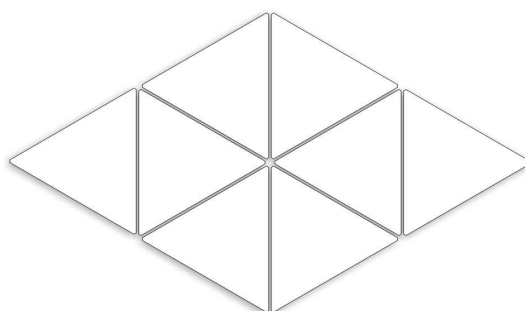


UNIWERSYTET ARTYSTYCZNY W POZNANIU
WYDZIAŁ ARCHITEKTURY I WZORNICTWA

mgr inż. arch. Bartłomiej Bieńkowski

ROZPRAWA DOKTORSKA
Adaptacyjny panel architektoniczny



Promotor:

Prof. Marek Owsian, prof. zw. UAP

Poznań 2019

SPIS TREŚCI :

WSTĘP	4
I PRZEDSTAWIENIE TEMATU I CELU PRACY	
1.1 UZASADNIENIE PODJĘCIA TEMATU PRACY.....	6
1.2 TEZA I CEL PRACY.....	7
1.3 PLAN PRACY.....	8
1.4 APARAT POJĘCIOWY.....	11
II ANALIZA PROBLEMU NAUKOWEGO	
2.1 PRZEDMIOT BADAŃ	12
2.2 STAN BADAŃ.....	13
2.3 PRZYKŁADY.....	14
III BADANIA	
3.1 STRATEGIA BADAŃ – BIONIKA.....	27
3.2 METODA BADAŃ.....	28
3.3 ANALIZA WYBRANYCH ELEMENTÓW SYSTEMU NERWOWEGO CHRZĄSZCZY.....	29
3.4 ANALIZA WYBRANYCH ELEMENTÓW ARCHITEKTURY ADAPTACYJNEJ...	32
3.5 SYNTEZA.....	34
3.6 INTERPRETACJA.....	35
3.7 INSPIRACJA.....	36
3.8 ZAKRES ODDZIAŁYWANIA PROJEKTOWANEGO PANELU ADAPTACYJNEGO	37
3.9 METODA ODDZIAŁYWANIA PROJEKTOWANEGO PANELU ADAPTACYJNEGO.....	38
3.10 IDEA PANELU ADAPTACYJNEGO O ZMIENNEJ GEOMETRI	39
3.11 ZASTOSOWANIE PANELU ADAPTACYJNEGO O ZMIENNEJ GEOMETRI.....	40
3.12 MODEL DOŚWIADCZALNY.....	41

IV PROJEKT, PROTOTYP

4.1	OPIS ZAPROJEKTOWANEGO PANELU ADAPTACYJNEGO	47
4.2	ELEKTRONICZNY UKŁAD STERUJĄCY	48
4.3	RYSUNKI ELEMENTÓW PANELU ADAPTACYJNEGO	49
4.4	RYSUNEK PERSPEKTYWICZNY BUDOWY PANELU ADAPTACYJNEGO.....	50
4.5	RYSUNKI OTWARTEGO, ZAMKNIĘTEGO PANELU ADAPTACYJNEGO.....	51
4.6	ZDJĘCIA ELEMENTÓW PROTOTYPU PANELU ADAPTACYJNEGO.....	52
4.7	ZDJĘCIA PROTOTYPU PANELU ADAPTACYJNEGO.....	53
4.8	PROGRAM STERUJĄCY PANELEM ADAPTACYJNYM	54
PODSUMOWANIE I WNIOSKI		62
WYKAZ LITERATURY.....		64
SPIS ANIMACJI, FOTOGRAFII, ILUSTRACJI, RYSUNKÓW, SCHEMATÓW, TABEL.		68
SUMMARY.....		70

WSTĘP

Spektakularny rozwój informatyki i elektroniki w drugiej połowie XX wieku spowodował dynamiczną transformację formy, zakresu i metod projektowania architektonicznego. Na uwagę zasługuje również skala zmian, które zaszły w obszarze badań i nauki z zakresu architektury na przestrzeni ostatnich kilku dekad w porównaniu do postępu, który zachodził w okresie całej historii architektury.

Do tej pory przez wieki proces projektowy przebiegał w podobny sposób. Architekci definiowali program funkcjonalny zamierzenia budowlanego, następnie zgodnie ze zdobytą wiedzą, doświadczeniem oraz obowiązującymi kanonami piękna, tworzył szkice, rysunki perspektywiczne, makiety, a w końcu projekt na podstawie którego powstawała budowla [17].

Pojawienie się pierwszych komputerów osobistych na początku lat 70-tych XX wieku, zrewolucjonizowało proces projektowy. Rozwój geometrii obliczeniowej [17] jako nowej samodzielnej dyscypliny miał znaczący wpływ na powstanie i dalszy rozwój projektowania wspieranego komputerowo CAD (Computer Aided Design). Pod koniec lat 70-tych i na początku lat 80-tych XX wieku powstały pierwsze edycje programów projektowych CAD między innymi *CATIA, 1975r.*, *AutoCAD, 1982r.*, *MicroStation, 1985r.* Od tego momentu projektowanie w znacznym stopniu opiera się na cyfrowym modelowaniu geometrycznym, a proces ten zachodzi przy wykorzystaniu systemu narzędzi złożonego ze sprzętu komputerowego (ang. Hardware) oraz oprogramowania (ang. software). Użyteczność pierwszych programów projektowych charakteryzowała się małą ergonomią pracy. Na początku modelowanie cyfrowe polegało na tworzeniu wirtualnego rysunku z podstawowych brył geometrycznych poprzez wprowadzanie komend tekstowych. Było to jednak trudnym i czasochłonnym procesem, często trwającym dłużej niż tradycyjne kreślenie projektu. Natomiast przeważającą zaletą owych programów były zupełnie nowe możliwości funkcjonalne i użytkowe, nieosiągalne w klasycznym projektowaniu, takie jak swoboda edycji rysunków, większa dokładność, błyskawiczne i wierne kopiowanie. Późniejszy rozwój programów, ich funkcji, interfejsu oraz narzędzi peryferyjnych wspomagających projektowanie znacząco poprawił ergonomię pracy a także jej wydajność. Kolejny postęp metod cyfrowego modelowania geometrycznego umożliwił przeprowadzanie złożonych analiz, symulacji oraz kreowanie realistycznych wizualizacji i animacji, a przede wszystkim dał możliwość tworzenia

i edycji projektów w sposób parametryczny[34]. Fundamentalnym celem projektowania było zawsze znalezienie właściwego, optymalnego rozwiązania problemu projektowego[31]. Projektowanie parametryczne jest procesem kreowania brył, układu współzależnych elementów, mechanizmów, algorytmów oraz implementacji zewnętrznych danych, jego efektem jest elastyczna, dynamiczna, interaktywna wirtualna forma przestrzenna[6,27,42,50].

Takie narzędzia i metody projektowe, dają nieograniczoną swobodę kreowania, umożliwiają realizowanie całkowicie nowych funkcji (będących przedmiotem dyskursu na temat zmiany w podejściu do architektury), wyznaczają kierunki badań i rozwoju. W rezultacie przyczyniają się do powstania nowego paradygmatu architektury.

I PRZEDSTAWIENIE TEMATU I CELU PRACY

1.1 UZASADNIENIE PODJĘCIA TEMATU PRACY

Powszechny dostęp do nowych technologii projektowych, produkcyjnych, łatwego prototypowania, spowodował znaczącą zmianę formy i funkcji architektury. Powstają pionierskie, innowacyjne, budowle, obiekty oraz instalacje, wnosząc nową jakość w dziedzinie architektury[13]. Eksperymentalne obiekty projektowane między innymi przy wykorzystaniu nowych metod obliczeniowych i generatywnych[52], tworzone są przy wykorzystaniu cyfrowych metod fabrykacji [44] jako złożone systemy kinetyczne, performatywne, responsywne, termomorficzne, higromorficzne, morfogeniczne i inne[14,38,41,54]. Architektura przestaje być statyczna, pasywna i bierna. Staje się coraz bardziej złożonym systemem nieustannie zmieniającym swoje właściwości dostosowując się do środowiska, warunków otoczenia i użytkowników [32,37] a także zdolnym do wielowymiarowej interakcji o charakterze behawioralnym. Wyżej wymienione zagadnienia, nowe funkcje i wartości zawierają się w szerokim pojęciu **architektury adaptacyjnej** jako multidyscyplinarnej dziedziny, sztuki i nauki [57]. Takie podejście do architektury nasuwa następujące pytania:

Jakie możliwości i korzyści daje architektura adaptacyjna?

W jaki sposób architektura adaptacyjna może spełniać swoje nowe funkcje i zadania?

Jakim kosztem realizowane są nowe funkcje i zadania architektury adaptacyjnej?

Jakie mogą nieść zagrożenia nowe funkcje architektury adaptacyjnej?

Jakie komponenty mogą tworzyć system architektury adaptacyjnej?

Jaka jest efektywność takich systemów w kontekście zrównoważonego rozwoju?

1.2 TEZA I CEL PRACY

Celem rozprawy jest próba wykazania możliwości adaptacyjnej projektowanego panelu architektonicznego, związku między warunkami zewnętrznymi, a zmianą jego geometrii i właściwości.

Przyjętą tezą badawczą jest stwierdzenie, że możliwa jest dynamiczna zmiana geometrii projektowanego panelu architektonicznego pod wpływem wybranych bodźców zewnętrznych.

Pomocniczymi tezami badawczymi są pytania:

1. Czy funkcjonowanie wybranych elementów systemu nerwowego chrząszczy z rodziny Scarabaeidae może być inspiracją w projektowaniu adaptacyjnego panelu architektonicznego?
2. Czy zmiana geometrii adaptacyjnego panelu architektonicznego daje możliwość zmiany wybranych właściwości obiektu architektonicznego?
3. Jakie właściwości obiektu architektonicznego mogą być kontrolowane przez adaptacyjny panel architektoniczny?

Celem pracy badawczej jest:

Stworzenie modeli doświadczalnych, zaprojektowanie kinetycznego panelu, wykazującego cechy adaptacyjne oraz wykonanie prototypu panelu adaptacyjnego.

1.3 PLAN PRACY

WSTĘP, jest omówieniem kontekstu i genezy zagadnień przedstawionych w pracy.

- Część pierwsza, PRZEDSTAWIENIE TEMATU I CELU PRACY, jest wprowadzeniem i przedstawieniem tematów podejmowanych w dalszej części pracy.
 - Rozdział 1.1, UZASADNIENIE PODJĘCIA TEMATU PRACY, prezentuje argumenty wyjaśniające celowość podejmowanego tematu pracy.
 - Rozdział 1.2, TEZA I CEL PRACY, jest sformułowaniem tezy, celu rozprawy oraz głównych założeń, które nadały kierunek i formę prowadzonych badań.
 - Rozdział 1.3, PLAN PRACY, przedstawia układ pracy oraz zawartość wszystkich rozdziałów.
 - Rozdział 1.4, APARAT POJĘCIOWY, objaśnia pojęcia zawarte w pracy.

- Część druga, ANALIZA PROBLEMU NAUKOWEGO, opisuje podejmowane badania.
 - Rozdział 2.1, PRZEDIOT BADAŃ, jest charakterystyką i omówieniem tematu badań.
 - Rozdział 2.2, STAN BADAŃ, przedstawia i analizuje prace badawcze podejmowane na świecie.

- Część trzecia, BADANIA, Jest zasadniczą częścią pracy, przedstawia autorskie doświadczenia, analizy i wnioski.
 - Rozdział 3.1, STRATEGIA BADAŃ - BIONIKA, zawiera ideowy plan rozwiązania problemu naukowego.
 - Rozdział 3.2, METODA BADAŃ, jest wyjaśnieniem zastosowanej metodyki rozwiązania podejmowanego problemu naukowego.
 - Rozdział 3.3, ANALIZA WYBRANYCH ELEMENTÓW SYSTEMU NERWOWEGO CHRZĄSZCZY, opisuje budowę i mechanizm działania systemu nerwowego chrząszczy.
 - Rozdział 3.4, ANALIZA WYBRANYCH ELEMENTÓW ARCHITEKTURY ADAPTACYJNEJ, opisuje budowę i zasadę działania wybranych elementów architektury adaptacyjnej.

- Rozdział 3.5, SYNTEZA, jest zestawieniem rezultatów badań.
- Rozdział 3.6, INTERPRETACJA, jest wyjaśnieniem działania mechanizmu adaptacyjnego czuików.
- Rozdział 3.7, INSPIRACJA, jest poszukiwaniem nowych mechanizmów adaptacyjnych.
- Rozdział 3.8. ZAKRES ODDZIAŁYWANIA PROJEKTOWANEGO PANELU ADAPTACYJNEGO, opisuje funkcje projektowanego panelu.
- Rozdział 3.9. METODA ODDZIAŁYWANIA PROJEKTOWANEGO PANELU ADAPTACYJNEGO, opisuje w jaki sposób, projektowany panel wpływa na zmianę charakterystyki przestrzeni.
- Rozdział 3.10. IDEA PANELU ADAPTACYJNEGO O ZMIENNEJ GEOMETRII, jest opisem możliwości pełnienia na przemian kilku funkcji.
- Rozdział 3.11. ZASTOSOWANIE PANELU ADAPTACYJNEGO O ZMIENNEJ GEOMETRII, przedstawia wybrane przykłady funkcjonowania panelu w różnych przestrzeniach.
- Rozdział 3.12. MODEL DOŚWIADCZALNY, zawiera opis przeprowadzonych badań.
- Część czwarta, PROJEKT I PROTOTYP, jest szczegółowym przedstawieniem projektu i realizacji panelu.
 - Rozdział 4.1, OPIS ZAPROJEKTOWANEGO PANELU ADAPTACYJNEGO, jest opisem funkcji i właściwości jakie ma spełniać realizowany panel.
 - Rozdział 4.2, ELEKTRONICZNY UKŁAD STERUJĄCY, jest opisem budowy układu elektronicznego.
 - Rozdział 4.3, RYSUNKI ELEMENTÓW PANELU ADAPTACYJNEGO, zawiera autorskie rysunki poszczególnych elementów projektu.
 - Rozdział 4.4, RYSUNEK PERSPEKTYWICZNY BUDOWY PANELU ADAPTACYJNEGO, przedstawia przestrzenny widok zaprojektowanego panelu.
 - Rozdział 4.5, RYSUNKI OTWARTEGO, ZAMKNIĘTEGO PANELU ADAPTACYJNEGO, przedstawia kłady zaprojektowanego panelu w stanach progowych.
 - Rozdział 4.6, ZDJĘCIA ELEMENTÓW PROTOTYPU PANELU ADAPTACYJNEGO, zawiera autorskie fotografie elementów wykonanego prototypu.

- Rozdział 4.7, ZDJĘCIA PROTOTYPU PANELU ADAPTACYJNEGO, zawiera autorskie fotografie funkcjonującego prototypu.
 - Rozdział 4.8, PROGRAM STERUJĄCY, opisuje zasadę działania autorskiego programu kontrolującego funkcjonowanie zrealizowanego prototypu panelu adaptacyjnego .
 - Rozdział 4.5, PROJEKT CZĘŚCI ELEKTRONICZNEJ, jest przedstawieniem budowy i działania układu elektronicznego.
 - Rozdział 4.6, PROTOTYP, jest prezentacją zrealizowanego panelu.
 - Rozdział 4.7, ZASTOSOWANIE, jest omówieniem sytuacji w której zaprojektowany panel mógłby być wykorzystany.
-
- PODSUMOWANIE I WNIOSKI, jest konfrontacją wyników badań z przyjętymi założeniami i tezą pracy.

1.4 APARAT POJĘCIOWY

Poniżej przedstawiono ogólną charakterystykę wybranych terminów używanych w pracy oraz zagadnień związanych z tematyką badań.

Aktuator - element lub urządzenie wykonawcze, wykorzystywane głównie w automatyce.

Elementami wykonawczymi są między innymi: siłowniki hydrauliczne, mechaniczne, elektromagnetyczne, silniki.[25]

Architektura adaptacyjna – nurt w architekturze, posiada cechy systemu, którego głównym celem jest dostosowanie się do zmiennych warunków. [4,57]

Architektura responsywna - nurt w architekturze, posiadający cechy systemu, którego głównym celem jest zmiana charakterystycznych cech obiektu (takich jak kształt kolor itp.) na podstawie danych zbieranych przez sensory tego obiektu. [4,6]

Architektura interaktywna – nurt w architekturze, posiadający cechy systemu, którego [4,6] charakteryzuje zdolność oddziaływania, odbierania, przetwarzania i wysyłania informacji.

BMS-building managemnt system (ang.)– system zarządzania budynkiem, inteligentny budynek.

Poszukiwanie formy, Form finding (ang.) -metoda projektowa - tworzenia form przestrzennych w oparciu o zasady fizyki, [36]

Projektowanie parametryczne – metoda projektowa, wykorzystująca programy komputerowe, polegająca na tworzeniu form przestrzennych na podstawie zadanych parametrów oraz szeregu działań matematycznych na tych parametrach. [42]

Produkcja cyfrowa, digital fabrication (ang.) - maszynowa metoda produkcji przy wykorzystaniu numerycznego sterowania komputerowego, np. frezarki CNC, drukarki 3D, wycinarki CNC laserowe i strumieniowe.[44]

Stygmergia- pośredni sposób porozumiewania się poprzez zmiany środowiska, np. poprzez pozostawianie feromonów - mrówki, termity.

II ANALIZA PROBLEMU NAUKOWEGO

2.1 PRZEDMIOT BADAŃ

Architektura adaptacyjna to budowle, budynki i instalacje, które zostały zaprojektowane w taki sposób aby dynamicznie dostosowywać się do: użytkowników, ich potrzeb oraz aktywności, otoczenia, zmieniających się warunków zewnętrznych i wewnętrznych oraz innych powiązanych komponentów architektonicznych[4,6,13,27]. Zmiany te zachodzą na wielu poziomach, dotyczą właściwości, charakterystyki, cech a także, wyglądu, kształtu oraz struktury tych budowli. Funkcjonowanie budowli, budynków lub elementów i materiałów adaptacyjnych oparte jest na charakterystycznych składowych takich jak: sensory, akulatory kontrolery, sieci informacyjne, dane, oprogramowanie i inne elementy technologiczne.[32]

Projektowanie architektury adaptacyjnej, zawsze przewiduje możliwość transformacji obiektu[51]. Projekt może być tylko ideowym schematem, zakładającym pewną zmienność lub też może powstać jako złożony cyfrowy model parametryczny, przy wykorzystaniu algorytmów generatywnych. Trójwymiarowy model może być poddawany symulacjom, które dają możliwość wizualizacji i pełnego zrozumienia interakcji i procesów, zachodzących w projekcie. Założenia projektowe skupione są za równo na efekcie transformacji obiektu i na samych procesach transformacji[4]. Funkcjonowanie modelu cyfrowego za zwyczaj oparte jest na systemie, przetwarzaniu informacji zbieranych przez sensory lub bazach danych. [34]

Badania z obszaru architektury adaptacyjnej podejmowane są na wielu płaszczyznach: teoretycznej, ideowej, artystycznej, doświadczalnej[4]. Dotyczą wielu aspektów, między innymi: ekonomicznego, użytkowego, kulturowego, socjologicznego, społecznego, organizacyjnego, środowiskowego. Tematem są również sposoby interakcji elementów budowli, metody zmian cechy i właściwości i sposobów oddziaływania. Mają one charakter interdyscyplinarny, często poruszają zagadnienia z dziedzin fizyki, informatyki, elektroniki, mechatroniki, psychologii, biologii i innych.

2.2 STAN BADAŃ

Początków interaktywnej architektury doszukiwać się możemy w latach sześćdziesiątych XX w. wraz z pojawieniem się Cybernetyki [28,29,37], nowej interdyscyplinarnej dziedziny naukowej, której głównym celem jest definiowanie funkcji i procesów zachodzących w systemach takich jak sprzężenie zwrotne. Termin Cybernetyka po raz pierwszy użył Norbert Weiner w fundamentalnej pracy *Cybernetyka czyli sterowanie i komunikacja w zwierzęciu i maszynie*. Architektura może przybierać różne formy interakcji i, w zależności od charakteru i specyfiki, określana jest jako adaptacyjna, responsywna, rekonfigurowalna, regeneratywna i inna[4]. Między innymi na uwagę zasługuje kilka koncepcji i rozwiązań które zyskały uznanie oraz znalazły szerokie zastosowanie w budownictwie. Na początku lat 70-tych powstała idea systemu zarządzania budynkiem (ang. BMS – Building Management Systems). Obecnie powszechnie stosowany system nazywany również „inteligentnym”, który ma na celu sterowanie elementami wyposażenia budynku, takimi jak oświetlenie, ogrzewanie, wentylacja. W połowie lat 80-tych pojawiła się idea modelowania informacji o budynku (ang. BIM - Building Information Modeling) po raz pierwszy opisana przez Simona Rufflea w 1986 [*Ruffle S. (1986) (ang.) Architectural design exposed: from computer-aided-drawing to computer-aided-design Environments and Planning B: Planning and Design 1986 March 7 pp 385-389. Abstract*].

W 1981r. powstaje stowarzyszenie ACADIA - Association for Computer Aided Design In Architecture. W latach 90-tych ujawnił się „Internet Rzeczy” (ang. IOT - internet of things) idea spopularyzowana przez Kevina Ashtona współtwórcy standardu RFID. (ang. radio-frequency identification) obecnie powszechnie używanego systemu komunikacji. Na uwagę zasługują, otwarta platforma programistyczna „Arduino” powstała w 2005r. - układ elektroniczny i środowisko programistyczne, które stało się podstawą wielu interaktywnych projektów badawczych.

Obecnie Architektura adaptacyjna jest przedmiotem dyskusji i badań największych ośrodków naukowych i organizacji, o czym mogą świadczyć organizowane w ostatnich latach liczne konferencje naukowe. Pierwsza konferencja poświęcona w całości architekturze adaptacyjnej zainaugurowana przez Sir Petera Cooka odbyła się w marcu 2011r. w Building Center w Londynie.

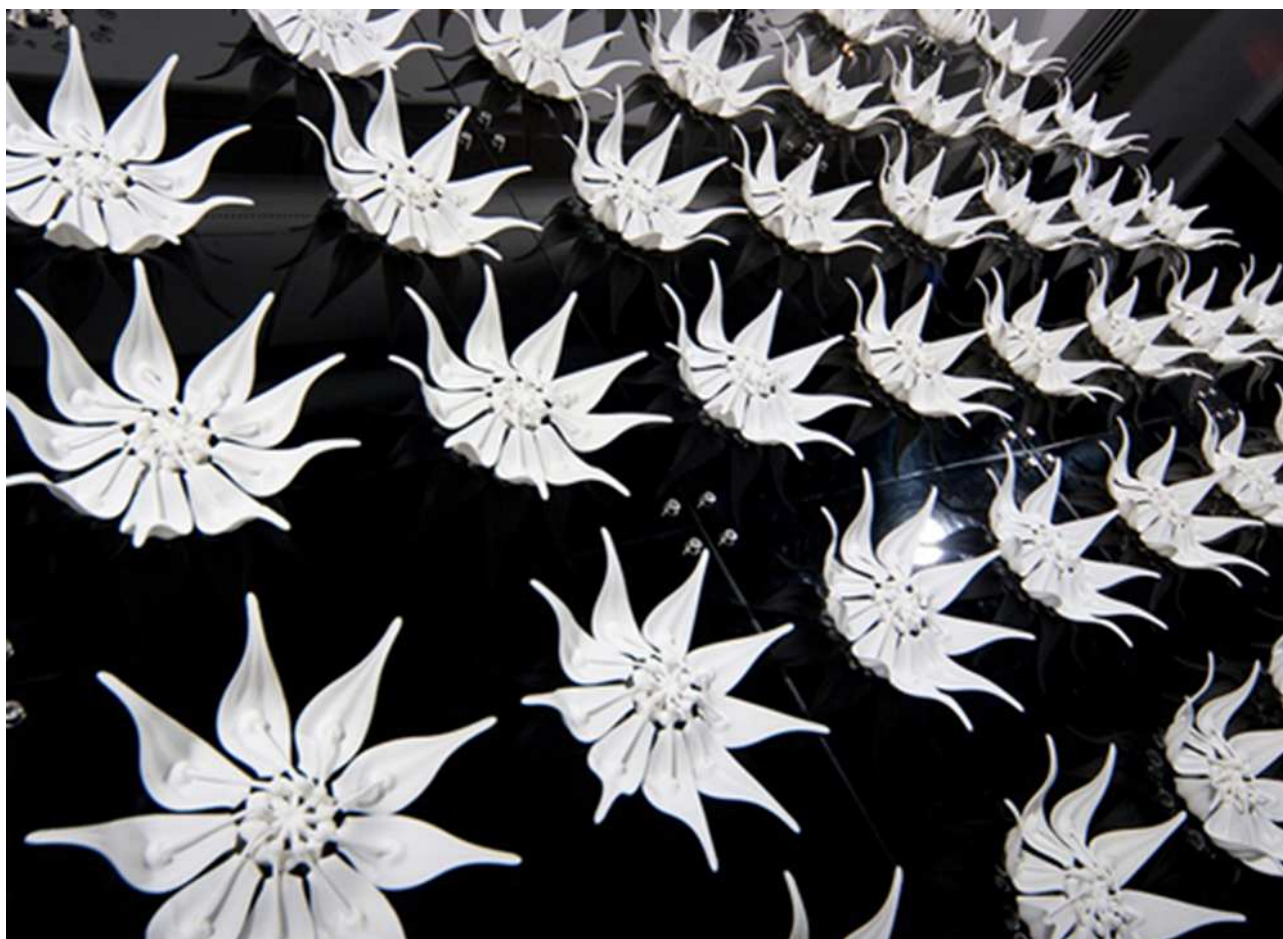
W 2013r. miała miejsce 33 konferencja ACADIA której tematem była Architektura Adaptacyjna

W październiku 2015r w Chicago miało miejsce sympozjum skoncentrowane wokół tematu „Architektura adaptacyjna i inteligentne materiały”

2.3 PRZYKŁADY

Poniżej przedstawiono szereg przykładów przeprowadzonych i podejmowanych badań w placówkach naukowych jak i przez niezależnych projektantów, twórców i artystów.

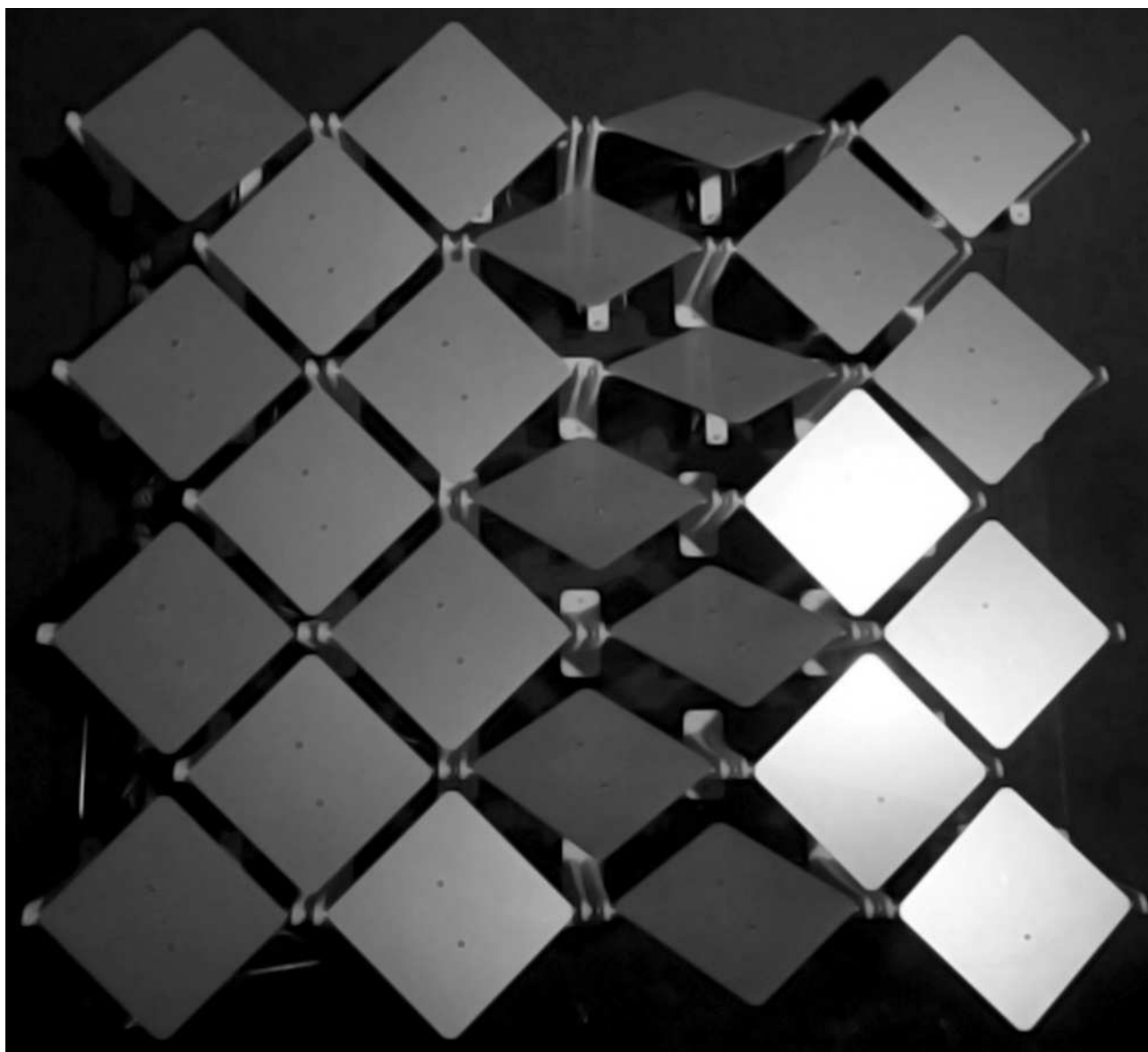
Adaptive Bloom 2010 r.



Fotografia 1. Adaptive Bloom.

Źródło: www.nextnature.net/2010/10/adaptive-bloom/ (17.01.2017)

Interaktywna instalacja stworzona przez Justina Goodyera w ramach kursu podyplomowego, Advanced Architectural Research of the Bartlett School of Architecture w Londynie. Praca ta została zaprezentowana na wystawie Constructing Realities w 2010 r. Przedstawia zestaw ekranów składających się z ruchomych elementów w kształcie kwiatów, które otwierają się i zamykają. Reakcje tą wywołuje ruch w bliskiej odległości od paneli. Ideą projektanta było stworzenie interaktywnej instalacji scenicznej reagującej na gesty tańczących osób jako element choreografii.

Adaptive Fa[Ca]De 2010 r.

Fotografia 2. Adaptive Fa[Ca]De.

Źródło: www.dailytonic.com (17.01.2017)

Adaptive fa[ca]de, adaptacyjna elewacja, to interaktywna instalacja wykonana przez Marilena Skavara, przedstawiona na wystawie Digital Hinterlands Exhibition w 2010 r. w Londynie. Projekt bazuje na wzorze *cellular automata* wykorzystując formę do optymalizacji intensywności nasłonecznienia. Elewacja składa się między innymi z sensorów mierzących natężenie światła i elementów ustawiających się pod odpowiednim kątem względem promieni słonecznych.

System ten nieustannie uczy się i adaptuje.

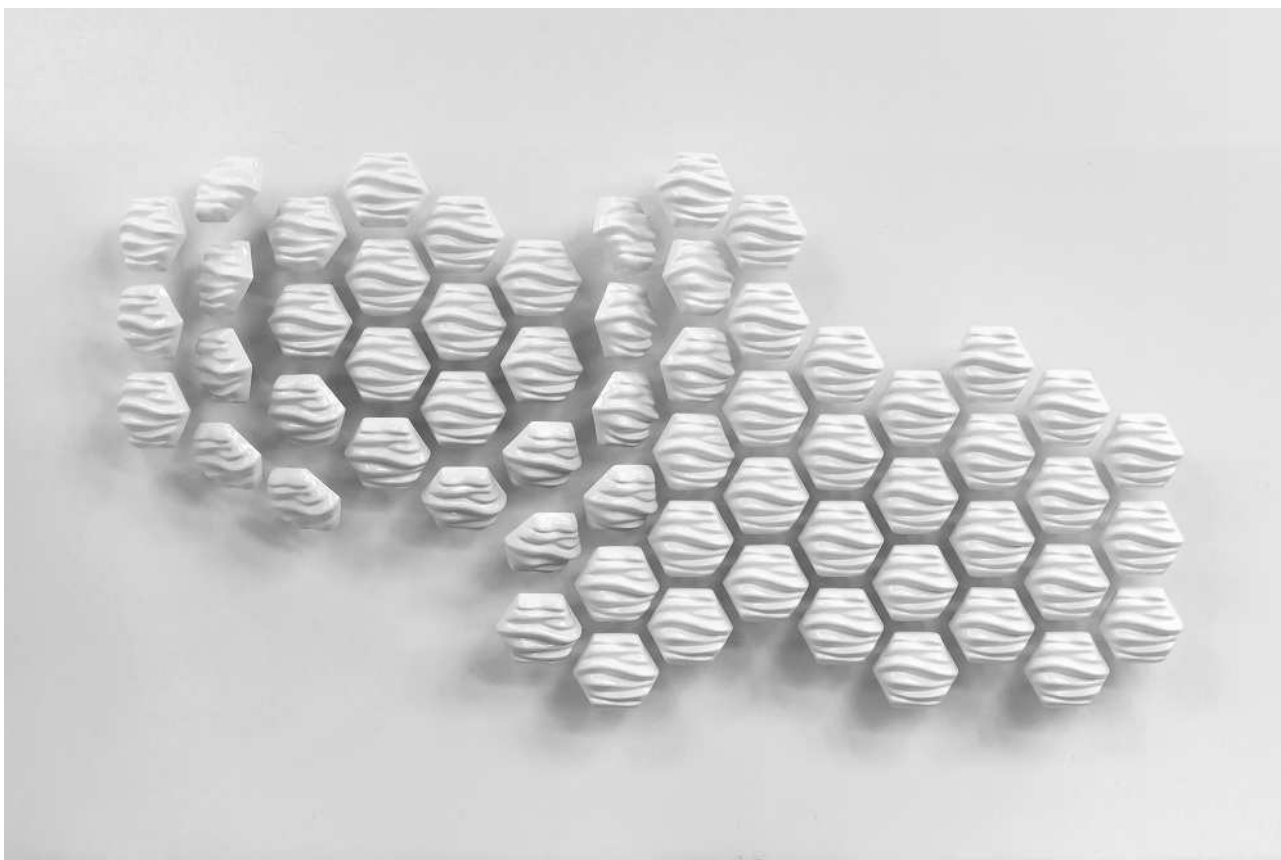
Sensitive Surface 2014 r.



Fotografia 3. Sensitive Surface.

Źródło: <http://impohl.com/> (17.01.2017)

Prototyp interaktywnej powierzchni zaprojektowanej przez Ingrid Maria Pohl w 2014 r. w celu badania roli zmysłu dotyku w interaktywnej architekturze. Przestrzenna struktura zbudowana jest ze złożonej jednorodnej powierzchni oraz sensorów i aktuatorów. Eksperyment ten polegał na badaniu kinetycznych reakcji zaprojektowanej powierzchni na dotyk.

Hexi Responsive Wall 2014 r.

Fotografia 4. Hexi Responsive Wall.

Źródło: www.thibautsld.com (17.01.2017)

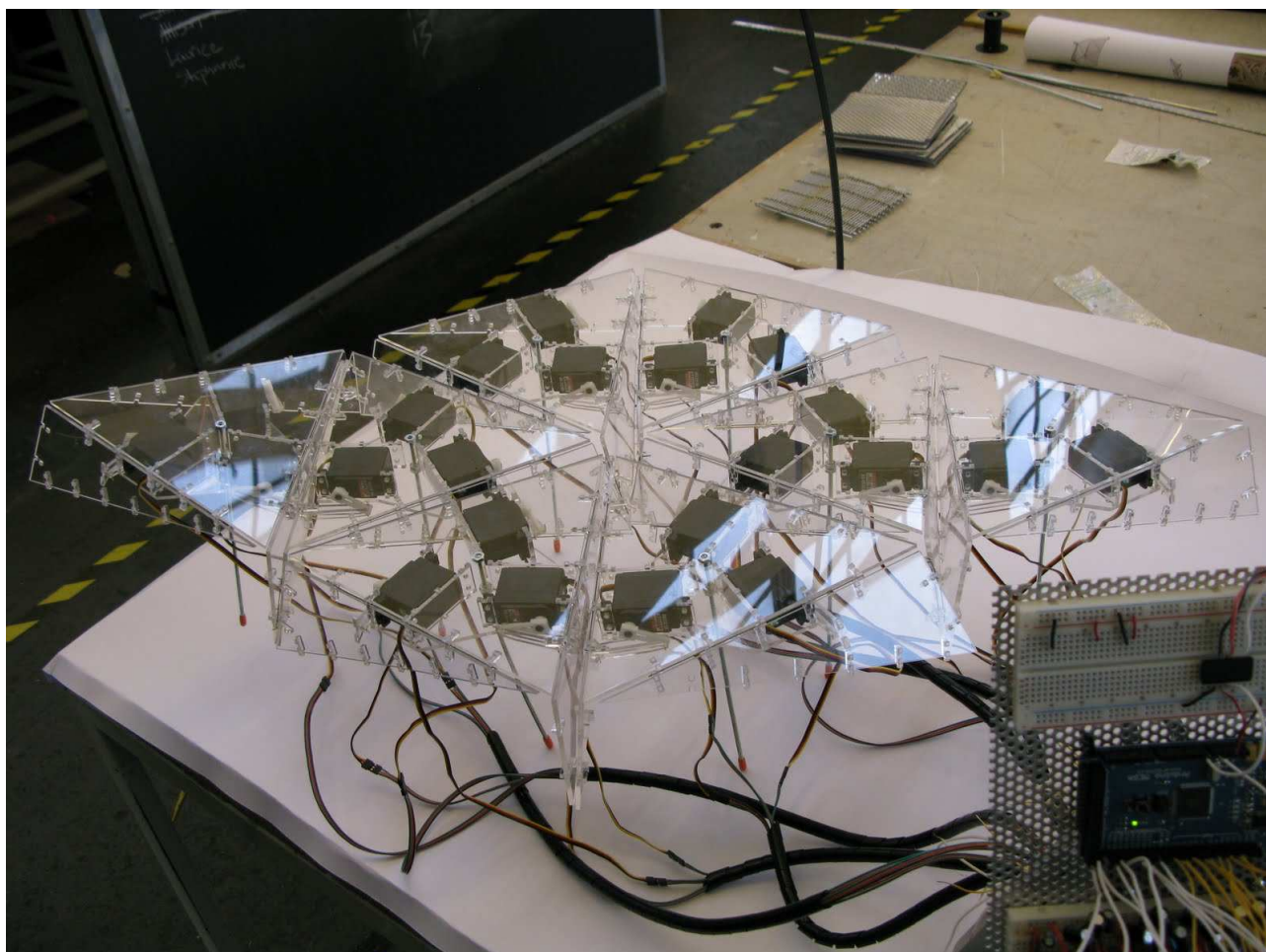
Interaktywna ściana zaprojektowana w 2014 r. przez Thibaut Sld. zbudowana jest z 60 heksagonalnych paneli, które reagują na ruch w bliskim otoczeniu. System ten bazuje na danych zbieranych i przetwarzanych w czasie rzeczywistym. Sensory rejestrują gesty człowieka, wprawiając w ruch dynamiczną instalację. Panele poruszane są za pomocą serwomechanizmów w sposób zsynchronizowany, sprawiając wrażenie falującej powierzchni.

HygroSkin-Meteorosensitive Pavilion 2013 r.

Fotografia 5. HygroSkin-Meteorosensitive Pavilion.

Źródło: www.archdaily.com (27.02 2017)

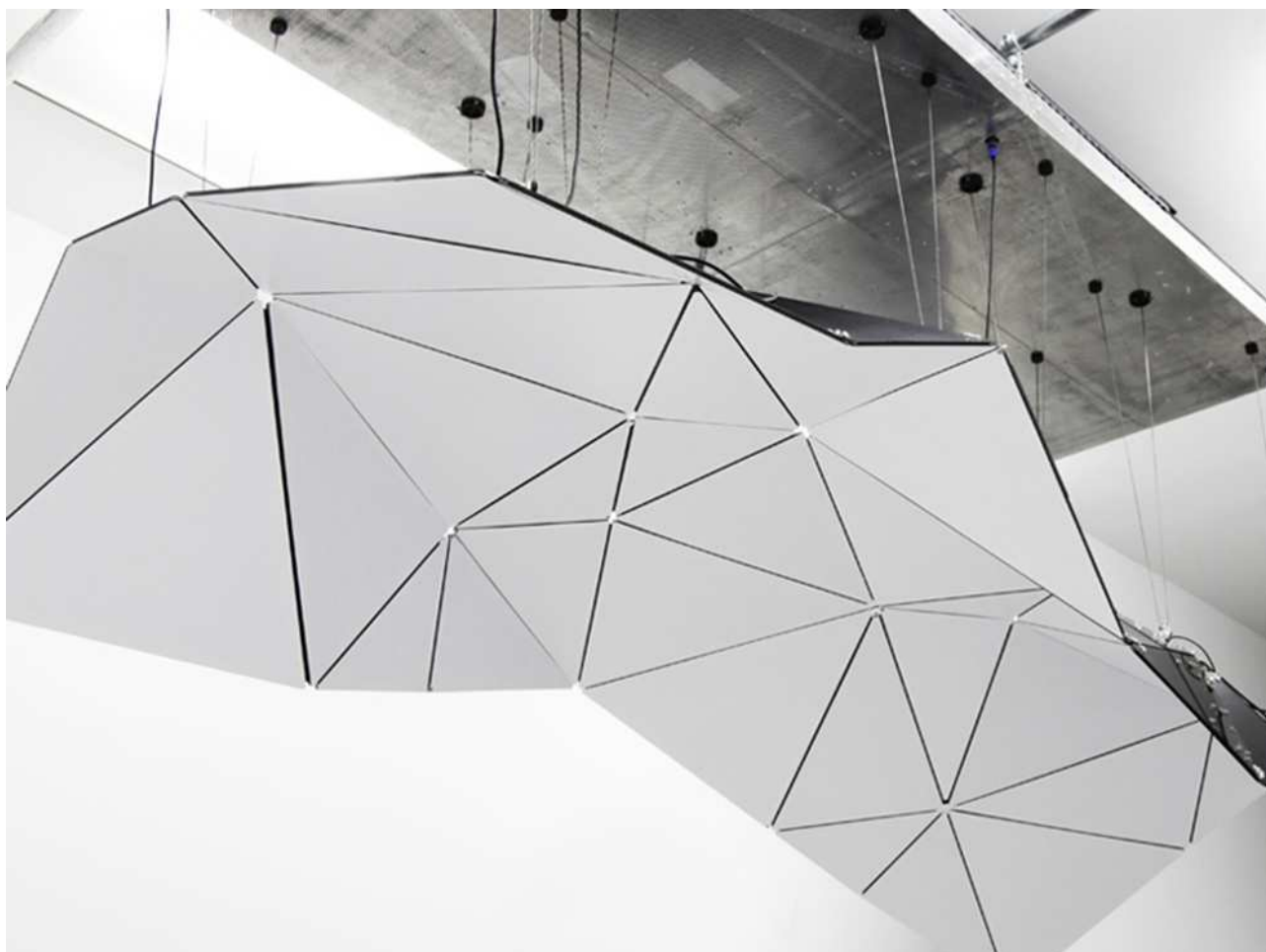
Pawilon HygroSkin powstał w 2013 r. w Orléans-la-Source, we Francji. Założenia projektu zrealizowanego przez architektów Achim Menges Architect, Olivera Davida Kriega oraz Steffena Reichera, oparte są na zasadzie zmiany objętości drewna pod wpływem zmiany wilgotności. Reakcje wielu systemów występujących w przyrodzie wynikają z właściwości materiałów, z których są złożone. Nawiązując do tej zasady autorzy zbudowali adaptacyjny pawilon zmieniający swój wygląd i właściwości pod wpływem zmiany wilgotności powietrza, bez udziału elementów elektronicznych i mechanicznych.

Responsive Kinematics 2010 r.

Fotografia 6. Responsive Kinematics.

Źródło: <http://responsivekinematics.blogspot.com/> (28.02 2017)

Projekt rozpoczęty w 2008 r. przez Johna Hobarta Culletona oraz Anthony'ego Diaza na California College of the Arts. Celem autorów było zaprojektowanie powierzchni architektonicznej dostosowującej się do zmiennych warunków i parametrów. Kinetyczna struktura o modularnej budowie daje możliwość zmiany przestrzeni zachowując ciągłość i szczelność powierzchni zewnętrznej.

TESSEL Kinetic Sound Installation 2010 r.

Fotografia 7. TESSEL Kinetic Sound Installation.

Źródło: www.davidletellier.net/TESSEL (17.01.2017)

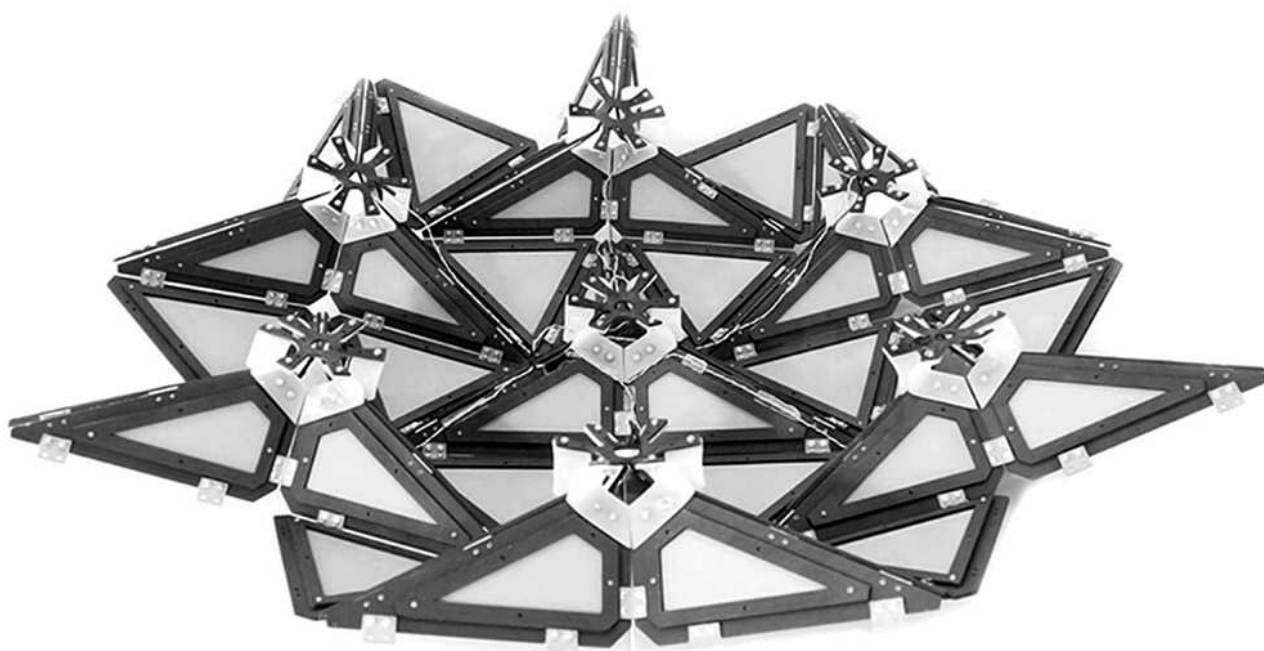
Eksperymentalny projekt wykonany w 2010 r. przez dwóch artystów Davida Letelliera i LAb[au] w kooperacji z galerią MediaRuimte i Roger Tator jest kinetyczną instalacją akustyczną mającą na celu badanie percepcji dźwięku i przestrzeni. Wielopłaszczyznowa kompozycja złożona jest z dynamicznie poruszających się trójkątnych powierzchni sterowanych układem silników krokowych. Panele zbudowane są z aluminiowo-gumowej płyty warstwowej oraz przetwornika dźwiękowego wprawiającego w drgania całą instalację.

Resonant chamber 2013 r.

Fotografia 8. Resonant chamber.

Źródło: <http://architizer.com/blog/resonant-chamber-rvtr/> (17.01.2017)

Analogiczny projekt przedstawiło trzech projektatorów z grupy RVTR - Geoffrey Thün, Wes McGee i Kathy Velikov w 2013 r., którzy zaprojektowali i zrealizowali prototyp instalacji akustycznej Resonant Chamber. Projekt przedstawia trójkątne panele wykonane ze sklejki z wbudowanymi głośnikami emitującymi dźwięki. Zmieniają one swój układ poprzez poruszanie siłowników elektrycznych. Niektóre płaszczyzny są perforowane, od wewnętrznej strony mają zainstalowane głośniki emitujące dźwięki, pozostałe płaszczyzny nie mają otworów, które odbijają dźwięk. Projekt oparty jest na bardzo podobnej zasadzie działania jak wyżej wymieniony TESSEL Kinetic Sound Installation z 2010 r. Dodatkowo posiada sensory i na podstawie zebranych danych zmienia swój kształt. Układ ma pełnić funkcje "instrumentu architektonicznego", zmieniającego swoje właściwości akustyczne.

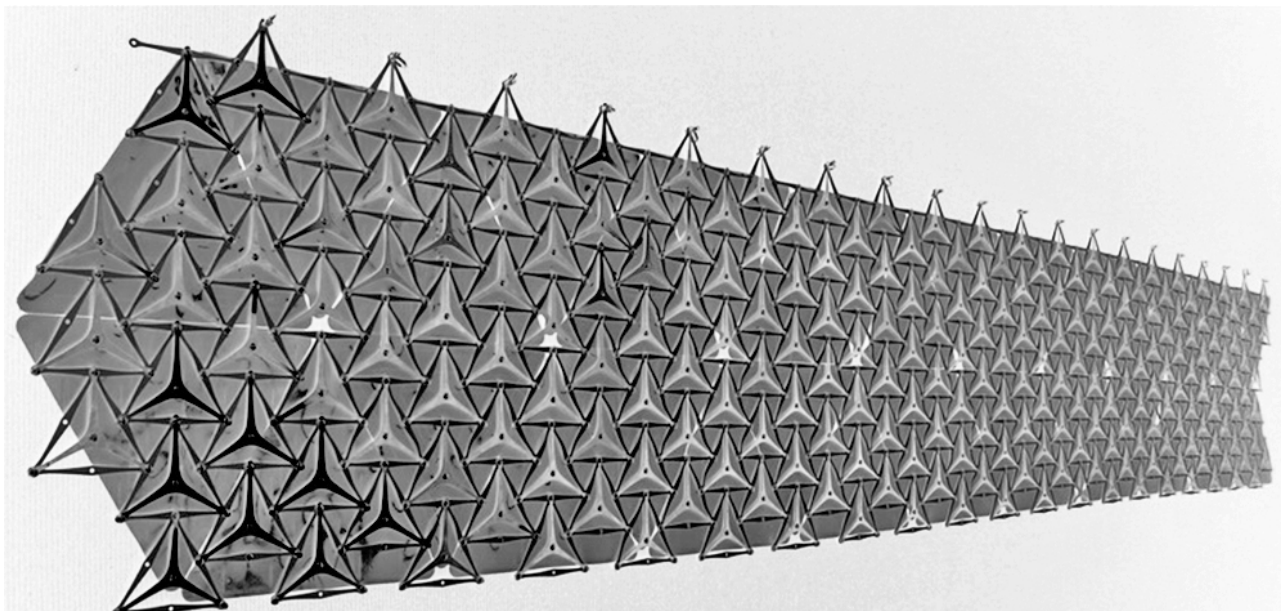
Translated geometries 2014 r.

Fotografia 9. Translated geometries.

Źródło: <https://iaac.net/research-projects/responsive-architecture/> (17.01.2017)

Praca badawcza wykonana w Institute of advanced architecture of Catalonia (IaaC) w 2014 r. przez Efilena Baset, Ece Tankal, Ramin Shambayati polegająca na opracowaniu systemu składającego się z przestrzennej struktury, reagującego na wybrane bodźce. Struktura optymalizuje swoją formę względem otaczającej przestrzeni oraz zachowania i aktywności użytkowników. Zmiana jej formy odbywa się poprzez podnoszenie i obniżanie temperatury termoaktywnych elementów konstrukcyjnych.

**Responsive materiality for morphing
architectural skins 2013 r.**



Fotografia 10. Responsive materiality for morphing architectural skins.

Źródło: <http://acadia.org/papers/9MM367> (20.02.2017)

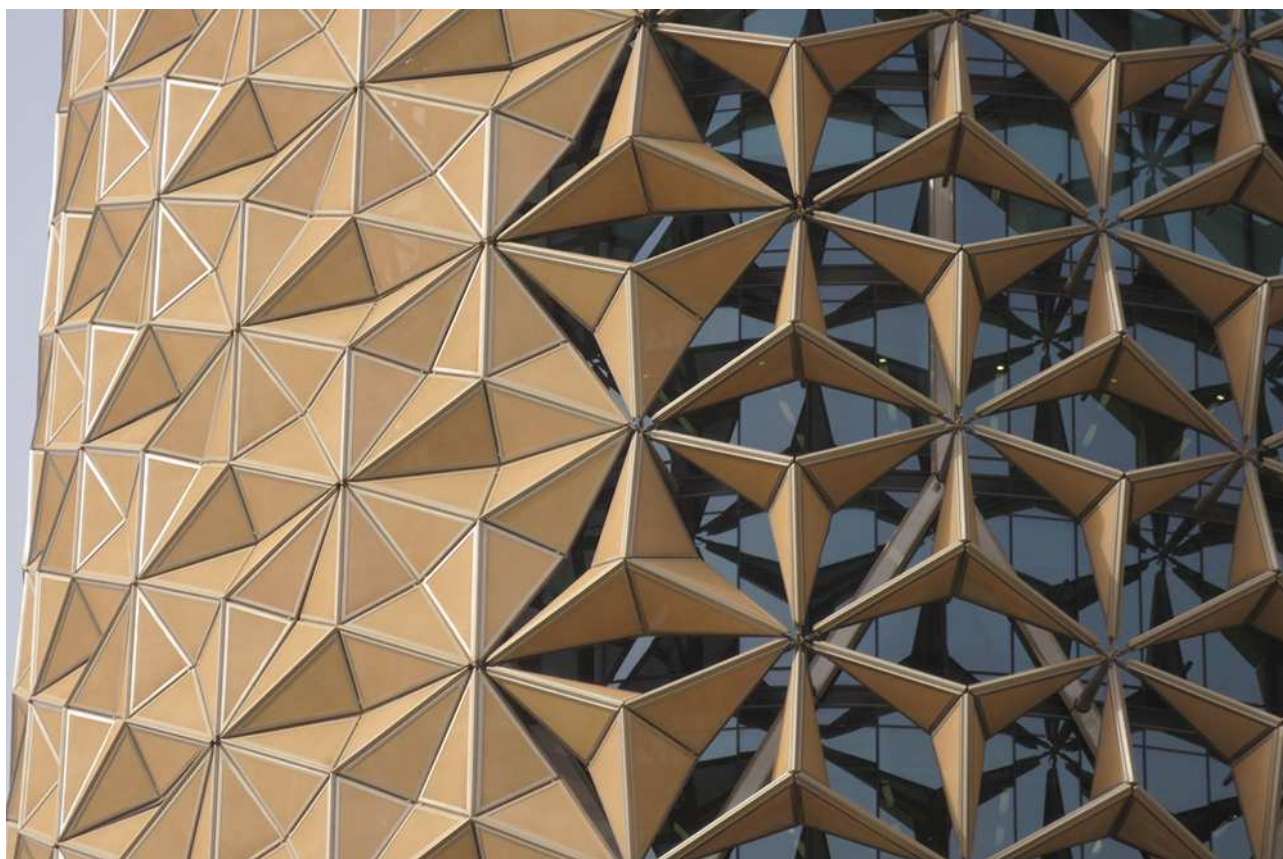
Chin Koi Khoo, Flora Salim, z uniwersytetu Royal Melbourne Institute of Technology w 2013 r. przeprowadzili pracę badawczą polegającą na próbie opracowania systemu – responsywnej, kinetycznej architektury. System zbudowany jest ze struktury zmieniającej formę, sensorów oraz silikonowej, fosforescencyjnej powłoki emitującej światło.

Instytut Świata Arabskiego 1987r.

Fotografia 11. Instytut Świata Arabskiego.

Źródło: https://en.wikipedia.org/wiki/Arab_World_Institute (25.02 2017)

Budynek Instytut Świata Arabskiego zaprojektowany przez Jean Nouvel, AS.Architecture-Studio w 1987 r. w Paryżu. Obiekt ten jest jednym z pierwszych, posiadających elementy systemu adaptacyjnego. Elewacja wykonana została z kilkuset światłoczułych paneli, regulujących ilość światła we wnętrzu.

Al Bahar Tower 2012 r.

Fotografia 12. Al Bahar Tower.

Źródło: www.modlar.com (28.02.2017)

Al Bahar Tower powstał w Abu Dhabi w Emiratach Arabskich. Projekt został wyłoniony w konkursie dla Abu Dhabi Investment Council rozstrzygniętym w 2008 r. Zwycięski projekt zrealizowany został przez Abdulmajid Karanouh w kooperacji z grupą ARUP. Budowę dwóch wież zakończono w 2012 r. Bliźniacze budynki o organicznych formach mają podwójne elewacje: wewnętrzną szklaną i zewnętrzną, którą tworzy ażurowa struktura adaptacyjnych przesłon. Przesłony dynamicznie kontrolują ilość światła słonecznego przenikającego do wnętrza budynku. System kinetycznie dostosowuje się do ruchu słońca.

One Ocean, Thematic Pavilion EXPO 2012 r.

Fotografia 13. One Ocean, Thematic Pavilion EXPO 2012 r.

Źródło: www.archdaily.com (6.03.2017)

Pawilon zaprojektowany na wystawę EXPO 2012 w Yeosu-si Jeollanam-do w Korei Południowej, przez austriackie biuro projektowe SOMA. Budynek ma organiczną formę, której fasada łagodnie łączy się z dachem. Bioniczna elewacja zbudowana jest z pionowych kinetycznych lameli. Przesłony poruszają się w sposób harmoniczny tworząc wyjątkowe wrażenie wizualne jednocześnie kontrolując warunki oświetlenia foyer.

III BADANIA

3.1. STRATEGIA BADAŃ – BIONIKA

Bionika to interdyscyplinarna nauka łącząca zagadnienia z dziedzin przyrodniczych i technicznych. Opiera się na badaniu żywych organizmów pod względem: budowy, form i struktur, a także badaniu mechanizmów, procesów, reakcji, relacji i dynamicznych zmian zachodzących w tych organizmach. Następnie dokonuje się próby transformacji, transpozycji, rekonstrukcji i adaptacji zaobserwowanych rozwiązań.[43,46]

Architektura adaptacyjna - to złożony system zbudowany z wielu wzajemnie oddziałujących na otoczenie elementów statycznych oraz dynamicznych, połączonych inteligentną instalacją kontrolowaną przez zaprogramowane układy elektroniczne[27,57]. Interaktywność systemów oparta jest na sieci informacyjnej, sensorach rejestrujących zmiany otoczenia np. temperatury, wilgotności nasłonecznienia i innych oraz aktuatorach, wprowadzających zmiany w tej budowlu. Architekturę zdefiniowano jako złożony system adaptacyjny, (ang. complex adaptive system) [27] charakteryzującą się mechanizmami i procesami, które wykazują inspirujące podobieństwo do zjawisk występujących w żywych organizmach. Do takich zjawisk między innymi należą: tropizmy, stygmergia, samoorganizacja. W takim podejściu bionika może być podstawą metodyki rozwiązywania problemów naukowych architektury adaptacyjnej.

3.2. METODA BADAŃ

W NINIEJSZEJ PRACY DOKONANO ANALIZY PORÓWNAWCZEJ:

wybranych elementów systemu nerwowego chrząszczy oraz wybranych elementów systemu architektury adaptacyjnej.

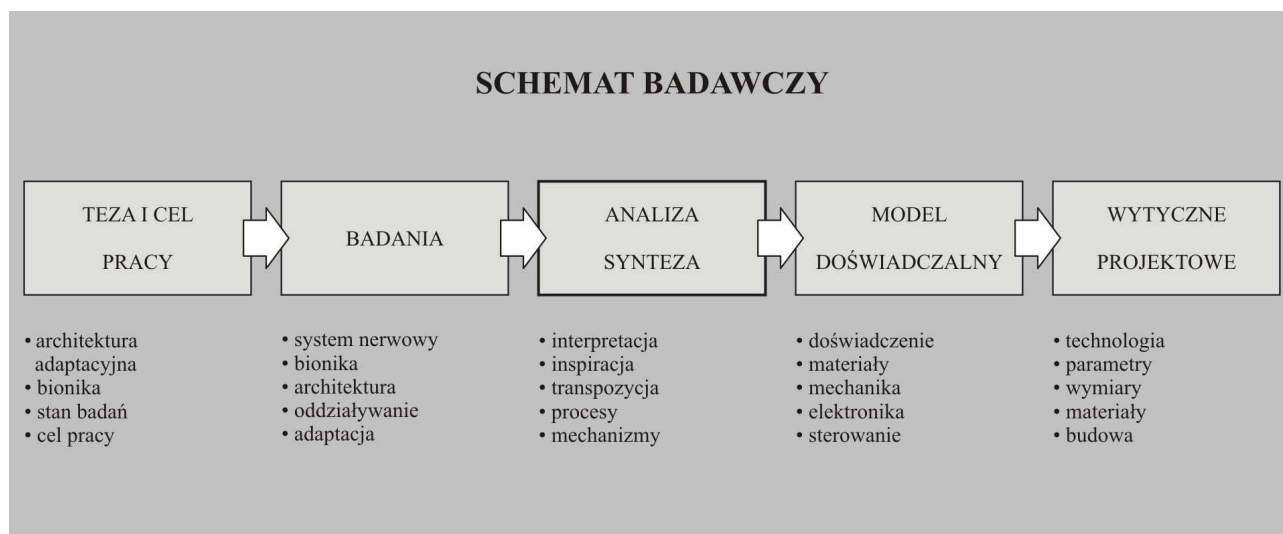
CELEM ANALIZY JEST:

Zestawienie wybranych elementów, mechanizmów, funkcji i procesów występujących w systemie nerwowym chrząszczy z rodziny Scarabaeoidea oraz zasad działania wybranych elementów systemu architektury adaptacyjnej.

CELEM SYNTEZY JEST:

Znalezienie analogii w budowie i funkcjonowaniu obu systemów.

Interpretacja, inspiracja, transpozycja analizowanych mechanizmów i procesów.



Schemat 1. Schemat badawczy.

Źródło: opracowanie autorskie.

3.3. ANALIZA WYBRANYCH ELEMENTÓW SYSTEMU NERWOWEGO CHRZĄSZCZY

Układ nerwowy chrząszczy, podobnie jak pozostałych owadów, zbudowany jest w postaci łańcucha brzuszego, w którym wyróżniamy trzy główne części: ośrodkową (centralną), obwodową (peryferyczną), trzewiową (sympatyczną). Główną jednostką układu nerwowego są neurony: motoryczne, sensoryczne i asocjacyjne. Chrząszcze tak jak pozostałe stawonogi, wykazują budowę segmentową - przeważnie w każdym segmencie występują parzyste zwoje, które tworzą łańcuszek zwany układem centralnym. Przedni odcinek układu, centralnego, złożony z trzech zwojów tworzy mózg. Pod względem budowy, mózg jest najbardziej złożonym odcinkiem układu nerwowego. Co ciekawe, charakterystyczne jest to, że zawiera stosunkowo małą ilość komórek motorycznych i asocjacyjnych oraz znaczną, zdecydowanie przeważającą ilość komórek sensorycznych. Związane jest to z działaniem mózgu, który koordynuje przede wszystkim aktywne czynności funkcji zmysłowych. [24,26]

ZMYŚLY

Owady posiadają liczne i dobrze rozwinięte narządy zmysłów. Komórki czuciowe mogą przyjmować formę włosków, stożków, kopulek usytuowanych na całej powierzchni ciała. Ich receptory są przeważnie uni-modalne, to znaczy, że są przystosowane do przyjmowania jednego rodzaju bodźców fizycznych albo chemicznych. Owady posiadają narządy proprioceptyczne, to znaczy takie, które przyjmują wrażenia, powstające wewnątrz organizmu. Narządy zmysłów przyjmują bardzo różnorodne formy, czasami indywidualne dla danej rodziny. Najbardziej skomplikowaną budowę wykazują oczy owadów, w niektórych przypadkach bardzo złożone są także narządy słuchu lub węchu. Owady wykształciły multisensoryczne organy czuciowe zwane czólkami, które mogą przyjmować rozmiary wielokrotnie przekraczające długość ciała dzięki temu są w stanie odnajdywać pokarm lub życiowego partnera z odległości wielu kilometrów. Owady mają też zdolność percepcji dotyku, temperatury, wilgoci, smaku, drgań i dźwięków.

Komórki sensoryczne tworzą jednostkę nerwowo czuciową, zwaną Sensilli. [34,26]

Wyróżniamy między innymi następujące typy sensilli:

Sensilla basiconica- pełniąc funkcję chemoreceptora jest odpowiedzialna za wrażenia węchowe.

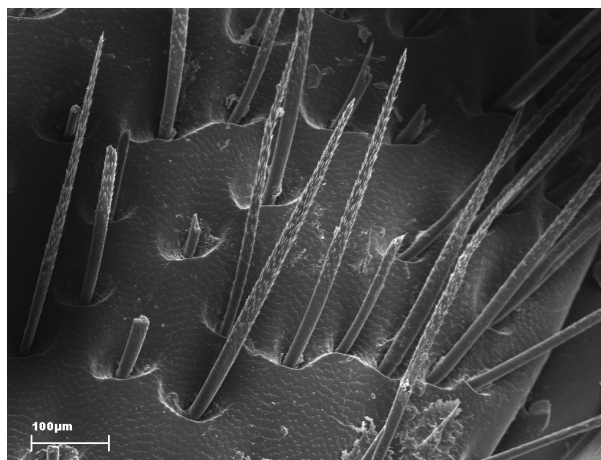
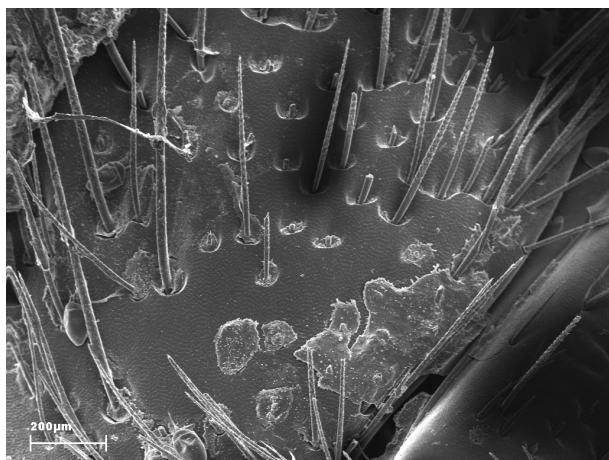
Sensilla coeloconica- odpowiedzialna za bodźce termiczne,

Sensilla ampullacea - pełni funkcje higroreceptorów i termoreceptorów,

Sensilla placoidea - związana jest z percepcją bodźców węchowych,

Sensilla chordotonal - receptor bodźców mechanicznych i wibracji.

Sensilla trichoidalna - ma formę włoska, receptora bodźców kontaktowych, drgań akustycznych.



Fotografia 14,15. Komórki czuciowe zlokalizowane na spodniej stronie głowy *Mecynorhina polyphemus*. Źródło: Zdjęcie autorstwa dr Daria Bajerlein, wykonano mikroskopem elektronowym na UAM Poznań.

CZUŁKI



Fotografia 16. Głowa i czułki *Melolontha melolontha*.

Źródło: zdjęcie autorskie.

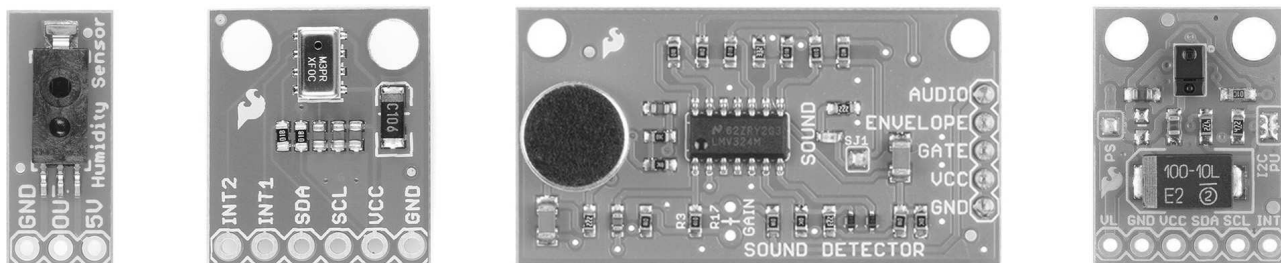
Żuki - *Scarabaeoidea* (łac.) zwane inaczej *Lamelicornia* (łac.), *laminae* – blaszka, *cornus* – róg, czyli chrząszcze blaszkoczułkie. Nazwa nadrodziny wywodzi się od charakterystycznej budowy czułków (*antennae*), które przyjmują formę blaszkowatego wachlarza. Żuki tak jak pozostałe owady mają jedną parę czułków. Umieszczone są na przedniej części głowy i zbudowane z trzech części: trzonek (łac.*scapus*) umieszczony jest w miękkiej jamce stawowej, nóżka (łac.*ped*), oraz wić (łac. *flagellum*). Do trzonka przytwierdzone są mięśnie poruszające czułkami. Nóżka porusza się za pomocą mięśni usytuowanych między trzonem a podstawą. Wić zakończona jest buławką przyjmującą formę blaszkowatego wachlarza składającego się z 3-11 segmentów. Czułki żuków w porównaniu do wielu pozostałych owadów są wyjątkowo zmotoryzowane. Buławka otwierając się, eksponuje receptory umieszczone na wewnętrznej powierzchni blaszek. Ilość, rodzaj oraz nierozmieszczenie komórek sensorycznych, odmienne są u każdego gatunku. Blaszki nie są umięśnione, a w ruch wprawia je zmiana ciśnienia krwi, [Lueger-Ring K]. Żuki prowadzą złożony tryb życia, potrafią sprawnie poruszać się po łądzie, bardzo dobrze latać, a wiele gatunków również zwinnie zagrzebuje się w ziemi. Zdolność poruszania się w powietrzu, na łądzie oraz głęboko w ziemi zawdzięczają zmysłom. Cetonidae podrodzina uznawana jest za bardzo dobrych lotników - w czasie lotu wznoszą czułki ponad głowę, szeroko rozpościerają blaszki, dzięki czemu lepiej czują, pęd powietrza, kierunek wiatru, wilgotność, zapachy oraz feromony. Na łądzie kierują się chemoreceptorami usytuowanymi na czułkach, w poszukiwaniu pożywienia rozchylają blaszki, wznosząc wysoko głowę. Często w lesie można zauważyć żuki z podrodziny Geotrupidae maszerujące w takiej pozycji w stronę pachnącego pożywienia. Przed przystąpieniem do posiłku lub przed zamiarem zakopania się w ziemi zamykają blaszki a czułki bezpiecznie składają. [7,8,11,24,26]

3.4. ANALIZA WYBRANYCH ELEMENTÓW ARCHITEKTURY ADAPTACYJNEJ

Definiującą cechą architektury adaptacyjnej jest możliwość dostosowywania się do zmiennych warunków[6,13]. Taka budowla jest w jakiś sposób uwrażliwiona, czuła, podatna na bodźce zewnętrzne. Ponadto ma zaplanowaną zdolność do fizycznej reakcji zwrotnej. Poprzez swoją czynną aktywność, wpływa na warunki panujące w przestrzeni do której została stworzona. Zazwyczaj funkcje adaptacyjne odgrywają rolę strategiczne, są to indywidualnie zaprojektowane, dynamiczne elementy. Mechanizm działania tych elementów może być oparty na właściwościach fizycznych komponentów np rozszerzalność cieplna, higroskopijność, jednak największe, możliwości dają cyfrowe systemy złożone między innymi z mikro kontrolerów, sensorów, sterowników i aktuatorów.

CZUJNIKI

Sensory wykorzystywane w architekturze adaptacyjnej pełnią podobne funkcje jak zmysły żywych organizmów. Są to instrumenty, które dostarczają informacji o budowli i jej otoczeniu. Im więcej czujników tym więcej informacji można otrzymać. Dane o temperaturze, opadach, sile wiatru, nasłonecznieniu, hałasie oraz użytkownikach zbierane są w formie cyfrowej lub analogowej i zmieniane są do formy cyfrowej. [Schnell G.] [Gawrysiak M.] [Gałka P., Gałka P.] "Sensory klasyfikuje się w zależności od funkcji jaką wykonują (tzn. do mierzenia czego służą), lub od ich zasady działania (np. indukcyjne, optoelektroniczne itp.). Zwykłym kryterium klasyfikacji jest rodzaj energii, którą niesie sygnał (mechaniczna, cieplna, elektryczna, promieniowania itd.)." [15,23]

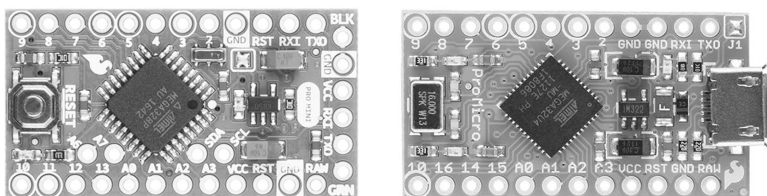


Fotografia 17. Czujnik wilgotności, 18. Czujnik ciśnienia, 19. Czujnik dźwięku, 20. Czujnik gestów.

Źródło: www.sparkfun.com (10.11.2018)

MIKROKONTROLERY

"Mikro-kontroler to układ Scalony, w którym w jednej strukturze zawarto mikroprocesor oraz pewien zestaw często potrzebnych elementów zewnętrznych. Początkowo układy takie były nazywane mikrokomputerami jednoukładowymi (Single Chip Microcomputer), jednak obecnie większość producentów określa je jako mikro-kontrolery (microcontroller). Mikro kontrolery umożliwiają budowę kompletnych sterowników mikro-procesorowych, w których wszystkie funkcje kontrolne spełnia jeden układ scalony. Odpowiednio dobrany mikro-kontroler wymaga jedynie dobudowania elementów pośredniczących między nim a sterowanym obiektem (dopasowanie poziomów napięć, prądów, odizolowanie go od obiektu)."[14]



Fotografia 21. Arduino Mini, 22. Arduino Pro Micro.

Źródło: www.sparkfun.com (10.11.2018)

AKTUATORY

Aktuator jest to elektronicznie sterowany element wykonawczy, którego zadaniem jest zamiana energii jednego rodzaju w inny lub zmiana mocy energii tego samego rodzaju. Wyróżnić można podstawowe typy aktuatorów: elektromechaniczne np.: silniki, elektromagnesy; pneumatyczne i hydrauliczne np.: siłowniki oraz niekonwencjonalne np.: piezoelektryczne i elektrochemiczne. Aktuatory o dużej mocy lub inne niż elektryczne do swojej pracy często wymagają sterowników czyli urządzeń lub układów, które dostarczają energię w wymaganej formie i mocy. [15]



Fotografia 23. Silnik krokowy, 24. Siłownik pneumatyczny, 25. Siłownik elektromagnetyczny.

Źródło: <https://pneu-tec.pl>, <https://automatyka.istore.pl>, <https://nettigo.pl> (10.01.2019)

3.5. SYNTEZA

Można dopatrywać się analogii między systemem nerwowym chrząszczy a systemem architektury adaptacyjnej. Podobieństwo można dostrzec między: wybranymi elementami takimi jak sensory, odbieranymi bodźcami oraz procesami przesyłania i przetwarzania informacji. Poniżej przedstawiono elementy występujące w obu systemach, pełniące podobne funkcje.

Zestawienie wybranych elementów systemów:

Wybrane elementy systemu nerwowego chrząszczy z rodziny scarabaeoidea	Wybrane elementy adaptacyjnego systemu architektonicznego
neurony sensoryczne	czujniki
neurony asocjacyjne	kontrolery
neurony motoryczne	sterowniki
włókna nerwowe	sieci informacyjne
sensille:	czujniki:
s. coeloconica – termoreceptor	czujniki temperatury
s. ampullacea - higro/termoreceptor	czujniki wilgotności
s. trichoidal - receptor taktylny	czujniki dotyku
s. basiconica - chemoreceptor	czujniki natężenie światła
s. placoidea - chemoreceptor	czujniki związków chemicznych
s. chordotonal - mechanoreceptor	czujniki wstrząsów, dźwięku
s. chaetica - mechanoreceptor	czujnik położenia, przechyłu
oczy omatidia	kamery

Tabela 1. Zestawienie wybranych elementów: systemu nerwowego chrząszczy z rodziny Scarabaeoidea oraz elementów adaptacyjnego systemu architektonicznego.

Źródło: opracowanie autorskie.

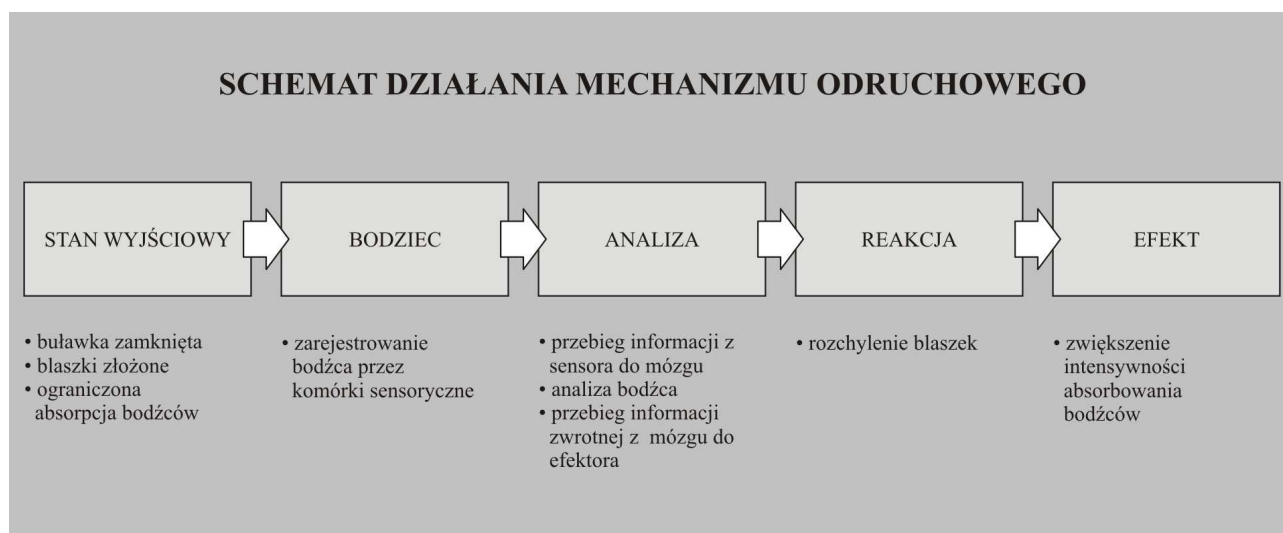
3.6. INTERPRETACJA

Czułki stanowią końcowy, najistotniejszy element systemu nerwowego. U chrząszczy z rodziny Scarabaeoide, organy te są wyjątkowo aktywne. Buławka otwierając się, eksponuje komórki sensoryczne umieszczone na wewnętrznej powierzchni blaszek, w celu intensywniejszego absorbowania bodźców. Mechanizm ten jest złożony ale bardzo funkcjonalny, unikalny a przez to wyjątkowo inspirujący.



Ilustracja 1. Wizualizacja czułek: zamkniętych, otwartych.

Źródło: opracowanie autorskie.

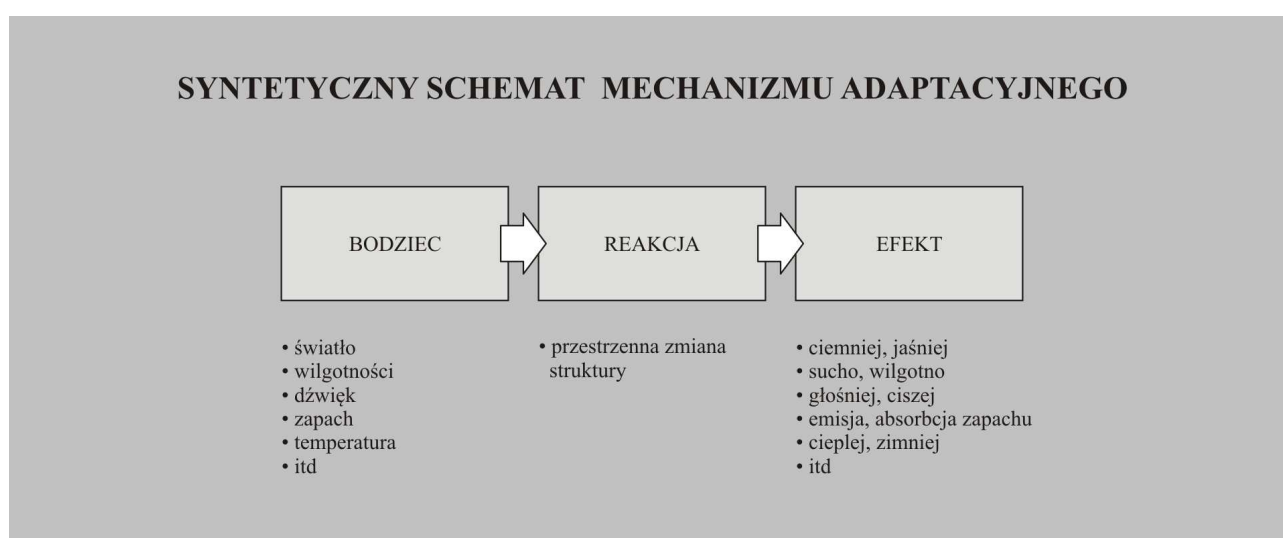


Schemat 2. Schemat działania mechanizmu odruchowego.

Źródło: opracowanie autorskie.

3.7. INSPIRACJA

Zasada działania mechanizmu odruchowego czułków chrząszczy z rodziny Scarabaeoidea polega na otwieraniu, rozchylaniu, eksponowaniu blaszek w celu intensywniejszej absorpcji bodźców. Jest to pewnego rodzaju adaptacja systemu do zmieniających się warunków otoczenia. Mechanizm ten można przedstawić w sposób syntetyczny w formie schematu, który może być inspiracją, podstawą stworzenia architektonicznego mechanizmu adaptacyjnego. Podstawiając różne wartości, użyteczne w architekturze, można uzyskać, nowe, hipotetyczne mechanizmy adaptacyjne.



Schemat 3. Syntetyczny schemat mechanizmu adaptacyjnego.

Źródło: Opracowanie autorskie.

Wiele z tych wartości mogą mieć potencjalne zastosowanie w architekturze adaptacyjnej i być przedmiotem dalszych badań a także ciekawych rezultatów. Jako najbardziej interesującym kryterium, o dużym potencjale użytecznego zastosowania, oceniam relacje między przestrzenną zmianą mechanizmu adaptacyjnego a dźwiękiem.

3.8. ZAKRES ODDZIAŁYWANIA PROJEKTOWANEGO PANELU ADAPTACYJNEGO

Akustyka w architekturze jest szerokim obszarem wiedzy, obejmującym zagadnienia związane z dźwiękiem. W celu uzyskania pożądanej charakterystyki akustycznej przestrzeni najczęściej stosuje się trzy podstawowe elementy akustyczne takie jak: wyroby i ustroje: pochłaniające, odbijające i rozpraszające dźwięk. Mogą to być materiały o prostej, jednorodnej budowie lub złożone, zaawansowane technologicznie o laboratoryjnie określonych właściwościach, precyzyjnie dostosowanych do wymagań funkcjonalno-użytkowych. W procesie projektowania przestrzeni użytkowej analizowane są między innymi: źródło dźwięku, natężenie dźwięku, charakterystyka dźwięku, charakterystyka przestrzeni, właściwości stosowanych materiałów oraz przede wszystkim percepcja użytkowników. Akustyka w procesie projektowym, rozpatrywana jest najczęściej jako **model statyczny**. Przyjmowana jest określona charakterystyka źródeł dźwięku. Określane są optymalne parametry dźwięku odbieranego przez użytkowników, następnie na tej podstawie projektowane są rozwiązania akustyczne przestrzeni architektonicznej.[18,22]

Ponieważ środowisko akustyczne najczęściej ma charakter zmienny, niejednostajny, nierzadko bardzo skrajny, możliwość dynamicznej zmiany charakterystyki akustycznej mogła by mieć znaczący wpływ na użyteczność, funkcjonalność oraz jakość przestrzeni architektonicznej.

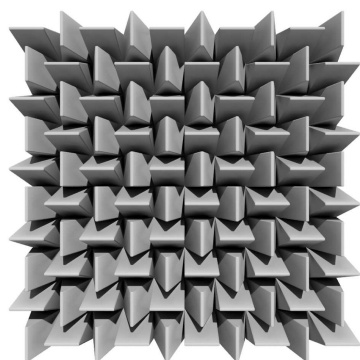
3.9. METODA ODDZIAŁYWANIA PROJEKTOWANEGO PANELU ADAPTACYJNEGO

W architekturze stosowane są między innymi trzy podstawowe rodzaje materiałów i ustrojów akustycznych: rozpraszające, pochłaniające i odbijające dźwięk:

ABSORBERY - obiekty, struktury lub materiały, które pochłaniają energię fali dźwiękowej, najczęściej o włóknistej, porowatej strukturze np. filce, wełny, waty, maty, gąbki oraz płyty z tworzyw naturalnych i sztucznych.

REFLEKTORY - obiekty, struktury lub materiały, które odbijają fale dźwiękowe w sposób kierunkowy. Stosowane w celu kierowania dźwięku w określone miejsce. Wykonane z twardych materiałów o stosunkowo dużej gęstości np. metal, ceramika, beton, gips, lub tworzywa sztuczne.

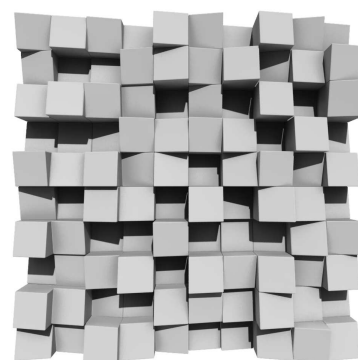
DYFUZORY - obiekty, struktury lub materiały o nieregularnej powierzchni, odbijającej fale dźwiękowe w sposób rozproszony. Zbudowane są z podobnych materiałów co reflektory jednak występują w kształcie półwałców, czasz, pryzm lub w formie nieregularnej.[18,22,30]



ABSORBER



REFLEKTOR

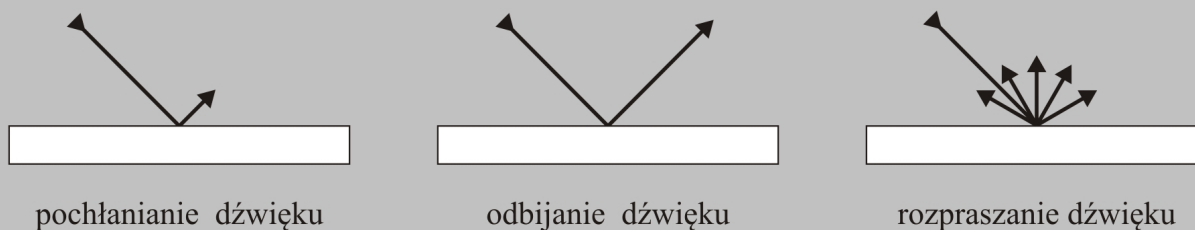


DYFUZOR

Ilustracja 2. Absorber, 3. Reflektor, 4. Dyfuzor.

Źródło: Opracowanie autorskie.

SCHEMAT DZIAŁANIA USTROJÓW AKUSTYCZNYCH



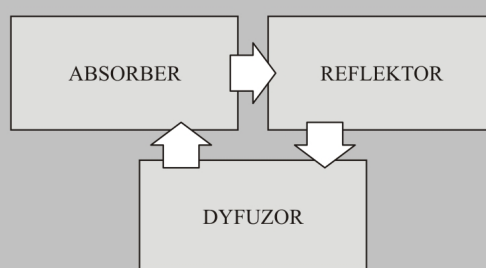
Schemat 4. Schemat działania ustrojów akustycznych.

Źródło: Opracowanie autorskie.

3.10. IDEA PANELU ADAPTACYJNEGO O ZMIENNEJ GEOMETRII

Celem pracy jest zaprojektowanie adaptacyjnego panelu architektonicznego, który będzie miał możliwość zmiany swojej geometrii, w wyniku czego będzie mógł pełnić funkcje: absorbera lub reflektora lub dyfuzora akustycznego.

SCHEMAT IDEOWY PANELU ADAPTACYJNEGO



Schemat 5. Schemat ideowy panelu adaptacyjnego.

Źródło: Opracowanie autorskie.

Ustrój akustyczny, który mógłby pełnić trzy funkcje, musi posiadać cechy wszystkich trzech podstawowych rodzajów ustrojów akustycznych. Jego konstrukcja musi zawierać elementy odbijające dźwięk, rozpraszające dźwięk, pochłaniające dźwięk oraz mechanizm, powodujący zamianę tych funkcji. Reflektor akustyczny ma formę płaskiej powierzchni z materiału o stosunkowo dużej masie np metal, ceramika lub tworzywo sztuczne. Dyfuzor ma podobną budowę, jednak powierzchnia przyjmuje formę przestrzenną odbijając dźwięk w sposób rozproszony. Ustrój, który w sposób mechaniczny miałby możliwość zmiany swojej powierzchni z płaskiej w przestrzenną mógłby pełnić funkcje dyfuzora lub reflektora akustycznego. Absorber akustyczny zbudowany jest z materiałów o stosunkowo małej gęstości, o włóknistej lub porowatej strukturze np. filc, gąbka lub wata. Tworząc mechanizm, który by eksponowałby strukturę absorbującą dźwięk i jednocześnie chowałby powierzchnie odbijającą lub rozpraszającą dźwięk, uzyskało by się trój funkcyjny konfigurowalny ustrój akustyczny.

3.11. ZASTOSOWANIE PANELU ADAPTACYJNEGO O ZMIENNEJ GEOMETRII

Wykorzystanie systemów adaptacyjnych w architekturze niesie ze sobą duże możliwości dynamicznej optymalizacji przestrzeni. Zastosowanie projektowanego akustycznego panelu adaptacyjnego znajduje swoje uzasadnienie tam, gdzie dźwięk stanowi pożądaną wartość, zachodzą zmienne warunki akustyczne lub niejednakowe wymagania percepcji użytkowników. Poniżej przedstawiono kilka wybranych przykładów takich przestrzeni użytkowych.

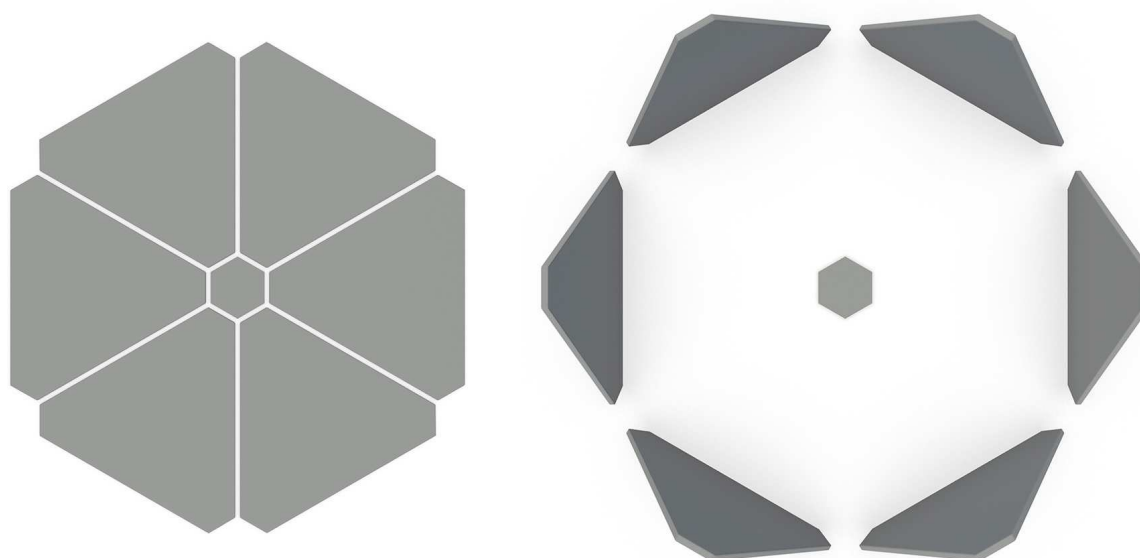
- sale koncertowe
- sale konferencyjne
- sale szkolne, wykładowe, ćwiczeniowe
- sale klubowe
- pomieszczenia studyjne, nagraniowe
- hale wielofunkcyjne, widowiskowe, sportowe, targowe
- pomieszczenia odsłuchowe, użytku osobistego

3.12. MODEL DOŚWIADCZALNY

Celem badań było opracowanie fizycznego modelu, spełniającego ideowe założenia funkcjonalne. Proces składał się z sześciu głównych, następujących po sobie etapów, w których opracowano: formę reflektora, mechanizm kinetyczny, napęd, sterowanie oraz formę absorbera.

I ETAP

Wykonano schematyczny model w układzie 6 otwieranych paneli w kształcie sześciokąta o niesymetrycznych bokach. Taka forma umożliwiła zachowanie przestrzeni do wykorzystania przez mechanizm zmiany konfiguracji układu. Model pozwalał na otwieranie i zamykanie paneli, zmianę pozycji części odbijającej dźwięk i eksponowanie części absorbującej dźwięk. Zaletą tego rozwiązania była możliwość zmian konfiguracji 6 paneli jednym aktuatorem. Wadą była konieczność pozostawienia niezmiennego, pasywnego obszaru między panelami.

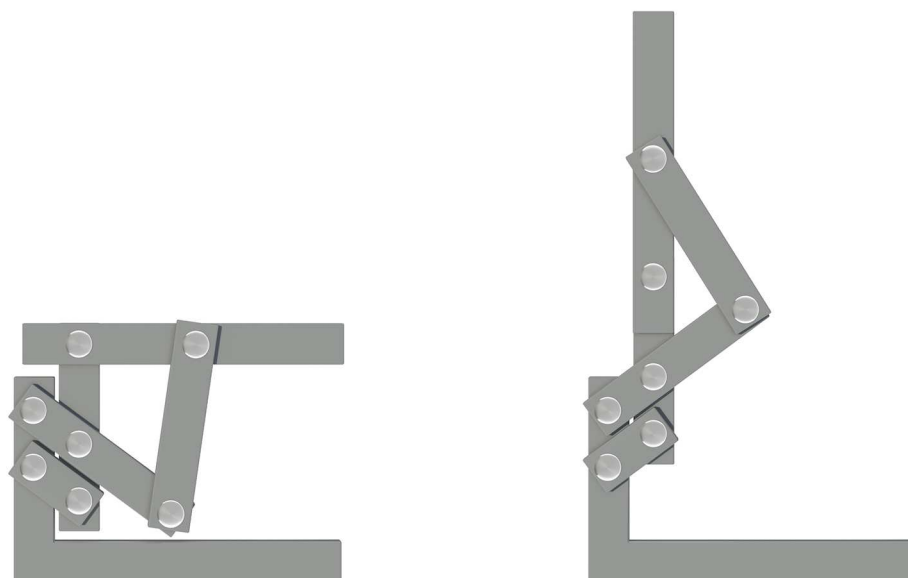


Ilustracja 5. I Etap, model schematyczny doświadczalny zamknięty, otwarty

Źródło: opracowanie autorskie

II ETAP

Wykonano dwuwymiarowy, kinetyczny model mechanizmu otwierania panelu. Mechanizm zaprojektowano w formie wahaczy. Pozwoliło to na zwiększenie powierzchni czynnej panelu, jednak wymagało zastosowania aktuatora - osobno do każdego panelu.

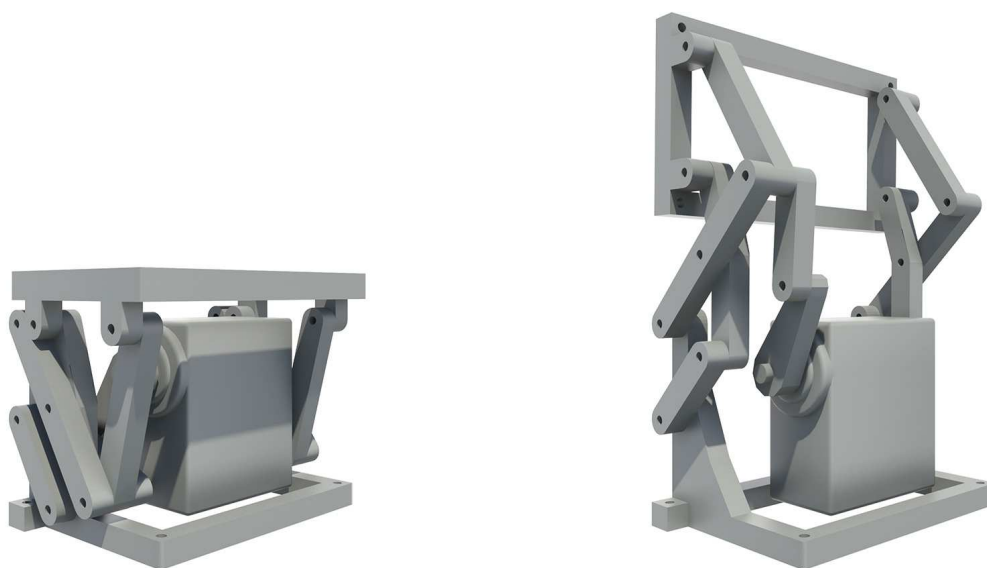


Ilustracja 6. II Etap, dwuwymiarowy, kinetyczny model doświadczalny zamknięty, otwarty.

Źródło: Opracowanie autorskie.

III ETAP

Wykonano model mechanizmu w technologii druku 3D. Do budowy wykorzystano serwomechanizm typu S3003 o sile 32Ncm. Przeprowadzone testy wykazały, że zastosowany napęd jest zbyt słaby, niestabilny i zapewnia zbyt mały zakres i precyzję ruchu, co spowodowało, że niezbędne było zastosowanie w kolejnym etapie silnika krokowego.

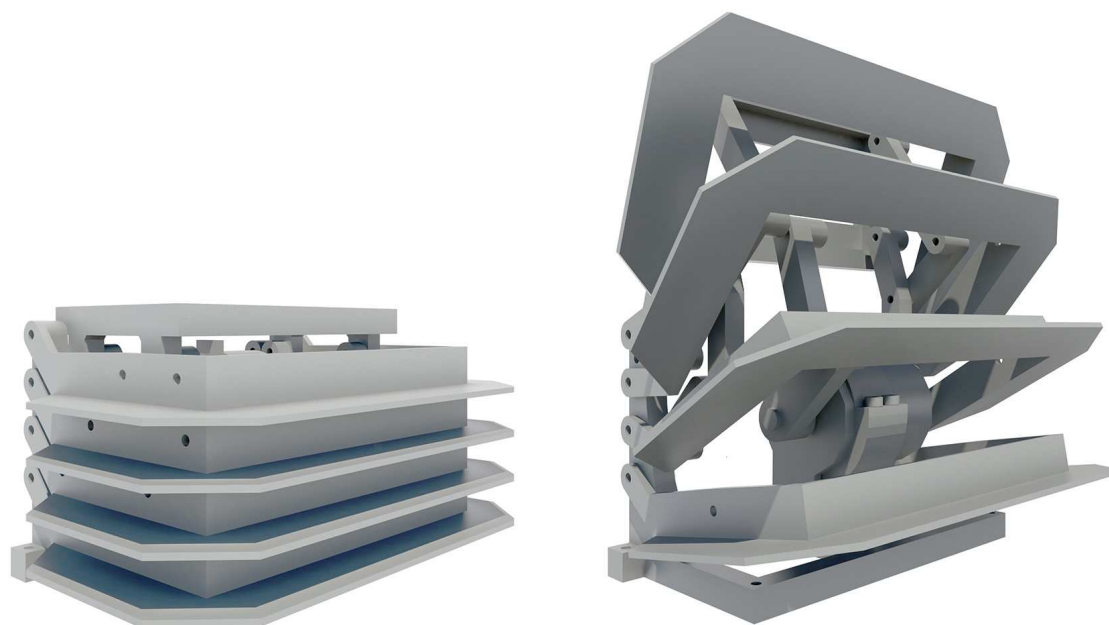


Ilustracja 7. III Etap, model 3D doświadczalny zamknięty, otwarty.

Źródło: Opracowanie autorskie.

IV ETAP

Wykonano model mechanizmu, w technologii druku 3D. Do budowy wykorzystano silnik krokowy typu PG2528-0502U z przekładnią planetarną o sile 50Ncm. Zaprojektowano i wykonano elementy nośne absorberów dźwięku oraz mechanizm ich eksponowania. Dzięki temu uzyskano odpowiednią siłę i precyzję działania mechanizmu panelu.

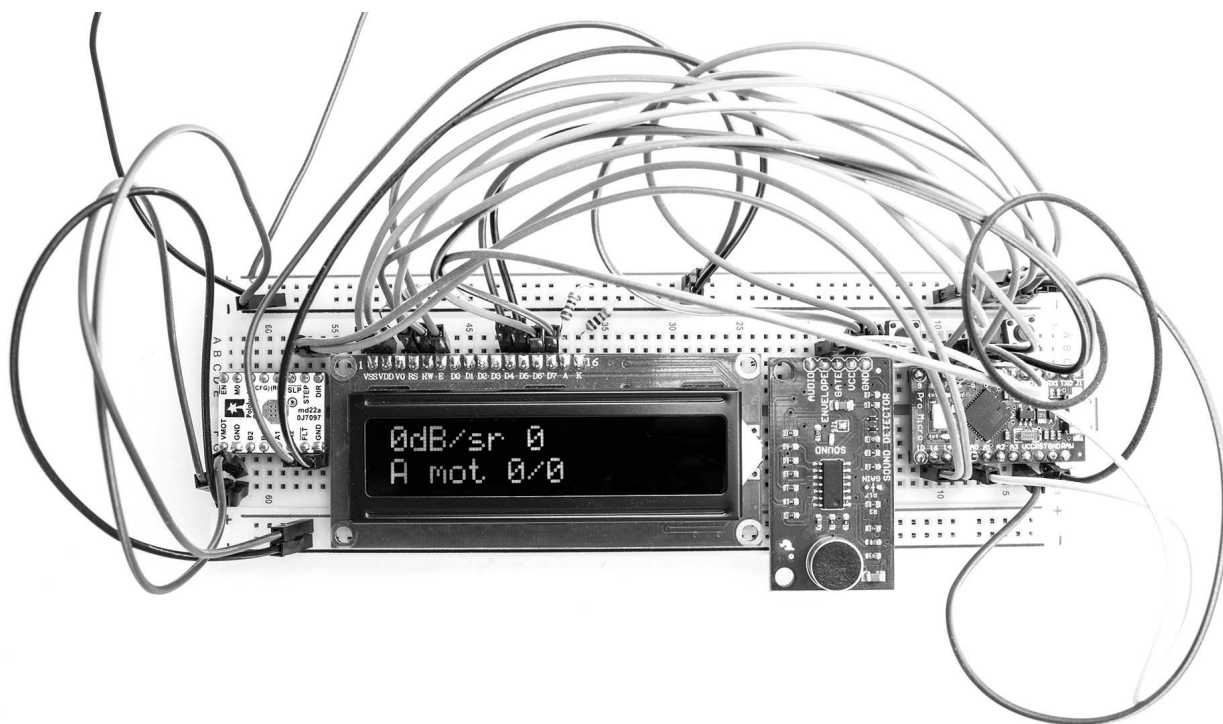


Ilustracja 8. IV Etap, model doświadczalny zamknięty, otwarty oraz wsporniki absorberów.

Źródło: Opracowanie autorskie.

V ETAP

Wykonano układ sterujący na bazie mikrokontrolera Arduino Pro Micro, Sterownika silnika krokowego, Sensora dźwięku i monitora LCD. Napisano program umożliwiający zmianę geometrii panelu.

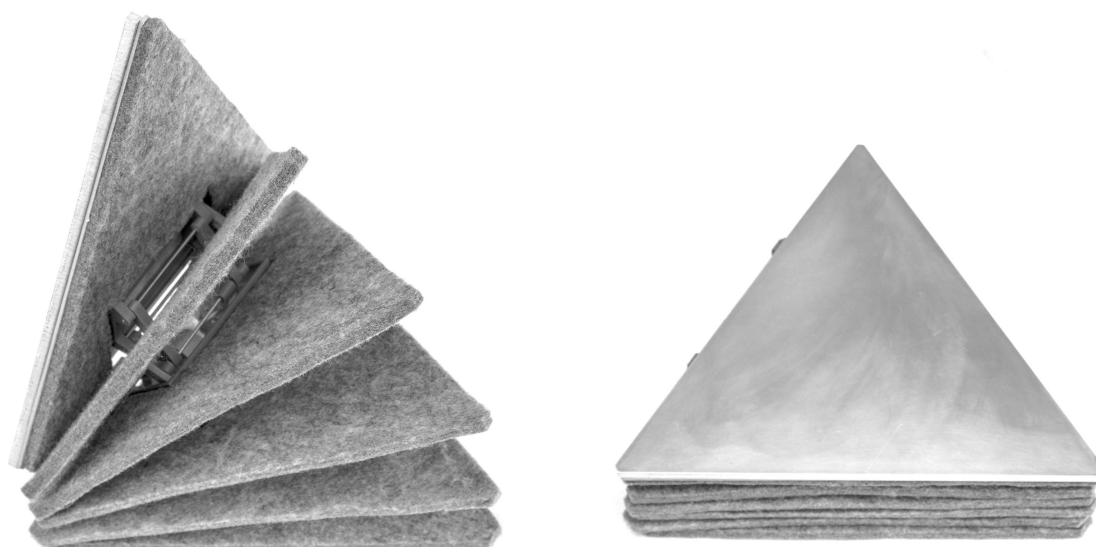


Fotografia 26. V Etap, elektroniczny układ sterujący.

Źródło: Zdjęcie autorskie.

VI ETAP

Zaprojektowano i wykonano elementy pochłaniające i odbijające dźwięk. Zgodnie z zasadą Huygensa o odbiciu fal wynika, że współczynnik odbicia zależy od różnicy impedancji ośrodków im większa różnica impedancji ośrodków tym odbicie fali jest większe [59] na przykład odbicie fali na granicy ośrodków powietrze - filc będzie znacznie mniejsze niż na granicy ośrodków powietrze - aluminium. Do budowy absorberów dźwięku wykorzystano filc wygłuszający o grubości 8mm. Do budowy reflektora wykorzystano aluminium o grubości 4mm.



Fotografia 27. VI Etap, budowa absorberów i reflektora.

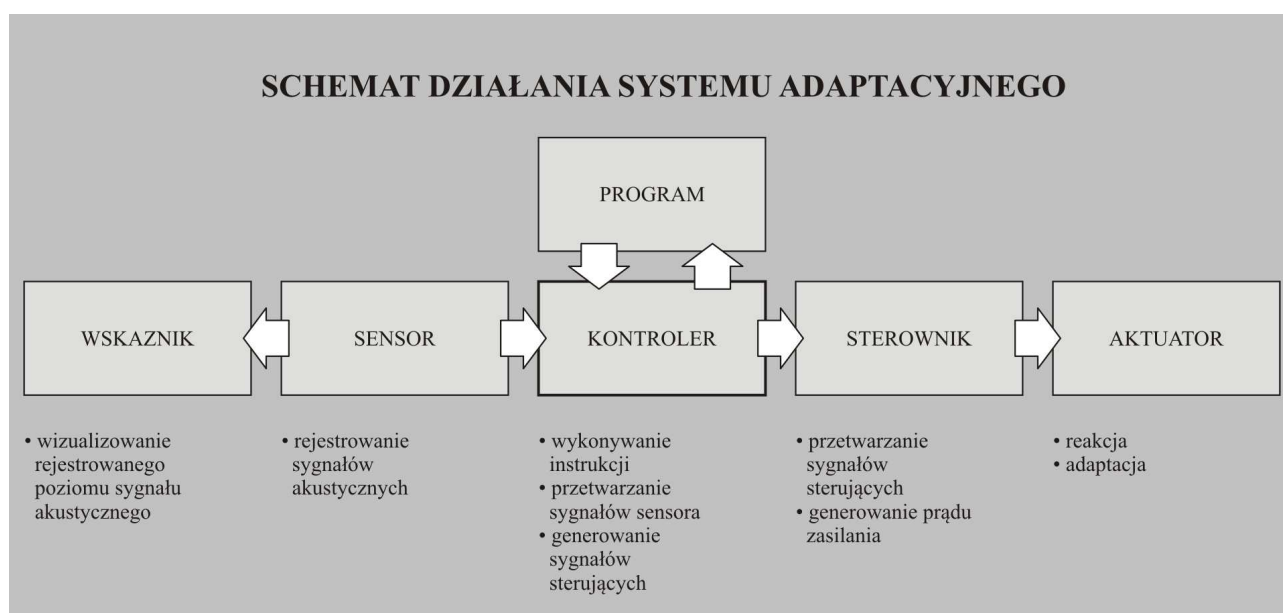
Źródło: Zdjęcie autorskie.

IV PROJEKT, PROTOTYP

4.1. OPIS ZAPROJEKTOWANEGO PANELU ADAPTACYJNEGO

Panel adaptacyjny – jest to mechaniczny element budowli architektonicznej, niezależny od jej konstrukcji, sterowany mikro-kontrolerem, według programu na podstawie bodźców rejestrowanych przez sensory. Aktywnie zmienia swoją geometrię, a przez to swoje właściwości fizyczne, wpływając na zmianę charakterystyki akustycznej przestrzeni architektonicznej.

Panel został zaprojektowany przy wykorzystaniu programów CAD, na podstawie zdobytej wiedzy i wniosków z etapu badań doświadczalnych. Prototyp powstał przy użyciu technologii druku 3D, oraz cięcia laserowego CNC. Mechanizm otwierania i zamykania panelu, napędzany jest silnikiem krokowym typu PG2528-0502U z przekładnią planetarną o sile 50Ncm. Sterowanie silnikiem odbywa się poprzez sterownik typu DRV8834. Silnik kontrolowany jest przez moduł Arduino Pro Micro z wbudowanym mikro-kontrolerem Atmega32U4. Rejestrowanie bodźców akustycznych odbywa się przy wykorzystaniu sensora typu SEN-12642. Natężenie bodźcovo raz pozycja silnika może być wizualizowana przy pomocy alfanumerycznego wyświetlacza LCD typu JHD162A-B-W. Funkcjonowanie całego systemu opiera się na autorskim programie w języku C++.

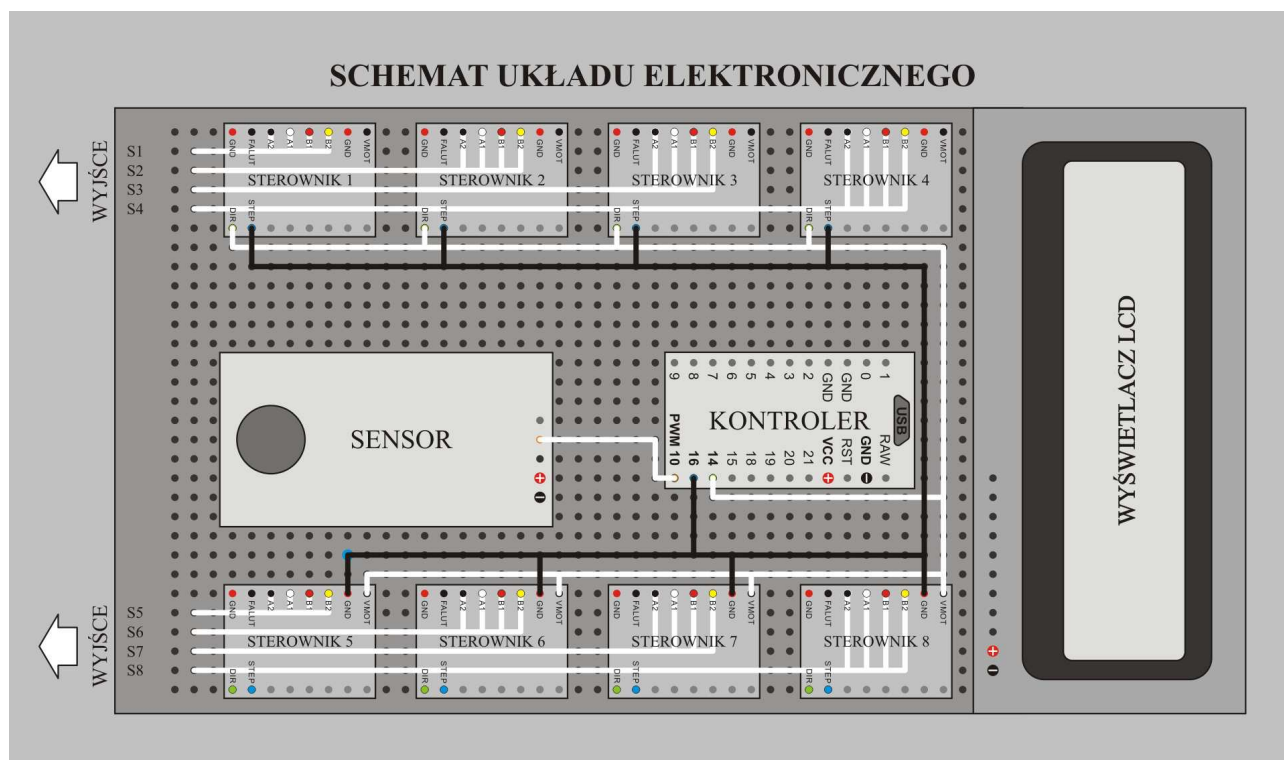


Schemat 6. Schemat działania systemu adaptacyjnego.

Źródło: Opracowanie autorskie.

4.2. ELEKTRONICZNY UKŁAD STERUJĄCY

Zaprojektowano i wykonano elektroniczny układ sterujący na podstawie uniwersalnej płytki prototypowej. Układ zbudowany jest z Arduino Pro Micro, sensora SEN-12642 oraz ośmiu sterowników DRV8834. Układ umożliwi sterowanie ośmioma panelami jednocześnie. Do uruchomienia całego systemu wykorzystano zasilacz laboratoryjny kps 350d.

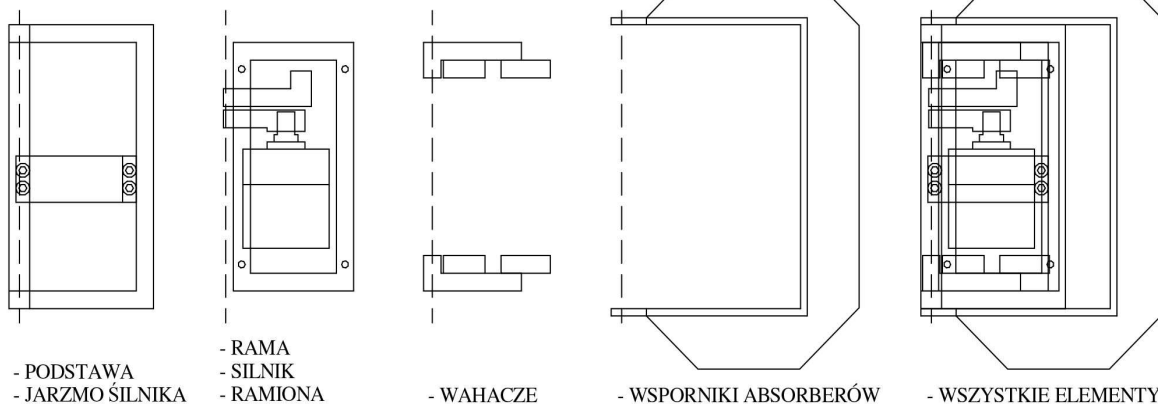


Schemat 7. Schemat układu elektronicznego.

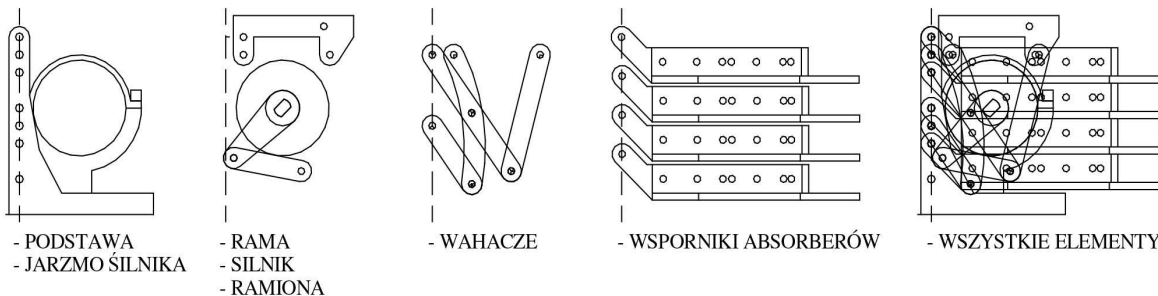
Źródło: Opracowanie autorskie.

4.3. RYSUNEK ELEMENTÓW PANELÓW ADAPTACYJNEGO

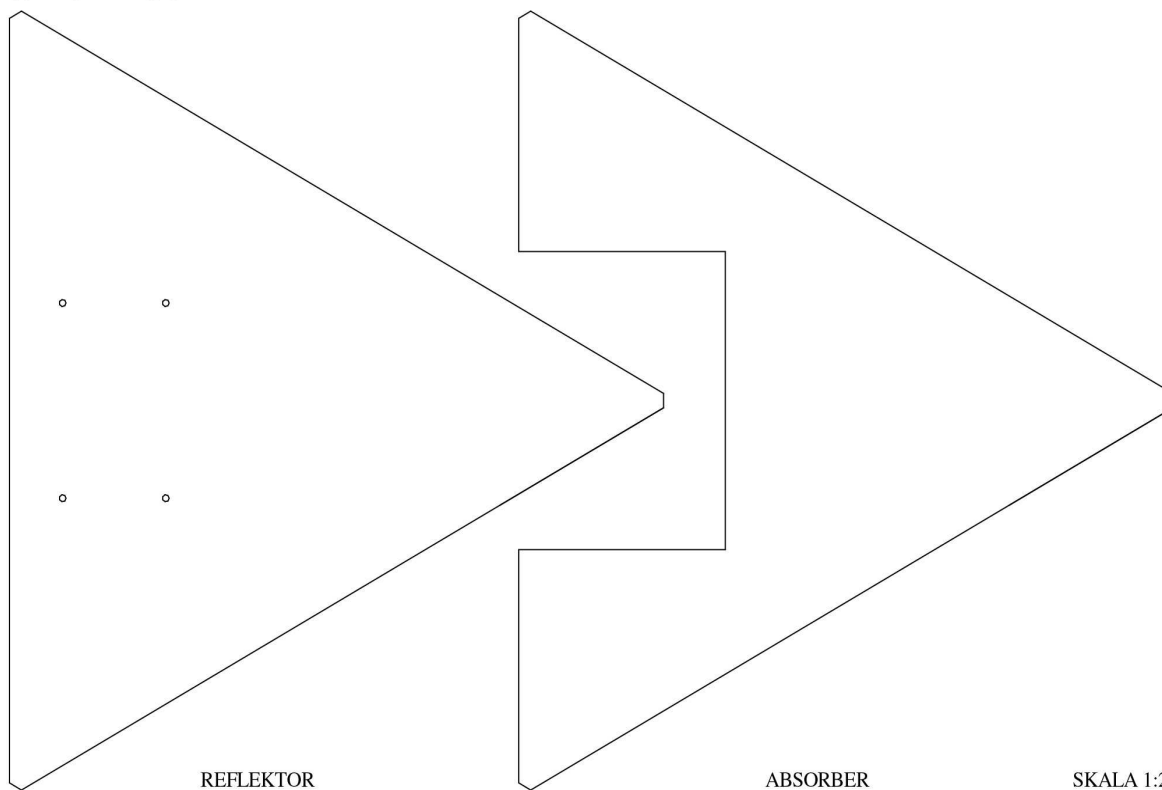
WIDOK Z GÓRY



WIDOK Z BOKU



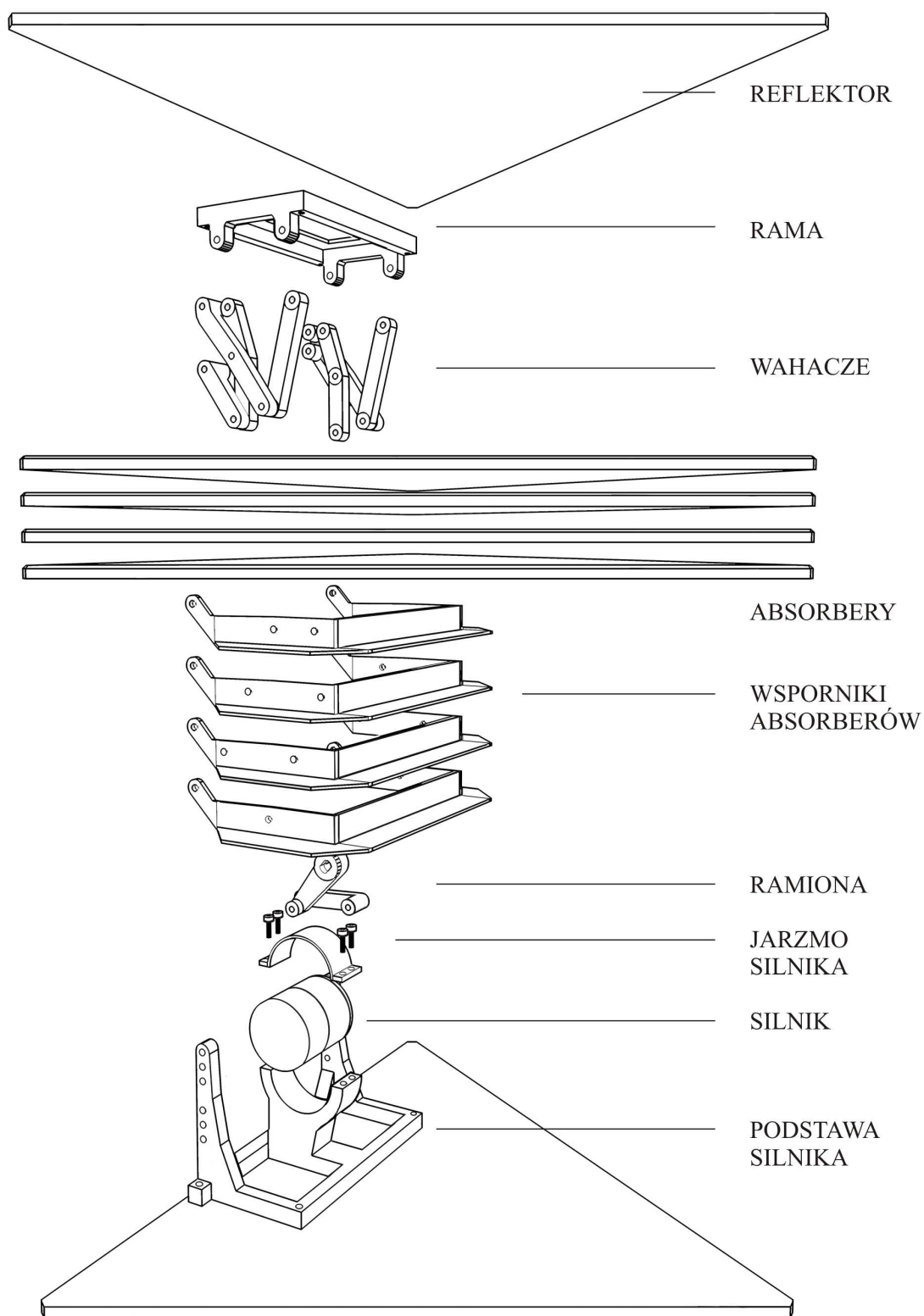
WIDOK Z GÓRY



Rysunek 1. Rysunek elementów panelu adaptacyjnego.

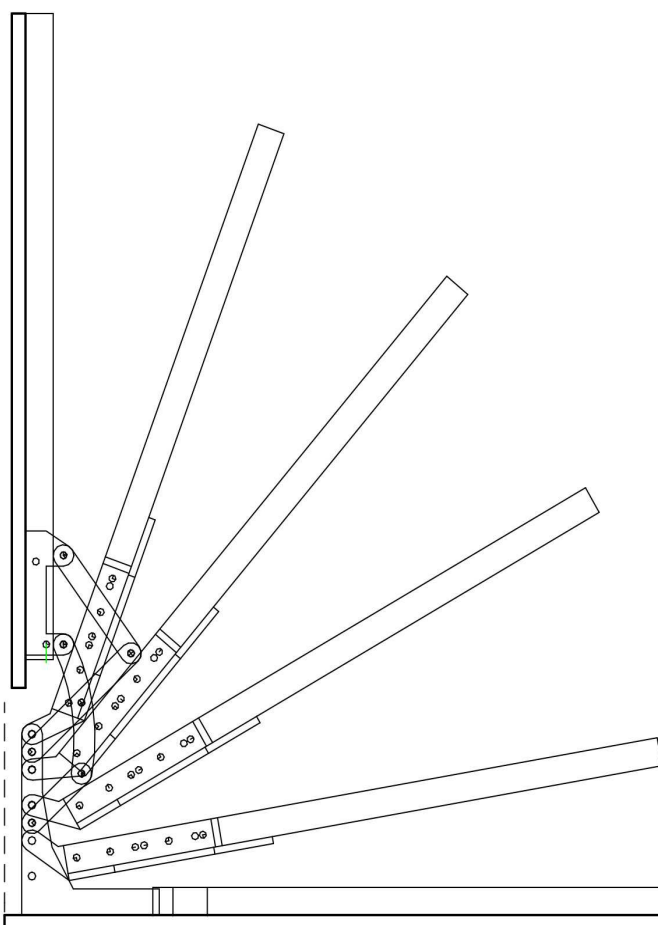
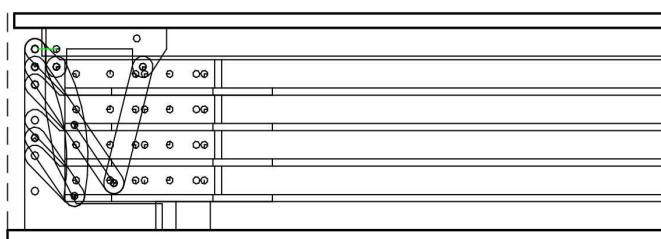
Źródło: Opracowanie autorskie.

4.4. RYSUNEK PERSPEKTYWICZNY BUDOWY PANELU ADAPTACYJNEGO



Rysunek 2. Rysunek perspektywiczny budowy panelu adaptacyjnego.

źródło: Opracowanie autorskie.

4.5. RYSUNKI OTWARTEGO, ZAMKNIĘTEGO PANELU ADAPTACYJNEGO**PANEL OTWARTY****PANEL ZAMKNIĘTY**

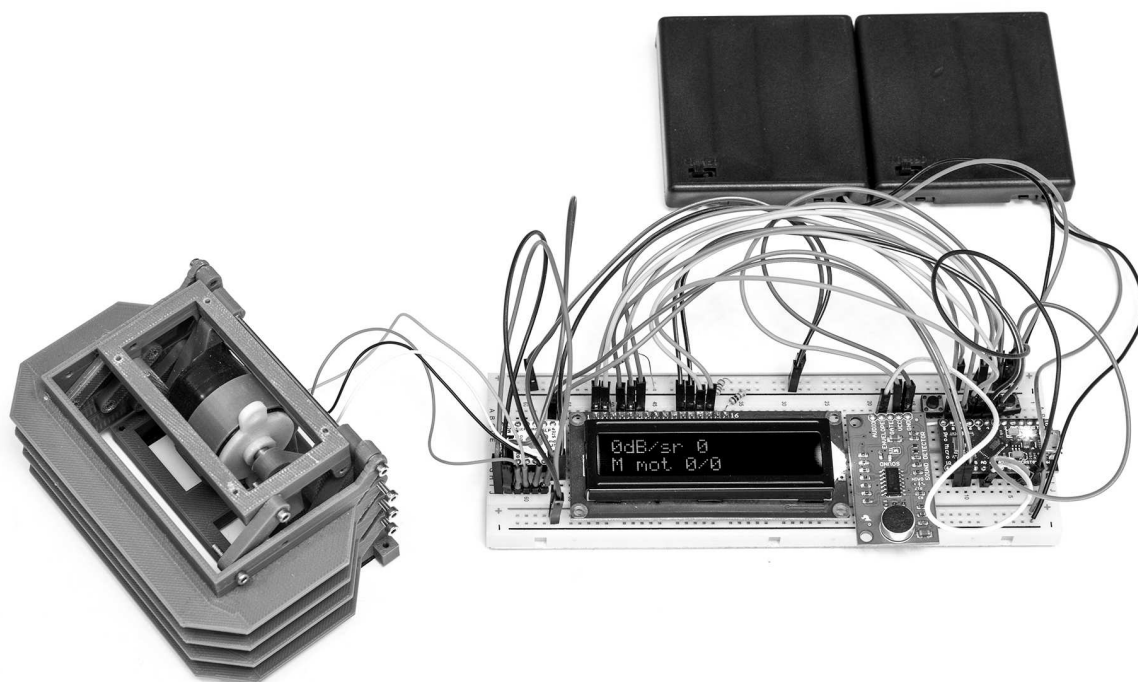
SKALA 1:2

Rysunek 3. Rysunki otwartego, zamkniętego panelu adaptacyjnego.

Źródło: Opracowanie autorskie.

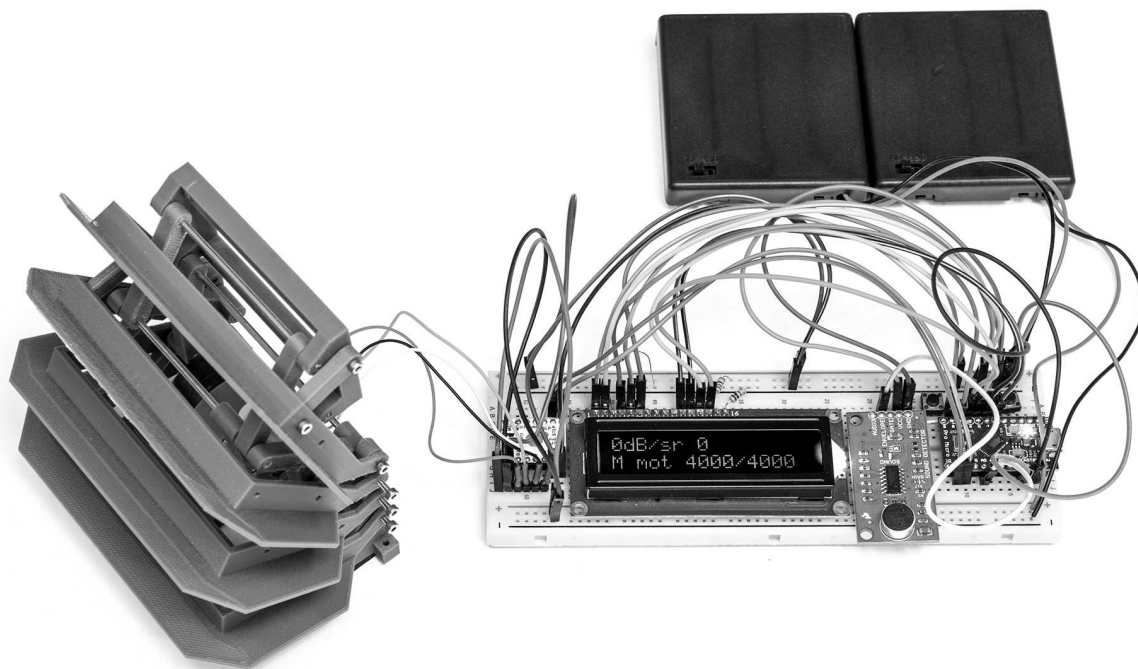
4.6. ZDJĘCIE ELEMENTÓW PROTOTYPU PANELU ADAPTACYJNEGO

Zdjęcia funkcjonującego mechanizmu oraz układu elektronicznego z zasilaniem.



Fotografia 28. Zdjęcie mechanizmu w stanie zamkniętym.

Źródło: Zdjęcie autorskie.

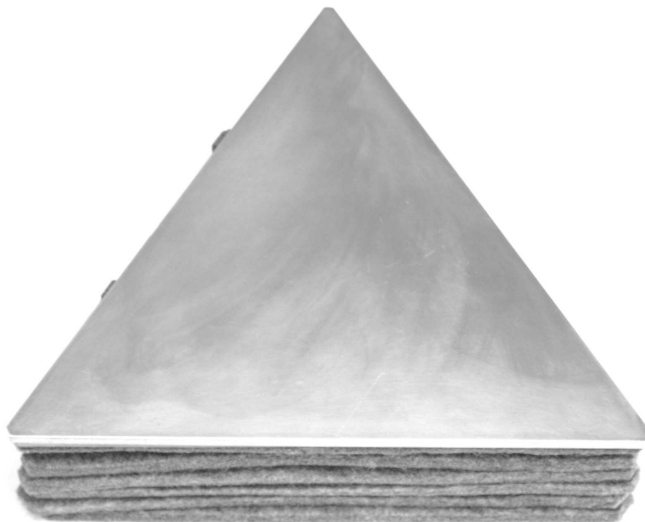


Fotografia 29. Zdjęcie mechanizmu w stanie otwartym.

Źródło: Zdjęcie autorskie.

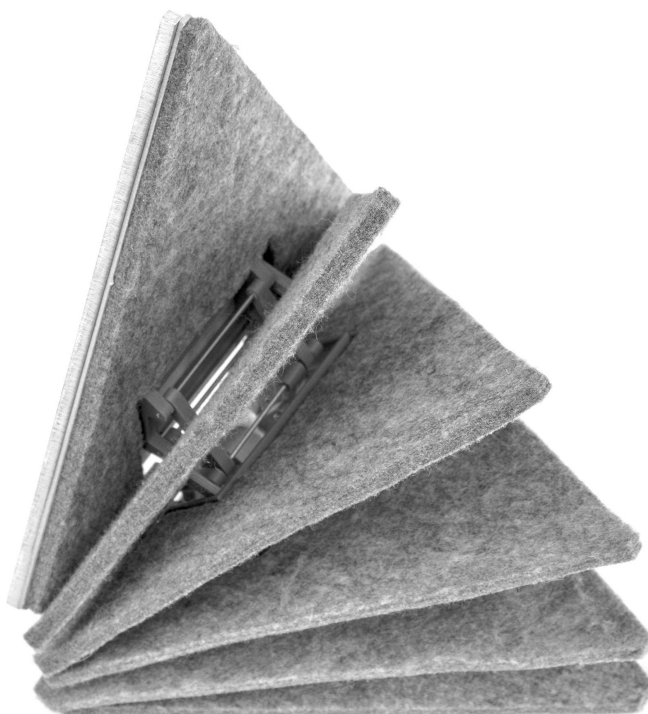
4.7. ZDJĘCIE PROTOTYPU PANELU ADAPTACYJNEGO

Zdjęcia funkcjonującego panelu z metalowym reflektorem oraz filcowymi absorberami.



Fotografia 30. Zdjęcie panelu w stanie zamkniętym.

Źródło: Zdjęcie autorskie.



Fotografia 30. Zdjęcie panelu w stanie otwartym.

Źródło: Zdjęcie autorskie.

4.8. PROGRAM STERUJĄCY PANELEM ADAPTACYJNYM

Zaprojektowany panel adaptacyjny działa w oparciu o elektroniczny układ sterujący. Zbudowany jest z mikrokontrolera, dwóch przycisków, sensora, sterownika oraz monitora LCD. Napisano autorski program sterujący w języku C++, który odpowiedzialny jest za prawidłowe działanie całego systemu. Sprawność działania programu uzyskano w procesie przeprowadzonych prób i doświadczeń. Pierwszy przycisk odpowiada za inicjowanie trybu manualnego. Umożliwia stopniową konfigurację panelu, zmianę funkcji z reflektora na dyfuzor lub absorber. Drugi przycisk inicjuje tryb automatyczny. Następuje odczytywanie wartości czujnika dźwięku co 500 ms, które są uśredniane w przedziałach co 3,5s. Odczytanie dużych wartości powoduje otwarcie panelu i przyjęcie formy absorbera dźwięku. Odczytanie wartości średnich, powoduje przyjęcie formy dyfuzora. Odczytanie wartości niskich powoduje zamknięcie panelu i przyjęcie formy reflektora. Informacje o poziomie natężenia dźwięku, trybie pracy panelu oraz aktualnej pozycji silnika wyświetlana jest na monitorze LCD. Tak napisany program pozwala zweryfikować sprawność działania systemu natomiast docelowe zastosowanie wymaga dostosowania programu do indywidualnych warunków przestrzeni.

Poniżej przedstawiono kod źródłowy z opisem poszczególnych funkcji:

```
#include <LiquidCrystal.h>
#include <MsTimer2.h>
#include <stdint.h>

// konfiguracja połączenia guzików
#define guzikAutoPin 9
#define guzikManualPin 2

// konfiguracja sterownika silnika krokowego DRV8834
#define kierunek_silnika 1 // 1 lub -1
#define stepPin 16 // wejście STEP - na zbocze narastające następuje wykonanie kroku
#define dirPin 14 // wejście DIR - wybór kierunku obrotu silnika
#define iloscKrokovNaObrot 8000 // całkowita ilość kroków silnika na jeden obrót
```

```

#define zakresSilnika 180 // zakres pracy silnika w stopniach
#define ilosc_krokov (int)((int32_t)iloscKrokovNaObrot * zakresSilnika / 360) // wyliczona
robocza ilość kroków silnika
// zmienne do obsługi ruchu silnika
volatile int16_t silnik_pozycja; // aktualna pozycja silnika
volatile int16_t silnik_cel; // docelowa pozycja silnika
// konfiguracja czujnika dźwięku
#define dzwiekAnalogPin 0 // wyjście ENVELOPE z układu Sound Detector
#define dzwiekMin 15 // minimalna uśredniona wartość czujnika dźwięku
#define dzwiekMax 50 // maksymalna ...
// wartości procentowe progów
uint8_t progiDzwiek[] = {0, 25, 50, 75, 100};
uint8_t progiSilnik[] = { 0, 33, 66, 100};
// dla zakresu dźwięku 0-25 jedź do pozycji 0
// dla zakresu dźwięku 26-50 jedź do pozycji 33
// itd.
// obiekt wyświetlacza LCD
LiquidCrystal lcd(7, 8, 3, 4, 5, 6); // piny: rs, enable, d4, d5, d6, d7
// Funkcja uruchamiana jednorazowo po uruchomieniu układu.
// Służy do inicjalizacji i konfiguracji peryferiów.
void setup()
{
    // ustaw piny stepPin i dirPin w tryb wyjścia
    pinMode(stepPin, OUTPUT);
    pinMode(dirPin, OUTPUT);
    // ustaw piny guzików w tryb wejścia
    pinMode(guzikAutoPin, INPUT);
    pinMode(guzikManualPin, INPUT);
    // włącz rezystory podciągające
    digitalWrite(guzikAutoPin, HIGH);
    digitalWrite(guzikManualPin, HIGH);
    // konfiguracja wymiarów wyświetlacza: 16 znaków x 2 linie

```

```
lcd.begin(16, 2);
// wyczyść wyświetlacz
lcd.clear();
// konfiguracja licznika Timer2 do obsługi silnika
MsTimer2::set(1, silnik_petla); // wywołuj funkcję silnik_petla() co 1 ms (1000 razy na sekundę)
MsTimer2::start(); // uruchom licznik
// cofnij silnik o 6000 kroków aby ustawić go w skrajnej początkowej pozycji
silnik_idz_do_procent(-120);
}
// zmienne używane przy uśrednianiu odczytu z czujnika dźwięku
uint32_t dzwiek_suma;
uint16_t dzwiek_ilosc;
uint16_t dzwiek_usredniony;
// odczytaj wartość czujnika dźwięku podłączonego do przetwornika ADC
uint16_t czytaj_dzwiek() {
    return analogRead(dzwiekAnalogPin);
}

// czy guzik jest wciśnięty
bool guzik_wcisniety(uint8_t guzik) {
    return digitalRead(guzik) == LOW;
}
#define TRYB_AUTO 1
#define TRYB_RECZNY 2
uint8_t tryb_pracy = TRYB_AUTO; // domyślnie tryb AUTO
// główna funkcja programu wywoływana non-stop
void loop()
{
    static bool init = true;
    // jednorazowa inicjalizacja
    if(init) {
        init = false;
    }
}
```



```

// czekaj aż silnik dojedzie do zadanej pozycji
while(silnik_pozycja != silnik_cel) {
};
// wyzeruj zmienne silnika
silnik_pozycja = 0;
silnik_cel = 0;
}
// aktualny czas w milisekundach
uint16_t teraz = millis();
// wykonuj co 500 ms
static uint16_t _czas0 = 0;
if (minelo(teraz, _czas0) > 500)
{
    _czas0 = teraz; // zapamiętaj aktualny czas

    lcd.clear(); // wyczyść wyświetlacz
    lcd.setCursor(0, 0); // przesun kursor na pozycję 0,0 (lewy góry róg)
    lcd.print(czytaj_dzwiek()); // wydrukuj aktualną wartość z czujnika dźwięku
    lcd.print("dB/sr "); // dopisz jednostkę
    lcd.print(dzwiek_usredniony); // wydrukuj uśredniony odczyt
    lcd.setCursor(0, 1); // przesun kursor na pozycję 0,1 (początek drugiej linii)
    lcd.print(tryb_pracy==TRYB_AUTO ? "A " : "M "); // wydrukuj tryb pracy
    lcd.print("mot "); // wydrukuj pozycję silnika
    lcd.print(silnik_pozycja);
    lcd.print("/"); // wydrukuj pozycję docelową silnika
    lcd.print(silnik_cel);
}
dzwiek_suma += czytaj_dzwiek(); // sumowanie odczytów dźwięku
dzwiek_ilosc++; // zliczanie odczytów dźwięku
// wykonuj co 5500 ms
static uint16_t _czas1 = 0;
if (minelo(teraz, _czas1) > 10000) //uśrednianie odczytu co tyle milisekund

```

```

{
    _czas1 = teraz; // zapamiętaj aktualny czas
    // oblicz średnią arytmetyczną dla pomiarów z ostatnich 3,5 sekundy
    uint16_t dzwiek = dzwiek_suma / dzwiek_ilosc;
    dzwiek_usredniony = dzwiek;
    // w trybie AUTO obróć silnik
    if (tryb_pracy == TRYB_AUTO)
    {
        // ogranicz górny zakres odczytu
        if (dzwiek > dzwiekMax)
            dzwiek = dzwiekMax;
        // ogranicz dolny zakres odczytu
        if (dzwiek < dzwiekMin)
            dzwiek = dzwiekMin;
        // oblicz wartość procentową dla zakresu <dzwiekMin, dzwiekMax>
        uint8_t dzwiekProcent = (uint32_t)100 * (dzwiek - dzwiekMin) / (dzwiekMax -
            dzwiekMin);
        // znajdź próg w tablicy progiDźwięk
        for (int i = 1 ; i < sizeof(progiDzwiek) / sizeof(progiDzwiek[0]) ; i++)
        {
            if (dzwiekProcent <= progiDzwiek[i]) {
                // rusz silnik
                silnik_idz_do_procent(progiSilnik[i - 1]);
                break;
            }
        }
        // stary algorytm
        // int16_t dest = (4 * (dzwiek - dzwiekMin) + dzwiekMax/2) / (dzwiekMax - dzwiekMin) *
        // (ilosc_krokov / 4);
        // if (dest < 0) dest = 0;
        // if (dest > ilosc_krokov) dest = ilosc_krokov;
        // silnik_idz_do(dest);
    }
}

```

```

}
dzwiek_suma = dzwiek_ilosc = 0; // wyzeruj zmienne uśredniające
}
// wykonuj co 50 ms
static uint16_t _czas2 = 0;
if (minelo(teraz, _czas2) > 50)
{
    _czas2 = teraz;
    static bool guzik1_poprzednio, guzik2_poprzednio;
    bool wciśnięty;
    wcisniety = guzik_wciśnięty(guzikAutoPin);
    // jeśli stan guzika się zmienił
    if (guzik1_poprzednio != wciśnięty) {
        guzik1_poprzednio = wciśnięty;
        if (wcisniety)
        {
            // zmien tryb na AUTO gdy wciśnięto guzik guzik AutoPin
            tryb_pracy = TRYB_AUTO;
        }
    }
    wcisniety = guzik_wcisniety(guzikManualPin);
    // jeśli stan guzika się zmienił
    if (guzik2_poprzednio != wcisniety) {
        guzik2_poprzednio = wciśnięty;
        if (wcisniety)
        {
            // zmień tryb na RĘCZNY gdy wciśnięto guzik guzikManualPin
            tryb_pracy = TRYB_RECZNY;
            // obróć silnik do następnego programu
            static uint8_t prog_silnik_numer = 0;
            prog_silnik_numer++;
            if (prog_silnik_numer >= sizeof(progiSilnik) / sizeof(progiSilnik[0]))

```

```

    prog_silnik_numer = 0;
    silnik_idz_do_procent(progiSilnik[prog_silnik_numer]);
    // stary algorytm
    // uint16_t dest = silnik_cel + ilosc_krokow / 4;
    // if (dest > ilosc_krokow)
    // dest = 0;
    // silnik_idz_do_procent(dest);
}
}
}
// ustaw pozycję docelową dla silnika
void silnik_idz_do(int16_t pozycja_kroki)
{
    noInterrupts();
    silnik_cel = pozycja_kroki;
    interrupts();
}
// ustaw pozycję docelową dla silnika w procentach zakresu roboczego
void silnik_idz_do_procent(int8_t pozycja_procent)
{
    silnik_idz_do((int32_t)pozycja_procent * ilosc_krokow / 100);
}
// funkcja obsługi silnika uruchamiana co 1ms za pomocą licznika Timer2
void silnik_petla()
{
    int16_t roznica = silnik_cel - silnik_pozycja;
    // jeśli silnik nie osiągnął pozycji docelowej oblicz kierunek następnego kroku
    if(roznica != 0) {
        int8_t kierunek = roznica > 0 ? 1 : -1;
        silnik_pozycja += kierunek; // zaktualizuj pozycję silnika
        digitalWrite(dirPin, (kierunek * kierunek_silnika) > 0 ? HIGH : LOW); // ustaw kierunek
    }
}

```

ruchu silnika

```
digitalWrite(stepPin, LOW); // zbocze opadające
```

```
delayMicroseconds(2); // czekaj  $t_{WL}(STEP)$  - Pulse duration, STEP low (1.9us w nocie  
katalogowej)
```

```
digitalWrite(stepPin, HIGH); // sterownik wykonuje krok na zbocze narastające lini STEP
```

```
}
```

```
}
```

//funkcja pomocnicza zwracająca różnicę czasu

```
uint16_t minelo(uint16_t czas1, uint16_t czas2) {
```

```
return (uint16_t)(czas1 – czas2);
```

```
}
```

V PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Główny temat rozprawy to architektura adaptacyjna, przedstawiono jej genezę, rozwój oraz aktualny stan wiedzy. Opisano szereg przykładów, przeprowadzonych i podejmowanych badań, a także realizacje budowli wpisujących się w nurt architektury adaptacyjnej.

Głównym celem rozprawy są: badania, projekt i realizacja panelu architektonicznego oraz wykazanie jego możliwości adaptacyjnej a także związku między warunkami zewnętrznymi a zmianą jego geometrii i właściwości.

I wykazano słuszność przyjętej tezy:

Funkcjonowanie wybranych elementów systemu nerwowego chrząszczy z rodziny Scarabaeoidea, może być inspiracją w projektowaniu adaptacyjnego panelu architektonicznego.

Przeprowadzono analizę działania mechanizmu odruchowego czułków chrząszczy z rodziny Scarabaeoidea. Na tej podstawie stworzono **syntetyczny schemat mechanizmu adaptacyjnego**, który stał się inspiracją i podstawą projektowanego architektonicznego mechanizmu adaptacyjnego.

II wykazano słuszność przyjętej tezy:

Charakterystyka akustyczna obiektu architektonicznego może być kontrolowana przez adaptacyjny panel architektoniczny.

Środowisko akustyczne najczęściej ma charakter zmienny, niejednostajny, nierzadko bardzo skrajny. Dynamiczna zmiana właściwości akustycznych projektowanego panelu znacząco wpływa na charakterystykę akustyczną przestrzeni architektonicznej, poprawiając jej jakość, użyteczność oraz funkcjonalność.

III wykazano słuszność przyjętej tezy:

Zmiana geometrii adaptacyjnego panelu architektonicznego daje możliwość zmiany wybranych właściwości obiektu architektonicznego.

Zaprojektowano i wykonano model adaptacyjnego panelu architektonicznego, który ma możliwość zmiany geometrii w wyniku tego pełni funkcje absorbera lub reflektora lub dyfuzora akustycznego. Zmiana wymienionych funkcji zaprojektowanego panelu daje możliwość zmiany charakterystyki akustycznej obiektu architektonicznego.

IV wykazano słuszność przyjętej tezy:

Możliwa jest dynamiczna zmiana geometrii projektowanego panelu architektonicznego pod wpływem wybranych bodźców zewnętrznych.

Działanie adaptacyjnego panelu oparte jest na zaprojektowanym elektronicznym układzie sterującym, złożonym z mikrokontrolera, sterownika oraz sensora. Mikrokontroler został zaprogramowany tak, by zmieniać konfigurację panelu na podstawie bodźców akustycznych. Rejestrowane zmiany natężenia dźwięku powodują dynamiczną zmianę geometrii zaprojektowanego panelu architektonicznego. Napisano autorski program sterujący w języku C++, który potwierdził sprawność działania systemu adaptacyjnego. W zależności od rejestrowanego natężenia dźwięku, panel zmienia geometrię przyjmując funkcje, absorbera lub dyfuzora lub reflektora.

LITERATURA

- [1] Apanowicz J. *Metodologia ogólna, Bernardinum, Gdynia 2002.*
- [2] Assmann T., Ehrnsberger T., Hein S., *Chrzyszczce, Pro Natura, Kraków 1996.*
- [3] Bäck T., Fogel DB., Michalewicz Z. *Evolutionary computation 1: Basic algorithms and operators*, Institute Of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia 2000.
- [4] Beesley P., *ACADIA 2013 Adaptive Architecture*, University of Waterloo University at Buffalo, SUNY University of Nottingham, Cambridge Ontario 2013.
- [5] Bunalski M., *Die Blatthornkäfer Mitteleuropas*, Bartislava 1999.
- [6] Bullivant, L. *4dspace: Interactive Architecture*. Wiley-Academy, 2005.
- [7] Cambefort Y., Hanski I., *Dunk Beatle Ekology*, Princeton University Press, Princeton 1991.
- [8] Chauvin R., *Życie i obyczaje owadów*, PWN, Warszawa 1966.
- [9] Devadoss S., O'Rourke J., *Discrete and computational geometry*, Princeton University Press, Princeton 2011.
- [10] De Berg M., Cheong O., van Kreveld M., Overmars M., *Computational Geometry Algorithms and Application*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2008.
- [11] Fabre J.H., *Z życia owadów*, Alfa, Warszawa 1994.
- [12] Fraser a. S., *Simulation Of Genetic Systems By Automatic Digital Computers Vi*. EpistasisUniversity of Sydney 1959.
- [13] Fox M, *Interactive Architecture: Adaptive World*, Princeton Architectural Press, Princeton 2016.
- [14] Gałka P., Gałka P. *Podstawy programowania mikrokontrolera 8051*, MIKOM, Warszawa 2002.
- [15] Gawrysiak M. *Mechatronika i projektowanie mechatroniczne*. Wydawnictwo i poligrafia Politechniki Białostockiej, Białystok 1997.
- [16] Grad J., Kostryko T., *Sztuka i jej poznawanie*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań 2008.
- [17] Kalay Y.E., *Principles, Theories, and Methods of Computer-Aided Design*, MIT, USA 2004.
- [18] Kulowski A., *Akustyka sal. Zalecenia projektowe dla architektów*, Gdańsk 2011.
- [19] Khabazi Z. *Generative Algorithms*, morphogenesisism 2011.
- [20] Monk S., *Arduino dla początkujących*, wydawnictwo HELICON, Gliwice 2014.
- [21] Margolis M., *Arduino Cookbook*, O'Reilly Media, Inc, California 2012.

- [22] Sadowski J., *Akustyka Architektoniczna*, Warszawa 1976.
- [23] Schnell G., *Sensoren in der Automatisierungstechnik*. Vieweg, Braunschweig 1993.
- [24] Singh R., *Elements of entomology*, Rastogi Publications, Meerut, India 2007.
- [25] Smalec Z. *Wstęp do mechatroniki*, Politechnika Wrocławska, Wrocław 2010
- [26] Szwanwicz B. *Entomologia ogólna*, PWRiL, Warszawa 1956.
- [27] Tedeschi A., *AAD_Algorithms-Aided Desig*, Italy 2014.
- [28] Wiener N. *Cybernetics or control and communication in the animal and the machine*. Cambridge Massachusetts, USA 1961.
- [29] Yiannoudes S., *Architecture and Adaptation: From Cybernetics to Tangible Computing*, Taylor & Francis, London 2016.
- [30] Żyszkowski Z., *Podstawy elektro-akustyki*, wydawnictwo naukowo techniczne, Warszawa 1984.

ARTYKUŁY

- [31] Asanowicz A., *Geneza metodologii projektowania*, Architecturae Et Artibus 4/2010, Białystok 2010.
- [32] Beesley P., Chan M., Gorbet R., Kulić D., *Memarian M. Evolving Systems within Immersive Architectural Environments: New Research by the Living Architecture Systems Group*, Next Generation Building 2.1 2015. strony 31-56
- [33] Doyle M., Marsh L. *Emergence in stigmergic and complex adaptive systems: A formal discrete event systems perspective* Dunip Technologies, Tempe, AZ USA 2014.
- [34] Ercan B., Elias-Ozkan S. *Performance-based parametric design explorations: A Method for generating appropriate building components*, METU, Ankara, Turkey 2015.
- [35] Fox M. *Interactive architecture will change everything*, Cal Poly University, Pomona, CA, USA 2010.
- [36] Green H., Lauri d., *Form Finding of Grid Shells*, Royal Institute of Technology, Stockholm 2017.
- [37] Helenowska-Peschke M. *Interaktywność – nowa filozofia architektury*, Politechnika Krakowska, Kraków 2010.
- [38] Holstov A., Bridgens B, Farmer G. *Hygromorphic materials for sustainable responsive architecture*, ELSEVIER, United Kingdom 2015.
- [39] Huia T., Sherratt S., Sánchez D. *Major requirements for building Smart Homes in Smart*

Cities based on Internet of Things technologies, Elsevier 2016.

- [40] Inouchi J., Shibuya T., Matsuzaki O., Hatanaka T. *Disturbation and fine structure of antennal olfactory sensilla in Japanese dung beetle*, University of Tsukuba, Japan 1986.
- [41] Karanouh A., Kerber E., *Innovations in dynamic architecture*, Journal of Facade design and engineering 3, 2015.
- [42] Karl T., *Computation and Pre Parametric Design*, MIT, USA 1988.
- [43] Kindlein J. W., Guanabara S. A., *Methodology for product design based on the study of bionics*, UFRGS, Capes Brazil 2004.
- [44] Kolarevic B. *Digital Fabrication: Manufacturing Architecture in the Information Age*, University of Pennsylvania, ACADIA 2010
- [45] Lee M.H., Nicholls H.R. *Tactile sensing for mechatronics – a state of the art survey*, PERGAMON, Mechatronics 9, 1999.
- [46] Lotfabadi P., Alibaba H., Arfaei A. *Sustainability: as a combination of parametric patterns and bionic strategies*, Eastern Mediterranean University, North Cyprus, Turkey 2015.
- [47] Lueger-Ring K., *The Anatomy and Ultrastructure of the Antennal Circulatory Organs in the Cockchafer Beetle Melolontha melolontha L. (Coleoptera, Scarabaeidae)*, *Zoomorphology* strony 77-89, Wiedeń 1980.
- [48] Meriç C., Erol H., Özkan A. *On the sound absorption performance of a felt sound absorber*, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey Elsevier 2011.
- [49] Meagher Mark *Designing for change: The poetic potential of responsive architecture*, University of Sheffield School of Architecture, Sheffield 2014.
- [50] Parsaee M., Motealleh P., Parva m., *Interactive architectural approach (interactive architecture): An effective and adaptive process for architectural design*. Shiraz 2015.
- [51] Ramzy N., Fayed H., *Kinetic systems in architecture: New approach for environmental control systems and context-sensitive buildings*, SU, CU, Egypt 2011.
- [52] Renner G., Ekart A., *Genetic algorithms in computer aided design*, ELSEVIER 2002.
- [53] Romero-López A.A., Morón M.A., *Sexual Dimorphism in Antennae of Mexican Species of Phyllophaga*, INTECH 2013.
- [54] Sanchez-del-Valey C. *Adaptive Kinetic Architecture: Portal to Digital Prototyping*, ACADIA 2005.
- [55] Scelo T., *Integration of acoustics in parametric architectural design*, International Symposium on Room Acoustics, Toronto, Canada 2013.

- [56] Šuklje T., Arkar C., Medved S., *A Hydro-Thermal Study of the Bionic Leaf - A Basic Structural Element of the Bionic Façade Inspired by Vertical Greenery*, University of Ljubljana, Ljubljana 2015.
- [57] Schnädelbach H., *Adaptive Architecture – A Conceptual Framework*, University of Nottingham, Nottingham 2010.
- [58] Schnädelbach H., Slovak P., Fitzpatrick G., Jäger N., *The immersive effect of adaptive architecture*, ELSEVIER 2014.
- [59] Szczeniowski S. *Fizyka doświadczalna. Cz. 1, Mechanika i akustyka*, PWN, Warszawa 1980
- [60] Yuan Y., Yu X., Yang X., Xiao Y., Xiang B., Wang Y., *Bionic building energy efficiency and bionic green architecture: A review*, ELSEVIER, PR China 2017.

SPIS ANIMACJI, FOTOGRAFII, ILUSTRACJI, RYSUNKÓW, SCHEMATÓW, TABEL**ANIMACJE**

Animacja 1.	Zmiana geometrii dwóch paneli.....	5-65
Animacja 2.	Zmiana geometrii grupy paneli.....	5-65
Animacja 3.	Rozchylanie czułekóv	5-65

FOTOFRAFIE

Fotografia 1.	Adaptive Bloom	12
Fotografia 2.	Adaptive Fa[Ca]De.....	15
Fotografia 3.	Sensitive Surface.....	16
Fotografia 4.	Hexi Responsive Wall.....	17
Fotografia 5.	HygroSkin-Meteorosensitive Pavilion.....	18
Fotografia 6.	Responsive Kinematics.....	19
Fotografia 7.	TESSEL Kinetic Sound Installation.....	20
Fotografia 8.	Resonant chamber.....	21
Fotografia 9.	Translated geometries.....	22
Fotografia 10.	Responsive materiality for morphing architectural skins.....	23
Fotografia 11.	Instytut Świata Arabskiego.....	24
Fotografia 12.	Al Bahar Tower.....	25
Fotografia 13.	One Ocean, Thematic Pavilion EXPO 2012 r.....	26
Fotografia 14.	Komórki czuciowe zlokalizowane na spodniej stronie głowy Mecynorhina polyphemus.....	30
Fotografia 15.	Komórki czuciowe zlokalizowane na spodniej stronie głowy Mecynorhina polyphemus.....	30
Fotografia 16.	Głowa i czółki Melolontha melolontha.....	31
Fotografia 17.	Czujnik wilgotności.....	32
Fotografia 18.	Czujnik ciśnienia.....	32
Fotografia 19.	Czujnik dźwięku.....	32
Fotografia 20.	Czujnik gestów.....	32
Fotografia 21.	Arduino Mini.....	33
Fotografia 22.	Arduino Pro Micro.....	33
Fotografia 23.	Silnik krokowy.....	33
Fotografia 24.	Siłownik pneumatyczny.....	33

Fotografia 25.	Siłownik elektromagnetyczny.....	33
Fotografia 26.	V Etap, elektroniczny układ sterujący.....	45
Fotografia 27.	VI Etap, budowa absorberów i reflektora.....	46
Fotografia 28.	Zdjęcie mechanizmu w stanie zamkniętym.....	52
Fotografia 29.	Zdjęcie mechanizmu w stanie otwartym.....	52
Fotografia 30.	Zdjęcie panelu w stanie zamkniętym.....	53
Fotografia 30.	Zdjęcie panelu w stanie otwartym.....	53

ILUSTRACJE

Ilustracja 1.	Wizualizacja czułek: zamkniętych, otwartych.....	35
Ilustracja 2.	Absorber.....	38
Ilustracja 3.	Reflektor.....	38
Ilustracja 4.	Dyfuzor.....	38
Ilustracja 5.	I Etap, model schematyczny doświadczalny zamknięty, otwarty.....	41
Ilustracja 6.	II Etap, dwuwymiarowy, kinetyczny model doświadczalny zamknięty, otwarty.....	42
Ilustracja 7.	III Etap, model 3D doświadczalny zamknięty, otwarty.....	43
Ilustracja 8.	IV Etap, model doświadczalny zamknięty, otwarty oraz wsporniki absorberów.....	44

RYSUNKI

Rysunek 1.	Rysunek elementów panelu adaptacyjnego.....	49
Rysunek 2.	Rysunek perspektywiczny budowy panelu adaptacyjnego.....	50
Rysunek 3.	Rysunki otwartego, zamkniętego panelu adaptacyjnego.....	51

SCHEMATY

Schemat 1.	Schemat badawczy.....	28
Schemat 2.	Schemat działania mechanizmu odruchowego.....	35
Schemat 3.	Syntetyczny schemat mechanizmu adaptacyjnego.....	36
Schemat 4.	Schemat działania ustrojów akustycznych.....	38
Schemat 5.	Schemat ideowy panelu adaptacyjnego.....	39
Schemat 6.	Schemat działania systemu adaptacyjnego.....	47
Schemat 7.	Schemat układu elektronicznego.....	48

TABELE

Tabela 1.	Zestawienie wybranych elementów: systemu nerwowego chrząszczy z rodziny Scarabaeoidae oraz elementów adaptacyjnego systemu architektonicznego.....	34
-----------	--	----

SUMMARY

The main subject of the thesis is adaptive architecture, what value it adds, and in what way it may fulfil new functions. The thesis presents the origin, development and the current state of knowledge of adaptive architecture. It discusses the influence of development of CAD methods, parametric design and digital fabrication, and describes how it has changed the approach to architecture. Then, the subject and the range of the research underwent analysis, followed by an array of examples of past and current investigations undertaken both in academic institutions and by independent architects, designers, creators and artists. The thesis presents and discusses a range of innovative buildings that are compatible with the trend in adaptive architecture. The main subject of the thesis is a design and realization of an adaptive architectural panel of variable geometry that is capable of controlling selected properties of an architectural space if selected stimuli are initiated.

Investigations presented in the thesis were carried out in compliance with bionic rules. Selected elements and processes of the nervous system of beetles of the family Scarabaeoidae were analysed and interpreted. Next, comparative analysis of selected elements used in construction of adaptive architectural systems was carried out. Observations that followed served as a basis for a diagram which inspired creation of a new adaptive mechanism. The range and method of the impact of the designed panel were determined. The thesis discusses all stages of the investigations into the development of the experimental model. Results and conclusions were fundamental to the design of the adaptive panel. By means of 3D printing and a CNC laser, it was possible to create a fully functional prototype. The adaptive panel was equipped with a stepper motor with epicyclic gearing. Steering the engine is facilitated by an ARDUINO module on the basis of information from a sound sensor. Operation of the whole system is based on a programme written in C++ language.