

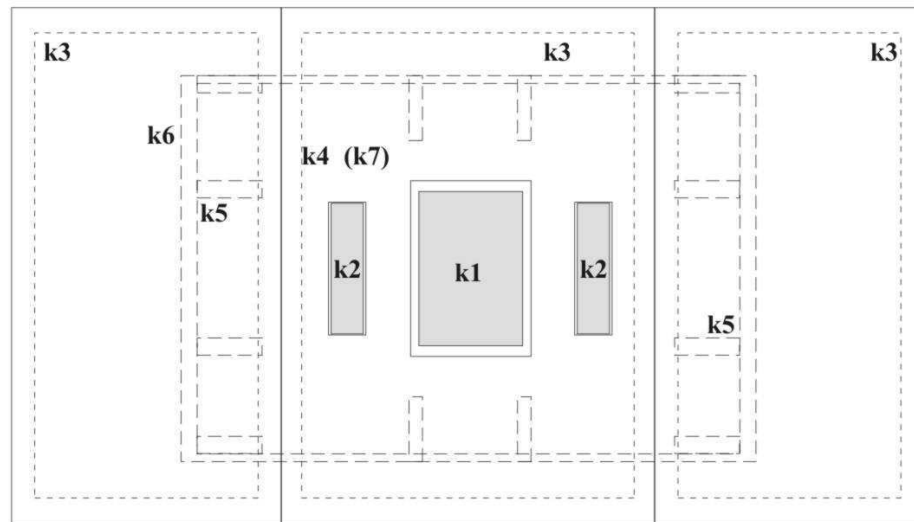
Na rysunku 6.7 przedstawiony został schemat modelu geometrycznego budynku wielofunkcyjnego zdefiniowany poprzez strukturę konstrukcyjną. Wyodrębnione zostały podstawowe komponenty zbioru  $K$ , są to:

- $k1$  - rdzeń konstrukcyjny systemu dedykowany pionowej obsłudze systemu technologii oraz dla przestrzeni pomocniczych na potrzeby funkcji podstawowych oraz zmiennych;
- $k2$  - rdzeń komunikacji pionowej na potrzeby funkcji zmiennych;
- $k3$  - element zespolony systemu konstrukcyjnego fundamentów, w którym możliwe jest wprowadzenie obsługi komunikacyjnej oraz technologicznej obiektu;
- $k4$  - strop żelbetowy;
- $k5$  - element przenoszący obciążenie stropu, np. megakolumna;
- $k6$  - system elewacyjny, np. ustrój powłokowy stalowy ze skratowaniami;
- $k7$  - kondygnacja technologiczna dedykowana poziomej obsłudze systemu technologii oraz dla przestrzeni pomocniczych na potrzeby funkcji podstawowych oraz zmiennych.

Model geometryczny obiektu w cyklu życia obiektu wielofunkcyjnego powinien być opracowany jako struktura schematyczna, która w kolejnych fazach będzie dookreślana poprzez analizę wielobranżową.



SCHEMAT PRZEKROJU



SCHEMAT RZUTU

**Rysunek 6.7.** Schemat modelu geometrycznego obiektu wielofunkcyjnego. Opracowanie własne.

## 6.4 Model fizyczny

Opracowanie modelu geometrycznego i ustalenie wstępnych założeń projektu umożliwia przejście do kolejnej fazy opracowania, którą jest model fizyczny obiektu. Model fizyczny może być przedstawiony za pomocą rysunku technicznego dwuwymiarowego, za pomocą makiety przestrzennej bądź też za pomocą cyfrowego modelu przestrzennego.

Tradycyjne tworzenie modelu fizycznego, (zresztą cały czas aktualne), czyli rysunek architektoniczny oraz tworzenie makiet fizycznych, pozwala przedstawić w szczegółowy sposób proponowaną koncepcję w krótkim czasie. Jest on odpowiedni na etapie tworzenia koncepcji budynku, gdzie doświadczenie architekta pozwala na określenie wstępnego modelu fizycznego. Jest to narzędzie odpowiednie do kontrolowania estetyki obiektu, jego relacji przestrzennych dla danej lokalizacji oraz wstępnej analizy.

W obecnie przyjętej praktyce etap rysunku technicznego oraz modelowania makiety w skali jest etapem poprzedzającym tworzenie modelu przy użyciu symulacji komputerowej. W przypadku projektowania obiektu wielofunkcyjnego, przedmiotem opracowania jest złożona struktura systemowa. Narzędzia symulacji komputerowej pozwalają na tworzenie wirtualnej struktury fizycznej obiektu.

Obecnie w tym zakresie rozwijana jest *koncepcja modelowania informacji o budynku* (BIM - ang. building information modeling), która określa zbiór zasad dotyczących zarządzania informacjami o budynku w całym jego cyklu życia (1). Ł. Adamus stwierdził, że *narzędzia wykorzystujące koncepcję BIM znajdują się na wczesnym etapie rozwoju, nie są w pełni zgodne z jej założeniami. Pełne wykorzystanie jej potencjału będzie wymagało dalszego rozwoju metodyki i technologii przy współpracy specjalistów z branży budowlanej, producentów oprogramowania, środowiska naukowego, instytucji normalizacyjnych oraz organów ustawodawczych* (1). Systemy BIM obecnie spełniają funkcję integrowania opracowań wielobranżowych co jest znacznym ułatwieniem pracy dla projektantów przy kompilowaniu dokumentacji.

Celem modelu fizycznego jest zdefiniowanie wszystkich elementów fizycznych struktury budynku wielofunkcyjnego w postaci przestrzennej struktury. Na podstawie odpowiednio przygotowanego modelu cyfrowego możliwe są do przeprowadzenia analizy, których celem jest optymalizacja parametrów danego obiektu. Obiekt fizyczny



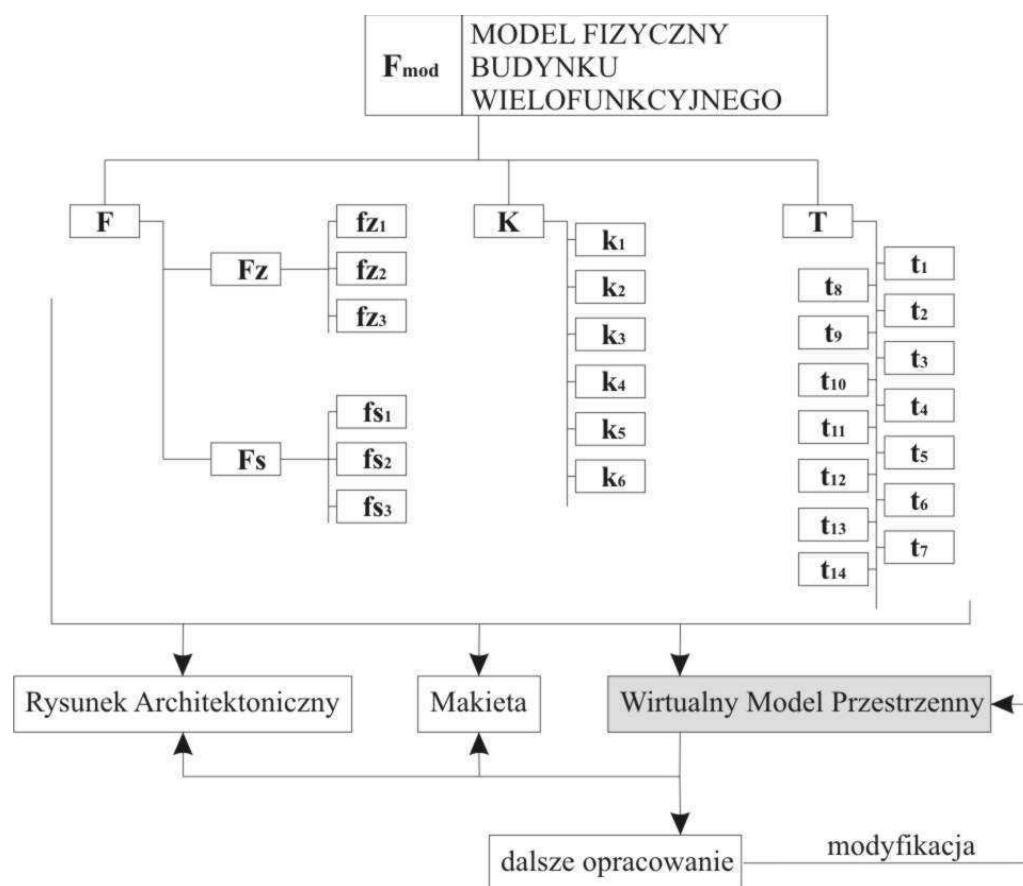
ze względu na jego dalszą optymalizację jest formą, która może się zmieniać dynamicznie według potrzeb.

Model fizyczny w cyklu życia budynku ma za zadanie zobrazować przestrzennie projektowaną formę, dzięki czemu można ją poddać ocenie wszystkim podmiotom zaangażowanym w projekt jak i lokalizować poszczególne elementy ujęte w systemie budynku wielofunkcyjnego.

Na rysunku 6.8 przedstawiony został schemat ujęcia modelu fizycznego obiektu wielofunkcyjnego  $F_{mod}$ . Model fizyczny zawiera w swoim założeniu reprezentację elementów wewnętrznego systemu funkcjonalnego  $W$  ustalonego w procesie modelowania geometrii. Na schemacie przedstawione zostały sposoby reprezentacji modelu fizycznego. Są to rysunek architektoniczny, makieta oraz cyfrowy model trójwymiarowy.

Jak wcześniej zostało określone, każdy sposób jest uzasadniony na odpowiednim etapie fazy cyklu życia obiektu wielofunkcyjnego. Jednak w dynamicznym procesie zarządzania projektem ważne jest, aby dana technika mogła ewoluować wraz z cyklem życia obiektu. Jak przedstawia K. Zielonko - Jung, makieta może służyć np. do analizy obiektu w tunelu aerodynamicznym (102). Jednak w przypadku wyników negatywnych analizy zachodzi konieczność modyfikacji makiety, bądź też stworzenia nowej.

Wirtualne modelowanie trójwymiarowe jako najnowsze narzędzie tworzenia modelu fizycznego pozwala zachować największą efektywność wśród wszystkich technik. Na podstawie cyfrowego modelu trójwymiarowego projektanci są w stanie wygenerować przestrzenne oraz płaskie obrazy danego modelu. Ponadto, przy użyciu technologii druku trójwymiarowego możliwe jest też stworzenie makiety, np. na potrzeby analizy w tunelu aerodynamicznym. Poza powyższymi możliwościami trójwymiarowego modelu cyfrowego, najważniejszy jest jednak aspekt wykorzystania go w dalszym opracowaniu. W następnych etapach możliwe jest analizowanie struktury modelu fizycznego w różnych fazach opracowania, gdzie wirtualny model przestrzenny może w łatwy sposób zostać poddany modyfikacjom, po czym ponownie będzie użyty w dalszym opracowaniu.



**Rysunek 6.8.** Schemat ujęcia modelu fizycznego  $F_{mod}$  obiektu wielofunkcyjnego. Opracowanie własne.

## 6.5 Model numeryczny

W odniesieniu do obecnie stosowanych i obowiązujących w projektowaniu norm - Eurokodów (EN 1990 i PN-EN 1991) wymagane jest stosowanie regulacji dotyczących budownictwa i konstrukcji budowlanych między innymi w zakresie projektowania i wykonawstwa konstrukcji budowlanych (18). Normy te zawierają szczegółowe wytyczne dotyczące elementów projektowanych konstrukcji. R. Paruch opisuje relację rozwoju nowoczesnych form architektonicznych i systemów konstrukcji budynków wysokich w wyniku oddziaływania wiatru. *Pomiar rzeczywistych odpowiedzi budynku na oddziaływanie zewnętrzne w połączeniu z obliczeniami numerycznymi pozwala na zaprojektowanie optymalnej formy systemu konstrukcyjnego przyjmującego obciążenia, których wartości będą zbliżone do występujących w naturze... Wykonanie symulacji przepływu wiatru wokół konstrukcji pozwala na przedstawienie rozkładu ciśnienia na elementach nośnych budynku. Uzyskane wyniki z programu*

*komputerowego mogą być uzupełnieniem obliczeń wykonanych na podstawie wytycznych normowych (62).*

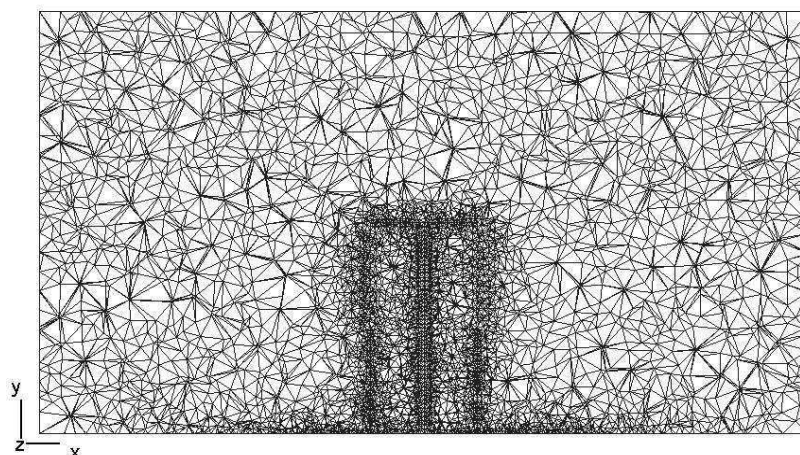
Powyższy przykład ukazuje zastosowanie modelu numerycznego dla przeprowadzenia analizy numerycznej opartej na badaniu opływu strumienia powietrza, i jest pomocny w doborze parametrów konstrukcyjnych obiektu. Jednak budynek wielofunkcyjny ze względu na swoją złożoność stanowi system, który powinien zostać poddany analizom w szerszym zakresie. Dodatkowo regulacje prawne nakładają obowiązek stosowania podstawowych i minimalnych wartości względem projektowanych budynków, traktując analizę numeryczną jako narzędzie pomocnicze.

Model numeryczny budynku stanowi liczbowa, cyfrowa reprezentacja struktury obiektu. Na podstawie geometrii obiektu możliwe jest stworzenie modelu numerycznego dowolnego komponentu obiektu w jego otoczeniu i przeprowadzenia symulacji, której wyniki pozwalają ocenić czy proponowany komponent wpływa na pozytywne kształtowanie struktury w kontekście założonych kryteriów.

Kwestia optymalizacji struktury architektonicznej wymaga dalszych badań w kontekście dążenia do rozwoju zrównoważonego. Zastosowanie analizy numerycznej obiektu jako czynnego narzędzia kształtującego formę obiektu może znacznie podnieść wydajność projektowanych obiektów wielofunkcyjnych a w konsekwencji przyczynić się do działań zgodnych z zasadami ochrony środowiska naturalnego.

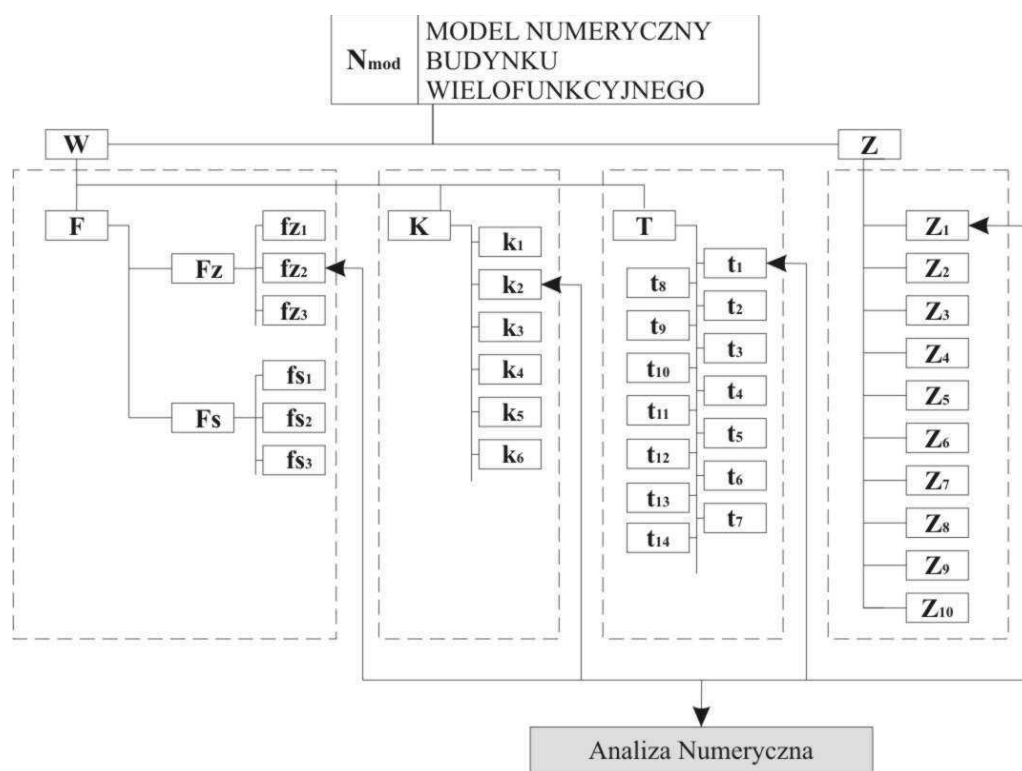
Jest to istotna kwestia w odniesieniu nie tylko konstrukcyjnym, ale również przy doborze i kształtowaniu stosowanych technologii proekologicznych.

Jak opisuje C. M. Mak jedną z podstawowych metod analizy numerycznej jest obliczeniowa mechanika płynów, ang. Computational Fluid Dynamics (CFD), którą autor stosuje do wprowadzenia ekologicznych rozwiązań dla zrównoważonego budownictwa (51). Na rysunku 6.9 przedstawiona została nieuporządkowana siatka numeryczna obiektu w otoczeniu, która po zdefiniowaniu zjawisk fizycznych posłuży do przeprowadzenia symulacji i odczytania jej wyników. Dla obiektu wielofunkcyjnego zawierającego różne przestrzenie użytkowane w różny sposób konieczna jest do przeprowadzenia analiza wielopoziomowa z uwzględnieniem czynników zewnętrznych jak i wewnętrznych.



**Rysunek 6.9.** Siatka numeryczna modelu (przekrój) (51).

Na rysunku 6.10 przedstawiony został schemat modelu numerycznego dla budynku wielofunkcyjnego  $N_{mod}$ , którego elementy składowe zawierają się w wewnętrznym oraz zewnętrznym systemie funkcjonalnym. Na schemacie przedstawiony został przykładowy dobór elementów poddanych analizie numerycznej. Obecnie analiza numeryczna jest wykorzystywana z powodzeniem przy analizie bezpieczeństwa pożarowego, badania opływu wiatru oraz przy modelowaniu systemu wentylacji.



**Rysunek 6.10.** Schemat modelu numerycznego  $N_{mod}$  dla budynku wielofunkcyjnego. Opracowanie własne.

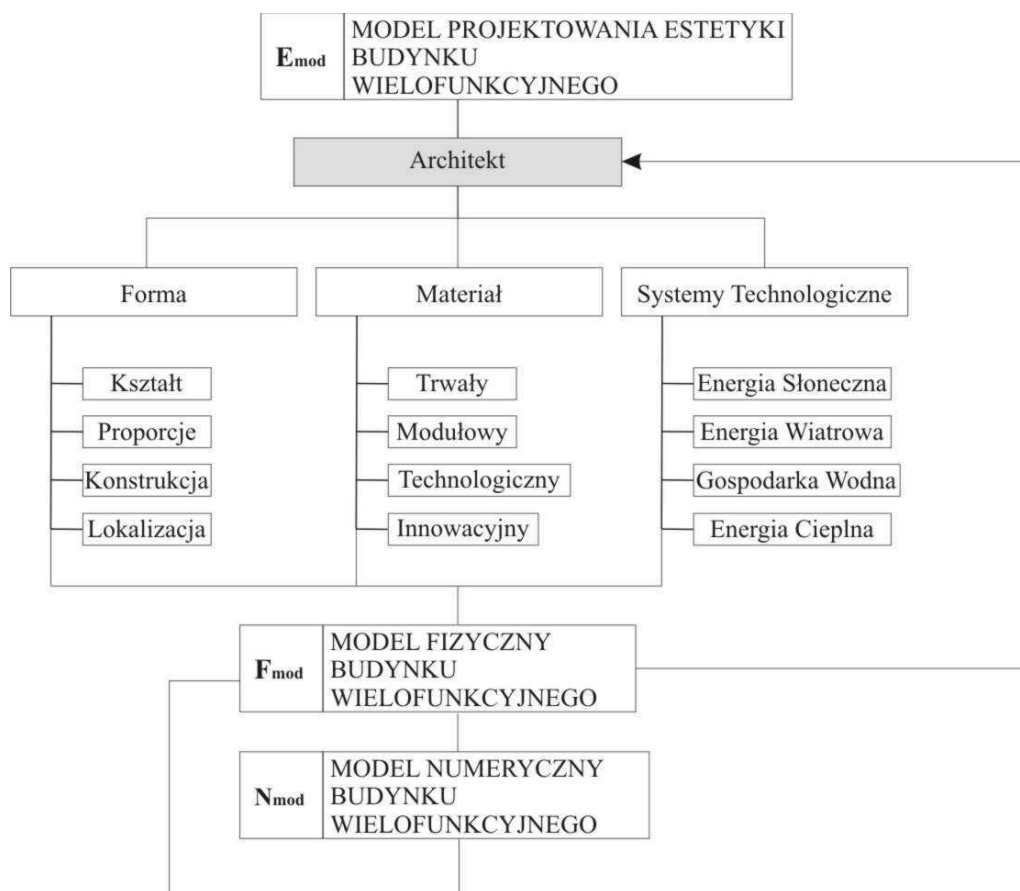
## 6.6 Model projektowania estetyki struktury architektonicznej i urbanistycznej

W odniesieniu do opracowanego wcześniej modelu fizycznego możliwa jest ocena walorów estetycznych obiektu wielofunkcyjnego zarówno w ujęciu architektonicznym jak i urbanistycznym. W pierwszym etapie należy rozwinąć wirtualny model przestrzenny o kontekst danej lokalizacji obiektu. Następnie możliwa jest prezentacja obiektu w wirtualnej rzeczywistości w celu potwierdzenia przyjętych założeń projektowych.

Podstawową ocenę estetyki obiektu przeprowadza główny projektant, którego doświadczenie oraz wiodąca rola w kształtowaniu przestrzeni pozwala na wprowadzenie elementów podwyższających jakość estetyczną obiektu i jego otoczenia. Jednak dążenie do zrównoważonego rozwoju w środowisku zabudowanym narzuca pewne granice swobody. Z drugiej strony, to od kreatywności architekta zależy, w jaki sposób zostaną wdrożone elementy składowe obiektu oraz w jaki sposób wpisuje się on w kontekst otoczenia.

Projektowany system obiektu wielofunkcyjnego powinien być estetycznie podporządkowany systemom składowym, które reprezentują optymalne rozwiązania. Można powiedzieć, że oznacza to uproszczenie formy obiektu, jednak nie oznacza to utraty kontroli nad dążeniem do określonego estetycznego wyrazu.

Na rysunku 6.11 przedstawiony został schemat modelowania estetyki obiektu wielofunkcyjnego *Emod*. Na samym początku procesu modelowego znajduje się architekt, który dobiera parametry tworzące model fizyczny. Następnie model fizyczny jest poddany analizie numerycznej poprzez odpowiednio przygotowany model. Analiza numeryczna pozwala uaktualnić model fizyczny poprzez rozwiązania optymalne dla przyjętych danych wyjściowych, które później ponownie są poddane ocenie architekta. W ten sposób nie wystąpi niebezpieczeństwo braku kontroli nad projektowaną estetyką obiektu.



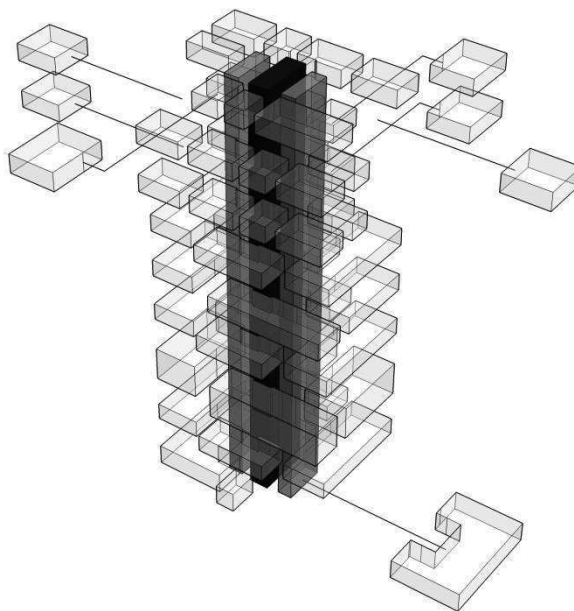
**Rysunek 6.11.** Schemat modelu projektowania estetyki obiektu wielofunkcyjnego  $E_{mod}$ . Opracowanie własne.



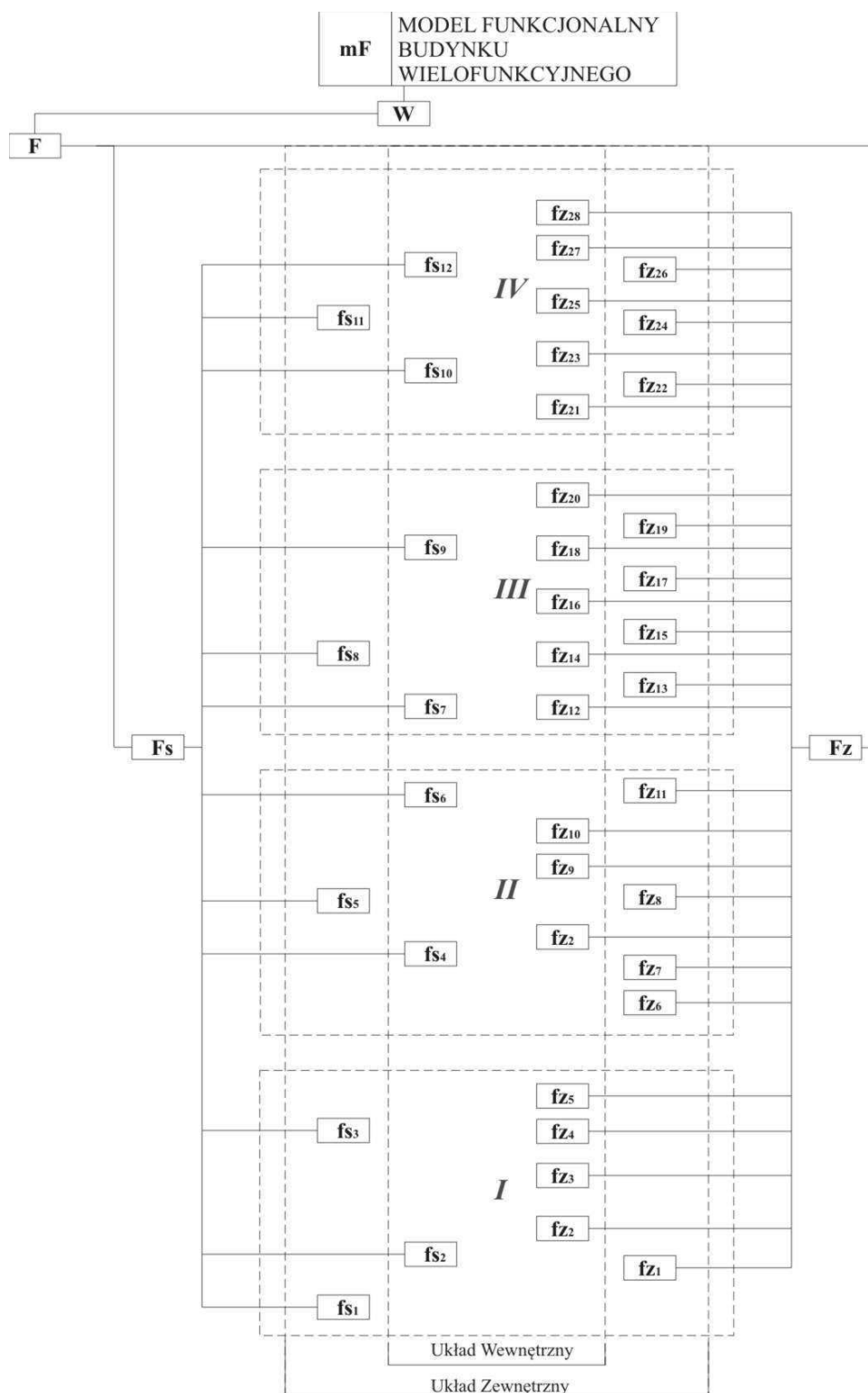
## 6.7 Model funkcjonalny obiektu elastycznego funkcjonalnie

Model funkcjonalny obiektu wielofunkcyjnego stanowi reprezentację struktury użytkowej, opracowanej na podstawie modelu fizycznego. Ponadto model funkcjonalny przewiduje odpowiednio dobraną hierarchię układu, omówioną w poprzednim rozdziale. Model funkcjonalny wymaga zdefiniowania programu funkcjonalno-użytkowego oraz opracowania jego reprezentacji przestrzennej.

Model funkcjonalny wymaga również zobrazowania jego struktury wraz z parametrami powierzchniowymi oraz kubaturowymi w formie przestrzennej. Jest on potrzebny do potwierdzenia, że dana powierzchnia i kubatura są wystarczające dla proponowanego przeznaczenia. Model przestrzenny kształtowany w odniesieniu do modelu fizycznego pozwoli na ocenę czy proponowany układ poszczególnych przestrzeni nie wpływa negatywnie na funkcjonalność przestrzeni sąsiadujących. Na rysunku 6.12 został przedstawiony schemat przestrzenny modelu funkcjonalnego. Na schemacie przestrzennym możliwe jest dokładne zlokalizowanie danej funkcji oraz badanie jej struktury indywidualnie jak i w relacji z resztą struktury.



**Rysunek 6.12.** Schemat przestrzenny modelu funkcjonalnego. Opracowanie własne.



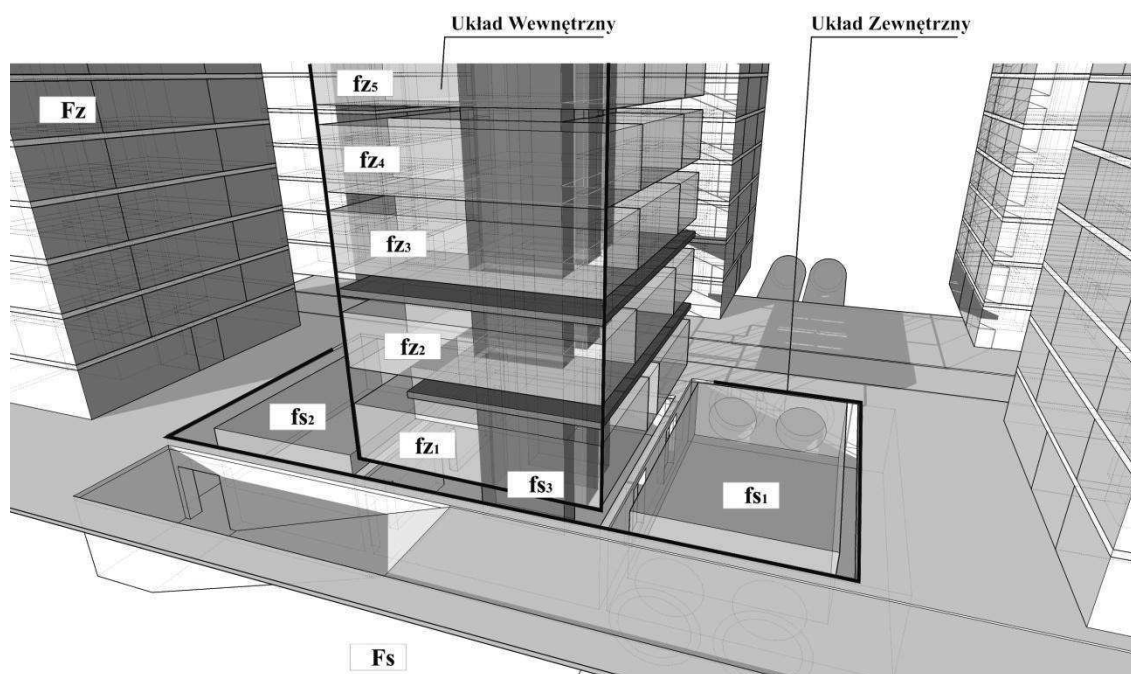
**Rysunek 6.13.** Schemat modelu funkcjonalnego obiektu wielofunkcyjnego  $mF$ . Opracowanie własne.

Schemat modelu funkcjonalnego obiektu wielofunkcyjnego  $mF$  przedstawiony został na rysunku 6.13. Model funkcjonalny powinien zawierać szczegółowo

zdefiniowaną strukturę, tak jak to standardowo zostało przyjęte, ze wskazaniem poziomu, na którym jest lokalizowana dana funkcja. W celu opracowania modelu przyjęty został uproszczony schemat podziału struktury pionowej, opisany za pomocą czterech stref oznaczonych cyframi rzymskimi (według schematu na rysunku 5.8.). Przy modelowaniu rzeczywistego obiektu struktura ta jest reprezentowana poprzez poszczególne kondygnacje. Ponadto, model uwzględnia w strukturze elementy funkcjonalne stałe i zmienne z zachowaniem odniesienia do układu wewnętrznego oraz zewnętrznego.

Na rysunku 6.14 przedstawiony został schemat przestrzenny modelu funkcjonalnego obiektu wielofunkcyjnego. Widoczne są tu dwie płaszczyzny. Pierwsza pozioma reprezentuje zewnętrzny układ funkcjonalny, natomiast druga pionowa reprezentuje wewnętrzny układ funkcjonalny.

Zewnętrzny układ funkcjonalny, odnoszący się do otoczenia zawiera w programie funkcje stałe, takie jak obsługę np. komunikacji transportowej i logistycznej oraz funkcje zmienne jak np. usługi, gastronomię. Natomiast układ wewnętrzny zawiera komunikację pionową i przestrzeń technologiczną jako funkcje stałe oraz przestrzenie użytkowe, zagospodarowane zgodnie z aktualnymi potrzebami jako funkcje zmienne.

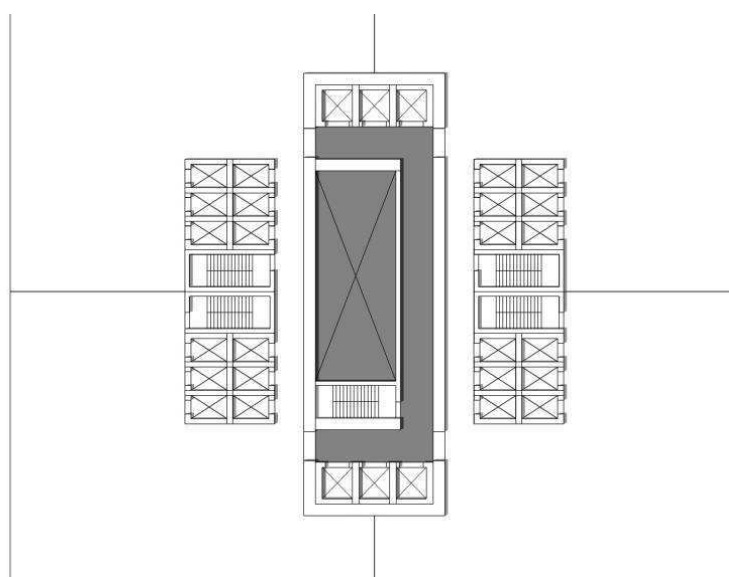


**Rysunek 6.14.** Schemat modelu funkcjonalnego uwzględniający zakres układu wewnętrznego i układu zewnętrznego ze wskazaniem funkcji stałych i zmiennych. Opracowanie własne.

## 6.8 Model efektywności obiektu wielofunkcyjnego

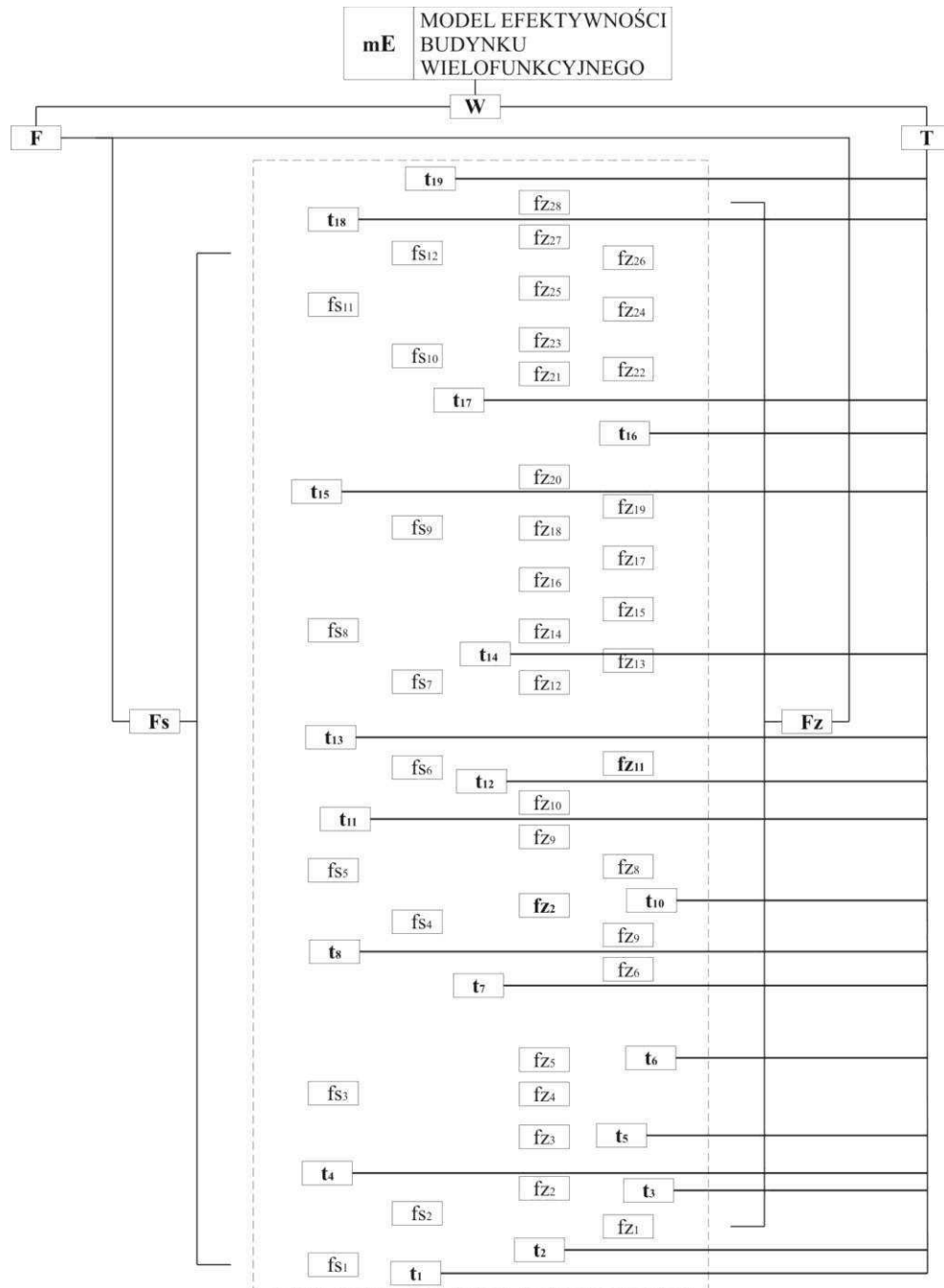
W obiekcie elastycznym funkcjonalnie kwestią niezwykle istotną jest, w jaki sposób możliwa jest adaptacja nowych funkcji. W jaki sposób zastosowana technologia może być zmodyfikowana bez ingerowania w strukturę systemu. Na rysunku 6.15 ukazano schemat rzutu obiektu wielofunkcyjnego. Celem jest tu zapewnienie odpowiednich połączeń pionowych w obiekcie. Efektem tych dążeń są trzy piony komunikacyjne. Główny pion - centralny przeznaczony jest dla masowej obsługi eksploatowanego obiektu. Zawiera windy towarowe na potrzeby dystrybucji towarów oraz rozbudowany pion instalacyjny, które to elementy stanowią odrębną strefę rzutu budynku. Przeznaczenie dużej przestrzeni na potrzeby instalacji jest niezbędne w celu integracji wszystkich systemów technologicznych, a zarazem dla zapewnienia dogodnego dostępu w przypadku konieczności ich modyfikacji. Pion instalacyjny pozwala na centralne zarządzanie i kontrolę wszystkich podzespołów w jednym miejscu. Ponadto przewidziane zostały dwa odrębne piony, które stanowią komunikację pionową na potrzeby różnych funkcji. Zawierają szyby windowe oraz klatki schodowe stanowiące element stref funkcjonalnych w obiekcie.

Efektywność powinna być zachowana również dla poziomych dróg dystrybucji technologii i umożliwiać ich łatwą modyfikację. Możliwe jest to poprzez stosowanie podwieszonych sufitów oraz podniesionych podłóg lub specjalnie kształtowanych bruzd w geometrii płyty stropowej.



**Rysunek 6.15.** Schemat rzutu obiektu wielofunkcyjnego elastycznego funkcjonalnie. Opracowanie własne.

Na rysunku 6.16 przedstawiony został model efektywności obiektu wielofunkcyjnego, gdzie struktura funkcjonalna została uzupełniona systemem technologii. Model efektywności jest wprowadzony w celu optymalizacji rozwiązań, na którym to modelu możliwa jest do przeprowadzenia analiza i ocena wpływu przewidzianych technologii na elementy wyjściowe systemu.



**Rysunek 6.16.** Schemat modelu efektywności obiektu wielofunkcyjnego *mE*. Opracowanie własne.

## 6.9 Model bezpieczeństwa obiektu wielofunkcyjnego

Bezpieczeństwo obiektu wielofunkcyjnego powinno być zawarte w modelu systemowym cyklu życia obiektu. Na każdym etapie procesu tworzenia czy użytkowania budynku konieczne jest prowadzenie diagnozy systemu, dla potwierdzenia jego niezawodności. Projektowanie przy współpracy z inżynierami bezpieczeństwa (83) ma na celu przewidzenie możliwych występujących zagrożeń dla systemu i jest rozwinięciem podejścia opartego tylko i wyłącznie na przepisach prawa i normach, które gwarantuje spełnienie minimalnych wymogów. O. Downarowicz przedstawia następujące przyczyny, w wyniku których następuje uszkodzenie obiektu podczas eksploatacji:

- zużycie fizyczne;
- błąd projektowania konstrukcji;
- błąd wytwarzania (budowy);
- wada materiału dopuszczonego do wytwarzania (budowy);
- błąd w dokumentacji eksploatacyjnej;
- błąd eksploatacji;
- zdarzenie uznawane za losowe;
- zamierzone działanie niszczące (12).

Podstawowy trzon diagnozy bezpieczeństwa systemu wielofunkcyjnego oparty jest na procedurach, ludziach i systemie budynku wielofunkcyjnego *SW*. Powyższe elementy systemu w modelu bezpieczeństwa budynku wielofunkcyjnego występują w ścisłych relacjach pomiędzy sobą.

System budynku jest podstawą do zdefiniowania procedur, które warunkują postępowanie ludzi, a zarazem mają wpływ na ukształtowanie się ostatecznej struktury systemu budynku. Procedury stanowią opracowane wcześniej scenariusze postępowania w odniesieniu do możliwych zagrożeń. Determinują one reakcje, czyli scenariusze postępowania na wypadek wystąpienia zagrożenia, zarówno ludzi jak i elementów systemu wielofunkcyjnego. Ludzie w przedstawionym systemie to użytkownicy, personel danego obiektu oraz zewnętrzne publiczne służby bezpieczeństwa.

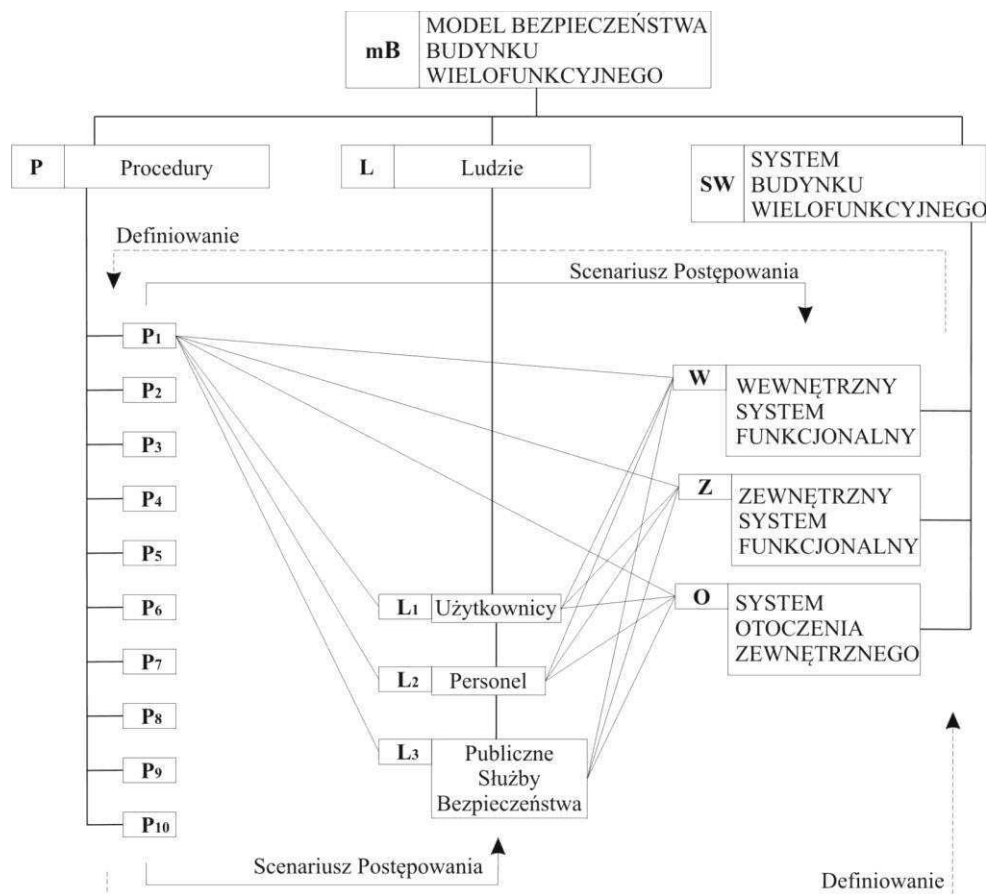
Analiza występujących interakcji pomiędzy podsystemami budynku wielofunkcyjnego a procedurami i ludźmi jest podstawą opracowania złożonego modelu bezpieczeństwa. Dopiero na jego podstawie możliwe jest opracowanie efektywnego



systemu zarządzania budynkiem. System zarządzania budynkiem w postaci systemu instrumentów technologicznych jest w stanie zapewnić:

- systematyczną kontrolę i monitorowanie bezpieczeństwa systemu;
- odpowiedni czas reakcji przy identyfikacji zagrożenia;
- automatyczny pomiar zaistniałego zagrożenia i oszacowanie jego skutków;
- wdrożenie odpowiednich procedur wspomagających działania ludzi.

Na rysunku 6.17 przedstawiony został schemat modelu bezpieczeństwa obiektu wielofunkcyjnego *mB*. Widoczny jest podział struktury na procedury *P*, ludzi *L* oraz elementy systemu budynku wielofunkcyjnego *SW*. Na schemacie widoczny jest wpływ modelowania bezpieczeństwa w relacji procedur z systemem wielofunkcyjnym. Przedstawiony został wpływ reakcji przykładowego zagrożenia określonego procedurą *P<sub>1</sub>*, która ma na celu uruchomienie dostępnych środków zapobiegawczych.



**Rysunek 6.17.** Schemat modelu bezpieczeństwa obiektu wielofunkcyjnego *mB*. Opracowanie własne.

## 6.10 Model wielokryterialny w ujęciu systemowym

Obiekt wielofunkcyjny stanowi złożony system. Jak definiuje N. Dulac złożony system, to taki, *który zawiera dużą liczbę elementów i połączeń lub współzależności, które są trudne do opisanego, zrozumienia, przewidywania, zarządzania, projektowania i/lub zmiany* (13).

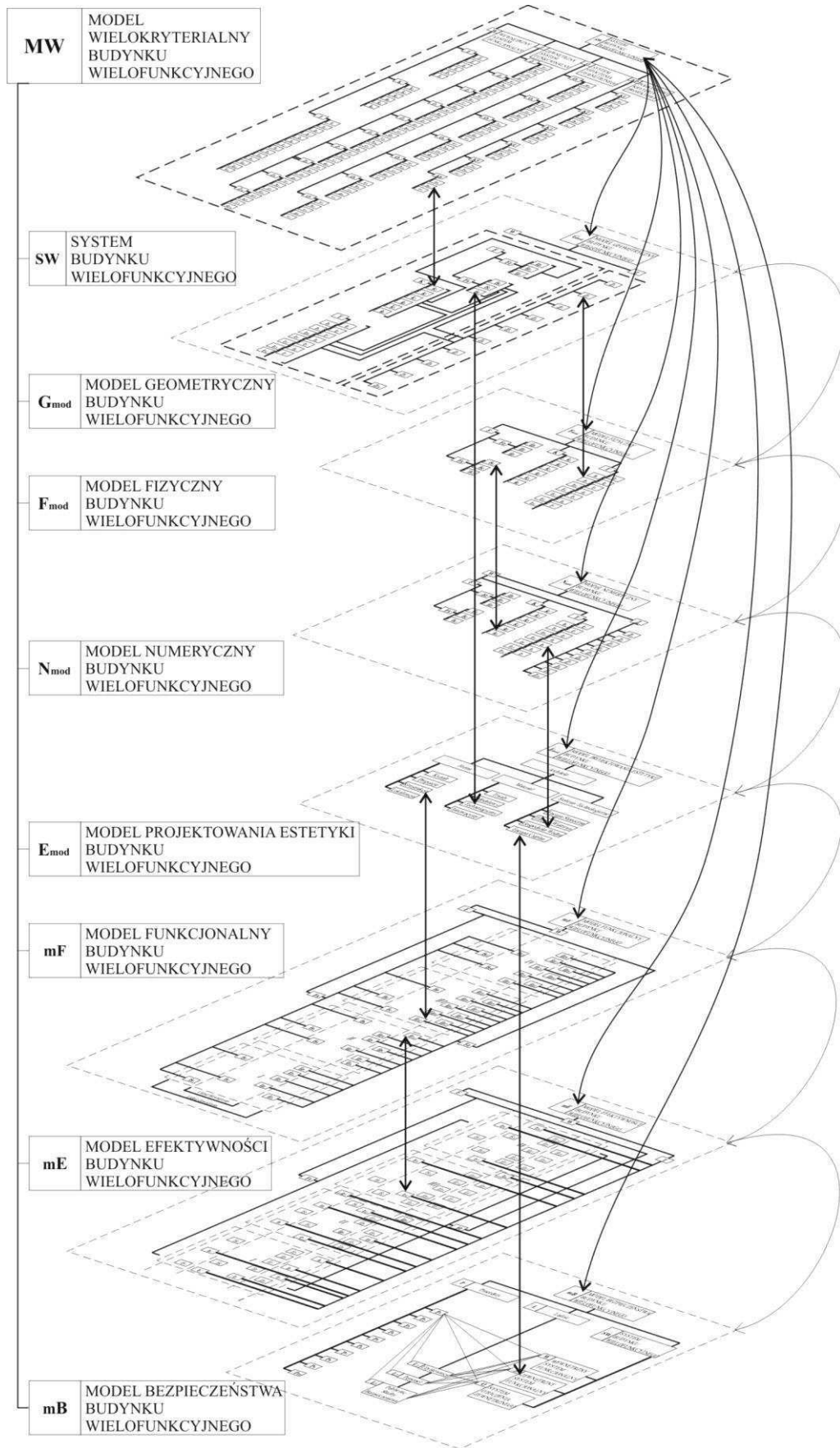
Celem tej części pracy jest przedstawienie kompleksowego ujęcia projektowania obiektu wielofunkcyjnego. Kryterium elastyczności funkcjonalnej możliwe jest do zastosowania przy zdefiniowaniu całości systemu.

Definicja matematyczna M. D. Mesarovica i Y. Takahary (53) opracowana przez J. Gutenbauma przedstawia system jako podzbiór wieloelementowej relacji, iloczynu kartezjańskiego zbioru własności (elementów) systemu i jak podkreśla autor jest to abstrakcyjne ujęcie tej definicji (30). Wzór (9) stanowi iloczyn kartezjański zbioru elementów w celu przedstawienia modelu wielokryterialnego projektowania budynków wielofunkcyjnych  $MW$  z uwzględnieniem kryterium elastyczności funkcjonalnej:

$$MW \subset (SW \times G_{mod} \times F_{mod} \times N_{mod} \times E_{mod} \times mF \times mE \times mB) \quad (9)$$

gdzie:  $\times$  - symbol iloczynu kartezjańskiego,  $SW$  - system budynku wielofunkcyjnego,  $G_{mod}$  - model geometryczny,  $F_{mod}$  - model fizyczny,  $N_{mod}$  - model numeryczny,  $E_{mod}$  - model projektowania estetyki,  $mF$  - model funkcjonalny,  $mE$  - model efektywności,  $mB$  - model bezpieczeństwa.

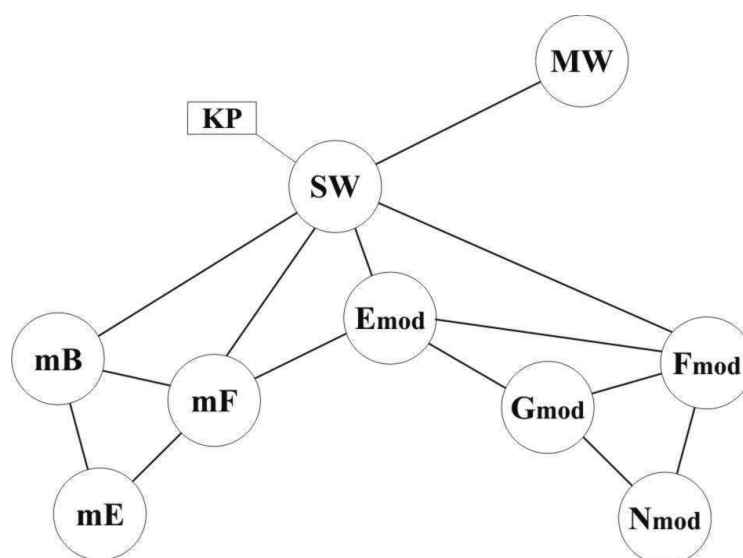
Powyższy wzór jest holistycznym zestawieniem czynników, które zawarte są w procesie projektowym budynku wielofunkcyjnego. Można określić te komponenty jako warstwy projektu. Analizując poszczególne elementy modelu wielokryterialnego można zauważyć, że zachodzą bezpośrednie związki pomiędzy nimi. Począwszy od systemu budynku wielofunkcyjnego  $SW$ , którego elementy są podstawą do opracowania kolejnych warstw modelowania i odwrotnie. Warstwy modelu są komplementarne względem siebie, gdzie ustalenia w jednym zakresie mają wpływ na pozostałe. Takie ujęcie modelu wielokryterialnego charakteryzuje się dynamiką relacji oraz wymaga symultanicznej aktualizacji opracowywanych parametrów technicznych budynku w każdym elemencie modelu.



**Rysunek 6.18.** Schemat modelu wielokryterialnego *MW* obiektu wielofunkcyjnego. Opracowanie własne.

Na rysunku 6.18 przedstawiony został przestrzenny schemat modelu wielofunkcyjnego *MW*, gdzie poziome płaszczyzny reprezentują system budynku wielofunkcyjnego *SW* oraz poszczególne zakresy modelowe *Gmod* - model geometryczny, *Fmod* - model fizyczny, *Nmod* - model numeryczny, *Emod* - model projektowania estetyki, *mF* - model funkcjonalny, *mE* - model efektywności, *mB* - model bezpieczeństwa. Na schemacie za pomocą strzałek uwidocznione zostały relacje zachodzące pomiędzy elementami. Zmiana dowolnego komponentu ma wpływ na podsystem danej płaszczyzny oraz podsystemy, na których ma swoje odwzorowanie. W ten sposób zapewnione jest spełnienie kryteriów projektowych budynku wielofunkcyjnego.

Reprezentacja przedstawionego powyżej schematu została odwzorowana w postaci grafu na rysunku 6.19. Za pomocą grafu możliwe są do określenia relacje występujące w systemie modelu wielokryterialnego *MW*. System wielofunkcyjny jest elementem integrującym zbiór elementów obiektu wielofunkcyjnego oraz główne kryteria projektowe. Na jego podstawie projekt jest rozwijany w ujęciu modelowym. Opracowane modele podlegają wybranym kryteriom w celu ich realizacji przez obiekt.



**Rysunek 6.19.** Graf modelu wielokryterialnego *MW* obiektu wielofunkcyjnego. Opracowanie własne.

## 6.11 Proces projektowania budynku przy użyciu proponowanego modelu

W tej części pracy przedstawiony jest proces wielokryterialnego projektowania budynków wielofunkcyjnych przy uwzględnieniu jego elastyczności funkcjonalnej oraz zastosowanego wcześniej modelu wielokryterialnego *MW*. Istotą jest tu ujęcie czynności projektowania jako złożonego procesu, w którym ważne jest dobranie odpowiedniej struktury realizacji projektu. Efektem analizy procesu projektowego jest całościowe graficzne odwzorowanie obiektu elastycznego funkcjonalnie, które umożliwia dynamiczne dostosowanie systemu do możliwych zmian funkcjonalnych budynku, występujących w fazie eksploatacji.

Proces projektowy obiektu wielofunkcyjnego jest uzależniony od działań wielu podmiotów oraz różnych grup użytkowników. W tabeli 1. znajduje się zestawienie interesariuszy, którzy uczestniczą w procesie projektowym obiektu wielofunkcyjnego. Można dokonać podziału tych podmiotów ze względu na charakter ich udziału w kształtowaniu budynku. Część podmiotów spełnia funkcje o charakterze pośrednim. Mają one wpływ zarówno na początek cyklu życia obiektu jak i na jego eksploatację. Charakter bezpośredni mają podmioty ściśle związane ze sferą projektową, które w zakresie swoich kompetencji projektowych tworzą cały cykl życia obiektu wielofunkcyjnego. To od podmiotów bezpośrednich zależy umiejętne dostosowanie się do aktualnych potrzeb interesariuszy pośrednich oraz do oczekiwań i potrzeb globalnych zawartych w podstawowych kryteriach projektowych.

**Tabela 1.** Interesariusze procesu projektowego obiektu wielofunkcyjnego.

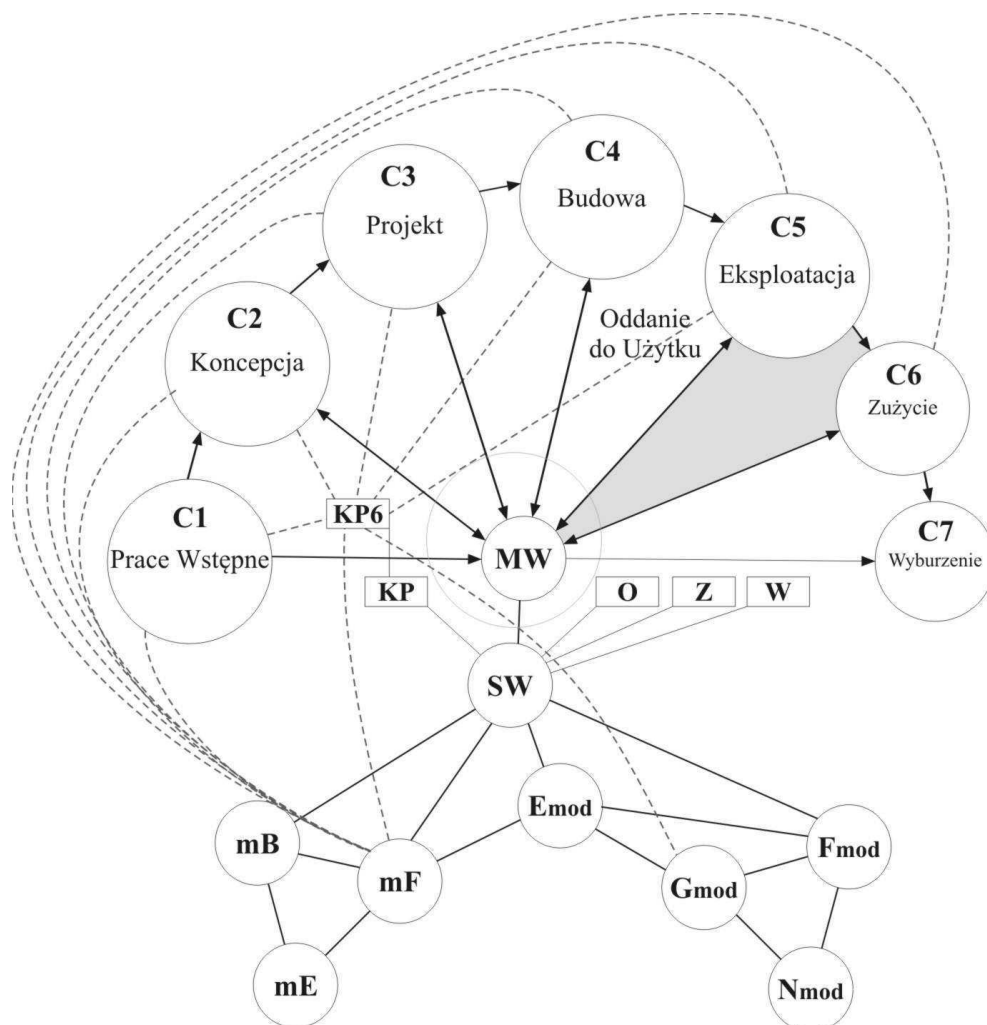
GC	Pośredni	GC	Bezpośredni
1,2	inwestor budynku (IB)	1,2,3,4,5,6,7	projektant architektury (PA)
5,6	najemcy (N)	1,2,3,4,5,6,7	menedżer projektu (MP)
5	personel obiektu (PO)	2,3,4,5,6,7	inżynier konstrukcji (IK)
5	użytkownicy budynku (UB)	2,3,4,5,6	inżynierowie technologiczni (IT)
1	społeczność lokalna (SL)	2,3,4,5,6	inżynier bezpieczeństwa (IB)
1,3,5	władze samorządowe (WS)	3,4,5,6,7	wykonawcy robót budowlanych (WRB)
4,5	służby publiczne (SP)		dostawcy materiałów (DM)
5,6	administrator nieruchomości (AN)	3,4,5,6	dostawcy technologii (DT)
5	regulator rynku nieruchomości (RRN)	3,4,5,6	firma recyclingowa (FR)
4,5,6,7	towarzystwo ubezpieczeniowe (TU)	5,6,7	

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (59) (83) (91).

Istotne jest zdefiniowanie cyklu życia budynku, od którego uzależniony jest cały proces projektowy, gdzie wymagane jest przyporządkowanie odpowiednich interesariuszy do realizacji poszczególnych etapów. W tabeli 1. w kolumnach



oznaczonych indeksem grupy cyklu *GC*, określone zostały etapy cyklu życia budynku odpowiednie dla poszczególnych interesariuszy. Odpowiednio dopasowane podmioty stanowią grupy robocze do realizacji powierzonych im zadań w ramach określonej struktury cyklu życia.



**Rysunek 6.20.** Schemat cyklu życia obiektu wielofunkcyjnego w procesie projektowym budynku wielofunkcyjnego z zastosowaniem modelu wielokryterialnego *MW*. Opracowanie własne.

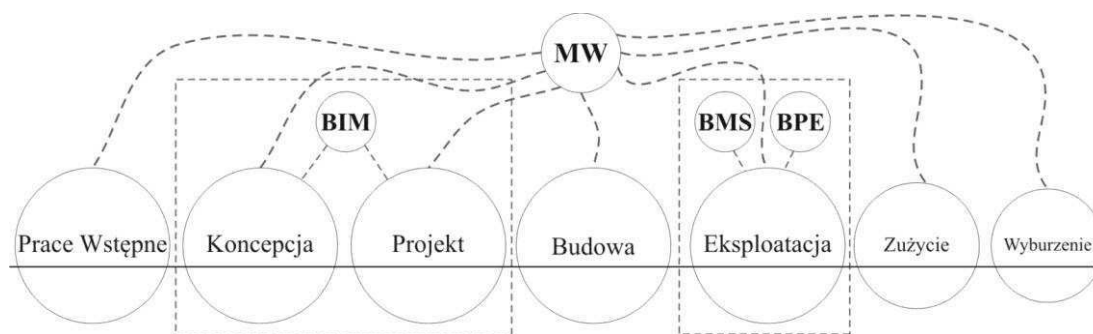
Modelowe ujęcie cyklu życia obiektu wielofunkcyjnego jest strukturą systemową, której celem jest odpowiednie dobranie parametrów dla projektowanego obiektu wielofunkcyjnego. Na rysunku 7.1. przedstawiony został schemat projektowy cyklu życia obiektu wielofunkcyjnego. Począwszy od fazy wstępnej prac nad poszczególnymi etapami cyklu, prace prowadzą grupy od *C1* do *C7*, których skład ustalony został w tabeli 1. Integralną częścią procesu projektowego jest model wielokryterialny obiektu wielofunkcyjnego *MW*, który stanowi kompilację opracowań poszczególnych etapów



cyklu życia. Wraz z następowaniem kolejnych etapów kompleksowy model stanowi bazę roboczą, która jest aktualizowana wraz z postępem prac w każdym zakresie struktury. Na grafie wyeksponowane zostało kryterium elastyczności funkcjonalnej *KP6* zawarte w zbiorze kryteriów podstawowych *KP*. Na grafie przerywaną linią oznaczony został wpływ elastyczności funkcjonalnej na poszczególne płaszczyzny modelowe. Istotne jest również odniesienie się do pozostałych kryteriów projektowych, które elastyczna funkcjonalność potwierdza.

Model wielokryterialny w swojej złożonej postaci stanowi środowisko symulacji dowolnego elementu systemu wielofunkcyjnego, dzięki czemu możliwa jest spójna optymalizacja i przewidzenie zmian powstałych dla całej struktury budynku. Na schemacie przerywaną linią przedstawione zostały przykładowe połączenia pomiędzy elementami systemu. Po oddaniu obiektu do użytku model wielokryterialny budynku wielofunkcyjnego stanowi model wirtualny, który służy do zarządzania oraz kontroli rzeczywistego obiektu w trakcie eksploatacji. Ten etap na schemacie oznaczony został szarym polem, gdzie kierunki strzałek symbolizują przepływ informacji o modelu wielokryterialnym, który jest aktualizowany w przypadku zmian w rzeczywistym systemie. W strukturze elastycznej funkcjonalnie ten zakres modelu spełnia najważniejszą funkcję, ponieważ w momencie stwierdzenia zużycia danego elementu lub zmiany funkcji, model wielokryterialny w odwołaniu do wcześniejszych faz cyklu życia jest w stanie wprowadzić rozwiązanie zastępcze w sposób dynamiczny, który nie wymaga ponownego rozpatrywania dokumentacji całego systemu, tylko zakresu którego dotyczy zmiana.

Model wielokryterialny *MW* w ujęciu cyklu życia stanowi źródło, które ma za zadanie zintegrować system modelowania informacji o budynku (BIM) dla optymalizacji procesu projektowego, system zarządzania budynkiem (BMS) dla monitorowania i kontroli obiektu wybudowanego oraz system oceny wydajności budynku (BPE) w eksploatacji. Ponadto model wielokryterialny jest narzędziem, które ma za zadanie wspomagać prace wstępne nad projektem, budowę obiektu oraz monitorować zużycie poszczególnych komponentów. Na rysunku 7.2 przedstawiona została relacja pomiędzy modelem wielokryterialnym *MW*, systemem BIM, systemem BMS, systemem BPE z fazami w cyklu życia budynku wielofunkcyjnego.



**Rysunek 6.21.** Relacja modelu wielokryterialnego *MW*, systemów BIM, BMS, BPE z fazami w cyklu życia obiektu wielofunkcyjnego w procesie projektowym. Opracowanie własne.

Przedstawiona w poprzednim rozdziale całościowa struktura modelu wielokryterialnego wraz ze schematem cyklu życia budynku wielofunkcyjnego pozwala na przedstawienie spójnego zestawienia elementów podlegających procesowi projektowemu budynku wielofunkcyjnego, elastycznego funkcjonalnie ( tabela 2.). Tabela zawiera następujące charakterystyki opisu danego elementu: skrót nazwy elementu; pełną nazwę elementu; wyszczególnione połączenia systemowe bezpośrednie zachodzące pomiędzy elementami oraz fazę cyklu życia projektu *C*.

**Tabela 2.** Zestawienie parametrów budynku wielofunkcyjnego w procesie projektowym.

Skrót	Nazwa	Połączenia systemowe	C
<b>MW</b>	Model Wielokryterialny	GC1-GC7	C1-C7
<b>SW</b>	System Wielofunkcyjny	MW	C1-C6
<b>KP</b>	Kryteria Podstawowe	SW	C1-C6
<b>KP1</b>	Estetyka	KP	
<b>KP2</b>	Funkcjonalność	KP	
<b>KP3</b>	Ochrona Środowiska Naturalnego	KP	
<b>KP4</b>	Bezpieczeństwo Systemu	KP	
<b>KP5</b>	Efektywność Systemu	KP	
<b>KP6</b>	Elastyczność Funkcjonalna	KP	
<b>W</b>	Wewnętrzny System Funkcjonalny	SW	C2-C6
<b>F</b>	System Funkcjonalno-Użytkowy	W	
<b>K</b>	System Konstrukcyjny	W	
<b>T</b>	System Technologiczny	W	

<b>Skrót</b>	<b>Nazwa</b>	<b>Połączenia systemowe</b>	<b>C</b>
<b>Z</b>	Zewnętrzny System Funkcjonalny	SW	C2-C6
<b>Z1</b>	System Warunków Atmosferycznych	Z	
<b>Z2</b>	System Zieleni Miejskiej	Z	
<b>Z3</b>	Miejski System Funkcjonalny	Z	
<b>Z4</b>	System Infrastruktury Społecznej	Z	
<b>Z5</b>	System Infrastruktury Technicznej	Z	
<b>Z6</b>	System Infrastruktury Teletechnicznej	Z	
<b>Z7</b>	System Infrastruktury Komunikacyjnej	Z	
<b>Z8</b>	System Infrastruktury Transportowej	Z	
<b>Z9</b>	Miejski System Logistyczny	Z	
<b>Z10</b>	System Utylizacji Odpadów	Z	
<b>O</b>	System Otoczenia Zewnętrznego	SW	C2-C6
<b>O1</b>	System Środowiska Naturalnego	O	
<b>O2</b>	Lokalizacja	O	
<b>O3</b>	System Zarządzania Przestrzennego	O	
<b>O4</b>	System Prawny	O	
<b>O5</b>	System Ekonomiczny	O	
<b>O6</b>	System Gospodarczy	O	
<b>O7</b>	System Socjologiczny	O	
<b>Gmod</b>	Model Geometryczny	Emod, Fmod, Nmod	C2-C6
<b>Fmod</b>	Model Fizyczny	SW, Emod, Gmod, Nmod	C2-C6
<b>Nmod</b>	Model Numeryczny	Gmod, Fmod	C2-C6
<b>Emod</b>	Model Projektowania Estetyki	SW, mF, Gmod, Fmod	C1-C6
<b>mF</b>	Model Funkcjonalny	SW, Emod, mB, mE	C1-C6
<b>mE</b>	Model Efektywności	mF, mB	C2-C6
<b>mB</b>	Model Bezpieczeństwa	SW, mF, mE	C2-C6
<b>P</b>	Procedury	mB	
<b>L</b>	Ludzie	mB	
<b>L1</b>	Użytkownicy	L	
<b>L2</b>	Personel	L	
<b>L3</b>	Publiczne Służby Bezpieczeństwa	L	

Skrót	Nazwa	Połączenia systemowe	C
GC1	Grupa Cyklu Prace Wstępne	MW	C1
GC2	Grupa Cyklu Koncepcja	MW	C2
GC3	Grupa Cyklu Projekt	MW	C3
GC4	Grupa Cyklu Budowa	MW	C4
GC5	Grupa Cyklu Eksploatacja	MW	C5
GC6	Grupa Cyklu Zużycie	MW	C6
GC7	Grupa Cyklu Wyburzenie	MW	C7

*Źródło:* Opracowanie własne.

Powyższa tabela jest zestawieniem, które pozwala na określenie wszystkich relacji występujących w procesie wielokryterialnego projektowania budynku wielofunkcyjnego, elastycznego funkcjonalnie.

## 6.12 Graficzne odwzorowanie systemu funkcjonalnie elastycznego

Złożone struktury inżynierskie w celu zapewnienia wszystkich przedstawionych w rozprawie kryteriów wymagają ujęcia procesu projektowego w postaci kompleksowego systemu. Dzięki temu możliwa jest analiza sieci wpływu wszystkich elementów na całość struktury danego przedsięwzięcia.

W celu przedstawienia sieci modelowania wielokryterialnego budynku wielofunkcyjnego, elastycznego funkcjonalnie niezbędne jest zdefiniowanie relacji występujących pomiędzy elementami systemu określonych według tabeli 2. Relacje występujące pomiędzy elementami można określić za pomocą tabeli, która zawiera symbole elementów źródłowych, rodzaj połączenia krawędziowego, symbole elementów celu oraz wielkość danych elementów.

W tabeli 3. przedstawione zostało zestawienie relacji zastosowanych w modelowaniu wielokryterialnym budynków wielofunkcyjnych. Przedstawiony podział zawiera kolumnowe wyszczególnienie ze względu na rodzaj połączenia krawędziowego. Pierwsza kolumna zawiera połączenia systemowe oznaczone jako *ps*, które określają połączenia główne pomiędzy elementami systemu. Druga kolumna zawiera relacje oddziaływań, gdzie rodzaj krawędzi oznaczony jako *pr* określa połączenie podmiotów wyszczególnionych w tabeli 1. biorących udział w procesie projektowym. Trzecia kolumna opisuje połączenia w procesie projektowania oznaczone jako *pp*. Krawędzie *pp* definiują wpływ poszczególnych elementów systemu na siebie przy uwzględnieniu kryteriów podstawowych *KP*.

**Tabela 3.** Zestawienie połączeń sieciowych w wielokryterialnym procesie projektowym budynku wielofunkcyjnego elastycznego funkcjonalnie.

<i>System</i>				<i>Relacje Oddziaływań</i>			<i>Proces Projektowy</i>		
<i>Źródło</i>	<i>Krawędź</i>	<i>Cel</i>	<i>Wielkość</i>	<i>Źródło</i>	<i>Krawędź</i>	<i>Cel</i>	<i>Źródło</i>	<i>Krawędź</i>	<i>Cel</i>
C1	ps	GC1	3	IB	pr	GC1	Gmod	pp	F
C2	ps	GC2	3	SL	pr	GC1	Gmod	pp	K
C3	ps	GC3	3	WS	pr	GC1	Gmod	pp	T
C4	ps	GC4	3	PA	pr	GC1	Gmod	pp	Z
C5	ps	GC5	3	MP	pr	GC1	Fmod	pp	F
C6	ps	GC6	3	IB	pr	GC2	Fmod	pp	K
C7	ps	GC7	3	PA	pr	GC2	Fmod	pp	T
GC1			2	MP	pr	GC2	Nmod	pp	F
GC2			2	IK	pr	GC2	Nmod	pp	K
GC3			2	IT	pr	GC2	Nmod	pp	T
GC4			2	WS	pr	GC3	Nmod	pp	Z
GC5			2	PA	pr	GC3	Emod	pp	KP
GC6			2	MP	pr	GC3	Emod	pp	Fmod
GC7			2	IK	pr	GC3	Emod	pp	Nmod
MW	ps	GC1	4	IT	pr	GC3	mF	pp	F1
SW	ps	MW	4	IB	pr	GC3	mF	pp	F2
KP	ps	SW	3	WRB	pr	GC3	mF	pp	F3
KP1	ps	KP	1	DM	pr	GC3	mF	pp	F4
KP2	ps	KP	1	DT	pr	GC3	mF	pp	F5
KP3	ps	KP	1	SP	pr	GC4	mF	pp	F6
KP4	ps	KP	1	TU	pr	GC4	mF	pp	F7
KP5	ps	KP	1	PA	pr	GC4	mF	pp	F8
KP6	ps	KP	1	MP	pr	GC4	mF	pp	F9
W	ps	SW	3	IK	pr	GC4	mE	pp	F1
F	ps	W	2	IT	pr	GC4	mE	pp	F2
F1	ps	F	1	IB	pr	GC4	mE	pp	F3
F2	ps	F	1	WRB	pr	GC4	mE	pp	F4
F3	ps	F	1	DM	pr	GC4	mE	pp	F5
F4	ps	F	1	DT	pr	GC4	mE	pp	F6
F5	ps	F	1	N	pr	GC5	mE	pp	F7
F6	ps	F	1	PO	pr	GC5	mE	pp	F8
F7	ps	F	1	UB	pr	GC5	mE	pp	F9
F8	ps	F	1	WS	pr	GC5	mE	pp	T1
F9	ps	F	1	SP	pr	GC5	mE	pp	T2
K	ps	W	2	AN	pr	GC5	mE	pp	T3
K1	ps	K	1	RRN	pr	GC5	mE	pp	T4
K2	ps	K	1	TU	pr	GC5	mE	pp	T5
K3	ps	K	1	PA	pr	GC5	mE	pp	T6
K4	ps	K	1	MP	pr	GC5	mE	pp	T7
K5	ps	K	1	IK	pr	GC5	mE	pp	T8

<b>System</b>				<b>Relacje Oddziaływań</b>			<b>Proces Projektowy</b>		
<i>Źródło</i>	<i>Krawędź</i>	<i>Cel</i>	<i>Wielkość</i>	<i>Źródło</i>	<i>Krawędź</i>	<i>Cel</i>	<i>Źródło</i>	<i>Krawędź</i>	<i>Cel</i>
K6	ps	K	1	IT	pr	GC5	mE	pp	T9
T	ps	W	2	IB	pr	GC5	mE	pp	T10
T1	ps	T	1	WRM	pr	GC5	mE	pp	T11
T2	ps	T	1	DM	pr	GC5	mE	pp	T12
T3	ps	T	1	DT	pr	GC5	mE	pp	T13
T4	ps	T	1	FR	pr	GC5	mE	pp	T14
T5	ps	T	1	N	pr	GC6	P	pp	W
T6	ps	T	1	AN	pr	GC6	P	pp	Z
T7	ps	T	1	TU	pr	GC6	P	pp	O
T8	ps	T	1	PA	pr	GC6	L	pp	W
T9	ps	T	1	MP	pr	GC6	L	pp	Z
T10	ps	T	1	IK	pr	GC6	L	pp	O
T11	ps	T	1	IT	pr	GC6	L1	pp	P1
T12	ps	T	1	IB	pr	GC6	L1	pp	P2
T13	ps	T	1	WRB	pr	GC6	L1	pp	P3
T14	ps	T	1	DM	pr	GC6	L1	pp	P4
Z	ps	SW	3	DT	pr	GC6	L1	pp	P5
Z1	ps	Z	1	FR	pr	GC6	L1	pp	P6
Z2	ps	Z	1	TU	pr	GC7	L1	pp	P7
Z3	ps	Z	1	PA	pr	GC7	L2	pp	P1
Z4	ps	Z	1	MP	pr	GC7	L2	pp	P2
Z5	ps	Z	1	IK	pr	GC7	L2	pp	P3
Z6	ps	Z	1	WRB	pr	GC7	L2	pp	P4
Z7	ps	Z	1	FR	pr	GC7	L2	pp	P5
Z8	ps	Z	1	PA	pr	KP	L2	pp	P6
Z9	ps	Z	1	MP	pr	KP	L2	pp	P7
Z10	ps	Z	1	IK	pr	KP	L3	pp	P1
O	ps	SW	3	IT	pr	KP	L3	pp	P2
O1	ps	O	1	IB	pr	KP	L3	pp	P3
O2	ps	O	1	WRB	pr	KP	L3	pp	P4
O3	ps	O	1	DM	pr	KP	L3	pp	P5
O4	ps	O	1	DT	pr	KP	L3	pp	P6
O5	ps	O	1	N	pr	KP	L3	pp	P7
O6	ps	O	1	PO	pr	KP	KP1	pp	Emod
O7	ps	O	1	UB	pr	KP	KP1	pp	Fmod
Emod	ps	SW	4	WS	pr	KP	KP2	pp	mF
Emod	ps	mF	4	SP	pr	KP	KP2	pp	mE
Emod	ps	Gmod	4	AN	pr	KP	KP3	pp	Nmod
Emod	ps	Fmod	4	RRN	pr	KP	KP3	pp	mE
Gmod	ps	Fmod	4	TU	pr	KP	KP3	pp	mB
Gmod	ps	Nmod	4				KP4	pp	Fmod
Fmod	ps	SW	4				KP4	pp	mF
Fmod	ps	Nmod	4				KP4	pp	mE
mF	ps	SW	4				KP4	pp	mB



<b>System</b>				<b>Relacje Oddziaływań</b>			<b>Proces Projektowy</b>		
<i>Źródło</i>	<i>Krawędź</i>	<i>Cel</i>	<i>Wielkość</i>	<i>Źródło</i>	<i>Krawędź</i>	<i>Cel</i>	<i>Źródło</i>	<i>Krawędź</i>	<i>Cel</i>
mF	<b>ps</b>	mE	4				KP5	<b>pp</b>	Nmod
mF	<b>ps</b>	mB	4				KP5	<b>pp</b>	mF
mB	<b>ps</b>	SW	4				KP5	<b>pp</b>	mE
mB	<b>ps</b>	mE	4				KP5	<b>pp</b>	mB
P	<b>ps</b>	mB	2				KP6	<b>pp</b>	Gmod
P1	<b>ps</b>	P	1				KP6	<b>pp</b>	Fmod
P2	<b>ps</b>	P	1				KP6	<b>pp</b>	Nmod
P3	<b>ps</b>	P	1				KP6	<b>pp</b>	Emod
P4	<b>ps</b>	P	1				KP6	<b>pp</b>	mF
P5	<b>ps</b>	P	1				KP6	<b>pp</b>	mE
P6	<b>ps</b>	P	1				KP6	<b>pp</b>	mB
P7	<b>ps</b>	P	1						
L	<b>ps</b>	mB	2						
L1	<b>ps</b>	L	1						
L2	<b>ps</b>	L	1						
L3	<b>ps</b>	L	1						
MW	<b>ps</b>	GC2	4						
MW	<b>ps</b>	GC3	4						
MW	<b>ps</b>	GC4	4						
MW	<b>ps</b>	GC5	4						
MW	<b>ps</b>	GC6	4						
MW	<b>ps</b>	GC7	4						
mE			4						
Nmod			4						

*Źródło:* Opracowanie własne.

Zestawienie połączeń krawędziowych składowych sieci ujęte w powyższej tabeli zawiera połączenia wszystkich elementów, które znajdują się w systemie procesu projektowego budynku wielofunkcyjnego. Stanowią one elementy definiujące całościową strukturę sieci, którą można na tej podstawie przedstawić za pomocą grafu.

Rysunek 6.22. przedstawia sieć modelowania wielokryterialnego budynku wielofunkcyjnego w procesie projektowym. Złożony graf sieciowy zawiera wszystkie omówione wcześniej elementy modelowania wielokryterialnego budynku wielofunkcyjnego.

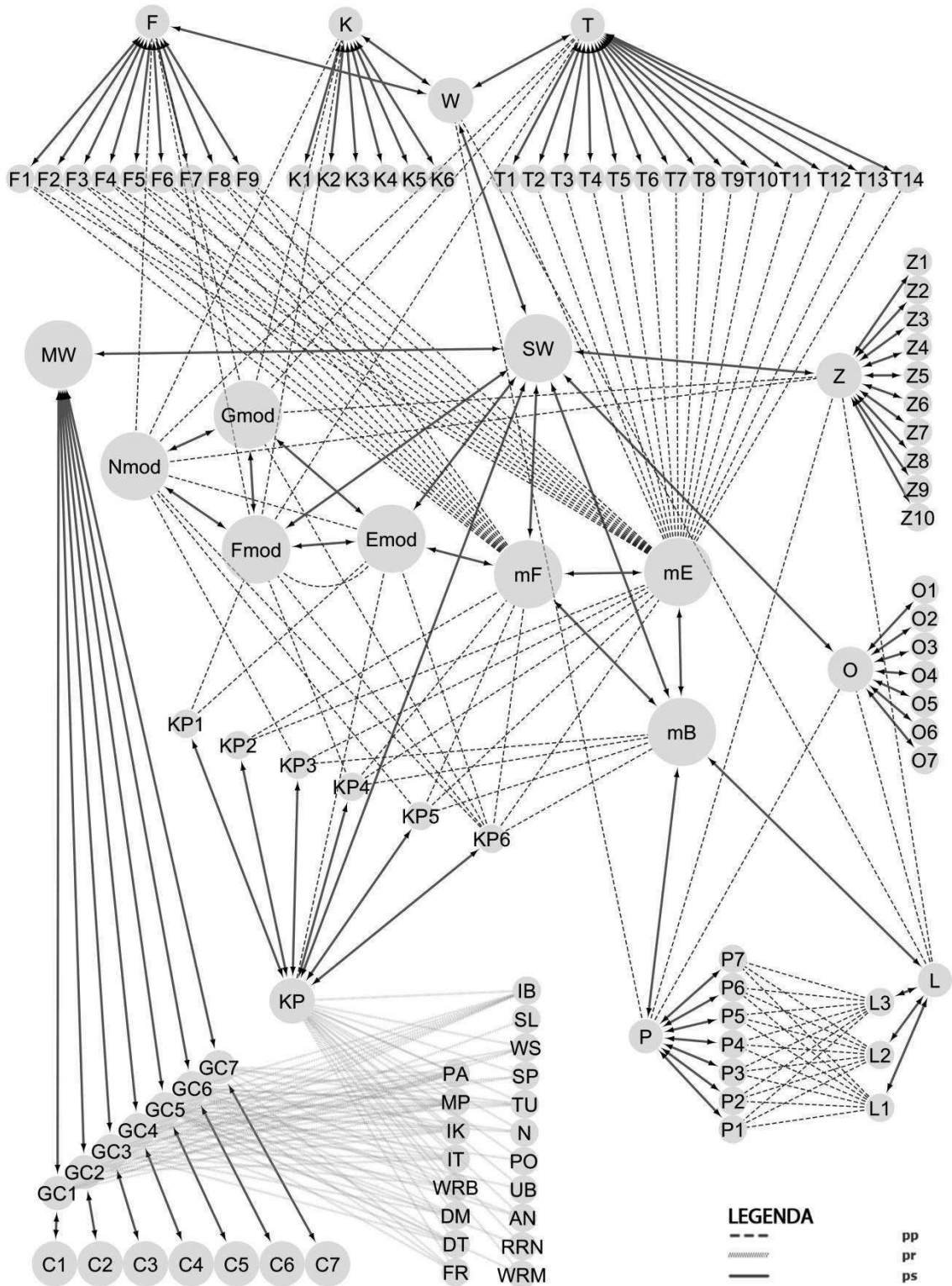
Celem stworzonego grafu jest przedstawienie procesów zachodzących w strukturze projektowanego obiektu, gdzie modyfikacja jednego elementu struktury ma wpływ na elementy będące z nim w relacji. Sieciowa struktura grafu zapewnia sprawowanie kontroli nad procesem projektowym i stanowi schemat, za pomocą którego możliwe jest spełnienie wszystkich kryteriów projektowych.

Struktura sieci zawiera elementy, które połączone są ze sobą trzema rodzajami relacji. Pierwsza relacja *ps* stanowi główny trzon sieci, który łączy w sposób bezpośredni elementy strukturalne systemu. Połączenia systemowe są oznaczone krawędziami czarnymi o linii ciągłej oraz zakończone są dwukierunkowo strzałkami, które symbolizują relacje pomiędzy danymi elementami. Na grafie widoczne są fazy cyklu życia budynku wielofunkcyjnego, które poprzez utworzone grupy robocze mają wpływ na kształtowanie modelu wielokryterialnego *MW*. Model wielokryterialny stanowi relacje ukształtowane przez system wielofunkcyjny *SW*, który określają kryteria podstawowe *KP*, wewnętrzny system funkcjonalny *W*, zewnętrzny system funkcjonalny *Z*, system otoczenia zewnętrznego *O*; oraz struktury modelowe budynku wielofunkcyjnego *Emod*, *Fmod*, *Gmod*, *Nmod*, *mF*, *mE* i *mB*.

Drugi rodzaj krawędzi oznaczony cienką linią o kolorze jasnoszarym stanowi połączenia relacji oddziaływań *pr*. Relacje oddziaływań przyporządkowują podmioty procesu projektowego do poszczególnych grup dla danej fazy cyklu życia budynku oraz warunkują działanie tych podmiotów zgodnie z ustalonymi kryteriami projektowymi.

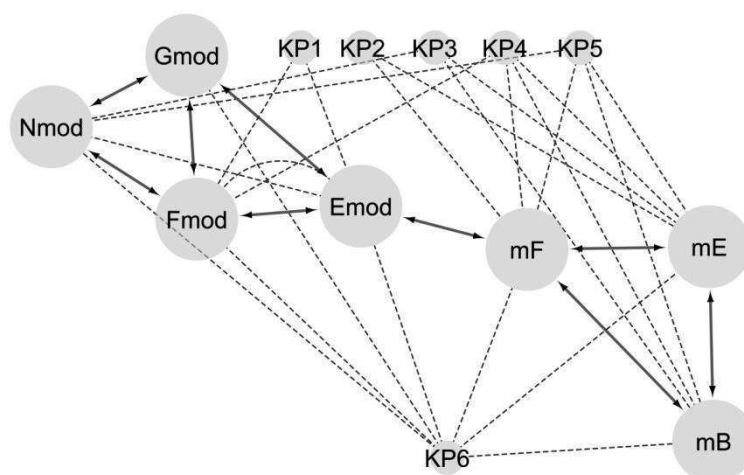
Trzeci rodzaj krawędzi oznaczony linią przerywaną oznacza wpływ oddziaływań występujących w procesie projektowym *pp* pomiędzy elementami systemu. Oddziaływania procesu projektowego pozwalają na określenie wpływu konkretnych kryteriów oraz elementów struktury systemu na poszczególne struktury modelowe budynku wielofunkcyjnego.

Przedstawiony graf jest odwzorowaniem metody projektowania budynków wielofunkcyjnych, który zawiera 113 podstawowych elementów, pomiędzy którymi występuje 276 połączeń krawędziowych. Jest to umowna reprezentacja struktury, w której liczba podzespołów danego zbioru dopasowana jest indywidualnie względem projektowanego obiektu.



**Rysunek 6.22.** Sieć modelowania wielokryterialnego obiektu wielofunkcyjnego w procesie projektowym. Opracowanie własne.

W odniesieniu do budynków wielofunkcyjnych na podstawie struktury sieci przedstawionej powyżej możliwa jest organizacja funkcjonowania obiektu w taki sposób, aby zmiana funkcji nie ingerowała w jego strukturę i była przeprowadzona w możliwie efektywny sposób. Z sieci modelowania wielokryterialnego wynika, że wszystkie założone kryteria są wynikiem ustaleń założonych przez interesariuszy procesu projektowego i wpływają one bezpośrednio na struktury modelowe budynku wielofunkcyjnego. Zawarte w zbiorze kryteriów podstawowych kryterium elastyczności funkcjonalnej ma wpływ na wszystkie struktury modelowe budynku wielofunkcyjnego  $E_{mod}$ ,  $F_{mod}$ ,  $G_{mod}$ ,  $N_{mod}$ ,  $mF$ ,  $mE$  i  $mB$ ; co przedstawione zostało na rysunku 6.23.



**Rysunek 6.23.** Wpływ kryterium elastyczności funkcjonalnej na sieć modelowania wielokryterialnego obiektu wielofunkcyjnego w procesie projektowym. Opracowanie własne.

## **7 Weryfikacja badań dotyczących projektowania obiektów funkcjonalnie elastycznych - wnioski i uwagi końcowe**

Obecne tendencje rozwojowe aglomeracji miejskich charakteryzują się bardzo intensywnym wykorzystaniem przewidzianych pod zabudowę obszarów. Coraz częściej realizowane są duże kubaturowo i wysokie obiekty o złożonej strukturze funkcjonalnej. Przeważnie są to budynki wielofunkcyjne o wielopoziomowej strukturze, które charakteryzują się bardzo efektywnym wykorzystaniem zasobów terenowych. Stosowanie obiektów wielofunkcyjnych stanowi bardziej racjonalny sposób zagospodarowania przestrzeni miejskiej w porównaniu z chaotycznie zabudowywanymi przedmieściami.

Aktualnie w stosunku do budynków wielofunkcyjnych o dużej skali nie istnieją ujednolicone metody projektowe. Obiekty te projektowane są obecnie w sposób konwencjonalny, który opiera się głównie na ustalonym i utrwalonym przeznaczeniu budynku.

Obserwując środowisko współczesnego miasta można zauważyć jednak dynamiczne przemiany, które zachodzą w jego strukturze funkcjonalnej. Budynki wielofunkcyjne, elastyczne funkcjonalnie są w stanie zapewnić przestrzeń, którą w prosty sposób, bez nadmiernych nakładów finansowych, można dostosować do stale zmieniających się potrzeb użytkowników.

Tworzenie obiektów elastycznych funkcjonalnie ma na celu implikowanie nowoczesnych technologii, a także ich modyfikowanie w trakcie eksploatacji budynku.

Obiekty wielofunkcyjne obecnie odgrywają istotną rolę w kształtowaniu współczesnych aglomeracji miejskich. Systemy elastyczne funkcjonalnie ze względu na złożoną ilość funkcji pozytywnie wpływają na integrowanie użytkowników w przestrzeni miasta. Obiekty te uzupełniają również i wspomagają miejski system komunikacyjny, transportowy oraz logistyczny.

W niniejszej rozprawie wykazano, że przy zastosowaniu zaproponowanej metody holistycznej możliwe jest projektowanie obiektów wielofunkcyjnych, elastycznych funkcjonalnie, które poza wymienionymi wyżej niewątpliwymi korzyściami jakie przynoszą przestrzeni miejskiej pozytywnie, w duchu rozwoju zrównoważonego wpływają na ochronę środowiska przyrodniczego.

Przedstawione opracowanie zawiera usystematyzowanie wiedzy na temat obiektów wielofunkcyjnych w zabudowie współczesnej aglomeracji miejskiej. Poprzez

przedstawione przykłady wykazane zostały tendencje, i kierunki w których zmierza zagospodarowanie przestrzenne współczesnych miast. Przedstawione przykłady wykazują integrację funkcjonalną przestrzeni i obiektów o różnorodnym sposobie użytkowania, która w obecnych czasach, jak nigdy do tej pory, stanowi przeważający sposób zagospodarowania obszarów miejskich, zwłaszcza ścisłego śródmieścia.

W odniesieniu do literatury związanej z tematyką rozprawy oraz poprzez porównanie aktualnie istniejących przykładów jak i koncepcji architektonicznych obiektów wielofunkcyjnych wykazane zostały podstawowe cechy oraz możliwości obecnie stosowanych metod projektowania obiektów wielofunkcyjnych.

W wyniku przeprowadzonej analizy przedstawiona została klasyfikacja obiektów wielofunkcyjnych pod względem ilościowym, jakościowym oraz ze wskazaniem możliwości zmiany funkcji w czasie. Wykazano, że elastyczne funkcjonalnie obiekty stanowią odpowiedź na potrzeby intensyfikacji użytkowania przestrzeni miejskiej oraz na potrzebę promowania obiektów zapewniających stabilny i zrównoważony rozwój.

W rozprawie przedstawione zostały aktualne podejścia do projektowania współczesnych obiektów wielofunkcyjnych. Przy zastosowaniu zintegrowanej metody projektowej opracowane zostało holistyczne ujęcie systemu obiektu wielofunkcyjnego, który jest reprezentacją procesu modelowania wielokryterialnego obiektów wielofunkcyjnych przy uwzględnieniu kryterium elastyczności funkcjonalnej.

Efektom analizy procesu projektowego jest przedstawiony teoretyczny model struktury wielofunkcyjnej. Ujęcie modelu wielokryterialnego w postaci iloczynu kartezjańskiego pozwala na całościowe zobrazowanie projektowanego budynku w postaci grafu modelu wielokryterialnego *MW*. Wzbogacenie zaproponowanego modelu wielokryterialnego o cykl życia obiektu oraz wpływu interesariuszy procesu projektowego pozwala na zobrazowanie całościowego systemu wielokryterialnego projektowania obiektów wielofunkcyjnych. Przedstawiony system zaprezentowany został w formie sieci modelowania wielokryterialnego obiektu wielofunkcyjnego. Wykazane zostały relacje zachodzące pomiędzy elementami złożonego systemu. Zaproponowana sieć jest podstawą teoretyczną, która może zostać wykorzystana przy projektowaniu złożonych systemów inżynierskich. Dzięki niej możliwe jest zachowanie kontroli nad całym procesem projektowym.

Postawiony problem oraz wybrane metody badawcze potwierdzają przydatność naukową zaprezentowanego tematu. Konwencjonalne modelowanie obiektów wielofunkcyjnych nie zostało do tej pory w żaden sposób ustandaryzowane.



Przedstawiony sposób modelowania wielokryterialnego budynków wielofunkcyjnych ze szczególnym uwzględnieniem kryterium elastyczności funkcjonalnej, stanowi podstawę teoretyczną do ujednoczenia projektowania złożonych systemów funkcjonalnych. Podejście wielokryterialne jest w stanie zapewnić w procesie projektowym osiągnięcie podstawowych celów związanych z aktualnym zapotrzebowaniem użytkowników przestrzeni miejskiej. Istotne jest zintegrowanie w podejściu projektowym technik projektowych związanych z estetyką, funkcjonalnością, efektywnością, bezpieczeństwem oraz dostępem do informacji o obiekcie.

Proponowany schemat modelowania wielokryterialnego ma za zadanie w kompleksowy sposób umożliwić zarządzanie projektowanym obiektem w całym cyklu życia. Do tego celu niezbędne jest operowanie na systemie sieciowym, gdzie możliwe jest dynamiczne zarządzanie podsystemami oraz kontrolowanie wpływu zmian. Sieciowa struktura elementów systemu jest podstawą do optymalizacji projektowanych obiektów wielofunkcyjnych. Za pomocą przedstawionej struktury sieciowej możliwe jest symultaniczne rozwiązywanie problemów technologicznych, które w efekcie pozwalają na stworzenie obiektu uwzględniającego kryterium elastyczności funkcjonalnej.

Przedstawione w rozprawie modelowanie wielokryterialne obiektów wielofunkcyjnych jest narzędziem, które zapewnia efektywność projektową w procesie twórczym oraz kontrolę architekta nad złożonym procesem projektowym. Proponowany system uwzględnia rozbudowaną strukturę wewnętrzną w odniesieniu do złożonego otoczenia, co gwarantuje zaspokojenie potrzeb nie tylko użytkowników samego budynku, ale również potrzeb rozwojowych miasta.

Przedstawione w rozprawie badania stanowią wstęp do dalszych rozważań nad sposobem projektowania obiektów wielofunkcyjnych. Opracowany model wielokryterialnego projektowania obiektów wielofunkcyjnych stanowi element wyjściowy do opracowania szczegółowych procedur projektowych dla złożonych systemów składających się z elementów: struktury funkcjonalnej, systemów konstrukcyjnych oraz systemów technologicznych.

Przyszłe badania nad przedmiotową problematyką wymagają złożonej i specjalistycznej wiedzy z zakresu wielu dziedzin. Multidyscyplinarne podejście w zakresie estetyki, konstrukcji, technologii, bezpieczeństwa i efektywności może zapewnić spójne opracowanie złożonych i zmiennych w czasie struktur



wielofunkcyjnych. Na podstawie ujętej w rozprawie teorii możliwe jest stworzenie spójnego narzędzia do zarządzania obiektami wielofunkcyjnymi w procesie projektowym, ale również w czasie ich eksploatacji. Zintegrowane podejście w zarządzaniu tego typu obiektami ma na celu zapewnienie efektywności w całym cyklu życia projektowanego systemu.

W przedstawionej dysertacji osiągnięte zostały założone cele oraz potwierdzone zostały przyjęte tezy. Zakres pracy i opracowane analizy odpowiednio pozwalają na przeprowadzenie klasyfikacji obiektów wielofunkcyjnych oraz umożliwiają stworzenie modelu teoretycznego wielokryterialnego procesu projektowego.

W odniesieniu do tezy 2.5.1. Wielofunkcyjność współczesnych struktur miejskich projektowanych systemowo stanowi jeden z najważniejszych elementów rozwoju zrównoważonego. Poprzez zastosowanie opracowanego teoretycznego modelu możliwe jest kształtowanie przestrzeni miejskiej przy zachowaniu kontroli nad wszystkimi elementami projektowanego obiektu. Obiekty wielofunkcyjne przy zastosowaniu systemowego podejścia projektowego uwzględniającego nowoczesne technologie odnawialnych źródeł energii, które stanowią uzupełnienie struktury funkcjonalnej oraz systemu konstrukcyjnego, stwarzają możliwość kreowania przestrzeni wpisującej się w globalną doktrynę poszanowania środowiska naturalnego.

W odniesieniu do tezy 2.5.2 Funkcjonalna elastyczność budynków ujęta w wielokryterialnym procesie projektowania jest jedną z najbardziej pożądanых cech współczesnych miast. Obecnie rozwijające się obszary zurbanizowane często zagospodarowują dużą przestrzeń, ingerując tym samym w środowisko naturalne. W obecnych czasach większy rozmiar i złożoność budynków wielofunkcyjnych stwarzają niebezpieczeństwo, że w momencie, gdy zajdzie potrzeba zmiany funkcji, będą one stwarzały nadmierne utrudnienia o charakterze ekonomicznym, społecznym oraz ekologicznym. Zaproponowane w rozprawie kryterium elastyczności funkcjonalnej stanowi odpowiedź na potrzeby, które mogą zaistnieć po zrealizowaniu budynku wielofunkcyjnego. Elastyczność funkcjonalna odnosi się nie tylko do założenia podatnego na zmiany programu funkcjonalnego, ale również stwarza możliwość dostosowywania technologicznego budynku do aktualnych potrzeb i możliwości.

Podsumowując, wielokryterialne projektowanie budynków wielofunkcyjnych ze szczególnym uwzględnieniem kryterium elastyczności funkcjonalnej jest tematem odpowiadającym aktualnym potrzebom związanym z teorią projektowania tego typu obiektów. Współczesne obiekty wielofunkcyjne są obiektami, które ze względu

na swoją istotną rolę w kształtowaniu przestrzeni miejskiej, wymagają systemowego podejścia w procesie ich projektowania, budowy, eksploatacji oraz transformacji w czasie.

## BIBLIOGRAFIA

1. Adamus Ł. 2012. Modelowanie informacji o budynku (bim): podstawy teoretyczne. *Pr. Inst. Tech. Bud.*, pp. 13–26
2. Arangio S. 2012. Reliability based approach for structural design and assessment: performance criteria and indicators in current european codes and guidelines. *Int. J. Lifecycle Perform. Eng.* 1(1):64
3. Bahauddin K. 2014. Towards urban city with sustainable buildings a model for dhaka city, bangladesh. ... *Urban. Asia*
4. Batty M, Besussi E, Maat K, Harts J. 2004. Representing multifunctional cities: density and diversity in space and time. *Built Environ.*
5. Bemanian MR, Mahdavinejad M, Karam A, Ramezani S. 2012. The role of combined-scale smart structures in multifunctional spaces development. *Int. J. Appl. Phys. Math.* 2(1):005–007
6. Błaszczński T, Wdowicki J. 2009. *Betonowe budynki wysokie*, Vol. 4. Arkady. 416-458 pp.
7. Chodor L. 2014. *Budynki wysokie* |  $\pi$  Wiki|Inżynierowie i Architekci Chodor-Projekt. <http://chodor-projekt.net/encyclopedia/budynki-wysokie/#zp-4753-GK7E9RIX>
8. Condit CW. 1998. *The Chicago School of Architecture: A History of Commercial and Public Building in the Chicago Area, 1875-1925*. Chicago: University Of Chicago Press. 1-6 pp.
9. *def. bezpieczeństwo*. <http://archiwum.ciop.pl/18383.html>
10. *def.* *funkcjonalizm*. <http://encyklopedia.pwn.pl/haslo/funkcjonalizm;3903292.html>
11. *def. funkcjonalny*. <http://sjp.pwn.pl/sjp/funkcjonalny;2558726.html>
12. Downarowicz O. 2005. *System eksploatacji. Zarządzanie zasobami techniki*. Gdańsk - Radom: Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji - PIB. IV ed.
13. Dulac N. 2007. A framework for dynamic safety and risk management modeling in complex engineering systems. *PhD Thesis*, pp. 31–47
14. Dymnicka M. 2011. Kulturowe wytwarzanie przestrzeni publicznych. *Przegląd Socjol.* 60(2–3):67–91
15. *Dz.U. 2001 Nr 62 poz. 627 USTAWA z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony*

*środowiska*. 2014

16. *efektywność* - *definicja, synonimy, przykłady użycia*.  
<http://sjp.pwn.pl/szukaj/efektywność.html>
17. *estetyka* - *Encyklopedia PWN - źródło wiarygodnej i rzetelnej wiedzy*.  
<http://encyklopedia.pwn.pl/haslo/estetyka;3898755.html>
18. *Eurokody | Polski Komitet Normalizacyjny*. <http://www.pkn.pl/eurokody>
19. F. E. Preiser W, Schramm U. 1998. Post-occupancy evaluation
20. Faber M. 2003. Risk and safety in civil engineering. *Lect. Notes, Inst. Struct. Eng.*
21. Flager F, Welle B, Bansal P, Soremekun G. 2009. Multidisciplinary process integration and design optimization of a classroom building. *J. Inf.*
22. Gąsiorowski E. 2004. Rozdział ii. budowa nowego ratusza w końcu xiv wieku. In *Ratusz Staromiejski w Toruniu*. Toruń
23. *geometria* - *definicja, synonimy, przykłady użycia*.  
<http://sjp.pwn.pl/slowniki/geometria.html>
24. Gerigk M. 2011. *Zespół obiektów użyteczności publicznej - Centrum im. Mariana Mokwy w Gdyni, praca dyplomowa magisterska*. Politechnika Gdańska
25. Gerigk M. 2013. Wykorzystanie obszarów morskich pod zabudowę o przeznaczeniu wielofunkcyjnym. *Zesz. Nauk. Akad. Morskiej w Gdyni*. 82:5–14
26. Gerigk M. 2014. Wybrane elementy projektowania budynków wielofunkcyjnych stanowiących miejskie centra logistyczne. *Logistyka*. 3:CD nr 1
27. Gerigk M. 2014. Modelowanie budynków wielofunkcyjnych stanowiących elementy systemu logistycznego miasta. *Logistyka*. 6:3820–27
28. Gerigk M. 2015. Wielofunkcyjność jako czynnik racjonalnego wykorzystania przestrzeni zurbanizowanej. *Zesz. Nauk. Politech. Gdańskiej*. 637(3):51–58
29. Głuszek C. 2010. Zabytkowe mury - a zagadnienia współczesnych uzupełnień. In *Ochrona, konserwacja i adaptacja zabytkowych murów*, ed B Szmygina, pp. 37–42. Lublin - Warszawa: Politechnika Lubelska
30. Gutenbaum J. 2003. *Modelowanie matematyczne systemów*. Warszawa: EXIT. 36-37 pp.
31. Hadjri K, Crozier C. 2009. Post-occupancy evaluation: purpose, benefits and barriers. *Facilities*. 27(1/2):21–33
32. Handy S, Boarnet M. 2002. How the built environment affects physical activity: views from urban planning. *Am. J. Prev. Med.* 23(2):64–73

33. Hillier B, Hanson J, Peponis J. 1984. What do we mean by building function?
34. Holuk M. 2008. Budynek inteligentny - możliwości sterowania domem w xxi w. *Sci. Biulletin Chełm*, pp. 61–71
35. Jajuga K, Kania E, Rosiński P, Gospodarowicz A, Ronka-Chmielowiec W, Jajuga T. 2007. *Zarządzanie ryzykiem*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN
36. Kent E, Reshef E, Politi B. 1995. Multipurpose building for educational and community services. case study in israel
37. *klasyfikacja - Słownik języka polskiego*. <http://sjpd.pwn.pl/haslo/klasyfikacja/>
38. Kopietz-Unger J. 2013. Inteligentne budynki – inspirująca architektura. *Budownictwo energooszczędne*, pp. 16–19
39. Kosińska J, Plater Krzysztof. 1971. *W dawnych Atenach*. Wrocław: Zakład Narodowy im. Ossolińskich. 27-28 pp.
40. Kozaczko M. 2007. Pragmatyczna definicja miasta punktem wyjścia do rozważań o jego zmienności. In *Zmieniając miasto. Wokół teorii i praktyki rewitalizacji*, ed M Kowalewski, pp. 34–39. Szczecin: Wydawnictwo ECONOMICUS
41. Kusiak J, Danielewska-Tulecka A, Oprocha P. 2009. *Optymalizacja*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN
42. Ledwoń S. 2008. *Wpływ współczesnych obiektów handlowych na strukturę śródmieść*. Politechnika Gdańska
43. Ledwoń S. 2009. Przekształcenia obszarów śródmiejskich z udziałem funkcji handlowej. In *Wybrane zagadnienia rewitalizacji miast*, ed P Lorens, J Martyniuk-Pęczek, pp. 36–57. Gdańsk: Wydawnictwo Urbanista
44. Leung L. Som | sky-sourced sustainability
45. Leveson N. 2004. A new accident model for engineering safer systems. *Saf. Sci.*
46. Lewis A. 1997. *An early encounter with tomorrow : Europeans, Chicago's Loop, and the World's Columbian Exposition*. Urbana, ILL: University of Illinois Press. 213 pp.
47. Lorens P. 2005. Gospodarowanie przestrzenią a polityka równoważenia rozwoju. *Stud. Reg. i Lokal.* 4(22):27–34
48. Lorens P. 2005. Porządek architektoniczny i urbanistyczny jako element przestrzennego zagospodarowania kraju. *Stud. Reg. i Lokal.*
49. Lozano R. 2008. Envisioning sustainability three-dimensionally. *J. Clean. Prod.*
50. Majerska-Pałubicka B. 2014. Dążenie do optymalizacji metod zrównoważonego



- projektowania architektonicznego. *Architectus*. 2(38):15–28
51. Mak CM. 2010. Application of computational fluid dynamics to the study of designed green features for sustainable buildings. *Comput. Fluid Dyn.*, pp. 173–98
  52. Markowski T. 2010. Planowanie przestrzenne miast i instrumenty jego realizacji w świetle teorii ułomnych rynków. In *Zarządzanie rozwojem przestrzennym miast*, ed P Lorens, J Martyniuk-Pęczek, pp. 12–31. Gdańsk: Wydawnictwo Urbanista
  53. Mesarovic M, Takahara Y. 1975. *General Systems Theory: Mathematical Foundations*. 322 pp.
  54. Moulaii MM, Bemanian MR, Mahdavinejad M, Mokary N. 2013. How smart materials can help occupants to live in more sustainable buildings. *Asian J. Appl. Sci.* 1(1):16–20
  55. Mushtaha ES, Arar M, Hamid F. 2010. Assessment tools: mathematical factorial and adjacency distribution theory for housing typology in gaza city. *Int. J. Archit. Res.* 4(1):149–57
  56. *New Century Global Centre - Architecture of the World - WikiArquitectura*. [https://en.wikiarquitectura.com/index.php/New\\_Century\\_Global\\_Centre#Situation](https://en.wikiarquitectura.com/index.php/New_Century_Global_Centre#Situation)
  57. Nguyen T, Aiello M. 2013. Energy intelligent buildings based on user activity: a survey. *Energy Build.* 56:244–57
  58. Nilsson M, Frantzich H, van Hees P. 2013. Selection and evaluation of fire related scenarios in multifunctional buildings considering antagonistic attacks. *Fire Sci. Rev.* 2(1):3
  59. Nilsson M, Hees P Van. 2012. Analysis of fire scenarios in order to ascertain an acceptable safety level in multi-functional buildings. *9th Int'l. Conf 2012 Proc. Case Stud.*
  60. Niżyński S, Żurek J, Ligier K. 2011. *Logistyka dla inżynierów*. Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. 235-243 pp.
  61. Nyka L. 2012. Przestrzeń miejska jako krajobraz urban space as landscape. *Czas. Tech. Archit.* 109:49–59
  62. Paruch R. 2016. Oddziaływanie wiatru na budynek wysoki w aspekcie rozwoju form architektonicznych i systemów konstrukcyjnych. *Mechanik*, pp. 782–83
  63. Patryk W. Młynek. 2008. *Wysokość nie jest najważniejsza. Wywiad ze*

- Zbigniewem Walasem i Łukaszem Magdziarzem z Walas sp. z o.o.  
<http://wroclaw.wyborcza.pl/wroclaw/1,95327,5090491.html>
64. Pawłowski AZ, Cała I. 2013. *Budynki wysokie*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej
  65. Peck RB. 1948. History of building foundations in Chicago
  66. *percepcja; perceptron; percypować*. <http://www.slownik-online.pl/kopalinski/131AF0EA6802F163C125657C007CDB8A.php>
  67. Pichowicz W. 2008. *Inżynieria bezpieczeństwa technicznego*. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. 22-25 pp.
  68. Preiser W. 2001. The evolution of post-occupancy evaluation: toward building performance and universal design evaluation. Washington, D.C.
  69. Preiser W, Nasar J. 2008. Assessing building performance: its evolution from post-occupancy evaluation. *Int. J. Archit. Res.* 2(1):84–99
  70. Pyszka A. 2015. Istota efektywności. definicje i wymiary. *Stud. Ekon.*
  71. Reay K a., Andrews JD. 2002. A fault tree analysis strategy using binary decision diagrams. *Reliab. Eng. Syst. Saf.* 78(1):45–56
  72. Rębielak J. 2011. Budynek o zespolonej formie systemu konstrukcyjnego. *Archit. Czas. Tech.*, pp. 303–8
  73. Roland HE, Moriarty B. 1990. *System safety engineering and management*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
  74. *ROZPORZĄDZENIE MINISTRA INFRASTRUKTURY z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*. 2002
  75. *Safdie Architects - Marina Bay Sands Integrated Resort*. <http://www.msafdie.com/#/projects/marinabaysands>
  76. Sekulski Z. 2012. *Wybrane problemy optymalizacji wielokryterialnej we wstępnym projektowaniu konstrukcji kadłuba statków morskich*. Szczecin: Wydawnictwo Uczelniane Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. 49-62 pp.
  77. Shi X, Yang W. 2013. Performance-driven architectural design and optimization technique from a perspective of architects. *Autom. Constr.* 32:125–35
  78. *Sky Tower – Wikipedia, wolna encyklopedia*. [https://pl.wikipedia.org/wiki/Sky\\_Tower#cite\\_note-2](https://pl.wikipedia.org/wiki/Sky_Tower#cite_note-2)
  79. *Sky Tower Wrocław | skytower blog*. <http://skytower.blog.pl/2008/05/20/sky->

tower-wroclaw/#7

80. *SkyTower.pl - Nowy symbol*. <http://www.skytower.pl/index.php/nowy-symbol>
81. *SOM | Burj Khalifa – Structural Engineering*.  
[http://www.som.com/projects/burj\\_khalifa\\_structural\\_engineering](http://www.som.com/projects/burj_khalifa_structural_engineering)
82. Sroka - Bizoń M. 2010. Architektura definiowana geometrią? *CzsoPismo Tech. Archit.* 15(7-A2):346–50
83. Stephans RA. 2004. *System Safety for the 21st century: The Updated and Revised Edition of System Safety 2000*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
84. Sullivan LH. 1869. The tall office buildings artistically considered. *Lippincott's Mag. (March 1896)*, pp. 403–9
85. Szewczyk P. 2009. *Rozwinięcia przestrzeni publicznej w głąb obiektów architektury - nowe miejsca na styku budynku i miasta*. Rozprawa doktorska. Politechnika Gdańska. 141-142 pp.
86. Szopa T. 2009. *Niezawodność i bezpieczeństwo*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej
87. Szopa T. 2012. *Podstawy konstrukcji maszyn. Zasady projektowania i obliczeń inżynierskich*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. 30-31 pp.
88. Talebnia G, Dehkordi B. 2012. Study of relation between effectiveness audit and management audit. *GSTF Bus. Rev.* 2(1):92–97
89. Taraszkiewicz A. 2004. *Wielorodzinna architektura mieszkaniowa w Polsce okresu transformacji na przykładzie Trójmiasta*. Gdańsk: Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej
90. Taraszkiewicz A. 2013. *Research by design w architekturze*. Gdańsk: Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej
91. Taraszkiewicz A, Gerigk M. 2015. Safety-based approach in multifunctional building design. *Saf. Reliab. Methodol. Appl.*, pp. 1749–53
92. Tarnowski J. 2012. Jeszcze o funkcjonalizmie w estetyce architektury: od sokratesa do idei budynku totalnie przyjaznego. *Estetyka i Kryt.* 24:183–204
93. *The largest building in the world: New Century Global Center in Chengdu - YouTube*. <https://www.youtube.com/watch?v=eob7Ki0Vhww>
94. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. prawo budowlane - dz.u. 1974 nr 89 poz. 414. 2014
95. Uścińowicz J. 2011. Dialektyka znaku i symbolu w architekturze – powrót do przeszłości? *CzsoPismo Tech. Archit.* R. 108, :364–71

96. Visscher H, Suddle S, Meijer F. 2006. Analysing safety risks when constructing over public spaces
97. Vitruvius Pollio M, Morgan M, Warren H. 1960. Vitruvius: the ten books on architecture
98. Włodarczyk-Kulak A. 2010. *O sztuce nowej i najnowszej: główne kierunki artystyczne w sztuce XX i XXI wieku*. Warszawa: Wydawnictwo Szkolne PWN. 13 pp.
99. World Commission on Environment and Development. 1987. Our common future. Oxford
100. *X-Seed 4000 - Wikipedia*. [https://en.wikipedia.org/wiki/X-Seed\\_4000#cite\\_note-2](https://en.wikipedia.org/wiki/X-Seed_4000#cite_note-2)
101. Yzurdiaga K. 2014. Reconsidering firmitas: durability as an integral function of the sustainably built environment
102. Zielonko-Jung K. 2010. Zjawiska aerodynamiczne a kształtowanie budynków w przestrzeni miejskich. *Probl. Rozw. Miast*, pp. 43–54
103. Zielonko-Jung K. 2014. Zwarta przestrzeń miejska jako środowisko budynków energooszczędnych. *Architectus*. 2(38):49–57

## SPIS TABEL

<b>Tabela 1.</b> Interesariusze procesu projektowego obiektu wielofunkcyjnego.....	110
<b>Tabela 2.</b> Zestawienie parametrów budynku wielofunkcyjnego w procesie projektowym. ....	113
<b>Tabela 3.</b> Zestawienie połączeń sieciowych w wielokryterialnym procesie projektowym budynku wielofunkcyjnego elastycznego funkcjonalnie. ....	116

## ZESTAWIENIE RYSUNKÓW

<b>Rysunek 3.1.</b> Agora: model Agory w Atenach, jak mogła wyglądać w 2 w. p. n. e. American School of Classical Studies at Athens. ( <a href="https://www.britannica.com/topic/agora">https://www.britannica.com/topic/agora</a> ).....	21
<b>Rysunek 3.2.</b> Ratusz Staromiejski w Toruniu w tkance miejskiej. Widok aktualny. fot. W. Kardas, Agencja Gazeta, ( <a href="http://torun.wyborcza.pl/torun/51,48723,20927260.html?i=0">http://torun.wyborcza.pl/torun/51,48723,20927260.html?i=0</a> ).....	22
<b>Rysunek 3.3.</b> Auditorium Building, Chicago, Stany Zjednoczone. Projekt: Louis H. Sullivan i D. Adler, 1889 r. fot. J. W. Taylor, ( <a href="https://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Auditorium_Building17.jpg">https://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Auditorium_Building17.jpg</a> ) .....	22
<b>Rysunek 3.4.</b> Rzut parteru, Auditorium Building, Chicago, Stany Zjednoczone. Projekt: Louis H. Sullivan i D. Adler, 1889 r. (65). .....	24
<b>Rysunek 3.5.</b> Midtown Manhattan widziany z Rockefeller Center w 1932 roku, Nowy Jork, Stany Zjednoczone. Autor niezany. ( <a href="https://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:NewYorkCityManhattanRockefellerCenter.jpg">https://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:NewYorkCityManhattanRockefellerCenter.jpg</a> ) .....	25
<b>Rysunek 3.6.</b> Zespół budynków użyteczności publicznej - Centrum im. Mariana Mokwy w Gdyni. Projekt dyplomowy magisterski: Mateusz Gerigk WAPG, 2011 r. a) Perspektywa (z lewej); b) Widok z lotu ptaka (z prawej). (24).....	26
<b>Rysunek 3.7.</b> Rewitalizacja stacji kolejowej Gdańsk - Wrzeszcz oraz terenów sąsiadujących. Projekt koncepcyjny: Fort Architekci: P. Mazur, A. Taraszkiewicz, W. Targowski, M. Skrzypek - Łachińska, 2010 r. a) Widok z lotu ptaka nocą (z lewej); b) Perspektywa (z prawej). ( <a href="http://www.fort-architekci.pl">http://www.fort-architekci.pl</a> ).....	27
<b>Rysunek 3.8.</b> Stacja Melbourne's Flinders St., Melbourne, Australia. Projekt koncepcyjny: Zaha Hadid Architects, BVN Architecture, 2013 r. a) Perspektywa (z lewej); b) Widok z lotu ptaka (z prawej). ( <a href="http://www.archdaily.com/412837/the-flinders-street-station-shortlisted-proposal-zaha-hadid-architects-bvn-architecture">http://www.archdaily.com/412837/the-flinders-street-station-shortlisted-proposal-zaha-hadid-architects-bvn-architecture</a> ).....	27
<b>Rysunek 3.9.</b> De Rotterdam, Rotterdam, Holandia. Projekt: OMA, Rem Koolhaas, 2013 r. a) Perspektywa (z lewej). ( <a href="http://media-cdn.tripadvisor.com/media/photo-s/05/54/e9/09/facade-de-rotterdam.jpg">http://media-cdn.tripadvisor.com/media/photo-s/05/54/e9/09/facade-de-rotterdam.jpg</a> ); b) Schemat funkcjonalny (w środku). ( <a href="http://www.designbuild-network.com/projects/de-rotterdam/images/3-de-rotterdam.jpg">http://www.designbuild-network.com/projects/de-rotterdam/images/3-de-rotterdam.jpg</a> ) c) Widok od frontu (z prawej). ( <a href="http://www.studiovandamme.com/wp-content/uploads/2013/10/Rotterdam-Wilhelminapier-NL2.jpg">http://www.studiovandamme.com/wp-content/uploads/2013/10/Rotterdam-Wilhelminapier-NL2.jpg</a> ).....	28
<b>Rysunek 3.10.</b> Terminal portowy, Keelung, Tajwan. Projekt koncepcyjny: Asymptote Architecture: H. Rashid, L. A. Couture, 2012 r. a) Perspektywa (z lewej). b) Widok z lotu ptaka (z prawej). ( <a href="http://www.asymptote.net/keelung-slide-show">http://www.asymptote.net/keelung-slide-show</a> ).....	29



<b>Rysunek 3.11.</b> Sky Tower, Wrocław, Polska. Projekt wykonawczy: Dariusz Dziubiński Studio Architektoniczne "Fold" na podstawie koncepcji: Łukasz Magdziarz - Walas Sp. z o.o., 2012 r.	
a) Widok ze skrzyżowania ul. Wielkiej i Zaporoskiej (z lewej). ( <a href="http://dolny-slask.org.pl/954339,foto.html?idEntity=513567">http://dolny-slask.org.pl/954339,foto.html?idEntity=513567</a> ) .....	32
b) Widok od strony skrzyżowania ul. Powstańców Śląskich i Radosnej (z prawej). ( <a href="http://dolny-slask.org.pl/954363,foto.html?idEntity=513567">http://dolny-slask.org.pl/954363,foto.html?idEntity=513567</a> ). .....	32
<b>Rysunek 3.12.</b> a) Centrum Nowego Jorku, Stany Zjednoczone. Widok z lotu ptaka. (z lewej). ( <a href="http://new.driftwooddreaming.co.uk/wp-content/uploads/2010/11/NY-BW-sky-line-3.jpg">http://new.driftwooddreaming.co.uk/wp-content/uploads/2010/11/NY-BW-sky-line-3.jpg</a> ) ...	33
b) Centrum Singapuru. Widok z lotu ptaka. (z prawej). ( <a href="http://exploresingapore.sg/wp-content/uploads/2016/06/Teo-Soon-Haur-Aerial-Photography-Singapore-MBS-Skypark-1.jpg">http://exploresingapore.sg/wp-content/uploads/2016/06/Teo-Soon-Haur-Aerial-Photography-Singapore-MBS-Skypark-1.jpg</a> ). .....	33
<b>Rysunek 3.13.</b> a) Burj Khalifa, Dubaj, Zjednoczone Emiraty Arabskie. Projekt: Adrian Smith, SOM LLP, 2010 r. (z lewej). ( <a href="http://vizts.com/burj-khalifa-world-tallest-skyscraper/">http://vizts.com/burj-khalifa-world-tallest-skyscraper/</a> ) .....	35
b) New Century Global Center, Chengdu, Chiny. Shenzen Zhongshen Architects Designing Ltd., 2013 r. (z prawej). ( <a href="http://s757.photobucket.com/user/davidwei01/media/2013FebShanghai/acaedb54564e9258c64e51df9d82d158ccbf4e12.jpg.html">http://s757.photobucket.com/user/davidwei01/media/2013FebShanghai/acaedb54564e9258c64e51df9d82d158ccbf4e12.jpg.html</a> ). .....	35
<b>Rysunek 3.14.</b> Ocena wydajności budynku (BPE). Model procesu. Opracowanie własne na podstawie (69).....	37
<b>Rysunek 3.15.</b> Proces zmiany sposobu użytkowania budynku. Opracowanie własne.....	39
<b>Rysunek 4.1.</b> Metoda badań budynków wielofunkcyjnych. Opracowanie własne. ....	41
<b>Rysunek 4.2.</b> Proces wielokryterialnego modelowania budynku wielofunkcyjnego elastycznego funkcjonalnie. Opracowanie własne. ....	42
<b>Rysunek 4.3.</b> Schemat modelu projektowania obiektów wielofunkcyjnych elastycznych funkcjonalnie. Opracowanie własne. ....	43
<b>Rysunek 4.4.</b> Zbiór funkcji współczesnej aglomeracji miejskiej. Opracowanie własne.....	44
<b>Rysunek 4.5.</b> Schemat integracji funkcji współczesnej aglomeracji miejskiej. Opracowanie własne.....	44
<b>Rysunek 4.6.</b> Schemat funkcjonalności obiektu w zabudowie miejskiej. Opracowanie własne.....	46
<b>Rysunek 4.7.</b> Efektywność budynku wielofunkcyjnego w strukturze miejskiej. Opracowanie własne.....	47
<b>Rysunek 4.8.</b> Efektywność budynku wielofunkcyjnego. Opracowanie własne. ....	47
<b>Rysunek 4.9.</b> Bezpieczeństwo w procesie projektowania budynku wielofunkcyjnego. Opracowanie własne na podstawie (20).....	50
<b>Rysunek 4.10.</b> Schemat wpływu elastycznego funkcjonalnie wielofunkcyjnego sposobu zabudowy na zrównoważonego rozwoju przedstawionego za pomocą diagramu Venna. Opracowanie własne. Diagram Venna zrównoważonego rozwoju na podstawie (49). ....	52

<b>Rysunek 4.11.</b> Schemat podziału budynków wielofunkcyjnych uwzględniający gradację ilościową. Opracowanie własne. ....	53
<b>Rysunek 4.12.</b> Schemat podziału budynków wielofunkcyjnych uwzględniający gradację jakościową. Opracowanie własne. ....	54
<b>Rysunek 4.13.</b> Wykres przedstawiający klasyfikację obiektów wielofunkcyjnych uwzględniający stopień ilościowy, jakościowy oraz zmianę funkcji w czasie. Opracowanie własne. ....	55
<b>Rysunek 4.14.</b> Wykres przedstawiający najwyższe budynki na świecie zrealizowane, planowane oraz wizjonerskie. Niektóre z obiektów zostały dodane dla porównania jak np. Wieża Eiffla. ( <a href="http://infographics.xyz/wp-content/uploads/2015/12/X-Seed-4000.jpg">http://infographics.xyz/wp-content/uploads/2015/12/X-Seed-4000.jpg</a> ) .....	56
<b>Rysunek 4.15.</b> Idea budynku wielofunkcyjnego elastycznego funkcjonalnie. Opracowanie własne. ....	57
<b>Rysunek 5.1.</b> Schemat elementów percepcji obiektu wielofunkcyjnego w przestrzeni miasta. Opracowanie własne. ....	61
<b>Rysunek 5.2.</b> Elementy estetyki obiektu wielofunkcyjnego w przestrzeni miasta. Opracowanie własne. ....	63
<b>Rysunek 5.3.</b> Klasyfikacja konstrukcji budynków wysokich (7) na podstawie (64). ....	64
<b>Rysunek 5.4.</b> Schemat głównego przekroju pionowego budynku zaprojektowanego za pomocą zespolonej postaci systemu konstrukcyjnego (72). ....	65
<b>Rysunek 5.5.</b> Schemat elementów tworzących geometrię obiektu wielofunkcyjnego elastycznego funkcjonalnie. Opracowanie własne. ....	66
<b>Rysunek 5.6.</b> Schemat elementów stanowiących o funkcjonalności obiektu wielofunkcyjnego elastycznego funkcjonalnie. Opracowanie własne. ....	67
<b>Rysunek 5.7.</b> Schemat zewnętrznego układu funkcjonalnego. Opracowanie własne. ....	68
<b>Rysunek 5.8.</b> Schemat wewnętrznego układu funkcjonalnego. Opracowanie własne. ....	68
<b>Rysunek 5.9.</b> Struktura oceny efektywności budynku wielofunkcyjnego. Opracowanie własne. ....	71
<b>Rysunek 5.10.</b> Schemat efektywności budynku wielofunkcyjnego. Opracowanie własne. ....	71
<b>Rysunek 5.11.</b> Schemat czynnika ludzkiego w relacjach ludzie, procedury, obiekty wielofunkcyjne, otoczenie. Opracowanie własne na podstawie (73). ....	75
<b>Rysunek 5.12.</b> Przykładowe drzewo zdarzeń dla teoretycznego błędu (71). ....	76
<b>Rysunek 5.13.</b> Cykl życia budynku elastycznego funkcjonalnie w porównaniu z cyklem życia budynku tradycyjnego. Opracowanie własne na podstawie (28). ....	77
<b>Rysunek 5.14.</b> Cykl życia budynku elastycznego funkcjonalnie. Opracowanie własne. ....	78
<b>Rysunek 5.15.</b> Wewnętrzny system funkcjonalny budynku wielofunkcyjnego elastycznego funkcjonalnie. Opracowanie własne. ....	80

<b>Rysunek 5.16.</b> Zewnętrzny system funkcjonalny budynku wielofunkcyjnego elastycznego funkcjonalnie. Opracowanie własne. ....	81
<b>Rysunek 5.17.</b> System otoczenia zewnętrznego budynku wielofunkcyjnego elastycznego funkcjonalnie. Opracowanie własne. ....	82
<b>Rysunek 6.1.</b> Schemat metody holistycznej w projektowaniu budynków wielofunkcyjnych. Opracowanie własne. ....	84
<b>Rysunek 6.2.</b> Zbiór podstawowych podsystemów metody holistycznej w projektowaniu wielokryterialnym budynków wielofunkcyjnych z uwzględnieniem kryterium elastyczności funkcjonalnej. Opracowanie własne. ....	85
<b>Rysunek 6.3.</b> Zbiór elementów budynku wielofunkcyjnego <i>ZW</i> . Opracowanie własne. ....	87
<b>Rysunek 6.4.</b> Zbiór podstawowych kryteriów projektowych <i>KP</i> dla budynku wielofunkcyjnego. Opracowanie własne. ....	88
<b>Rysunek 6.5.</b> Graf reprezentujący strukturę systemu <i>SW</i> elementów budynku wielofunkcyjnego elastycznego funkcjonalnie. Opracowanie własne. ....	89
<b>Rysunek 6.6.</b> Graf zależności pomiędzy elementami modelu geometrycznego budynku wielofunkcyjnego <i>Gmod</i> . Opracowanie własne. ....	90
<b>Rysunek 6.7.</b> Schemat modelu geometrycznego obiektu wielofunkcyjnego. Opracowanie własne. ....	92
<b>Rysunek 6.8.</b> Schemat ujęcia modelu fizycznego <i>Fmod</i> obiektu wielofunkcyjnego. Opracowanie własne. ....	95
<b>Rysunek 6.9.</b> Siatka numeryczna modelu (przekrój) (51). ....	97
<b>Rysunek 6.10.</b> Schemat modelu numerycznego <i>Nmod</i> dla budynku wielofunkcyjnego. Opracowanie własne. ....	97
<b>Rysunek 6.11.</b> Schemat modelu projektowania estetyki obiektu wielofunkcyjnego <i>Emod</i> . Opracowanie własne. ....	99
<b>Rysunek 6.12.</b> Schemat przestrzenny modelu funkcjonalnego. Opracowanie własne. ....	100
<b>Rysunek 6.13.</b> Schemat modelu funkcjonalnego obiektu wielofunkcyjnego <i>mF</i> . Opracowanie własne. ....	101
<b>Rysunek 6.14.</b> Schemat modelu funkcjonalnego uwzględniający zakres układu wewnętrznego i układu zewnętrznego ze wskazaniem funkcji stałych i zmiennych. Opracowanie własne. ....	102
<b>Rysunek 6.15.</b> Schemat rzutu obiektu wielofunkcyjnego elastycznego funkcjonalnie. Opracowanie własne. ....	103
<b>Rysunek 6.16.</b> Schemat modelu efektywności obiektu wielofunkcyjnego <i>mE</i> . Opracowanie własne. ....	104
<b>Rysunek 6.17.</b> Schemat modelu bezpieczeństwa obiektu wielofunkcyjnego <i>mB</i> . Opracowanie własne. ....	106



<b>Rysunek 6.18.</b> Schemat modelu wielokryterialnego <i>MW</i> obiektu wielofunkcyjnego. Opracowanie własne. ....	108
<b>Rysunek 6.19.</b> Graf modelu wielokryterialnego <i>MW</i> obiektu wielofunkcyjnego. Opracowanie własne.....	109
<b>Rysunek 6.20.</b> Schemat cyklu życia obiektu wielofunkcyjnego w procesie projektowym budynku wielofunkcyjnego z zastosowaniem modelu wielokryterialnego <i>MW</i> . Opracowanie własne.....	111
<b>Rysunek 6.21.</b> Relacja modelu wielokryterialnego <i>MW</i> , systemów BIM, BMS, BPE z fazami w cyklu życia obiektu wielofunkcyjnego w procesie projektowym. Opracowanie własne. ....	113
<b>Rysunek 6.22.</b> Sieć modelowania wielokryterialnego obiektu wielofunkcyjnego w procesie projektowym. Opracowanie własne. ....	120
<b>Rysunek 6.23.</b> Wpływ kryterium elastyczności funkcjonalnej na sieć modelowania wielokryterialnego obiektu wielofunkcyjnego w procesie projektowym. Opracowanie własne. ....	121