



POMOCE DYDAKTYCZNE PRZEZNACZONE DO PRACY Z DZIEĆMI Z DYSFUNKCJAMI ROZWOJOWYMI



AKADEMIA SZTUK PIĘKNYCH
IM. EUGENIUSZA GEPPERTA
WE WROCŁAWIU

Pomoce dydaktyczne przeznaczone do pracy z dziećmi z dysfunkcjami rozwojowymi

Rozprawa doktorska w dziedzinie sztuki,
w dyscyplinie sztuki plastyczne i konserwacja dzieł sztuki

mgr Robert Szwarczyński

Promotor: prof. dr hab. Piotr Jędrzejewski

Wrocław 2022

*Design to zabawne słowo. Pewni ludzie myślą, że oznacza ono wygląd.
Jednak, jeżeli spojrzysz głębiej, to naprawdę chodzi o to, jak to działa.*

Steve Jobs

Spis treści

Wstęp	7		
1 UKŁAD NERWOWY	13		
1.1 Funkcje i budowa układu nerwowego	13		
1.2 Przenoszenie informacji	13		
1.3 Podział układu nerwowego	14		
1.4 Ośrodkowy układ nerwowy	14		
1.4.1 Ewolucja OUN	15		
1.4.2 Wybrane struktury OUN	15		
1.4.3 Układ siatkowaty	17		
1.4.4 Układ limbiczny.	17		
1.4.5 Mózg jako maszyna	19		
1.5 Obwodowy układ nerwowy	20		
1.5.1 Budowa i rola PNS	20		
1.5.2 Odruchy	20		
2 ZMYŚLY	25		
2.1 Percepcja a zmysły	25		
2.2 Bodźce i receptory	25		
2.2.1 Rodzaje bodźców	26		
2.2.2 Intensywność bodźców	26		
2.2.3 Rodzaje receptorów	27		
2.2.4 Właściwości receptorów	28		
2.3 Wzrok	29		
2.3.1 Wzrok a aparat fotograficzny	29		
2.3.2 Oko	30		
2.3.3 Widzenie barw	31		
2.3.4 Postrzeganie ruchu	32		
2.3.5 Postrzeganie kształtów	32		
2.3.6 Postrzeganie odległości	32		
2.4 Dotyk	33		
		2.4.1 Znaczenie dotyku	33
		2.4.2 Czucie skórne	33
		2.4.3 Czucie termiczne	33
		2.5 Propriocepcja	34
		2.5.1 Bodźce proprioceptywne	34
		2.5.2 Czucie głębokie	34
		2.6 Równowaga	35
		2.6.1 Równowaga statyczna i dynamiczna	35
		2.6.2 Układ przedsionkowy	35
		2.7 Słuch	35
		2.7.1 Fale dźwiękowe	35
		2.7.2 Ucho	36
		2.7.3 Zakresy słyszalności	36
		2.7.4 Głośność i wysokość dźwięków	37
		2.7.5 Postrzeganie dźwięków	37
		2.8 Węch	37
		2.9 Smak	38
		3 INTEGRACJA SENSORYCZNA	41
		3.1 Geneza teorii integracji sensorycznej	41
		3.2 Definicja i założenia integracji sensorycznej	41
		3.3 Poziomy integracji sensorycznej	42
		3.4 Rozwój Integracji sensorycznej u dzieci	43
		3.5 Zaburzenia przetwarzania sensorycznego	45
		3.5.1 Zaburzenia modulacji sensorycznej	46
		3.5.2 Zaburzenia dyskryminacji sensorycznej	48
		3.5.3 Zaburzenia motoryczne o podłożu sensorycznym	48
		3.6 Terapia integracji sensorycznej	49
		3.6.1 Charakterystyka terapii integracji sensorycznej	49
		3.6.2 Ćwiczenia i zabawy w terapii integracji sensorycznej	50
		3.6.3 Sprzęt rehabilitacyjny w terapii integracji sensorycznej	53
		3.7 Zabawa	54

3.7.1	Zabawa jako wspólny obszar działań projektowych	54	4.6.2	Makietowanie	87
3.7.2	Charakterystyka zabawy	54	4.6.3	Dmuchawa nr 1	88
4	PROCES PROJEKTOWY	59	4.6.4	Dmuchawa nr 2	90
4.1	Struktura procesu projektowania	59	4.6.5	Dmuchawa nr 3	92
4.1.1	Etapy	59	4.6.6	Dmuchawa nr 4	94
4.1.2	Problem projektowy	59	4.6.7	Dmuchawa nr 5	96
4.1.3	Cel projektowy	59	4.6.8	Dmuchawa nr 6	98
4.1.4	Grupa docelowa	60	4.6.9	Dmuchawa nr 7	100
4.1.5	Pomysł	60	4.6.10	Dmuchawa nr 8	102
4.1.6	Założenia projektowe	62	4.6.11	Dmuchawa nr 9	104
4.1.7	Projektowanie uniwersalne	63	4.6.12	Osprzęt do dmuchaw	106
4.2	Lewitacja piłeczki	65	4.7	Stanowisko badawcze	118
4.2.1	Prawo Bernoullego	65	4.7.1	Geneza i konstrukcja	118
4.2.2	Efekt Coandy	66	4.7.2	Pomiar wysokości lewitacji	120
4.3	Wentylatory	67	4.7.3	Testowanie nasadek na dysze	124
4.3.1	Definicje i podstawowe wielkości.	67	4.7.4	Pomiar ciśnienia i mocy	125
4.3.2	Rodzaje wentylatorów	68	4.7.5	Pomiary akustyczne	126
4.3.3	Charakterystyka wentylatora	70	4.8	Warsztaty	129
4.3.4	Punkt pracy wentylatora	72	5	WNIOSKI	132
4.4	Inspiracje projektowe	73	5.1.1	Obszar makietowania i konstrukcji dmuchaw	132
4.4.1	Zabawki	73	5.1.2	Obszar metrologii	133
4.4.2	Maszyny wystawowe	74	5.1.3	Obszar warsztatów	134
4.4.3	Pomoce naukowe	75	6	PODSUMOWANIE	135
4.5	Produkty z wentylatorami w kontekście modeli badawczych	76		Bibliografia	137
4.5.1	Przenośne odkurzacze akumulatorowe	77		Spis ilustracji	140
4.5.2	Przenośne odkurzacze zasilane napięciem 230 V	78			
4.5.3	Suszarki do włosów	79			
4.5.4	Wentylatory stosowane w sprzęcie komputerowym	80			
4.5.5	Produkty marki Dyson	81			
4.6	Modele badawcze	86			
4.6.1	Koncepcja	86			

Wstęp

Zaburzenia przetwarzania sensorycznego to obecnie coraz większy problem dzieci w różnym wieku, w różnych krajach, niezależnie od koloru ich skóry i zajmowanej przez ich rodziców pozycji społeczno-ekonomicznej. Występują w mniejszym stopniu jako zaburzenie samostne, częściej jako zaburzenia współtowarzyszące innym formom niepełnosprawności, takim spektrum autyzmu, zespół Downa czy mózgowie porażenie dziecięce.

Przy tego typu zaburzeniach rozwojowych stosuje się w terapii integracji sensorycznej różnego rodzaju urządzenia i przyrządy, które dają dziecku dużą szansę na powrót do normalnego, pełnego radości życia, zarówno w środowisku szkolnym, jak i domowym.

Przedmiot badań

Problematyka rozprawy dotyczy pracy z dziećmi z zaburzeniami przetwarzania sensorycznego z wykorzystaniem terapii integracji sensorycznej i obejmuje proces projektowania pomocy dydaktycznych, które mogą mieć szerokie zastosowanie zarówno w procesie rehabilitacyjnym jak i w procesie nauczania.

Problem badawczy

W szerokiej ofercie sprzętów i urządzeń stosowanych w terapii integracji sensorycznej brakuje produktów, które mogą pełnić rolę zarówno rehabilitacyjną jak i dydaktyczną wspierającą proces nauczania. Najczęściej możemy spotkać sprzęt, który wykorzystując elementy zabawy dostarcza odpowiednich bodźców sensorycznych zwiększających szanse na pojawienie się prawidłowych odpowiedzi adaptacyjnych wymaganych w skutecznej terapii integracji sensorycznej.

Obszar badawczy

Badania obejmują obszar psychologiczno-behawioralny dziecka z dysfunkcją, jak i obszar projektowo-konstrukcyjnym związanym z koncepcją pomocy dydaktycznych przeznaczonych do pracy z dziećmi z zaburzeniami przetwarzania sensorycznego.

Cel pracy

Głównym celem pracy była próba stworzenia pomocy dydaktycznych (w postaci modeli badawczych), które można byłoby efektywnie wykorzystać w pracy z dziećmi z zaburzeniami przetwarzania sensorycznego w terapii integracji sensorycznej. Mogłyby one znaleźć zastosowanie zarówno w czasie pracy indywidualnej z jednym dzieckiem, jak również podczas zajęć grupowych.

Zaprojektowane obiekty z założenia mają mieć podwójne zastosowanie: mogą być zarówno środkiem pomocniczym stosowanym w terapii integracji sensorycznej, jak i środkiem dydaktycznym wykorzystywanym w procesie nauczania dzieci z zaburzeniami integracji sensorycznej z zakresu wybranej dziedziny fizyki. Proces terapii i proces dydaktyczny może odbywać się równolegle lub w sposób od siebie niezależny.

Celem pomocniczym jest powstanie takiego projektu, który uwzględni pracę z dziećmi w grupach integracyjnych i daje również możliwość pracy z dziećmi bez dysfunkcji rozwojowych.

Celem autora nie było zaprojektowanie produktu wzorniczego nadającego się do produkcji seryjnej. Nie mniej jednak, w przypadku projektowania produktu przeznaczonego dla masowego odbiorcy, powstałe obiekty będą stanowić bardzo istotny etap prac badawczych.

Z oczywistych względów, powstałe w końcowym etapie pracy modele badawcze musiały charakteryzować się określoną „fizycznością” i musiały spełniać konkretne parametry techniczne umożliwiające bezpieczną pracę z dziećmi. Bez spełnienia tych dwóch warunków nie byłoby możliwości przeprowadzenia wstępnych testów modeli badawczych w grupie docelowej i weryfikacji hipotezy badawczej.

Hipoteza badawcza

Wykorzystując proste formy i oszczędne środki wyrazu, za pomocą dobrze przemyślanych działań projektowych można stworzyć produkt, który w pełni zaspokoi potrzeby odbiorcy i będzie konkurencyjny w stosunku do istniejących rozwiązań dostępnych na rynku.

Definicje

W rozprawie doktorskiej termin „pomoce dydaktyczne” określa obiekty, które są wykorzystywane do pracy z dziećmi w procesie nauczania. Taka definicja pokrywa się z potocznym użyciem tego sformułowania. W słowniku PWN „pomoc” oznacza „przedmiot ułatwiający wykonywanie jakichś czynności”¹. „Dydaktyka” określana jest jako „dział pedagogiki zajmujący się metodami nauczania i uczenia się”². Węższe znaczenie tego pojęcia występuje w dydaktyce. Tam „pomoce dydaktyczne” w jednej z metod klasyfikacji, są jedną z czterech kategorii środków dydaktycznych³.

Integrację sensoryczną definiujemy jako proces, który odbywa się w mózgu poza naszą świadomością, którego celem jest uporządko-

wanie informacji dostarczanych przez zmysły. Za pomocą selekcji informacji określa znaczenie tego, czego doświadczamy zapewniając nam odpowiednie reakcje adaptacyjne potrzebne do prawidłowej komunikacji społecznej⁴.

Zastosowane metody badawcze

- Metoda analizy i konstrukcji logicznej
Wykorzystywana w całej pracy
- Metoda analizy i krytyki piśmiennictwa
Wykorzystywana w całej pracy
- Metoda heurystyczna
Wykorzystywana przy projektowaniu obiektów
- Metoda obserwacyjna
Wykorzystywana przy projektowaniu i testowaniu obiektów
- Metoda eksperymentalna
Wykorzystywana przy projektowaniu i testowaniu obiektów
- Metoda koncepcyjna
Wykorzystywana przy projektowaniu obiektów
- Metoda makietowania i modelowania
Wykorzystywana przy projektowaniu obiektów

¹ *pomoc - definicja, synonimy, przykłady użycia*, <https://sjp.pwn.pl/szukaj/pomoc.html>, [dostęp: 7.09.2021].

² *dydaktyka - definicja, synonimy, przykłady użycia*, <https://sjp.pwn.pl/szukaj/dydaktyka.html>, [dostęp: 7.09.2021].

³ P. Ziółkowski, *Teoretyczne podstawy kształcenia*, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Gospodarki, Bydgoszcz 2015, s. 74.

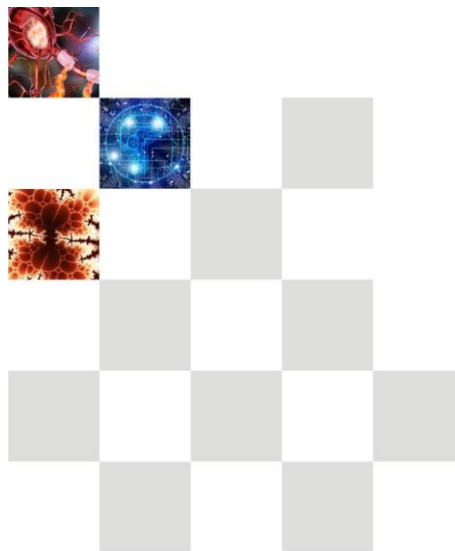
⁴ A.J. Ayres, *Dziecko a integracja sensoryczna*, Harmonia Universalis, Gdańsk 2018, 3. wyd., s. 21.

Wykorzystane narzędzia badawcze

- Wykonane specjalnie do celów badawczych stanowisko pomiarowe
Wykorzystywane przy testowaniu obiektów badawczych
- Zasilacz laboratoryjny Kungber SPPS S3010
Wykorzystywany przy konstruowaniu i testowaniu obiektów badawczych
- Zasilacz WT4800750
Wykorzystywany przy konstruowaniu i testowaniu dmuchawy nr 5
- Watomierz PAGETTRADING MODEL No 9149
Wykorzystywany przy testowaniu obiektów badawczych
- Multimetr AVIDSEN 850B
Wykorzystywany przy konstruowaniu i testowaniu obiektów badawczych
- Multimetr DPD DT9205A
Wykorzystywany przy konstruowaniu i testowaniu obiektów badawczych
- Mini Sound Meter UNI-T UT353
Wykorzystywany przy testowaniu obiektów badawczych
- Mini Anemometer UNI-T UT363
Wykorzystywany przy testowaniu obiektów badawczych
- Pirometr cyfrowy UNI-T UT300A+
Wykorzystywany przy testowaniu obiektów badawczych
- Cyfrowy manometr różnicowy Benetech GM510
Wykorzystywany przy testowaniu obiektów badawczych
- Mikrofon zewnętrzny Platinet PMLLCB
Wykorzystywany przy testowaniu obiektów badawczych
- Waga jubilerska MH-Series Pocket Scala MH-300
Wykorzystywana przy konstruowaniu i testowaniu obiektów badawczych
- Waga Esperanza EKS002

Wykorzystywana przy konstruowaniu i testowaniu obiektów badawczych

- Program Audacity z zainstalowaną wtyczką SpectrumAnalyzer SIR AudioTools
Wykorzystywana przy testowaniu obiektów badawczych
- Aplikacja na androida Spectroid
Wykorzystywana przy testowaniu obiektów badawczych
- Aplikacja na androida Advanced Spectrum Analyzer PRO
Wykorzystywana przy testowaniu obiektów badawczych
- Aplikacja na androida Audizr
Wykorzystywana przy testowaniu obiektów badawczych
- Aplikacja na androida PitchedTuner
Wykorzystywana przy testowaniu obiektów badawczych
- Aplikacja na androida Frequency Sound Generator
Wykorzystywana przy testowaniu obiektów badawczych
- Narzędzia ręczne i elektryczne przeznaczone do pracy w drewnie, tworzywie sztucznym i metalu
Wykorzystywane przy konstruowaniu i testowaniu obiektów



UKŁAD NERWOWY

1 UKŁAD NERWOWY

1.1 Funkcje i budowa układu nerwowego

Układ nerwowy u człowieka pełni dwie istotne role: zbiera informacje ze środowiska zewnętrznego i wewnętrznego oraz kieruje czynnościami narządów tak, by zachować równowagę wewnętrzną. Jest również miejscem, gdzie kształtuje się poczucie naszej świadomości.

Tkanka nerwowa zbudowana jest z dwóch rodzajów komórek: komórek nerwowych (neuronów) i komórek glijowych. Nazwa neuron została po raz pierwszy użyta w 1891 roku. przez niemieckiego anatoma H. Waldeyera. Człowiek ma około 150 miliardów neuronów. Po osiągnięciu dojrzałości nie obserwujemy wzrostu ich liczby, ponieważ nie mają zdolności podziału. Może się tylko z biegiem czasu zmniejszać ich ilość, i tak człowiekowi po osiągnięciu 40-tego roku życia codziennie ubywa 100000 komórek nerwowych. Neurony mogą mieć różny kształt i różną wielkość (od 4 do 150 mikronów). Mają dwa rodzaje wypustek – dendryty, które wprowadzają impulsy bioelektryczne do ciała komórki oraz neuryty zwane również aksonami, które wyprawdają informacje na zewnątrz (np. do innych neuronów). Oznacza to, że przepływ impulsów bioelektrycznych w konkretnej wypustce zawsze następuje w jednym kierunku. Liczba dendrytów w neuronie może być dowolna, ale przeważnie akson jest tylko jeden. Aksony w większości przypadków są dłuższe od dendrytów. Ich długość dochodzi do ponad jednego metra. Jeżeli jakiś neuron ulegnie uszkodzeniu nie ma możliwości jego regeneracji.

W związku z wysoką specjalizacją neuronów potrzebne są komórki, które zapewnią im funkcje odżywcze, oczyszczające z resztek znisz-

czonej tkanki oraz funkcje podporowe i izolujące. Taką rolę spełniają komórki glijowe⁵.

Ze względu na pełnione funkcje możemy wyodrębnić trzy rodzaje neuronów: Neurony czuciowe reagujące na bodźce fizyczne. Neurony ruchowe, które tworzą synapsy na mięśniach szkieletowych Interneurony, które pośredniczą w komunikacji między innymi neuronami⁶.

1.2 Przenoszenie informacji

Jedną z głównych cech neuronów jest przewodnictwo i pobudliwość. Pod wpływem odpowiednio silnego bodźca (tzw. bodźca progowego) dochodzi do depolaryzacji błony komórkowej neuronu i pojawia się potencjał czynnościowy. Rozprzestrzenianie się takiego potencjału z jednoczesną depolaryzacją przylegających elementów nazywamy impulsem nerwowym.

Przekazywanie informacji między komórkami nerwowymi lub między neuronem a narządem wykonawczym odbywa się za pomocą połączeń synaptycznych na drodze transmisji synaptycznej. Synapsa to miejsce połączenia dwóch neuronów lub neuronu z komórką mięśniową lub gruczołem. Synapsy mogą być dwojakiego rodzaju: elektryczne lub chemiczne. W synapsach elektrycznych akson z dendrytem leżą tak bardzo blisko siebie, że przekazywanie impulsu następuje bez opóźnień na drodze ciągłości elektrycznej. W synapsach chemicznych komunikacja między neuronami następuje dzięki neuroprzekaznikom (mediatorom lub neurotransmiterom). W uproszczeniu – impuls elektryczny wyzwala impuls chemiczny, który zamienia się na końcu w impuls elektryczny. Taka droga przekazywania sygnału co prawda opóźnia przenoszenie informacji, ale dzięki wydzielaniu się różnych

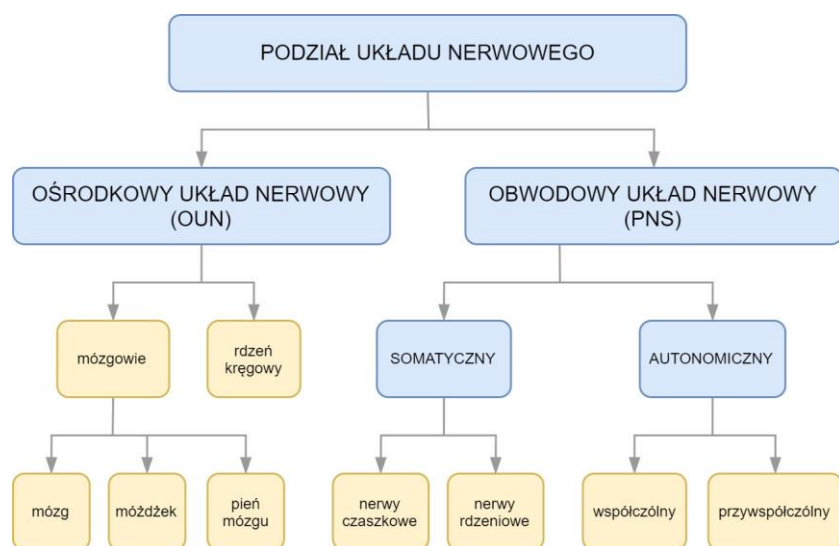
⁵ B.K. Gołąb, *Anatomia czynnościowa ośrodkowego układu nerwowego*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2004, 5. wyd., s. 14–26.

⁶ F. Dubert et al., *Biologia na czasie 2*, Nowa Era, Warszawa 2017, 2. wyd., s. 238.

neuroprzekaźników, zarówno pobudzających (np. adrenalina, dopamina), jak i hamujących (np. glicyna) wyróżnia się tym, że działa bardzo wybiórczo i precyzyjnie⁷.

1.3 Podział układu nerwowego

Działanie układu nerwowego jest zawsze całościowe, ale ze względu na pełnione funkcje możemy go w sposób uproszczony podzielić na pewne charakterystyczne elementy. Ośrodkowy układ nerwowy (OUN) odbiera informacje czuciowe, przetwarza je i daje odpowiedź do efektorów (narządów wykonawczych organizmu: mięśni, gruczołów). Obwodowy układ nerwowy (PSM) jest natomiast pośrednikiem.

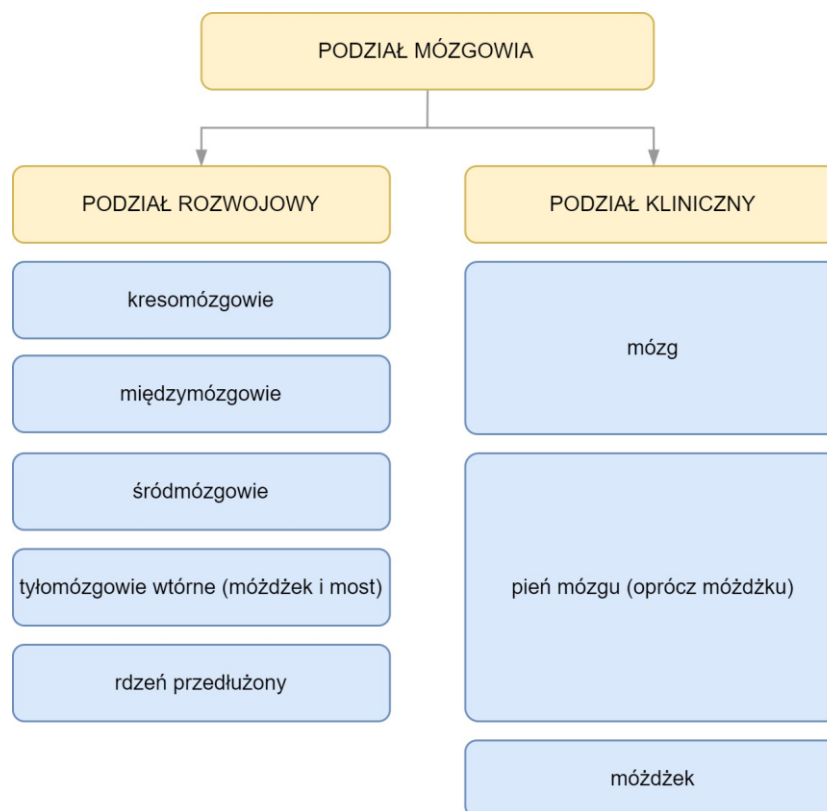


Zdj. 1. Podział układu nerwowego.

⁷ Ibid., s. 232–237.

1.4 Ośrodkowy układ nerwowy

W skład OUN wchodzi mózgowie oraz rdzeń kręgowy. W języku polskim pojęcie słowa „mózg” w potocznym tego słowa znaczeniu nie pokrywa się z takim samym określeniem w neuroanatomii. U klinicystów mózg jest tylko jednym z elementów mózgowia⁸.



Zdj. 2. Podział mózgowia w ujęciu rozwojowym i klinicznym.

⁸ J.W. Kalat, *Biologiczne podstawy psychologii*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006, s. 80.

1.4.1 Ewolucja OUN

Praprzodek naszego mózgu pojawił się na ziemi u zwierząt żyjących w środowisku wodnym około 500 milionów lat temu. Składał się z kilkuset prymitywnych neuronów. W trakcie ewolucji trwającej miliony lat mózgowia morskich stworzeń, które w którymś momencie wyszły na ląd stawały się coraz bardziej skomplikowane. Około 250 milionów lat temu zwierzęta ziemnowodne miały już mózgi określane jako „gadzie”, które do dzisiaj stanowią trzon, pewien punkt odniesienia do budowy współczesnych mózgów gadów i ssaków. Gdy przyjrzymy się bliżej teorii z lat sześćdziesiątych „trójjedynego mózgu” neurobiologa Paula MacLeana, to na samym dole mózgu znajduje się najstarsza jego część, która pochodzi od gadów. Składa się ona z mózdzku i pnia. Kontroluje m. in. pracę serca, oddech, temperaturę. Działa automatycznie, poza naszą świadomością. Trochę wyżej w hierarchii jest układ limbiczny, który swój rozwój zawdzięcza ssakom – pewne obszary śródmózgowia, międzymózgowia i kresomózgowia, które sterują naszym życiem emocjonalnym, zachowaniami seksualnymi czy pamięcią długotrwałą i kształtują naszą osobowość. Na samej górze tej drabiny jest kora mózgowa, szczególnie rozbudowana u człowieka, swoiste centrum dowodzenia zarządzające naszą świadomością i tym co nas wyróżnia w świecie zwierząt – planowaniem przyszłości. Jest rzeczą oczywistą, że człowiek nie ma trzech mózgów tylko jeden. Mamy pewne obszary, struktury mózgowe pochodzące od wspólnego przodka, ulepszone i uzupełnione na drodze ewolucji⁹.

1.4.2 Wybrane struktury OUN

Rdzeń kręgowy umiejscowiony jest wewnątrz kręgosłupa. Ma budowę segmentową i nieco spłaszczony kształt. Do jego segmentów przyłączone są zarówno nerwy czuciowe jak ruchowe. Te pierwsze

przenoszą informacje do mózgowia, zaś te drugie od mózgowia do narządów wykonawczych. Rdzeń kręgowy bierze udział przy powstawaniu odruchów bezwarunkowych. Jego długość wynosi ok. 45 cm. Rdzeń przedłużony jest pomostem pomiędzy rdzeniem kręgowym a mózgowiem (jest częścią mózgowia). Przekazuje dwukierunkowo wszelkie informacje między rdzeniem kręgowym a mózgiem. Jest miejscem, gdzie steruje się czynnościami odruchowymi takimi jak: wydzielanie śliny, ssanie, kichanie, połykanie czy wymioty. Reguluje również pracę serca, ciśnienie krwi i oddech¹⁰.

Mózdzek występuje u wszystkich kręgowców. Znajduje się na dole mózgu i łączy się bezpośrednio z rdzeniem kręgowym. Nazywany jest często „małym mózgiem” ponieważ jego średnica jest tylko trochę większa od średnicy piłeczki golfowej i podobnie jak mózg ma dwie półkule. Chociaż ma tylko 10% objętości mózgu, to tworzy go aż 69 miliardów neuronów (kora mózgu ma 20 miliardów komórek nerwowych). U ludzi pełni rolę nie tylko koordynacji motorycznej i regulatora napięcia mięśniowego, ale bierze również udział w procesach kognitywnych (poznawczych).

Most to element pnia mózgu. Spaja różne obszary. Wspomaga działanie takich zmysłów jak równowaga, smak, słuch, dotyk i uczestniczy w procesie snu (w fazie REM).

Śródmózgowie również wchodzi w skład pnia mózgu. Są tu ośrodki, które zarządzają reakcjami bólowymi, słuchowymi, wzrokowymi i czuwaniem. Odpowiadają np. za ruchy powiek, zmianę średnicy źrenic czy ruch głowy w kierunku źródła dźwięku.

⁹ M. Magrini, *Mózg, podręcznik użytkownika*, Wydawnictwo JK, Łódź 2019, s. 52–53.

¹⁰ F. Dubert et al., *Biologia na czasie 2...*, op. cit., s. 246–247.

Międzymózgowie mieści się pod półkulami kresomózgowia. Składa się m. in. z podwzgórza i wzgórza¹¹.

Kresomózgowie to główna i najbardziej rozwinięta część naszego mózgu. Tworzą ją dwie półkule, których zewnętrzna warstwa zbudowana z istoty szarej (neurony, komórki glejowe i naczynia włosowate) nosi nazwę **kory mózgowej**. Jej waga wynosi około 90% wagi naszego całego mózgu. Półkule łączą się i komunikują się ze sobą za pomocą wiązki włókien nerwowych – **ciała modzelowatego**. W celu wykorzystania dostępnej objętości czaszki, w drodze ewolucji na powierzchni kory powstały liczne fałdy, które porozdzielane są wgłębieniami zwanymi bruzdami. Taka budowa umożliwiła uzyskanie powierzchni kory rzędu dwóch metrów kwadratowych. Wypukłe fragmenty kory noszą nazwę zwojów. Największe bruzdy dzielą każdą półkulę na cztery parzyste płaty, których nazwy pochodzą od nazw kości czaszki. Wyróżniamy płat czołowy, skroniowy, ciemieniowy, potyliczny. Półkule mózgowe anatomicznie niewiele się od siebie różnią, jednak pod względem funkcjonalnym występują zasadnicze różnice. W miarę dorastania u małego dziecka pojawia się podział kompetencji i dominacja jednej z półkul. Proces ten w neurobiologii nazywamy **lateralizacją**. Należy pamiętać, że pomimo pełnienia przez półkule różnych funkcji mózg działa zawsze jako całość i np. po chirurgicznym usunięciu jednej z półkul możliwe jest w miarę normalne życie. Zawdzięczmy to **neuroplastyczności**, czyli zdolności mózgu do zmiany funkcjonowania wynikającej z reakcji na zmieniające się warunki środowiskowe¹².

Płat czołowy składa się z kory przedczołowej oraz z kory ruchowej. Kora przedczołowa u większości naczelnych stanowi o wiele większą część mózgowia niż u innych gatunków. Niektóre ssaki w ogóle jej nie

posiadają. U człowieka płaty czołowe osiągają pełną dojrzałość w 25-30 roku życia. Kora przedczołowa ma połączenia ze wszystkimi korowymi ośrodkami czuciowymi i jest w stanie przetwarzać i integrować olbrzymi zakres informacji. Pełni rolę centrum sterowania logicznym myśleniem, zachowaniem oraz stanami emocjonalnymi. To tutaj powstaje pojęcie empatii i kojarzenie faktów. Kora ruchowa sprawuje nadzór nad złożonymi ruchami podlegającymi naszej woli np. pisaniem na klawiaturze, grą na fortepianie.

Płat skroniowy znajduje się w okolicy skroni na wysokości uszu w bocznej strefie półkul mózgowych. Dzięki znajdującej się tu pierwszorzędowej korze słuchowej połączonej z obszarami wtórnymi odpowiada m.in. za interpretację słów i dźwięków. W płacie skroniowym ma swoje miejsce pole Wernickiego, które umożliwia nam zrozumienie języka mówionego i pisanego. Na podstawie badań stwierdzono, że uszkodzenie tego płata powoduje, że wypowiedane przez człowieka słowa są pozbawione sensu. Płat skroniowy bierze też udział w procesie widzenia przydzielając postrzeganym przedmiotom i twarzom odpowiednie nazwy. Ma też swój wkład przy powstawaniu długoterminowej pamięci deklaratywnej.

Płat ciemieniowy umiejscowiony jest na samej górze głowy tuż za bruzdą środkową, która stanowi granicę z płatem potylicznym. Wchodząca w jego strukturę pierwszorzędowa kora somatosensoryczna jest ośrodkiem w którym koncentrują się informacje z receptorów dotykowych, temperaturowych, bólowych oraz informacje z receptorów napięcia mięśni i ścięgien. Dodatkowo informacje te są zwizualizowane w układzie przestrzennym, który pozwala precyzyjnie określić miejsce wysyłania sygnału. Płat ciemieniowy przetwarza również informacje związane z pozycją naszego ciała na podstawie informacji wzrokowych i słuchowych. Pełni więc rolę kory asocjacyjnej, która

¹¹ M. Magrini, *Mózg, podręcznik użytkownika...*, op. cit., s. 56–59.

¹² Ibid., s. 68–72.

spaja wszystkie informacje zmysłowe z układem motorycznym. Bierze też udział w interpretacji języka symbolicznego.

Płat potyliczny znajduje się w tylnej części kory i odpowiada za wzrok. Nie tylko zajmuje się odbieraniem informacji z receptorów wzrokowych, ale również potrafi je odpowiednio interpretować. Najpierw impulsy z receptorów trafiają do pierwszorzędowej kory wzrokowej stanowiącej tylną część płata potylicznego. Później bardziej złożone komórki kory drugorzędowej odpowiednio reagują na kształt, linie, rozmiar, ruch i barwę obiektów. Na samym końcu w czasie rzeczywistym tworzy się w mózgu trójwymiarowy obraz. W płacie potylicznym przekazywane są również informacje wzrokowe do płata ciemieniowego (potrzebne do określania pozycji przestrzennej naszego ciała) i do płata skroniowego celem stworzenia skojarzeń wzrokowych¹³.

1.4.3 Układ siatkowaty

Układ siatkowaty to pojęcie czynnościowe. Przez anatomów układ ten nazywany jest tworem siatkowatym, który ze względu na miejsce gdzie się znajduje i rolę jaką pełni określany jest również jako kora pnia mózgu. Tworzą go skupiska ciał komórek nerwowych (większe ich grupy nazywamy jądrami) oraz znajdujące się między nimi wiązki włókien nerwowych. Z wyglądu przypomina siatkę o charakterystycznej budowie. Zajmuje obszar od pnia mózgu w części międzymózgowia do rdzenia przedłużonego, skąd dalej przechodzi do rdzenia kręgowego¹⁴. Neurony tworzą siatkowego mają bardzo dużo połączeń doprowadzających i odprowadzających, a ich dendryty są słabo rozgałęzione co wyraźnie odróżnia je od innych komórek układu nerwowego. Neurony te mają również długie aksony, które przeważnie posiadają dwa odgałęzienia: wstępujące, które skierowane są do przodomózgowia

oraz zstępujące – skierowane w stronę rdzenia kręgowego i pnia mózgu. W związku z tym możemy mówić o układzie siatkowym wstępującym i układzie siatkowym zstępującym. Zarówno w jednym, jak i drugim przypadku niektóre komórki jąder wykazują charakter pobudzający, a niektóre mają charakter hamujący. Pozwala to wyodrębnić w tych układach część pobudzającą i część hamującą. Układ siatkowy kontroluje aktywność całego ośrodkowego układu nerwowego. Wpływa nie tylko na pracę układu ruchu, ale również na sen i odpoczynek. Potrafi zmienić próg reagowania na bodźce płynące z układu czuciowego i mieć silny wpływ przeciwbólowy. Dzięki właściwościom modulującym (hamowanie lub pobudzanie) pomaga realizować naszemu układowi nerwowemu wszystkie niezbędne czynności według hierarchii ważności.

Układ siatkowy zstępujący kontroluje odruchy obronne i ruchy dowolne, poziom napięcia mięśni szkieletowych, wpływa na postawę naszego ciała. Ma też duży wpływ na system krążenia i oddychania. Wpływając na przewodnictwo bodźców czuciowych potrafi redukować natężenie bólu, zabezpieczając nas w ten sposób przed destabilizacją pracy innych układów. Układ siatkowy wstępujący poprzez oddziaływanie na ośrodki przodomózgowia wpływa na ogólną aktywność układu nerwowego. Kontroluje obszary związane ze stanem czuwania i snu oraz aktywność obszarów związanych z naszą świadomością. Ma bardzo duży wpływ na ilościowy i jakościowy przebieg stanu czuwania (czujność, uwaga, odprężenie), umożliwiając efektywne uczenie się i zapamiętywanie¹⁵.

1.4.4 Układ limbiczny.

Nazywany również układem rąbkowym lub brzeżnym. Na początku uważany był głównie za układ kontrolujący emocje, dlatego też okre-

¹³ Ibid., s. 72–78.

¹⁴ B.K. Gołąb, *Anatomia czynnościowa ośrodkowego układu nerwowego...*, op. cit., s. 252.

¹⁵ H. Dobaczewska, *Anatomia ośrodkowego układu nerwowego*, AM, Warszawa 2002, s. 138–140.

ślano go jako „mózg emocjonalny”. Później okazało się, że jego rola jest znacznie większa. Odpowiada zarówno za uczucie strachu, lęku, szczęścia i smutku, ale również za orientację przestrzenną, pamięć, motywację i procesy związane z nauką. Dzięki niemu odczuwamy również głód, pragnienie, senność. W jego obszarze znajdują się m.in.:

- **Wzgórze** wygląda jak dwa owoce awokado lub owoce orzecha rozłożone symetrycznie w prawej i lewej półkuli połączone włóknem istoty szarej. Dochodzą do niego prawie wszystkie informacje z narządów zmysłów (wyjątek stanowią informacje z narządu węchu, który bezpośrednio kontaktuje się z korą). Wzgórze jest nie tylko jednokierunkowym pośrednikiem pomiędzy układami zmysłowymi a korą mózgową. Odbiera również sygnały zwrotne z obszarów kresomózgowia, które odpowiadają za interpretację informacji ruchowych i czuciowych.
- **Hipokamp** mieści się niedaleko wzgórza, w obrębie płata skroniowego kory. Jego kształt nawiązuje do konika morskiego (w łacinie słowo *hippocampus* oznacza konika morskiego). Jest jedną z najsłabiej poznanych części mózgu. Pierwszym, głównym zadaniem hipokampa jest udział w powstawaniu procesów pamięciowych, a szczególnie w przetwarzaniu pamięci krótkotrwałej w długotrwałą. Odpowiada za pamięć epizodyczną (dotyczącą faktów i zdarzeń), za pamięć semantyczną (związaną z zapamiętywaniem imion, znaczeniem poszczególnych słów). Drugim, równie ważnym zadaniem, jakie spełnia ta skomplikowana struktura jest organizacja orientacji w przestrzeni¹⁶.
- **Ciało migdałowe** razem z podwzgórzem steruje czynnościami i reakcjami obronnymi. Jest specjalistycznym ośrodkiem kierowania strachem. Informacje o zagrożeniu docierają najpierw od narządów zmysłów do podwzgórza, a stamtąd przesyłane są do ciała

migdałowego. Stąd wysyłane są adekwatne do zagrożenia sygnały do narządu ruchu i układu krążenia. W przypadku niebezpieczeństwa ciało migdałowe potrafi np. zablokować ruchy ciała i jednocześnie wysłać informacje do podwzgórza o zwiększeniu produkcji adrenaliny, która podwyższa ciśnienie tętnicze i zwiększa częstotliwość oddechu. Ta obronna reakcja „uciekaj albo walcz” związana z uczuciem strachu jest jedną z niewielu wrodzonych emocji, które przetrwały cały proces ewolucji by zachować przetrwanie gatunku. Ciało migdałowe przyczynia się również do tworzenia wspomnień związanych z zaistniałymi w przeszłości niebezpieczeństwami, które to wspomnienia mogą pomóc w przewidywaniu zagrożeń w przyszłości.

- **Podwzgórze** znajduje się w centralnej części mózgowia. Ma tylko 4 milimetry grubości i waży tylko 4 gramy, a ma do spełnienia bardzo ważne zadanie – zapewnić nam przetrwanie. Osiąga ten cel poprzez równowagę parametrów wewnętrznych organizmu, czyli gwarancje zachowania homeostazy. Nieustannie kieruje naszym dwudziestoczterogodzinnym rytmem i ma duży wpływ na nasze seksualne zachowanie. Steruje również temperaturą naszego ciała. Poprzez uczucia pragnienia i głodu precyzyjnie dawkuje ilości wypitych płynów i spożywanych pokarmów. W związku z tym, że ma połączenia z przysadką mózgową potrafi kontrolować osiem bardzo ważnych dla homeostazy hormonów, które produkuje przysadka mózgową (od hormonu wzrostu do gonadotropiny, której niedobór może prowadzić do niepłodności).
- **Jądra podstawne** to grupa elementów kresomózgowia, międzymózgowia i śródmózgowia. Odpowiadają za niektóre deficyty ruchowe i emocjonalne. Mają również wpływ na zaburzenia pamięci i postrzegania (np. w chorobach Alzheimera i Parkinsona)¹⁷.

¹⁶ M. Magrini, *Mózg, podręcznik użytkownika...*, op. cit., s. 59–64.

¹⁷ Ibid., s. 144–147.

1.4.5 Mózg jako maszyna

Mózg to niezwykle skomplikowany, a przy tym owiany największą tajemnicą produkt trwającej miliony lat ewolucji. Chociaż wiadomo do czego służy, znamy przebieg jego rozwoju na przestrzeni ostatnich 500 milionów lat i potrafimy odczytać kod genetyczny znajdujący się w każdej jego komórce, to jednocześnie nie potrafimy jednoznacznie wyjaśnić dlaczego m.in. mózg potrzebuje snu (funkcjonuje obecnie ponad dwadzieścia różnych teorii na ten temat). Do dziś pojęcie świadomości jest jednym z najbardziej tajemniczych konceptów związanych z pracą ludzkiego mózgu, który od wieków nie tylko zaprzętał umysły wybitnych filozofów i teologów ale jest również w centrum zainteresowania współczesnego świata nauki. Czy działanie mózgu możemy porównać do działania komputera?. Porównanie mózgu do maszyny nie jest dzisiaj czymś wyjątkowym. Już Kartezjusz zestawiał go z pompą hydrauliczną, Zygmunt Freud z silnikiem parowym a w dwudziestym wieku matematyk i kryptolog Alan Turing mówił o nim jak o komputerze. Każda epoka ma własne idee. Mózg nie do końca działa jak komputer, ale ma z nim wiele cech wspólnych. Do przekazywania informacji w obu przypadkach wykorzystywany jest sygnał elektryczny. Mózg korzysta ze zmiennego sygnału analogowego, który w momencie osiągnięcia poziomu progowego uruchamia impuls nerwowy, komputer zaś korzysta z systemu binarnego. Zarówno mózg jak i komputer wykonują obliczenia metodą równoległą. Posiadają pamięć, którą można łatwo rozbudować (w mózgu odbywa się to poprzez zwiększenie liczby połączeń na synapsach np. w wyniku uczenia się). Do swojego działania potrzebują „zasilania” – w komputerze jest to energia elektryczna a w mózgu tlen i glukoza. Komputer do podwojenia swojej mocy obliczeniowej potrzebuje średnio dwa lata. Mózg w ciągu ostatnich 50 tysięcy lat w sensie anatomicznym niewiele się zmienił, ale dzięki neuroplastyczności nie jest statyczny

i doskonale potrafi dopasować się do zmieniających się warunków otaczającej go rzeczywistości¹⁸.

Jeżeli potraktujemy mózg tylko i wyłącznie w kategoriach fizykochemicznych, to możemy określić pewne charakterystyczne parametry, które tworzą jego specyfikację techniczną.

Waga (średnio)	1350	gramów
Proporcje wagi do ciężaru całego ciała	2	procent
Pojemność (średnio)	1700	mililitrów
Długość (średnio)	167	milimetrów
Szerokość (średnio)	140	milimetrów
Wysokość (średnio)	93	milimetry
Średnia liczba neuronów	86	miliardów
Średnica neuronów	4-100	mikrometrów
Potencjał elektryczny neuronów w stanie spoczynku	-70	miliwoltów
Pompy sodowe na neuron	1	milion
Liczba synaps	>150 000	miliardów
Stosunek substancji szarej do białej w korze	1:1,3	
Stosunek liczby neuronów do komórek glejowych	1:1	
Liczba neuronów w korze mózgowej kobiety	19,3	miliarda
Liczba neuronów w korze mózgowej mężczyzny	22,8	miliarda
Utrata neuronów w korze	85 000	dziennie
Całkowita długość włókien mielinowych	150 000	kilometrów
Całkowita powierzchnia kory mózgowej	2500	centymetrów kwadratowych
Liczba synaps kory mózgowej	60 000	miliardów
Warstwy kory mózgowej	6	
Grubość kory mózgowej	1,5 - 4,5	milimetrów
Ilość płynu mózgowo-rdzeniowego	120-160	mililitrów
pH płynu mózgowo-rdzeniowego	7,33	
Liczba nerwów czaszkowych	12	
Przepływ krwi	750	mililitry na sekundę
Zużycie tlenu	3,3	mililitry na minutę
Zużycie energii	>12,6	watów
Maksymalna szybkość przesyłu impulsów elektrycznych	720	kilometrów na godzinę
Temperatura operacyjna	36-38	stopni Celjusza

Zdj. 3. Specyfikacja techniczna mózgu.

¹⁸ Ibid., s. 10–19.

1.5 Obwodowy układ nerwowy

1.5.1 Budowa i rola PNS

Jego zadaniem jest zbieranie informacji ze środowiska zewnętrznego, wymiana informacji pomiędzy receptorami oraz pomiędzy ośrodkowym układem nerwowym a narządami wykonawczymi. PNS tworzy 12 par nerwów czaszkowych, 31 par nerwów rdzeniowych oraz zwoje nerwowe i receptory. Nerwy to pęczki włókien nerwowych (o różnej długości i różnej grubości). Te, które posiadają włókna czuciowe doprowadzają impulsy nerwowe od receptorów umieszczonych w narządach zmysłu, mięśniach, szkieletcie do ośrodkowego układu nerwowego i nazywane są nerwami czuciowymi (aferycznymi). Druga grupa nerwów, to nerwy ruchowe (eferentne). Zawierają włókna ruchowe, które przenoszą informacje z ośrodkowego układu nerwowego do mięśni i gruczołów. Istnieje jeszcze trzecia grupa – nerwy mieszane, które posiadają włókna czuciowe i ruchowe. Zwoje nerwowe to skupiska komórek nerwowych, które znajdują się poza OUN. **Nerwy czaszkowe** zaczynają się w mózgowiu a wychodzą z czaszki u jej podstawy. Wśród nerwów czaszkowych występują nerwy zarówno czuciowe, ruchowe jak i mieszane. **Nerwy rdzeniowe** są nerwami mieszanymi. Łącząc się z rdzeniem kręgowym unerwiają między innymi efektorów i skórę¹⁹.

W PNS możemy dokonać podziału na **Somatyczny układ nerwowy** i **Autonomiczny układ nerwowy**. Somatyczny składa się z 12 par nerwów czaszkowych i 31 par nerwów rdzeniowych. Odpowiada on za odbieranie informacji od receptorów zewnętrznych i kierowanie ruchami świadomymi. Autonomiczny układ nerwowy ściśle współpracując z układem somatycznym odpowiada za homeostazę (proces, który w zmiennych warunkach otoczenia pozwala zachować równowagę

organizmu). W układzie autonomicznym możemy wyróżnić układ współczulny i układ przywspółczulny. Oba te układy działają antagoniście. Przekazują informacje do tych samych organów docelowych, ale odbywa się to za pomocą różnych par nerwów. System współczulny pobudza i mobilizuje organizm w sytuacjach stresowych, umożliwiając np. zwiększone wydatkowanie energii przy wysiłku fizycznym. System przywspółczulny działając odwrotnie hamuje aktywność narządów. Umożliwia więc po ustąpieniu stresujących bodźców powrót niektórych funkcji organizmu do stanu równowagi. W ciągu doby możemy zaobserwować różne aktywności wyżej wymienionych układów. W ciągu dnia większą aktywność przejawia układ współczulny, a w ciągu nocy, w czasie snu układ przywspółczulny (jego aktywność wzrasta również w czasie relaksu i wypoczynku oraz po obfitym posiłku)²⁰.

1.5.2 Odruchy

Jest to szybka reakcja organizmu na bodźce zarówno wewnętrzne jak i zewnętrzne, która przebiega przy udziale ośrodkowego układu nerwowego, często poza naszą świadomością. Odbywa się to wszystko w tzw. łuku odruchowym, czyli drodze po której przebiegają impulsy od receptora do efektor. Na łuk odruchowy składa się pięć elementów: receptor, droga nerwowa czuciowa, ośrodek nerwowy, droga nerwowa ruchowa oraz efektor. Rozróżniamy odruchy proste i odruchy złożone. W tych pierwszych łuk składa się tylko z dwóch neuronów – jednego doprowadzającego bodziec i drugiego odprowadzającego. Taki najprostszy odruch określa się czasem monosynaptycznym, ponieważ w połączeniach receptora i efektor bierze udział tylko jedna synapsa. W odruchu złożonym w obrębie łuku znajdują się co najmniej trzy neurony, ponieważ oprócz neuronu doprowadzającego i odprowadzającego pojawiają się również interneurony (neurony

¹⁹ F. Dubert et al., *Biologia na czasie 2...*, op. cit., s. 249.

²⁰ Ibid., s. 255–257.

wstawkowe). Odruchy złożone określamy jako polisynaptyczne lub wieloneuronowe²¹.

Jeżeli odruch powstaje przy udziale rdzenia kręgowego i ośrodków poza korą mózgu mówimy o **odruchu bezwarunkowym**. Takie proste odruchy są odruchami wrodzonymi (automatycznymi) i odbywają się bez udziału naszej świadomości. Jako przykład mogą posłużyć odruchy, obronne takie jak: wymiotny, wykrztuśny, źrenicowy, skurcz ręki pod wpływem wysokiej temperatury dotykanego przedmiotu czy ukłucia palca. Do odruchu bezwarunkowego zaliczamy też odruch ssania występujący u noworodka wywołany dotknięciem okolic jego ust oraz odruch kolanowy i podeszwowy. Jeżeli w powstanie odruchu zaangażowane są ośrodki kory mózgowej, to mówimy o **odruchu warunkowym**. Taki odruch nie jest dziedziczny, bazuje na odruchu bezwarunkowym i powstaje w wyniku indywidualnych doświadczeń powstałych w życiu człowieka. Jest w pełni świadomy i wykorzystuje procesy kojarzenia. W zależności od czynników zewnętrznych może się utrzymywać lub zanikać. Sztandarowym przykładem jest odruch Pawłowa (nazwa pochodzi od rosyjskiego fizjologa Iwana Pawłowa, który prowadził badania odruchów warunkowych na psach). Na odruchach warunkowych opiera się cały proces uczenia, zdobywania wiedzy, jak również sposób naszego zachowania²².

²¹ B. Sadowski, *Biologiczne mechanizmy zachowania się ludzi i zwierząt*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001, s. 273–274.

²² F. Dubert et al., *Biologia na czasie 2...*, op. cit., s. 251–252.



ZMYSŁY

2 ZMYSŁY

2.1 Percepcja a zmysły

Ilość bodźców działających na człowieka zarówno ze środowiska zewnętrznego jak i z wnętrza ciała jest przeogromna. Część docierających do nas informacji bierze udział w procesach regulacyjnych fizjologicznych (np. zmiana napięcia mięśniowego) i odbywa się to poza naszą świadomością. Duża część działających na nas bodźców jest katalizatorem procesów nerwowych, które w umiejętny sposób szyfrują, integrują i na końcu przechowują docierające informacje w postaci śladu pamięciowego. Wszystkie informacje, zarówno te przechowywane w naszej pamięci, jak i te bieżące, mają bardzo duży wpływ na nasze zachowanie²³.

Bodźce, które docierają do nas ze środowiska zewnętrznego, w sposób bezpośredni wpływają na poziom naszej percepcji. Ale musimy sobie zdawać sprawę z tego, że obraz świata, jaki stworzyliśmy sobie w procesie percepcji, nie jest tylko i wyłącznie sumą wrażeń, jakie dostarczają nam analizatory. Nie jest to jedynie obraz fizycznych zjawisk, które obserwujemy. Jeżeli poddamy analizie osobę mówiącą, to możemy dokładnie określić zakres częstotliwości dźwięków mowy tej osoby, poziom natężenia dźwięku, ale kontekst wypowiedzianych przez nią zdań nie jest już cechą ściśle fizyczną. Zresztą zależnie od sposobu i intonacji przekazywanej informacji interpretacja wiadomości może być bardzo różna. To samo zdanie wypowiedziane przez dwie różne osoby może mieć dla nas dwa różne znaczenia. Wynika to wszystko z bardzo indywidualnego i aktywnego charakteru percepcji. Percepcja wykazuje aktywność już na etapie pozyskiwania bodźców. Oczy, które

²³ B. Sadowski, *Biologiczne mechanizmy zachowania się ludzi i zwierząt...*, op. cit., s. 148.

obserwują przedmiot wykonują szereg uporządkowanych ruchów, by uzyskać więcej informacji zgodnie z naszymi oczekiwaniami. Głowa, która w chwili docierania do niej dźwięków ustawia się tak, by warunki odbioru były najlepsze – to tylko niektóre przykłady na wczesną aktywność naszej percepcji. Informacje jakie odbierane są przez receptory zmysłowe analizowane są przez wyższe ośrodki znajdujące się w naszym mózgu. Ten skomplikowany proces przetwarzania bodźców, zjawisk świata zewnętrznego ma charakter interpretacji, która opiera się nie tylko na odbieraniu informacji, jakie napływają do nas w danej chwili ale również na przewidywaniu i uzupełnianiu tych informacji w oparciu o nasze wcześniejsze doświadczenia. Percepcja jest nieustającym, twórczym procesem w trakcie którego formułujemy hipotezy, które weryfikujemy w miarę napływania nowych informacji. Umożliwia nam z dużym prawdopodobieństwem przewidywać skutki podejmowanych przez nas decyzji. Jest też motorem bardziej złożonych ludzkich działań, których efektem są akty tworzenia różnych dzieł w sferze kultury czy nauki²⁴.

2.2 Bodźce i receptory

Pod wpływem różnych czynników zarówno chemicznych jak i fizycznych nasze żywe komórki mogą zmieniać swój stan czynnościowy. Największą wrażliwość w tym kierunku wykazują wysoko wyspecjalizowane komórki nerwowe, które dodatkowo posiadają zdolność przesyłania tych wybiórczych informacji do innych komórek. Poziom specjalizacji tych narządów odbiorczych jest często jest tak wysoki, że nawet bardzo małe natężenie czynnika powoduje ich reakcję. Takie struktury nerwowe przystosowane do odbierania określonych bodźców ze środowiska zewnętrznego nazywamy **receptorami**. Zmiany środowiska działające na receptory określane są pojęciem **bodźca**.

²⁴ T. Tomaszewski, *Psychologia ogólna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1995, s. 11.

Z biologicznego punktu widzenia określenie bodziec jest traktowane bardzo szeroko. Fizjologia definiuje bodziec jako zmianę środowiska zewnętrznego lub wewnętrznego, która pobudza określony receptor. Dźwięk to bodziec dla narządu słuchu, podobnie jak fala świetlna jest bodźcem dla narządu wzroku. Ale w fizjologii bodźcem może być również prąd elektryczny, który pobudza zakończenie nerwu w żywej tkance. Niekiedy czynnik wywołujący bodziec (chemiczny lub fizyczny) może działać tylko na określony gatunek zwierząt. Przykładem mogą być nietoperze, które wykorzystują w echolokacji ultradźwięki. W behawiorystyce bodźcem określa się zmianę w środowisku zewnętrznym lub wewnętrznym, która wywołuje lub modyfikuje zachowanie zwierzęcia. W tym znaczeniu bodźcem może być również zmiana sytuacji w otoczeniu zwierzęcia np. pojawienie się nowych osobników.

2.2.1 Rodzaje bodźców

Możemy dokonać podziału bodźców na bodźce proste i bodźce złożone. Jeżeli weźmiemy pod uwagę narząd wzroku, to bodźcem prostym będzie światło lub ciemność. Bodźcem złożonym w tym przypadku będzie poruszający się przedmiot lub widziana paleta barw. W przypadku narządu słuchu bodźcem prostym będą czyste tony, a bodźcem złożonym np. słyszana melodia. Bodźce złożone pełnią kluczową rolę w procesie postrzegania, dlatego nazywają się bodźcami perceptywnymi. Złożone bodźce mogą być formowane w czasie (np. błyski lub dźwięki), mogą być formowane w przestrzeni (np. rozkład geometryczny figur), lub mogą mieć wartość jakościową (np. zestawienie różnych zapachów). Jeżeli za kryterium podziału bodźców weźmiemy ich pochodzenie, to możemy mówić o bodźcach eksteroceptywnych, które pochodzą ze środowiska zewnętrznego i o bodźcach interoceptywnych skupionych na receptorach wewnątrz organizmu. Jest jeszcze jedna grupa bodźców – bodźce proprioceptywne, które pomimo tego, że oddziałują na receptory w narządzie ruchu i równowagi umiejscowione wewnątrz organizmu, ale impulsy z tych receptorów

mają decydujący wpływ na orientację przestrzenną w środowisku zewnętrznym. Możemy jeszcze mówić o bodźcach wzrokowych, dotykowych, węchowych, słuchowych i smakowych. Taki podział związany jest z właściwościami poszczególnych receptorów na które działają określone bodźce. W przypadku grupy receptorów określanych nocycceptorami mówimy bodźcach bólowych. Są również bodźce emocjonalne, które wywołują agresję lub strach²⁵.

Bodźcem adekwatnym określamy taki bodziec, na który szczególnie wrażliwy jest dany receptor. W siatkówce oka, w której znajdują się fotoreceptory bodźcami adekwatnymi będą pojedyncze kwanty światła. Jednak w niektórych warunkach fotoreceptory mogą być również pobudzone przez inny rodzaj energii, niż energia światła, czyli przez bodźce nieadekwatne. Takim bodźcem w tym przypadku może być bodziec mechaniczny w postaci uderzenia bądź ucisku gałki ocznej, które potrafi wywołać wrażenie wzrokowe.

Wynika to z prawa swoistości bodźca Johanna Mullera, które mówi, że stan pobudzenia określonego układu sensorycznego skutkuje specyficznym efektem właściwym dla danego układu i nie zależy on od rodzaju bodźca²⁶.

2.2.2 Intensywność bodźców

Ze względu na siłę działania możemy wyróżnić cztery charakterystyczne rodzaje bodźców:

- **Bodziec podprogowy** ma tak małą intensywność, że nie jest w stanie wygenerować potencjału czynnościowego.

²⁵ B. Sadowski, *Biologiczne mechanizmy zachowania się ludzi i zwierząt...*, op. cit., s. 149–150.

²⁶ J. Górski, *Fizjologia człowieka*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2010, s. 43.

- **Bodziec progowy** generuje potencjał czynnościowy przy zachowaniu najmniejszej intensywności. Potencjał czynnościowy ma małą częstotliwość.
- **Bodziec nadprogowy** jest dużo silniejszy od bodźca progowego. Generowane pod wpływem tego bodźca potencjały czynnościowe mają częstotliwość proporcjonalną do amplitudy potencjału receptorowego.
- **Bodziec maksymalny** skutkuje wytwarzaniem w receptorze potencjałów czynnościowych o maksymalnej amplitudzie. Bodziec maksymalny zwany też supramaksymalnym przy zwiększaniu swojej siły nie ma już żadnego wpływu na pobudzenie receptora²⁷.

2.2.3 Rodzaje receptorów

Receptory – zarówno jako wyspecjalizowane struktury, jak i prostsze w formie zakończenia nerwowe nerwów obwodowych dostarczają do ośrodkowego układu nerwowego informacji ze środowiska zewnętrznego i wewnętrznego. Przeważnie określony typ receptora reaguje na jeden rodzaj bodźca, który może występować w postaci energii świetlnej, mechanicznej, chemicznej i cieplnej.

Biorąc pod uwagę wyżej wymienione formy bodźców, możemy receptory podzielić na:

- **Fotoreceptory** występujące w oku i reagujące na bodźce świetlne.
- **Mechanoreceptory**, które reagują na działanie sił mechanicznych. Receptory tego typu znajdują się w mięśniach, skórze i stawach, w tkance podskórnej. Do tej grupy receptorów należą również baroreceptory występujące w naczyniach krwionośnych (wykrywają zmiany ciśnienia tętniczego) oraz receptory słuchu i równowagi znajdujące się w uchu wewnętrznym.

²⁷ B. Sadowski, *Biologiczne mechanizmy zachowania się ludzi i zwierząt...*, op. cit., s. 155.

- **Chemoreceptory**, odbierające bodźce chemiczne, do których należą receptory węchu i smaku oraz receptory wrażliwe na zmiany parametrów krwi (takie receptory reagują na przykład na zmiany stężenia jonów wodorowych).
- **Termoreceptory**, rejestrują zmiany temperatury.
- **Receptory bólowe**, rozmieszczone są w mięśniach, stawach, trzewiach, w skórze i tkance podskórnej na wolnych zakończeniach nerwowych. Reagują zarówno na bodźce mechaniczne i termiczne, jak również na bodźce chemiczne, które mogą uszkodzić tkankę lub narząd.

Bardzo często prezentowany jest jeszcze jeden podział receptorów wprowadzony przez Sherringtona (laureata nagrody Nobla za odkrycia funkcji neuronów). Podział ten uwzględniając położenie i pochodzenie bodźców wyróżnia:

- **Eksteroreceptory** reagują na bodźce ze środowiska zewnętrznego. Bodźcami pobudzającymi może być energia mechaniczna, termiczna i chemiczna. Zawężając pojęcie eksteroreceptorów mówimy tylko o receptorach, które znajdują się w skórze i tkance podskórnej. W szerszym znaczeniu, do tej grupy zaliczamy również receptory węchu i smaku.
- **Telereceptory** są wrażliwe na bodźce, których źródła są oddalone od narządów zmysłowych. Zaliczamy do nich receptory wzroku i słuchu.
- **Interoreceptory** znajdują się w torebkach narządów wewnętrznych, ścianach naczyń krwionośnych, jak również w ścianie przewodu pokarmowego.
- **Proprioreceptory** odpowiadają za czucie głębokie. Są czujnikami, które reagują na dynamikę i siłę skurczu mięśni. Pozwalają określić położenie i przemieszczanie się różnych części ciała względem

siebie oraz przekazują informacje o położenie ciała w przestrzeni. Rozmieszczone są w mięśniach, ścięgnach i torebkach stawowych. Do proprioceptorów należy również narząd równowagi.

2.2.4 Właściwości receptorów

Receptory jako przetworniki energii wchodzące w skład narządów zmysłów razem z drogami przewodzącymi impulsy nerwowe do ośrodków w mózgu umożliwiają nam kontakt ze światem. Podstawową cechą receptora jest zdolność do **transdukcji**, czyli umiejętność zamiany jednej z form energii bodźca na energię elektrochemiczną, która powoduje depolaryzację błony komórkowej receptora. Taka zmiana potencjału błony komórkowej receptora przy udziale bodźca nosi nazwę **potencjału receptora**. Gdy depolaryzacja przekroczy pewną wielkość progową generowane są potencjały czynnościowe, których odpowiednie sekwencje formują kod nerwowy. Kod w postaci impulsów nerwowych przekazywany jest aksonami neuronów czuciowych do ośrodkowego układu nerwowego i dalej do pól czuciowych kory mózgowej. Jest to warunek konieczny do świadomości wrażenia czuciowego. Jednak nie wszystkie informacje czuciowe są w pełni świadome. Często poza naszą świadomością przebiegają informacje pozyskane z receptorów narządu równowagi i receptorów mięśniowych oraz informacje powiązane z receptorami ciśnienia krwi czy pracy serca.

Pomimo tego, że impulsy nerwowe generowane przez potencjały czynnościowe receptorów są identyczne, niezależnie od tego czy są to informacje wzrokowe, słuchowe czy węchowe, to ludzki mózg potrafi je rozróżnić i tworzyć odpowiednie wrażenia zmysłowe przypisane do konkretnych kategorii czuciowych. Dzieje się to dlatego, że wrażenia czuciowe zależą od czterech podstawowych komponentów:

Typu bodźca. Konkretny receptor pobudzany jest najefektywniej bodźcem adekwatnym, np. narząd wzroku reaguje na fale świetlne, a nie reaguje na fale dźwiękowe. Ale jeszcze ważniejsze jest to, że taka informacja przekazywana jest specjalnie przeznaczonymi do tego celu drogami czuciowymi ośrodkowego układu nerwowego, które zaczynają się w receptorze i kończą się w odpowiednio przypisanej części kory mózgu. Inne grupy neuronów zaangażowane są w przenoszenie sygnału wzrokowego a zupełnie inne w przekazywanie informacji sygnału słuchowego.

Lokalizacji bodźca. Bardzo duże znaczenie w rozróżnianiu wrażeń zmysłowych odgrywa pole czuciowe (receptyjne) receptora. Pojęcie to określa obszar powierzchni zmysłowej przypisanej do konkretnego receptora, którego pobudzenie daje odpowiedź w postaci potencjałów czynnościowych. Jeżeli będziemy rozpatrywać eksteroreceptory, to polem receptyjnym będzie część skóry wraz z zakończeniami włókien nerwowych wrażliwych na dotyk. Na obszarze skóry sąsiadujące ze sobą pola czuciowe częściowo się pokrywają, a ilość występujących tam receptorów zależy od miejsca występowania i nie jest wielkością stałą. Na wargach (czyli na obszarze bardzo wrażliwym na dotyk) mamy do 2500 receptorów na cm^2 , a na skórze pleców do 25 receptorów na cm^2 . Dodatkową informację o lokalizacji bodźca zapewniają obecne w mózgu struktury, które tworzą swoistą organizację topograficzną szlaków czuciowych, tworząc mapy przestrzenne zmysłów. Włókna nerwowe, które przenoszą informacje z receptorów rozmieszczonych w różnych częściach naszego ciała znajdują się blisko siebie i kończą się również w znajdujących koło siebie polach kory mózgowej. Kreują w ten sposób specyficzną mapę topograficzną, która ułatwia lokalizację bodźca. Taki sposób odwzorowania układu ciała w obrębie dróg czucia eksteroceptywnego i proprioceptywnego nosi nazwę **somatotopi**.

Intensywności wrażenia czuciowego. W dużym zakresie jest wprost proporcjonalna do intensywności bodźca. W przypadku bodźca nadprogowego może nastąpić dodatkowa aktywacja większej ilości receptorów mieszczących się w polu działania bodźca.

Czasu trwania bodźca. Pomimo stałej intensywności bodźca w jednostce czasu, potencjał receptorowy nie utrzymuje się na stałym poziomie i jego pobudzenie wykazuje największą wartość na początku działania bodźca, zaś na końcu ulega zmniejszaniu. Taki proces nazywamy **adaptacją**. Ze względu na proces adaptacji wyróżniamy dwa rodzaje receptorów: receptory szybko adaptujące się zwane też fazowymi i receptory wolno adaptujące się (inaczej toniczne). Te pierwsze wykazują pobudzenie tylko na początku działania bodźca (wysyłają wtedy impuls lub krótką serię impulsów) i pozostają nieaktywne do końca działania bodźca. Na końcu działania bodźca również wysyłają impuls lub krótką serię impulsów. Receptory toniczne pod wpływem bodźca wysyłają impulsy przez cały okres jego trwania, jednak pod koniec tego procesu zmniejsza się częstotliwość wyładowań²⁸.

2.3 Wzrok

2.3.1 Wzrok a aparat fotograficzny

U człowieka jest zmysłem dominującym i chociaż światło jest tylko wąskim wycinkiem całego zakresu promieniowania elektromagnetycznego, to percepcja świata za pomocą wzroku pozwala na pełną orientację przestrzenną, ocenę odległości i rozróżnianie pojedynczych elementów. Bardzo często oko porównywane jest do aparatu fotograficznego, ponieważ zarówno na światłoczułej powierzchni siatkówki jak i na matówce aparatu powstają odwrócone, rzeczywiste i pomniejszone obrazy oglądanych przedmiotów. Oko tak samo jak obiek-

tyw aparatu fotograficznego dysponuje elementem przysłony, której rolę pełni tęczówka, oraz podobnie jak aparat posiada narzędzie do regulacji głębi ostrości widzenia – w tym przypadku jest to elastyczna soczewka z możliwością zmiany kształtu. Musimy jednak pamiętać, że jest to tylko pewne uproszczenie wyjaśnienia percepcji widzenia. Na nasze doznania wzrokowe oprócz obrazu z siatkówki składa się bardzo rozbudowany, aktywny i twórczy proces zachodzący w naszym mózgu, który w dużym stopniu wykorzystuje różne informacje związane z naszym doświadczeniem. Zresztą, możemy znaleźć parę przykładów, które pokazują, że próba sprowadzenia procesu widzenia do prostego porównania go z funkcją aparatu fotograficznego często mija się z celem. Oko wykonuje ruchy skokowe, które umożliwiają nam dokładną obserwację otoczenia. W związku z tym na siatkówce generowane są całe serie szybko zmieniających się obrazów, a pomimo tego nasz proces widzenia jest ciągły. Zapewnia nam to aktywność naszego mózgu dla którego obraz z siatkówki jest tylko jednym ze składowych elementów umożliwiającym nam prawidłowe odtwarzanie rzeczywistości. Odczucia wielkości przedmiotów na które patrzymy również nie są odbiciem obrazu powstającego na siatkówce. Jeżeli dwa takie same przedmioty umieścimy w różnych odległościach od obserwatora (na siatkówce powstaną dwa różniące się wielkością obrazy) – dla obserwatora te dwa przedmioty i tak będą takie same. Podobna sytuacja występuje wtedy, kiedy będziemy rozpatrywać wpływ ruchu przedmiotów na ostrość generowanego obrazu. Porównanie działania aparatu fotograficznego do oka, również tutaj nie znajduje swojego odbicia. Przy obserwacji poruszających się przedmiotów, ostrość przedmiotów i ich lepsze dostrzeganie w przypadku oka zwiększa się. W przypadku aparatu fotograficznego ruch przed obiektywem pogarsza otrzymywany obraz na zdjęciu. Zdjęcie wydaje się poruszone. To wszystko dobitnie pokazuje, że obraz świata widzialnego jaki jest tworzony w naszym mózgu powstaje nie tylko z informacji

²⁸ J. Górski, *Fizjologia człowieka...*, op. cit., s. 42–45.

dostarczanych przez obraz z siatkówki, ale mózg do tworzenia trójwymiarowego obrazu wykorzystuje również wewnętrzne matryce. Porównuje to co widzi z tym co ma zapisane i na bazie tego porównania i na bazie hipotez identyfikuje i określa obiekty²⁹.

2.3.2 Oko

Narzędem odbiorczym, który odbiera fale świetlne, jest oko. Gałka oczna w swoim kształcie przypomina lekko spłaszczoną kulę, przy czym mniejszym wymiarem tej kuli jest wymiar pionowy. Ściana oka zbudowana jest z trzech błon. Błonę zewnętrzną tworzy między innymi **twardówka**, która pozwala zachować kulisty kształt gałki ocznej i pełni rolę ochronną dla struktur wewnętrznych. Ponieważ nie jest sztywna i zachowując w pewnych granicach elastyczność rozciąga się i kurczy, wyrównując w ten sposób ciśnienie wewnątrz gałki ocznej. Jej ściany nie mają wszędzie jednakowej grubości. W tylnej części, w pobliżu nerwu wzrokowego osiągają grubość od 1 do 1,35 mm. Do twardówki przyczepionych jest 6 mięśni zewnętrznych, które umożliwiają ruch oczu, mających podstawowe znaczenie dla procesu widzenia. W przedniej części błony zewnętrznej znajduje się przezroczysta, przepuszczająca światło **rogówka**, która w części centralnej ma od 0,8 do 0,9 mm grubości. Przezroczystość tej błony związana jest ze strukturą istoty właściwej, w której podstawowe jednostajnie rozłożone warstwy przebiegają równoległe do jej powierzchni. Dodatkowo występujące tu w dużych ilościach nerwy nie posiadają osłonek. Zadaniem rogówki jest załamanie i wpuszczenie na tylną ścianę oka promieni słonecznych. Powierzchnia optyczna czynna w rogówce, nie jest idealnie kulista. Bardziej wypukła część znajduje się w płaszczyźnie pionowej. Ta niedokładność układu optycznego niwelowana jest przez nierównomierną krzywiznę soczewki. W przypadku niedostatecznej korelacji tych dwóch elementów powstaje jedna z wad wzro-

ku – astygmatyzm, który można jednak korygować za pomocą odpowiednio dobranej, cylindrycznej soczewki w okularach. W związku z tym, że rogówka cały czas jest zwilżana przez ciecz łzową, to w naturalny sposób zachowuje przezroczystość i nie ulega obrzękowi. Powierzchnia rogówki pokryta jest przez obficie unerwiony nabłonek przedni, dlatego jest bardzo podatna na czynniki chemiczne, mechaniczne i wysychanie. W przypadku wystąpienia wyżej wymienionych czynników występuje odruch łzawienia i zamykania powiek. Ścianę środkową oka tworzy **błona naczyniowa** składająca się z naczyniówki, ciała rzęskowego i tęczówki. **Naczyniówka** w związku z tym, że odżywia zewnętrzne warstwy siatkówki a szczególności warstwę złożoną z receptorów, pełni rolę sieci kapilarnych. Efekt świecenia w nocy oczu niektórych zwierząt np. kotów związany jest z odbiciem światła właśnie z tej części tkanki. **Ciało rzęskowe** posiada bardzo ważny wewnętrzny mięsień, który wraz z przyczepioną za pomocą licznych i cienkich włókien ścięgniętych do niego soczewką bierze udział w procesie akomodacji oka. **Tęczówka** znajdująca się z przodu błony naczyniowej spełnia rolę przysłony, która w zależności od ilości padającego na nią światła reguluje natężenie oświetlenia wpadającego do wnętrza oka. Jej nazwa związana jest z zabarwieniem, które decyduje o kolorze oczu. Na kolor tęczówki wpływa ilość komórek barwnikowych i budowa jej powierzchni. Dzieci rasy białej w momencie narodzin mają tęczówkę niebieską, której barwa wraz z rozwojem dziecka ulega zmianie w zależności od rozwoju komórek barwnikowych. Grubość tęczówki wynosi 0,5 mm. Tęczówka jest nieprzezroczysta, ale w jej środkowej części znajduje się niewielki otwór – **źrenica**, której średnica w zależności od ilości światła ulega zmniejszeniu bądź powiększeniu w granicach od 1,5 do 8 mm. Mniejsza średnica źrenicy w przypadku dużej ilości światła zapobiega efektowi oślepienia i zapewnia optymalne padanie promieni na środkową część soczewki.

²⁹ T. Tomaszewski, *Psychologia ogólna...*, op. cit., s. 11–12.

Tęczówka podobnie jak przysłona w obiektywie aparatu fotograficznego decyduje również o tzw. głębi ostrości. Przy silnym oświetleniu, czyli przy bardzo wąskich źrenicach obraz rysowany na siatkówce oka jest najostrzejszy. **Soczewka** ma kształt wycinka kuli i u ludzi jest dwuwypukła. Jej średnica wynosi około 9 mm, a zmienna grubość ma średnio 4 mm. Równoległa wiązka światła po przejściu przez soczewkę ulega załamaniu (refrakcji). Obraz jaki powstaje na siatkówce oka po przejściu przez soczewkę jest odwrócony i pomniejszony. Oko dzięki możliwości zmiany w pewnych granicach kształtu soczewki ma zdolność akomodacji, czyli może widzieć ostro przedmioty niezależnie od odległości patrzenia. Zakresem akomodacji nazywamy odległość między najbliższym a najdalszym punktem, w którym występuje widzenie z maksymalną ostrością. U ludzi młodych średni zakres akomodacji wynosi 14 dioptrii, co odpowiada możliwości ostrego widzenia od 7cm. Ponieważ z wiekiem maleje elastyczność soczewki to również zmniejsza się zdolność akomodacji, aż do osiągnięcia w późnej starości zakresu 2 dioptrii. **Siatkówka** oka wraz z nabłonkiem wchodzi w skład trzeciej, wewnętrznej błony gałki ocznej. Pełni rolę narządu receptorowego dla którego bodźcem adekwatnym są fale świetlne z zakresu od 400 do 700 nm. Jej nazwa związana jest z dużą ilością występujących tu naczyń krwionośnych, układających się w strukturę siatki. Ma bardzo złożoną budowę na którą składają się trzy podstawowe warstwy; warstwa zewnętrzna zbudowana z neuronów wzrokowych, których wypustki tworzą czopki i pręciki, warstwa środkowa zbudowana z neuronów dwubiegunowych i trzecia warstwa wewnętrzna, którą tworzą neurony wzrokowo-zwojowe. Światło zanim padnie na fotoreceptory składające się z 6 milionów czopków i 120 milionów pręcików musi przejść przez wszystkie wyższe warstwy. Również przez włókna nerwowe, które w tym wypadku pozbawione osłonki mielinowej stają się przezroczyste. Największa koncentracja czopków występuje w okolicy **plamki siatkówki**, w jej centralnej

części, w dołku środkowym. Nie występuje tam krycie przez inne komórki nerwowe i obszar ten zapewnia najlepszą ostrość widzenia. Zupełnie inna sytuacja wygląda w miejscu wyjścia nerwu wzrokowego i naczyń krwionośnych z siatkówki. W tej części oka, nazwanej plamką ślepą w ogóle nie ma receptorów. Czopki są wrażliwe na barwę, ale mają w stosunku do pręcików tysiącrotnie mniejszą czułość na światło. W słabych warunkach oświetleniowych widzenie barwne jest utrudnione, a nocą wręcz niemożliwe. Czopki odpowiadają za ostrość widzenia. Plamka siatkówki nie zawiera pręcików, które pojawiają się dopiero w okolicy dołka środkowego i na całym obwodzie siatkówki. Pręciki umożliwiają widzenie przy bardzo słabym oświetleniu ułatwiają rozróżnianie szarości. Taki sposób widzenia określany jest mianem widzenia zmierzchowego.

W pręcikach i czopkach znajdują się fotopigmenty (barwniki wzrokowe). W pręcikach jest to rodopsyna absorbująca dużą część światła zielonego i niebieskiego, sama posiadająca czerwone zabarwienie, a w czopkach fotopsyny. Ponieważ fotopigmenty są wrażliwe na światło, mają możliwość dzięki chemicznej aktywności doprowadzić do powstania potencjału elektrycznego fotoreceptora o bardzo krótkim czasie trwania (mniej niż 1milisekunda). Nerw wzrokowy składający się z 1 mln włókien utworzonych z komórek zwojowych siatkówki przekazuje sygnały przez ciało kolankowe boczne do kory potylicznej i innych części kory mózgu³⁰.

2.3.3 Widzenie barw

Przeciętnie człowiek rozróżnia około 150 różnych barw w tonacji barwnej z których każda barwa może się różnić odcieniem. Widzenie barwne zawdzięczamy trzem zasadniczym elementom: funkcji czopków, włókien nerwowych i percepcji bodźca, który pojawia się w ko-

³⁰ A. Michajlik i W. Ramotowski, *Anatomia i fizjologia człowieka*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2003, 5. wyd., s. 549–558.

rze wzrokowej. W związku z tym, że w siatkówce oka występują trzy rodzaje czopków, które dysponują różnymi fotoropigmentami, każdy z tych receptorów reaguje na światło o różnej długości fali. Czopki reagujące na fale długie o długości 560-580 nm nazywane są receptorami światła czerwonego, te które reagują na fale średnie z zakresu 530-540 nm nazywane są receptorami światła zielonego i wreszcie te które pochłaniają zakres długości fali 440-450 nm noszą nazwę receptorów światła niebieskiego. Jeżeli z tych trzech rodzajów czopków zostaną wysłane w odpowiednich proporcjach impulsy nerwowe, to uzyskamy całe spektrum barwne światła widzialnego. Jednak mechaniczna analiza światła, które zostaje odbite od danej powierzchni nie zapewnia prawidłowej interpretacji barwy. Żeby określić barwę danej powierzchni system nerwowy dokonuje porównania relacji światła odbijanego od dwóch sąsiadujących ze sobą obszarów i na tej podstawie ocenia barwę³¹.

2.3.4 Postrzeganie ruchu

Wykrywanie ruchu przedmiotów w otoczeniu jest bardzo ważne zarówno dla człowieka jak i dla mniej zorganizowanych istot i istnieje teoria, że pierwotną funkcją systemu wzrokowego była reakcja na ruch. U człowieka informacja o ruchu przedmiotów generowana jest za pomocą struktur tworzących dwa niezależne systemy. Pierwszy uruchamiany jest wtedy, gdy obraz przedmiotu będącego w ruchu przesuwa się po siatkówce, a oczy pozostają nieruchome. Taki system postrzegania ruchu nosi nazwę układu: obraz-siatkówka. Drugi system działa, gdy oczy wykonują ruchy, obserwując poruszający się przedmiot. Mówimy wtedy o układzie: oko-głowa³².

³¹ T. Tomaszewski, *Psychologia ogólna...*, op. cit., s. 29–35.

³² Ibid., s. 35–37.

2.3.5 Postrzeganie kształtów

Analiza obrazu pod kątem wyodrębnienia określonych kształtów następuje już na poziomie siatkówki. Wszelkie informacje o konturach lub nieciągłościach obrazu zostają wzmacnione. Rozróżnianie kształtów na różnych piętrach układu wzrokowego jest przypisane do neuronów, które wykrywają poszczególne części w obrazie. Neurony te stanowią skomplikowaną sieć połączeń, która zapewnia ścisłą współpracę przy percepcji kształtu. Postrzeganie kształtu to aktywny proces, wykorzystujący aktualne informacje z receptorów wzrokowych i stan posiadanej wiedzy. Do identyfikacji kształtu mózg wykorzystuje hipotezy, które stara się zweryfikować za pomocą kolejnych obserwacji przedmiotu lub sięga do znanych z uprzednich doświadczeń klasy przedmiotów w których może wyróżnić pewne wspólne cechy zgodne z obserwowanym obrazem³³.

2.3.6 Postrzeganie odległości

Obraz tworzony na siatkówce jest płaski a pomimo tego świat w którym żyjemy widzimy jako trójwymiarowy. Tworząc głębię ostrości układ wzrokowy wykorzystuje wiele wskazówek i informacji, które pojawiają się zarówno przy widzeniu jedno jak i dwuocznym.

Stereopsja jest podstawą tworzenia głębi ostrości. Każde nasze oko patrzy równocześnie na przedmiot pod innym kątem. Obrazy na siatkówkach nie są identyczne i ta informacja służy do budowania głębi. Innym mechanizmem służącym do oceny odległości jest sposób przetwarzania informacji o rozmyciu obrazów. Żeby zapewnić ostre widzenie soczewka musi mieć właściwą akomodację. Jeżeli następuje rozmycie obrazu, to równocześnie jest to impuls do zmiany akomodacji, a informacja ta jest jednym z elementów wpływających na ocenę postrzegania odległości. Poczucie głębi budujemy również na podsta-

³³ Ibid., s. 37–43.

wie informacji o nakładaniu się obrazów. Zjawisko to występuje to w sytuacji, gdy patrzymy na przedmioty, w których jeden jest w częściowo zasłonięty przez drugi. W ocenie odległości pomagają nam wreszcie deformacja perspektywiczna (linie równoległe, które oddalają się od osoby obserwującej tworzą na siatkówce oka obraz linii, które się do siebie zbliżają) oraz powiązanie oceny wielkości znanych nam z doświadczeni przedmiotów ze skalą odległości, które definiuje prawo stałych wielkości³⁴.

2.4 Dotyk

2.4.1 Znaczenie dotyku

Pomimo tego, że jest zmysłem pierwotnym (pojawia się w życiu człowieka jako pierwszy) jest bardzo niedoceniany, zarówno w gronie lekarzy i psychologów jak też w codziennym życiu przeciętnego człowieka. Źródłem tego zjawiska możemy doszukiwać się w odniesieniu do filozofii Platona czy Arystotelesa, również w filozofii i religii średniowiecza, jak też w początkach medycyny i nauki, która to marginalizowała jego poznawcze aspekty. Tego faktu nie zmieniło nawet powstanie w XIX wieku psychologii. Odnosi się to do jej początków, jak i chwili obecnej. Współczesna wiedza przyrodnicza stawia przeważnie wrażenia wzrokowe przed wrażeniami dotykowymi w całym procesie poznawczym. Na całym świecie badaniami nad możliwościami i sposobem działania zmysłu dotyku zajmuje się tylko kilkuset naukowców, a przecież nasze życie bez sprawnego układu czuciowego byłoby niemożliwe – i to w dosłownym tego słowa znaczeniu³⁵.

³⁴ Ibid., s. 44–47.

³⁵ M. Grunwald, *Homo Hapticus*, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 2019, s. 18–19.

2.4.2 Czucie skórne

Skóra, którą tworzy naskórek i skóra właściwa to narząd wielozadaniowy. Znajdują się w niej liczne receptory, które mają stosunkowo prostą budowę. Receptory te reagują na bodźce mechaniczne, termiczne i bólowe. Właściwości mechanoreceptorów w dużym stopniu zależą od szybkości adaptacji na bodźce adekwatne. Jeżeli czas adaptacji jest długi, to receptor taki reaguje na siłę o stałym nacisku tak długo, jak długo występuje siła. W ten sposób wykrywano jest miejsce występowania bodźca. Dobrym przykładem mogą być krążki Merkela, których pobudzenie jest najsilniejsze na początku nacisku i trwa w osłabionej postaci do końca działania bodźca. Tego typu receptory możemy znaleźć w głębokiej warstwie naskórka (dotyczy to głównie opuszek palców i skóry warg). Ich działanie doskonale sprawdza się np. w rozpoznawaniu alfabetu Braille'a. W głębokiej warstwie naskórka występują też ciała Meissnera, które są wrażliwe na drgania poniżej 40 Hz. Umożliwiają dokładną lokalizację ruchu przedmiotu po powierzchni skóry. Z kolei koszyczki okołomieszkowe, receptory występujące w mieszkach włosowych reagują na ruch włosa. Pozwalają nam odbierać delikatne bodźce mechaniczne, zanim te pojawią się na naszej skórze. Pełnią rolę ostrzegawczo-obronną np. przed insektami. Inny typ receptorów – receptory fazowe, do których zaliczamy ciała Paciniego znajdujące się w skórze właściwej, mając bardzo krótki czas adaptacji (rzędu ułamka sekundy) identyfikują drgania o częstotliwości 250-300 Hz. Ich wrażliwość na dotyk pozwala ocenić chropowatość i strukturę powierzchni materiału³⁶.

2.4.3 Czucie termiczne

Umiejętność odczuwania ciepła i zimna nazywa się czuciem termicznym. Niektóre organizmy żywe, w toku ewolucji wykształciły termore-

³⁶ B. Sadowski, *Biologiczne mechanizmy zachowania się ludzi i zwierząt...*, op. cit., s. 162–164.

ceptory, które umożliwiają postrzeganie temperatury ciała jak i otoczenia. Jest to konieczny warunek przeżycia, ponieważ każda jednostka może żyć w ściśle określonych przedziałach termicznych. Zakres ciepłoty ciała człowieka potrzebny do normalnego funkcjonowania zawiera się w przedziale 27⁰-42⁰ Celsjusza.

Receptory reagujące na temperaturę umiejscowione są na granicy skóry właściwej i naskórka. Umożliwia to bardzo szybką reakcję na temperaturę krytyczną i precyzyjną lokalizację bodźca. Część z nich znajduje się również w śluzówce i w organach wewnętrznych. Włókna nerwowe zakończone receptorami czucia termicznego mają średnicę od 0,002 do 1,5 mikrometra. Te najcieńsze przewodzą bodźce z prędkością do 20 m/s a te grubsze z prędkością do 2 m/s. Tak szybki transfer impulsów umożliwia błyskawiczną reakcję na grożące nam niebezpieczeństwo w postaci dotknięcia gorących lub bardzo zimnych przedmiotów. Liczba receptorów rejestrujących zimno jest większa niż receptorów ciepła, ponieważ zimno stanowi dla nas większe zagrożenie niż ciepło. Na 1cm² umiejscowiony jest średnio 1 receptor ciepła i 20 receptorów zimna. Przy temperaturze skóry 38⁰ Celsjusza receptory termiczne reagują już na obniżenie temperatury o 0,2⁰ Celsjusza, natomiast ich reakcja na podwyższenie temperatury następuje przy wzroście o 1⁰ Celsjusza. Dotykając przedmiot o temperaturze 33⁰ Celsjusza nie potrafimy określić jego temperatury i określamy go jako neutralny termicznie. Powyżej tej temperatury możemy go określić jako ciepły a poniżej jako zimny. Oczywiście zdolność odczuwania temperatury jest ściśle powiązana z temperaturą naszego ciała. Zimne dłonie wsadzone do wody o temperaturze 20⁰ Celsjusza określamy ją jako ciepłą, a ogrzane jako miło chłodną³⁷.

³⁷ M. Grunwald, *Homo Hapticus...*, op. cit., s. 83–86.

2.5 Propriocepcja

2.5.1 Bodźce proprioceptywne

Etymologicznie termin „propriocepcja” pochodzi od łacińskiego słowa *proprius* oznaczającego „własny”. Bodźce proprioceptywne związane są zarówno z kurczeniem i rozciąganiem mięśni, jak i z pracą stawów znajdujących się między kośćmi. Wykazują szczególną aktywność w trakcie ruchu, ale również są aktywne w chwili, gdy nasze ciało jest nieruchome. Układ rejestrujący pozycję i ruch pojawia się już w fazie prenatalnej i podobnie jak zmysł dotyku zajmuje dużą część naszego ciała. Większość sygnałów proprioceptywnych analizowana jest poza naszą świadomością³⁸.

2.5.2 Czucie głębokie

Powstaje w wyniku aktywacji proprioceptorów znajdujących się w narządzie ruchu. Znajdują się one w mięśniach, ścięgnach, więzadłach i torebkach stawowych. Można dokonać podziału na czucie mięśniowe i czucie kinestetyczne. Za czucie mięśniowe odpowiadają receptory znajdujące się w mięśniach i ścięgnach, a za kinestezję (świadomość ruchu, ciężaru, oporu i ułożeniu stawów) receptory w skórze w pobliżu stawów. Te ostatnie aktywują się w momencie zmiany położenia kończyny, gdy skóra jest rozciągana lub ściskana. W torebkach stawowych są cztery rodzaje receptorów: o szybkiej adaptacji (podobne do ciałek Paciniego w skórze), o wolnej adaptacji (podobne do narządów Golgiego w ścięgnach), o wolnej adaptacji (podobne do zakończeń Ruffiniego w skórze) oraz wolne zakończenia nerwowe³⁹.

³⁸ A.J. Ayres, *Dziecko a integracja sensoryczna...*, op. cit., s. 53.

³⁹ B. Sadowski, *Biologiczne mechanizmy zachowania się ludzi i zwierząt...*, op. cit., s. 165–166.

2.6 Równowaga

2.6.1 Równowaga statyczna i dynamiczna

Czucie równowagi umożliwia nam przyjęcie prawidłowej pozycji naszego ciała w stosunku do kierunku działającej na nas siły grawitacji. Większe odchylenia ciała od pozycji pionowej są w pełni świadome, ale w przypadku mniejszych odchyień za utrzymanie równowagi odpowiadają odruchy posturalne. Korygują one rozkład napięcia mięśni kończyn i tułowia do momentu, kiedy rzut środka ciężkości ciała na podłoże pojawi się na granicy styku stopy z podłożem. Środek ciężkości ciała dorosłego człowieka umiejscowiony jest w obszarze piątego kręgu lędźwiowego. Taki sposób utrzymania równowagi ciała nazywamy równowagą statyczną. W przypadku warunków dynamicznych (bieganie, chodzenie, siadanie, wstawanie), gdy pojawia się zmiana prędkości, utrzymanie równowagi dynamicznej jest również poza naszą świadomością, ale w jej osiągnięciu mogą brać udział mechanizmy dowolne, które obejmują świadome postrzeganie zmian szybkości ruchu. Do określenia położenia ciała w przestrzeni oprócz receptorów odpowiedzialnych za czucie głębokie wykorzystujemy również informacje wzrokowe. Narzędziem równowagi, który pełni kluczową rolę w procesie stabilizacji ciała jest układ przedsionkowy⁴⁰.

2.6.2 Układ przedsionkowy

Ucho wewnętrzne spełnia dwie ważne role: funkcje słuchową oraz funkcję zbierania informacji na temat siły przyciągania ziemskiego (określenie wielkości siły i kierunku działania). Przekazuje ono również informację o ruchach naszej głowy (poruszanie w górę, w dół i na boki). Na narząd równowagi składają się **przewody półkoliste, woreczek i łagiewka**. Przewody półkoliste mieszczące się w trzech kanałach półkolistych błędniaka kostnego leżą w różnych płaszczyznach,

⁴⁰ Ibid., s. 174–175.

nachylonych względem siebie o kąt około 90°. Wypełnione są płynem i mają zakończenie w postaci bańki błoniastej. W bańce znajdują komórki włosowate z włoskami zanurzonymi w galaretowatej substancji. Nawet najmniejsze poruszenie głowy wywołuje ruch płynu, który zmieniając siłę nacisku na bardzo czułe komórki włosowate moduluje impulsy nerwowe. Oprócz tego w układzie przedsionkowym znajdują się dwa ważne elementy – Łagiewka i woreczek. Mają one w obszarze tzw. plamki komórki włosowate, pełniące rolę receptorów. Galaretowata masa, w której są umieszczone struktury włosowate zawiera kamyczki błędnikowe, które mają możliwość przemieszczania się wraz z ruchami głowy. W czasie ruchu kamyczki poprzez mechaniczny ucisk aktywują komórki włosowe. Płaszczyzny komórek włosowatych w woreczku i łagiewce mają różne kąty nachylenia. Dzięki temu pobudzenie tych obszarów przy ruchach głowy daje inną interpretację wzorców reakcji, co pozwala na precyzyjne określenie przez mózg kąta nachylenia głowy. Dodatkową informację ważną dla tej oceny dostarczają sygnały wzrokowe i sygnały pochodzące z pracy mięśni i stawów. Impulsy nerwowe z układu równowagi docierają najczęściej do jądra przedsionkowego w śródmózgowiu, ale również dochodzą do mózdzku i do układu siatkowatego⁴¹.

2.7 Słuch

2.7.1 Fale dźwiękowe

Fale dźwiękowe to powtarzające się drgania cząsteczek powietrza, które rozchodzą się od źródła zgodnie z kierunkiem drgań. Tonem nazywamy dźwięki w postaci drgań sinusoidalnych o jednej częstotliwości. Dźwięki złożone tworzy suma tonów, które mają określoną częstotliwość i amplitudę. O tym jak jaką słyszymy wysokość dźwięku decyduje częstotliwość (podawana w hercach). Amplituda określa

⁴¹ T. Tomaszewski, *Psychologia ogólna...*, op. cit., s. 80–82.

intensywność dźwięku. W związku z tym, że nasze ucho odbiera głośność dźwięku w sposób nieliniowy, żeby w prosty sposób określić intensywność dźwięku wprowadzono skalę logarymiczną, która mówi nam o poziomie ciśnienia akustycznego (wyrażonego w decybelach). Poziom 0 dB odpowiada ciśnieniu akustycznemu jakie wywołuje ton o częstotliwości 1 kHz na poziomie bodźca progowego. Głośność dźwięku jest subiektywnym odpowiednikiem intensywności dźwięku⁴².

2.7.2 Ucho

Możemy wyróżnić ucho zewnętrzne, ucho środkowe i ucho wewnętrzne. Ucho zewnętrzne stanowi małżowina uszna oraz kanał dochodzący do wnętrza czaszki. Ucho środkowe i zewnętrzne oddzielone jest przez błonę bębenkową, do której docierają sygnały dźwiękowe z ucha zewnętrznego. W uchu środkowym znajduje się młoteczek (połączony z błoną bębenkową), kowadełko i strzemiączko, które łączą się między sobą za pomocą struktury skomplikowanych dźwigni. Trąbka Eustachiusza połączona z gardłem umożliwia w trakcie przetykania wyrównanie się ciśnienia atmosferycznego po obu stronach błony bębenkowej. Dźwięki dochodzące do ucha wywołują wychylenia błony bębenkowej, która porusza się z częstotliwością i amplitudą docierającej do niej fali. Jej drgania przenoszą kosteczki ucha środkowego w kierunku ucha wewnętrznego. Do uzyskania drgań elementów ucha wewnętrznego wystarczy amplituda drgań błony bębenkowej rzędu 0,1 średnicy atomu wodoru. Fale o niskiej częstotliwości mogą być również przenoszone przez czaszkę. Mówimy wtedy o przewodnictwie kostnym. W uchu wewnętrznym zlokalizowany jest złożony system kanałów nazywanych błędnikiem kostnym. W kanałach mieści się wypełniony płynem błędnik błoniasty. Ucho wewnętrzne składa się z przedsionka, kanałów półkolistych i ślimaka.

⁴² Ibid., s. 57–58.

Ślimak jest spiralnie zawiniętym kanałem, którego dolną część stanowi błona podstawna zawierająca narząd Cortiego, którego rzęskowe komórki tworzą receptory dźwięku. W porównaniu do innych układów zmysłowych, układ rejestracji i przenoszenia dźwięków jest bardzo skomplikowany⁴³.

2.7.3 Zakresy słyszalności

Granice słyszenia wyznaczają dwa parametry – najniższy i najwyższy poziom ciśnienia akustycznego oraz najniższa i najwyższa częstotliwość dźwięków, którą jesteśmy w stanie usłyszeć. Zdolność odbierania bodźców słuchowych zmienia się wraz ze zmianą częstotliwości dźwięku. Człowiek dobrze słyszy dźwięki z zakresu 1000-3330 Hz. Przykładowo, porównując tony o częstotliwości 100 Hz i 1000 Hz, ten pierwszy musi mieć o 40 dB wyższy poziom ciśnienia akustycznego w stosunku do tonu drugiego, żeby można go było usłyszeć. Taki filtr wrażliwość nałożony na dźwięki o niskiej częstotliwości umożliwia nam odcięcie informacji o niektórych dźwiękach, których źródłem jest nasz organizm (bicie serca, przepływ krwi w naczyniach). Uszkodzenie aparatu słuchowego następuje najczęściej przy dźwiękach o intensywności powyżej 140 dB. Zakres częstotliwości fal dźwiękowych odbieranych przez człowieka mieści się w przedziale 20-20000 Hz (czasem ten niższy próg określa się na poziomie 16 Hz). Przy częstotliwości około 2500 Hz jesteśmy w stanie rozróżnić najmniejsze różnice w dźwiękach zarówno pod względem intensywności jak i częstotliwości badanego sygnału dźwiękowego. Przeciętnie potrafimy rozróżnić 1200 częstotliwości (przy różnicy tonalnej większej niż 3 Hz dla częstotliwości 100-2000 Hz). Wraz ze wzrostem częstotliwości wzrasta próg różnicy częstotliwości. Przy dźwięku 15000 Hz musi być już różnica 180 Hz między tonami, żeby zmiana częstotliwości była zau-

⁴³ Ibid., s. 59–62.

ważalna. Zakres rozróżniania zmian częstotliwościowych wzrasta wraz ze wzrostem natężenia dźwięku⁴⁴.

2.7.4 Głośność i wysokość dźwięków

Subiektywny przejawem odczuć słuchowych jest określenie wysokości odbieranych dźwięków. Z przeprowadzonych badań na temat relacji pomiędzy subiektywną a obiektywną oceną częstotliwości dźwięku wynika, że określana przez nas wysokość dźwięku nie zawsze odpowiada fizycznej skali częstotliwościowej. Różnica ta nie jest znacząco duża, ale nie zawsze tony odbierane przez nas jako dwa razy niższe mają pokrycie w dwukrotnie niższej fizycznej skali częstotliwości. Subiektywny odczyt wysokości dźwięku zależy od natężenia dźwięku. W miarę wzrostu intensywności dźwięku tony niższe odbierane są jako jeszcze niższe, a tony wysokie jako jeszcze wyższe. Najmniejszym wpływem przy subiektywnej ocenie podlegają dźwięki o średniej częstotliwości 2500 Hz. Głośność jest subiektywnym odpowiednikiem intensywności dźwięku. Już mała różnica zmiany ciśnienia akustycznego przy dźwiękach o niskiej intensywności wywołuje zmiany głośności. Przy dźwiękach bardzo intensywnych, żeby uzyskać efekt zdwojonej głośności musi nastąpić znaczący przyrost ciśnienia akustycznego. To, jak odbieramy intensywność dźwięków, zależy również od częstotliwości dźwięku. Aby określić zależności głośności od częstotliwości wprowadzono wykresy krzywych jednakowej głośności (izofony) dla ucha normalnego. Jednostką głośności jest fon⁴⁵.

2.7.5 Postrzeganie dźwięków

Dźwięki, które możemy odbierać z naszego otoczenia w stosunku do tych wytwarzanych w warunkach laboratoryjnych są bardziej złożone, ponieważ oprócz tonów podstawowych mają jeszcze tony składowe

o wyższych częstotliwościach, które decydują o barwie dźwięku. Tony składowe, których częstotliwość jest wielokrotnością częstotliwości tonu podstawowego nazywamy harmonicznymi. Instrumenty muzyczne generują różne częstotliwości tonu podstawowego, od najniższych rzędu kilkunastu Hz do najwyższych rzędu 4000 Hz (np. flet piccolo). Częstotliwość tonów składowych jest często poza zakresem percepcji naszego ucha. Instrumenty muzyczne (nawet jeżeli mają tę samą wysokość i taką samą głośność dźwięku) potrafimy odróżnić dzięki temu, że mają różne natężenie częstotliwości składowych i różnią się występowaniem tych częstotliwości na osi czasu. Dźwięki wydają się być subiektywnie takie same, nawet jeżeli się różnią wysokością w momencie, kiedy ich wysokość różni o oktawę. Mówimy wtedy o przypadku jakości tonalnej. O znaczeniu dźwięków decyduje nie tylko aparat słuchowy, ale również informacje przechowywane w naszym mózgu w formie śladu pamięciowego. Dzięki temu odbierając nawet bodźce dźwiękowe zawierające niekompletne informacje jesteśmy w stanie na podstawie dodatkowych informacji wynikających z naszego doświadczenia przetworzyć bodźce w sposób odpowiedni do naszych przewidywań⁴⁶.

2.8 Węch

Zmysł ten jest bardzo czuły. Potrafi przeprowadzić identyfikację różnych związków na podstawie próbki, której waga jest rzędu dziesięciomilionowej części grama. Jesteśmy w stanie rozróżnić 17000 różnych zapachów. W wieku powyżej 50 lat sprawność tego układu maleje, doprowadzając czasem w wieku 80-90 lat do zaniku możliwości rozpoznawania zapachów. W górnej części nosa, w błonie śluzowej umiejscowione są receptory węchowe. Komórka węchowa ma dwie wypustki. Jedna wypustka, kończąca się na błonie śluzowej posiada włoski węchowe. Druga, która biegnie w kierunku przeciwnym tworzy

⁴⁴ Ibid., s. 65–66.

⁴⁵ Ibid., s. 67–68.

⁴⁶ Ibid., s. 71–73.

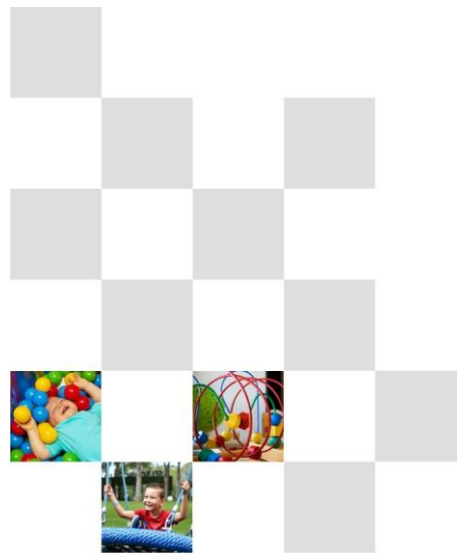
włókna nerwów węchowych. Sygnał z aktywowanych receptorów węchowych biegnie przez opuszki i kłębuszki węchowe do różnych obszarów mózgu biorących udział w analizie informacji. Konfigurację dróg nerwowych tego systemu nazywana jest węchomózgowiem. Zapach w formie impulsu docierając do układu limbicznego wywołuje pewne emocje, zarówno te przyjemne jak i nieprzyjemne⁴⁷.

2.9 Smak

Kubki smakowe to zespoły receptorów rozmieszczonych na języku podniebieniu i w przełyku. Na języku tworzą widoczny gołym okiem system brodawek. Największa ilość kubków smakowych występuje u dzieci, natomiast ilość ta po 45 roku życia ulega zmniejszeniu. Receptory smakowe wykazują specjalizację w zakresie wylapywania różnych jakościowo substancji smakowych. Nie jest to jednak proces bezwzględny i dlatego też pewne substancje potrafią pobudzić większość kubków smakowych. Przyjmuje się cztery podstawowe smaki: słodki, kwaśny, gorzki i słony. W obrębie języka, w zależności od miejsca występują różne wrażliwości na określone smaki (np. na smak słony najbardziej reaguje koniec języka i jego boki). Wrażenia smakowe bardzo ściśle związane z czynnikami kulturowymi, jak i z osobistymi doświadczeniami⁴⁸.

⁴⁷ Ibid., s. 84–85.

⁴⁸ Ibid., s. 83–84.



INTEGRACJA SENSORYCZNA

3 INTEGRACJA SENSORYCZNA

3.1 Geneza teorii integracji sensorycznej

Termin „integracja sensoryczna” pojawił się po raz pierwszy w książce *The Integrative Action of the Nervous System* w 1902 roku, Autorem tej publikacji był brytyjski neurofizjolog sir Charles Sherrington, który w 1932 roku wspólnie z E.D. otrzymał Nagrodę Nobla z dziedziny fizjologii i medycyny.

Podstawę teorii i terapii integracji sensorycznej Sensory Integration (w skrócie SI) opracowała w 1972 roku terapeutka zajęciowa, członkini Amerykańskiego towarzystwa Terapii Zajęciowej dr Anna Jean Ayres (1920-1988). Należała do grona najwybitniejszych terapeutów zajęciowych. Z terapii zajęciowej w dziedzinie propriocepcji uzyskała tytuł magistra, a tytuł doktora z psychologii wychowawczej obroniła na Uniwersytecie Południowej Kalifornii. Prowadziła wykłady z pedagogiki, pedagogiki specjalnej oraz z terapii zajęciowej. Dr A. Jean Ayres swoje duże doświadczenie kliniczne zdobyła pracując zarówno z niepełnosprawnymi dziećmi jak i z dorosłymi. W ciągu dwudziestu lat swojej pracy opublikowała ponad sto artykułów, wydała kilkanaście książek i wprowadziła dwa zestawy testów badawczych integracji sensorycznej. Jest też autorką technik terapeutycznych stosowanych do osłabiania objawów podstawowych dysfunkcji integracji sensorycznej⁴⁹.

Pierwszy kurs integracji sensorycznej (SI) w Polsce miał miejsce w 1993 roku w Międzyzlesiu w Ośrodku TPD „Helenów”. Zorganizował go Zbigniew Przyrowski i Maria Borkowska. Wykłady przeprowadziła instruktorka i terapeutka Violet F. Mass, a zajęcia praktyczne

Marry Potter. Uczestniczyli w nim głównie fizjoterapeuci oraz psychologowie. Ujednolicenie trybu przeprowadzania szkoleń z zakresu integracji sensorycznej na terenie Polski nastąpiło w 1997 roku⁵⁰.

3.2 Definicja i założenia integracji sensorycznej

Integracja sensoryczna to skomplikowany proces, który odbywa się w mózgu poza naszą świadomością, którego celem jest uporządkowanie informacji dostarczanych przez zmysły. Za pomocą selekcji informacji definiuje znaczenie tego, czego doświadczamy i zapewnia nam odpowiednie reakcje adaptacyjne oraz umożliwia prawidłową komunikację społeczną. Integracja sensoryczna na podstawie informacji docierających do nas z różnych kanałów sensorycznych tworzy jeden spójny obraz rzeczywistości⁵¹.

Teoria SI, której autorką jest Jean Ayres opiera się na zagadnieniach z zakresu neurologii i psychologii. Podstawowe założenia tej teorii to:

- Integralność ośrodkowego układu nerwowego. Mózg funkcjonuje jako całość, a na prawidłowe działanie ośrodków korowych ma wpływ funkcjonowanie struktur podkorowych w których odbywają się główne procesy sensoryczne.
- W czasie rozwoju dziecka zachowania złożone wykształcają się na bazie prostych wcześniejszych zachowań. Sekwencyjny przebieg integracji sensorycznej zapewnia wykształcenie umiejętności uczenia się i prawidłowego zachowania.
- Każdy z nas, a szczególnie dziecko, potrzebuje stałej stymulacji bodźcowej. Objawia się to wewnętrznym popędem sensorycznym. Bodźce sensoryczne są niezbędnym elementem do prawidłowego funkcjonowania mózgu.

⁵⁰ Z. Przyrowski, *Historia Integracji Sensorycznej w Polsce cz. I - Sensum Mobile*, <https://procesysensoryczne.pl/historia-is-pl/>, [dostęp: 7.07.2021].

⁵¹ A.J. Ayres, *Dziecko a integracja sensoryczna...*, op. cit., s. 21.

⁴⁹ V. F. Maas, *Uczenie się przez zmysły*, Harmonia Universalis, Gdańsk 2016, s. 15–16.

- Mózg charakteryzuje się plastycznością neuronalną, co oznacza umiejętność adaptacji do zmieniających się warunków otoczenia oraz to, że w niektórych sytuacjach (np. po udarze) niektóre jego struktury są w stanie przejąć funkcje innych struktur.
- Na prawidłowy przebieg integracji sensorycznej dziecka największy wpływ mają trzy zmysły: dotyk, układ przedsionkowy i czucie głębokie⁵².

3.3 Poziomy integracji sensorycznej

Poziom pierwszy

Bardzo duży wpływ na rozwój dziecka już w pierwszym okresie jego życia ma dotyk. Umożliwia mu prawidłowe ssanie, a później zapewnia przeżuwanie i połykanie pokarmu. Swoją pierwszą więź uczuciową z matką niemowlę zaspokaja za pomocą bodźców dotykowych. Skóra określa granicę własnej tożsamości i daje poczucie bezpieczeństwa. Dobra integracja sensoryczna w tym okresie zapewnia w przyszłości prawidłowy rozwój emocjonalny i sprawne wykonywanie różnych zadań (np. czytanie). W pierwszym etapie integracji duże znaczenie mają też układy przedsionkowy i proprioceptywny. Pozwalają kontrolować ruchy oka, umożliwiając skupienie się na wybranym przedmiocie i śledzenie jego ruchu. Niedostateczna integracja obu tych układów prowadzi do powstawania niewłaściwych reakcji posturalnych, które utrudniają stanie i chodzenie. Mogą się też pojawić kłopoty z utrzymaniem równowagi i z niskim napięciem mięśniowym w stanie spoczynku. Umiejętność modulowania bodźców wpływających na poczucie siły grawitacji daje nam orientację umiejscowienia w przestrzeni i pozbawia nas lęku przed upadkiem⁵³.

⁵² J. Kapuścińska-Kozakiewicz, *Znaczenie integracji sensorycznej dla prawidłowego rozwoju dziecka*, „SI w pracy pedagoga”, 2018, nr 102.

⁵³ A.J. Ayres, *Dziecko a integracja sensoryczna...*, op. cit., s. 70–71.

Poziom drugi

Po zakończeniu pierwszego etapu, w którym budowana była stabilność emocjonalna rozwija proces uporządkowania schematu ciała, na który składają się informacje zawarte w mapach ciała. Mapy te przechowywane są w mózgu i określają skomplikowane struktury powiązań między wszystkimi częściami ciała oraz możliwości ruchowe ciała. Dobra integracja sensoryczna w drugim etapie pozwala mieć pełną informację na temat tego co robi nasze ciało bez konieczności posługiwania się informacją wzrokową i dotykową. Jeżeli mapy ciała zawierają dostateczną ilość informacji o lewej i prawej stronie ciała dziecko ma dobrą koordynację obu rąk i nóg. Jeżeli nie wykształciły się mapy niektórych rejonów ciała występują trudności z wykonywaniem i planowaniem ruchów już znanych, oraz z nauką nowych ruchów. Po tym jak długo dziecko jest w stanie skupić, oraz po tym jaki wykazuje stopień aktywności ruchowej można określić stopień zaawansowania integracji procesów sensorycznych⁵⁴.

Poziom trzeci

Na tym etapie wzrasta celowa aktywność dziecka. Wykonuje zadania, w których wyraźnie da się określić początek, środek i zakończenie. Potrafi osiągnąć zamierzony cel. W procesie integracji sensorycznej wykształca się dobra koordynacja wzrokowo-ruchowa. Dziecko potrafi podnosić zabawki, wspinać się, coraz bardziej precyzyjnie umieszczać elementy w wyznaczonych miejscach. To wszystko wymaga doświadczenia w dotykaniu przedmiotów, wyczuwania siły grawitacji, przyspieszenia, sprawnego działania mięśni i stawów. Dzieci u których stwierdzono dysfunkcje przedsionkowe, dotykowe lub czucia głębokiego mają w późniejszym okresie życia problemy przy posługiwaniu się prostymi narzędziami⁵⁵.

⁵⁴ Ibid., s. 71–72.

⁵⁵ Ibid., s. 72–73.

Poziom czwarty

Przy dobrze zintegrowanym układzie nerwowym niektóre jego struktury zaczynają się specjalizować w zakresie przekształcania konkretnych sygnałów sensorycznych i tworzeniu adekwatnych reakcji adaptacyjnych. Typowym przykładem takiej specjalizacji jest posługiwanie się prawą ręką przy pracach wymagających dużej precyzji w wykonywaniu określonych ruchów. Lateryzacja przebiega również w mózgu na poziomie półkul mózgowych. Lewa specjalizuje się w literach i słowach, prawa zaś w percepcji przestrzennej. Im bardziej złożone jest zadanie do wykonania, tym większą rolę spełnia specjalizacja. Jeżeli poziom integracji sensorycznej nie osiągnął odpowiedniego do wieku poziomu zaawansowania, półkule o słabej specjalizacji będą odpowiadać za podobne funkcje. Specjalizację powinno się osiągać w sposób naturalny, jako efekt końcowy wszystkich poprzednich poziomów integracji. Po osiągnięciu czwartego poziomu dziecko jest przygotowane do rozpoczęcia nauki w szkole⁵⁶.

3.4 Rozwój Integracji sensorycznej u dzieci

Rozwój dziecka podlega pewnym zasadom, które określają, czego na danym etapie jego aktywności możemy oczekiwać. Pierwsze siedem lat życia stanowi pewien proces, w którym następuje uporządkowanie w układzie nerwowym bodźców pochodzących z wnętrza ciała jak i tych które docierają z zewnętrznego świata. Żeby dziecko miało prawidłowe odpowiedzi adaptacyjne, potrzebna jest w tym okresie dobra integracja sensoryczna.

Pierwszy miesiąc

Noworodek zaczyna reagować na niektóre bodźce dotykowe, odpowiadając na nie wrodzonymi odruchami. Przy dotknięciu ręką w jego policzek pojawia się odpowiedź adaptacyjna w postaci odwracania

głowy w kierunku dłoni w celu znalezienia pokarmu. W tym okresie ma też odruch zaciskania palców na wszystkim, co pojawi się w jego dłoni. Zabezpiecza się w ten sposób przed jego upuszczeniem. Wyczuwa również grawitację i przemieszczanie się. Jeżeli nagle zmienimy jego pozycję opuszczając go w dół odbiera to jako upadek. Rozkłada wtedy ręce i nogi. Jest to pierwszy ogólny wzorzec motoryczny. U jednomiesięcznego dziecka trzymanego z głową na ramieniu pojawiają się pierwsze próby jej uniesienia. Umiejętność ta rozwinie się w ciągu paru tygodni, umożliwiając unoszenie głowy, gdy będzie leżało na brzuchu. Jednomiesięczne dziecko trzymane na rękach przyjmuje pozycje tak, by jak najlepiej ułożyć swoje ciało w stosunku do osoby, które je trzyma. Umożliwiają mu to bodźce pochodzące z receptorów mięśni i stawów. Bodźce te informują go również o kierunku odwrócenia głowy. Odpowiada za to toniczny odruch szyjny. Zmysł wzroku w tym okresie rozwoju nie jest dostatecznie zintegrowany, nie mniej jednak jednomiesięczne dziecko potrafi rozpoznać twarz matki i parę innych charakterystycznych obiektów oraz wodzić wzrokiem za poruszającym się przedmiotem. Nie potrafi jednak oddzielić od tła złożonych kształtów i nie potrafi odróżnić odcieni kolorów. Niemowlę reaguje na dźwięki chociaż nie rozumie ich znaczenia. Ma dobrze wykształcony zmysł smaku i powonienia, co doskonale widać na przykładzie odruchu ssania⁵⁷.

Drugi i trzeci miesiąc

Pojawia się kontrolowanie motoryczności oczu, głowy i szyi. Utrzymanie w równowadze głowy zapewnia mu stabilny obraz otrzymywany za pomocą zmysłu wzroku. W ciągu roku uczy się zmiany pozycji swojego ciała z leżącej na stojącą. Bodźce grawitacyjne działające na dziecko leżące na brzuchu powodują unoszenie jego klatki piersiowej za pomocą skurczu mięśni górnej części pleców. Na początku chwytą

⁵⁶ Ibid., s. 73–74.

⁵⁷ Ibid., s. 29–33.

przedmioty za pomocą zgięcia dłoniowego nadgarstka (chwyt bez użycia kciuka i palca wskazującego). Później (około dwunastego miesiąca) pojawi się znacznie doskonalszy chwyt szczypcowy⁵⁸.

Od czwartego do szóstego miesiąca

W tym okresie dziecko zaczyna interesować się swoimi dłońmi. Dotyka je i zbliża do siebie. Jeżeli ma w dłoniach jakieś przedmioty, to zaczyna nimi o siebie uderzać. Potrafi wykonywać szerokie ruchy. Około szóstego miesiąca życia jego czynności motoryczne zaczynają być planowane, a nie tak jak wcześniej – wykonywane automatycznie. Zaczyna się lepsza koordynacja obu stron ciała. W tym czasie dziecko potrafi też przez moment siedzieć bez pomocy rodziców i unoszone do góry w pozycji pronacyjnej (na brzuchu) unosi głowę, ramiona, nogi i górną część pleców wykonując tzw. „samolocik”. Aktywność fizyczna dziecka dostarcza mu dużo radości, ponieważ jego układ nerwowy coraz lepiej radzi sobie z odbiorem silniejszych bodźców grawitacyjnych⁵⁹.

Od szóstego do ósmego miesiąca

Następuje etap raczkowania i pełzania, który dostarcza dużej ilości bodźców z różnych układów zmysłowych. Zmianę pozycji z pleców na brzuch zapewnia dziecku odruch prostujący typu śrubowego, którego aktywność możemy zaobserwować już od chwili narodzin. Raczkujące dziecko zdobywa informację na temat fizyczności przestrzeni i pozwala odróżnić przedmioty większe od mniejszych. Pojawia się ocena odległości widzianych przedmiotów. W tym czasie dziecko zaczyna stosować chwyt szczypcowy, który umożliwia bardziej precyzyjne chwytanie przedmiotów. Maluch potrafi już wkładać palec wskazujący w otwór. Jego ruchy są coraz bardziej zaplanowane i umożliwiają mu

składanie i rozkładanie elementów prostych zabawek. Angażuje się w szukanie ukrytych lub znikających przedmiotów. Jest to etap początkowy wizualizacji obiektów. Słuchając różnych dźwięków zaczyna rozpoznawać proste słowa. Gaworzy powtarzając sylaby⁶⁰.

Od dziewiątego do dwunastego miesiąca

Dziecko powiększa obszar pełzania i poznaje więcej szczegółów swojego otoczenia. Pełzanie na tym etapie rozwoju intensyfikuje ilość doznań płynących z czucia głębokiego i z grawitacji. Potrafi bardziej skupić się na oglądanych przedmiotach, dokonując prostej analizy, do czego mogą one służyć. Często rozrzuca przedmioty ściągnięte ze stołu. Ruchy ręki z jednej strony ciała na drugą uczą umiejętności przekraczania linii środkowej ciała. Maluch zaczyna przybierać pozycję stojącą. Jest to bardzo ważny moment, w którym dochodzi do integracji sygnałów ze wszystkich części ciała. Dwunastomiesięczne dziecko coraz bardziej rozumie znaczenie słów, które słyszy. Potrafi wypowiadać proste słowa takie jak „mama” czy „tata”. Jest to w dużej mierze efekt stymulacji układu nerwowego bodźcami przesyłanymi z narządów ruchu⁶¹.

Drugi rok

Jest to czas, kiedy pojawia się umiejętność dokładniejszej lokalizacji miejsca dotyku i odczuwania większej przyjemności z dotykania przedmiotów. Dziecko za pomocą percepcji dotykowej potrafi określać granicę swojego ciała. Jest to zdolność bardziej podstawowa niż percepcja wzrokowa. Wykształca się mapowanie ciała. Pojawia się zwiększona aktywność ruchowa, zarówno w zakresie motoryki małej jak i motoryki dużej. Oprócz zabawy przedmiotami polegającej na podnoszeniu, popychaniu, rzucaniu i ich ciągnięciu, dzieci zaczynają ogarniać

⁵⁸ Ibid., s. 34.

⁵⁹ Ibid., s. 35.

⁶⁰ Ibid., s. 36.

⁶¹ Ibid., s. 37.

przestrzeń w pionie i poziomie chodząc i wspinając się. Dwulatek wykonuje proste polecenia i wypowiada parę słów. Chętnie bawi się w zabawę „a kuku!” i zaczyna kształtować się u niego odczucie własnej indywidualności. Ten element samookreślenia się powoduje, że potrafi wyrazić swoją niezależność mówiąc „nie”⁶².

Od trzech do siedmiu lat

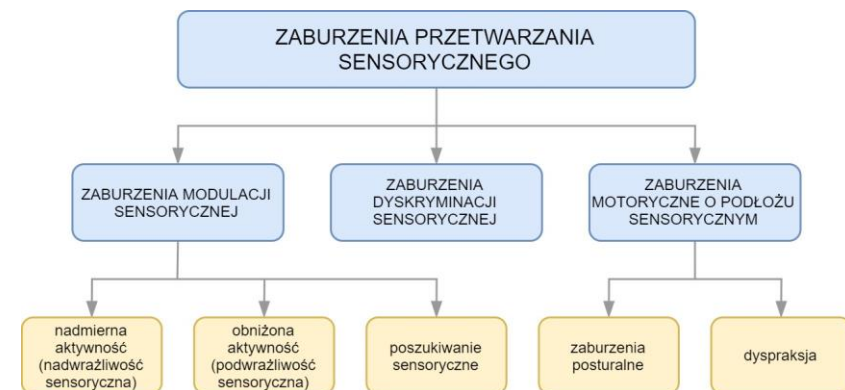
To bardzo ważny okres życia dziecka z punktu widzenia integracji sensorycznej. W tym czasie mózg wykazuje największą gotowość i zdolność integracji bodźcowej. Dziecko zaczyna nawiązywać kontakty społeczne i prowadzić rozmowy z rówieśnikami. Popęd sensoryczny nieustannie popycha go do zwiększonej aktywności i do zdobywania coraz to innych umiejętności. W celu określenia swoich granic sensomotorycznych dziecko często podejmuje działania z punktu widzenia osoby dorosłej uznawane za niebezpieczne. Jego wzmożoną aktywność ruchową możemy doskonale zaobserwować na placach zabaw. Postępujący rozwój integracji sensorycznej dostarcza mu coraz więcej przyjemności z osiągnięcia zamierzonych celów. W przedziale od trzech do siedmiu lat dorastające dziecko próbuje posługiwać się nieskomplikowanymi narzędziami (nóż, widelec, nożyczki, ołówek, sznurowadło itp.). Nabycie takich umiejętności możliwe jest dzięki wcześniejszym doświadczeniom, których podstawą jest prawidłowe przetwarzanie informacji sensorycznych na danym szczeblu rozwoju. Ósmy rok życia dziecka, to moment osiągnięcia dojrzałości układu dotykowego. Proces opanowania ruchu i grawitacji też jest prawie całkowicie zamknięty, więc chodzenie po wąskiej kładce i stanie na jednej nodze nie sprawia dziecku żadnej trudności. Od siódmego do ósmego roku życia możemy zaobserwować u dzieci zdolność abstrakcyjnego myślenia.

⁶² Ibid., s. 37–39.

Zdobycie tej umiejętności nie byłoby możliwe bez pozyskiwania sensorycznej wiedzy na temat własnego ciała i otaczającego nas świata⁶³.

3.5 Zaburzenia przetwarzania sensorycznego

Dysfunkcja integracji sensorycznej (SI Dysfunction) określana obecnie terminem zaburzenia przetwarzania sensorycznego (SPD Sensory Processing Disorder), to nieprawidłowe przetwarzanie przez mózg informacji sensorycznych dostarczanych przez zmysły. SPD nie jest chorobą i nie jest uszkodzeniem mózgu. Ma charakter neurofizjologiczny i uniemożliwia dziecku płynne, codzienne funkcjonowanie. Zaburzenie przetwarzania sensorycznego jest terminem ogólnym, w którym wyodrębniono trzy główne typy zaburzeń i dodatkowe wprowadzono podkategorie⁶⁴.



Zdj. 4. Podział zaburzeń przetwarzania sensorycznego.

⁶³ Ibid., s. 39–40.

⁶⁴ C.S. Kranowitz, *Nie-zgrane dziecko. Zaburzenia przetwarzania sensorycznego - diagnoza i postępowanie.*, Harmonia Universalis, Gdańsk 2012, s. 31–32.

3.5.1 Zaburzenia modulacji sensorycznej

Modulacją sensoryczną nazywamy proces przebiegający w ośrodkowym układzie nerwowym, który ma za zadanie wzmocnienie lub wyhamowanie impulsów nerwowych. Umożliwia on prawidłową reakcję na bodźce sensoryczne adekwatną do stopnia, intensywności natury bodźca. Jeżeli np. jesteśmy w pokoju, w którym włączymy wentylator, to po pewnym czasie przestajemy zwracać uwagę na dźwięk szumu powietrza jaki on wytwarza, pomimo tego, że natężenie tego szumu pozostaje cały czas na takim samym poziomie. Modulacja sensoryczna powoduje wyhamowanie impulsów nerwowych związanych z bodźcami słuchowymi do poziomu umożliwiającego nam wykonywanie innych ważnych w tym czasie czynności (np. skupieniu się na czytaniu książki). Jeżeli jednak układ nerwowy nie działa prawidłowo i pewne bodźce są nadmiernie wzmacniane, mówimy o **nadwrażliwości sensorycznej** i odwrotnie – jeżeli pewne bodźce są nadmiernie wyhamowane to używamy terminu **podwrażliwości sensorycznej**. Terminem **poszukiwanie bodźców sensorycznych** określamy stan, kiedy następuje nadmierne hamowanie bodźców sensorycznych przy jednoczesnej bardzo dużej potrzebie ich dostarczenia, żeby osiągnąć równowagę. Dziecko stale poszukuje intensywnych wrażeń.

Nadwrażliwość sensoryczna należy do kategorii zaburzeń modulacji sensorycznej. Obejmuje nadwrażliwość jednego systemu np. słuchowego, ale może też obejmować wszystkie systemy zmysłowe. Dzieci z tego typu zaburzeniami (w związku z tym, że mózg nieadekwatnie do sytuacji wzmacnia bodźce) mają problem z koncentracją uwagi, wykazują nadmierną pobudliwość, unikają ruchu, czasem reagują agresją, ucieczką, krzykiem, wrogością lub strachem. Reakcje na bodźce są bardzo indywidualne.

- **Obronność dotykowa** jest jedną z form nadwrażliwości sensorycznej. Dziecko unika dotykania i bycia dotykanym, całowania i przytu-

lania. Nie lubi czesania, mycia zębów i obcinania paznokci. Problemem jest dla niego chodzenie boso po materiałach z wyraźną fakturą. Unika prac plastycznych ponieważ bodźce z czucia skór nego odbiera nadzwyczaj intensywnie i przez długi czas. Dotyk nie sprawia mu żadnej przyjemności, kojarzy się mu wręcz z czymś nieprzyjemnym. Idąc w grupie dzieci nie lubi chodzić w parach. Nieustannie po posiłkach wyciera brudną buzię. Zaburzenia nadwrażliwości związanej z dotykiem wpływają na rozwój interakcji społecznych, ponieważ generują niewłaściwe reakcje emocjonalne, która nie zawsze są akceptowane przez najbliższe otoczenie.

- **Niepewność grawitacyjna (posturalna)** związana jest z nadwrażliwością przedsionkową, której objawem jest nieadekwatna reakcja na ruch liniowy. Dziecko z niepewnością grawitacyjną boi się zmiany pozycji swojego ciała. Reaguje lękiem i strachem na bodźce ruchowe. Nie chce wspinać się na drabince, szybko chodzić po schodach, nie lubi stania na rękach i nie lubi skakać. Huśtanie się na huśtawce jest dla niego dużym wyzwaniem. Jeżeli ma wybór w zabawach, to stara się wybierać zabawy statyczne, pozbawione elementów ruchu.
- **Nadwrażliwość słuchowa** bierze się z zaburzeń modulacji bodźców słuchowych. Maluch potrafi słyszeć i odpowiadać na dźwięki, które dla innych są poza granicą słyszalności. Przy dźwiękach silniejszych reaguje zasłanianiem swoich uszu lub krzykiem, który ma za zadanie je zagłuszyć. Przeszkadza mu dźwięk pracującego odkurzacza, suszarki do włosów, czy sokowirówki. Nadmiarowe bodźce słuchowe uniemożliwiają mu koncentrację na wykonywanym zadaniu i wprowadzają go w stan niepokoju i zdenerwowania. Nadwrażliwość słuchowa może przybierać formę fobii słuchowej.
- **Nadwrażliwość wzrokowa** powoduje unikanie intensywnego światła i jasnych, dobrze oświetlonych dużych płaszczyzn. Przedszkolaki w bardzo słoneczny dzień źle się czują bez okularów przeciwsto-

necznych lub czapki z daszkiem. Drażnią je migające światła, które wywołują u nich niepokój. Sprawia im trudność obserwacja szybko poruszających się, kontrastowych przedmiotów lub ludzi. Mogą mieć problemy z koncentracją i z kontaktem wzrokowym podczas prowadzenia rozmowy z inną osobą.

- **Nadwrażliwość węchowa/smakowa** wywołuje nudności, bóle głowy, może powodować odruch wymiotny. Dzieci z nadmiernie wzmocnionymi bodźcami węchowo-smakowymi bardzo intensywnie odczuwają nieprzyjemne zapachy, nawet takie, które inni określają jako przyjemne bądź neutralne. Mają problem z jedzeniem i potrafią nie zjeść niektórych pokarmów ze względu na ich specyficzny smak i aromat. Również w tym wypadku pojawia się problem koncentracji uwagi, którą rozregulowuje pobudzony układ nerwowy. Aby uniknąć dopływu silnych bodźców bardzo często zatykają nos.

Podwrażliwość sensoryczna jako przeciwstawny element nadwrażliwości charakteryzuje się wysokim progiem pobudzenia. Dzieci podwrażliwe sensorycznie potrzebują zwiększonej ilości wyraźnych bodźców zmysłowych na które reagują zdecydowanie wolniej i dłużej. Potrafią być samodzielne, ale nie interesują ich grupowe zabawy. Mogą być biernymi obserwatorami bez chęci angażowania się w kontakty społeczne.

- **Podwrażliwość dotykowa.** Dzieci z tą dolegliwością mają wyraźnie podniesiony próg bólowy. Reagują dopiero na bardzo silny dotyk. Nie czują zadrapań i urazów mechanicznych. Potrafią upuszczać różne przedmioty i nie czuć, że są dotykane i że mają brudne ciało. W kontaktach z innymi dziećmi mogą zadawać im ból fizyczny, nie zdając sobie z tego faktu sprawy.

- **Podwrażliwość proprioceptywna** łączy się z obniżonym napięciem mięśniowym i słabym określeniem położenia w przestrzeni zarówno całego ciała, jak i jego poszczególnych części. Dziecko nie odczuwa, że ktoś nim porusza, może celowo zahaczać swoim ciałem o różne przedmioty. Angażuje się w zabawy wymagające silnych i zdecydowanych ruchów. Często psuje zabawki, jest energiczne i bardzo aktywne ruchowo.
- **Podwrażliwość przedsionkowa.** Dla dzieci z podwrażliwością przedsionkową trudnością jest właściwa rejestracja ruchu. Wykazują dużą potrzebę ruchu obrotowego. Długa zabawa na huśtawce, czy na karuzeli nie wywołuje u nich odruchu wymiotnego. Nie mają wykształconego odruchu obronnego w postaci rozkładania rąk i nóg w momencie upadku. Używają chodu na szerokiej podstawie i nie potrafią właściwie kontrolować postawy własnego ciała.
- **Podwrażliwość słuchowa.** Dziecko może nie reagować na własne imię i na polecenia wydawane przez dorosłych. Może mieć problemy z odróżnianiem słów o podobnym brzmieniu. Nie zawsze słyszy to, co słyszą inni. Potrafi przez długi czas wsluchiwać się w różne dźwięki (np. w hałas na ulicy) i często bawi się zabawkami, które dźwięki wydają. Lubi głośną muzykę.
- **Podwrażliwość wzrokowa** powoduje, że dzieci mają problem w ocenie odległości poruszających się w ich kierunku przedmiotów, nie potrafią skupić się na ich ruchu, nie reagują mrużeniem oczu na jasne źródło światła. Czasem sprawia im trudność układanie puzzli.
- **Podwrażliwość węchowa/smakowa.** Zaburzenie to sprawia, że dzieci zaczynają wkładać do ust różne przedmioty i oblizują je, nie potrafią odróżnić intensywnych zapachów oraz smaku potraw. Lubią ostre pokarmy lub zjadają niejadalne rzeczy.

Poszukiwanie wrażeń sensorycznych jest rodzajem zaburzenia, które najczęściej związane jest z nieprawidłowo funkcjonującym systemem przedsionkowym i proprioptywnym. Poszukiwacze wrażeń sensorycznych potrzebują dostarczania intensywnych bodźców sensorycznych z określonych kanałów, by osiągnąć stan pobudzenia układu nerwowego na określonym poziomie. Dzieci takie wykazują nadmierną aktywność ruchową, skaczą, wiercą się, przeciskają się między meblami, potrzebują intensywnego kontaktu fizycznego z rówieśnikami, który może być przez innych odbierany jako niebezpieczny. Potrafią być przy tym agresywne. Potykają się o inne osoby i przedmioty. Gdy kręcą się na karuzeli, nie odczuwają nudności. Angażują się w zabawy, mogące być dla innych dzieci wyczerpujące fizycznie. Lubią przedmioty, które wysyłają intensywne bodźce świetlne, dźwiękowe i zapachowe⁶⁵.

3.5.2 Zaburzenia dyskryminacji sensorycznej

Kolejną kategorią zaburzeń przetwarzania informacji sensorycznych dostarczanych przez zmysły jest zaburzenie różnicowania (dyskryminacji) sensorycznego. Polega na niedostatecznym odróżnianiu od siebie wrażeń zmysłowych i na nieprawidłowym rozumieniu ich znaczenia. Często towarzyszą temu zjawisku zaburzenia motoryczne o podłożu sensorycznym i podwrażliwość sensoryczna. Dziecko nie ma dobrej świadomości własnego ciała. Sprawia mu trudność określenie, w którym miejscu jest dotykane, jeżeli dotyk jest poza kontrolą wzroku. Podobnie jest z dotykaniem przedmiotami – nie potrafi nazwać przedmiotu bez posilkowania się zmysłem wzroku. Nie potrafi się ubrać, nie radzi sobie z guzikami, nieprawidłowo trzyma sztucce i nie potrafi prawidłowo odczytać temperatury otoczenia. Pojawiają się u niego kłopoty z utrzymaniem równowagi przy zamkniętych oczach.

⁶⁵ M. Szybkowska, *Zaburzenia modulacji w integracji sensorycznej*, <https://www.wszpwn.com.pl/pl/salon-metodyczny/zaburzenia-modulacji-w-integracji-sensorycznej.html>, [dostęp: 16.07.2021].

Charakteryzuje się niezgrabnością ruchową. Dziecko z zaburzeniem dyskryminacji sensorycznej nie stosuje stopniowania siły nacisku przy zabawie zabawkami lub przy posługiwaniu się długopisem, kredką czy też kredą. Nie znajduje różnic i podobieństwa między twarzami, obrazkami, czy też napisanymi słowami. Jeśli chodzi o bodźce słuchowe to nie potrafi zróżnicować dźwięków. Śpiewając fałszuje. Nie odróżnia różnych, często bardzo charakterystycznych zapachów i smaków⁶⁶.

3.5.3 Zaburzenia motoryczne o podłożu sensorycznym

Są to zaburzenia związane z integracją sensoryczną w zakresie ruchu. Ruch, podobnie jak zabawa jest naturalną potrzebą prawidłowo rozwijającego się, zdrowego dziecka. Zabawy ruchowe angażują liczne połączenia nerwowe stymulując rozwój układu nerwowego. Nasze mięśnie pracują nie tylko wtedy kiedy tańczymy, chodzimy i biegamy, ale również wtedy, kiedy jesteśmy w pozornym bezruchu utrzymując w równowadze właściwą pozycję naszego ciała. Zaburzenia SDD dzielimy na dwie grupy:

- **Zburzenia posturalne** obejmują obszar nieprawidłowej integracji sygnałów z systemu przedsionkowego, proprioptywnego, dotykowego i z sytemu wzrokowego. Większość zaburzeń posturalnych wiąże się z nieprawidłowymi reakcjami równoważnymi za które odpowiada system przedsionkowy. Dziecko ma wtedy problemy z utrzymaniem równowagi ciała, często się potyka i traci równowagę przy zmianie ułożenia ciała. Przy obniżonym napięciu mięśniowym trudno mu utrzymać pozycję wyprostowaną, dlatego też się garbi, zajmuje nieprawidłową pozycję przy siedzeniu i nie potrafi w pełni zgąć i wyprostować kończyn. Mając złą koordynację obustronną nie potrafi wykonywać dwóch czynności jednocześnie obiema rękami np. nalewać do kubka wodę. Nie ma wykształ-

⁶⁶ C.S. Kranowitz, *Nie-zgrane dziecko. Zaburzenia przetwarzania sensorycznego - diagnoza i postępowanie.*, op. cit., s. 37–38.

conych prawidłowych odpowiedzi obronnych związanych z upadkiem.

- **Dyspraksja** jest drugą i jednocześnie ostatnią grupą zaburzeń motorycznych o podłożu sensorycznym. To trudność w planowaniu i wykonaniu określonej sekwencji celowych ruchów niewyuczonych. Związana jest z nieprawidłową integracją wielu struktur ośrodkowego centralnego układu nerwowego. Dziecko z dyspraksją mając trudności w planowaniu ruchów nie potrafi się szybko nauczyć nowych czynności ruchowych, a próbując je wykonać robi to niezdarne (wpływ ma na to słaba koordynacja w zakresie motoryki małej i motoryki dużej). Maluch nie potrafi przenieść doświadczeń motorycznych, które powstały przy wykonywaniu określonych czynności na czynności inne, ale podobne. Zapinanie i odpinanie guzika we własnym ubraniu i w ubraniu misia to dla niego dwie zupełnie różne czynności. Planowanie motoryki małej w zakresie narządów mowy jest również zaburzone i może skutkować problemami z mową. Takie dziecko ma bardzo ograniczony zasób słów i niewyraźną wymowę. Może różnym rzeczom i przedmiotom nadawać takie same nazwy⁶⁷.

3.6 Terapia integracji sensorycznej

3.6.1 Charakterystyka terapii integracji sensorycznej

Terapia integracji sensorycznej jest holistyczną terapią zajęciową, której główną rolą jest dostarczenie dziecku bardzo precyzyjnych i ukierunkowanych bodźców sensorycznych umożliwiających wytworzenie prawidłowych odpowiedzi adaptacyjnych.

Dziecko u którego obserwujemy prawidłowy rozwój nie wymaga specjalistycznej terapii, ponieważ w trakcie normalnej aktywności fizycznej środowisko w którym się rozwija dostarcza niezbędnych bodźców dotykowych, wzrokowych, słuchowych, węchowych i grawitacyjnych. Układ nerwowy jest tak skonstruowany, że w czasie zabawy dziecka naturalna stymulacja sensoryczna jest w zupełności wystarczająca do skutecznego reagowania na różne bodźce. Jeżeli jednak występują zaburzenia integracji sensorycznej, potrzebny jest wykwalifikowany terapeuta, który zapewni specjalistyczne ćwiczenia służące lepszej integracji sensorycznej, mającej bezpośredni wpływ na sferę emocjonalną i motoryczną.

Terapia integracji sensorycznej prowadzona jest w pracowni sensorycznej w formie ćwiczeń ruchowych z elementami zabawy, aktywujących ściśle określone obszary sensoryczne. Ćwiczenia te są indywidualnie dobierane przez terapeutę w zależności od rodzaju zaburzeń i predyspozycji psychoruchowych dziecka. W czasie terapii dziecko nie uczy się wykonywania konkretnej czynności ruchowej, ale zdobywa nowe umiejętności motoryczne potrzebne do prawidłowego rozwoju psychofizycznego. Skuteczność terapii zdecydowanie się zwiększa, gdy dziecko w sposób naturalny samo dobiera sobie odpowiednie sprzęty do ćwiczeń. Jeżeli dziecko dąży do wykonania określonego zadania, jest to sygnał, że jego mózg jest w stanie uporządkować informacje dostarczone przez zmysły. W przypadku poważniejszych zaburzeń terapeuta musi w większym stopniu wpływać na kierunek działań dziecka i nadać im bardziej zdefiniowany kształt. Nie zmienia to faktu, że wszystkie zajęcia powinny charakteryzować się dużą kreatywnością i możliwością modyfikacji zadań w trakcie ich trwania. Chodzi o to, by nie doszło do przeciążenia sensorycznego, które bardzo niekorzystnie wpływa na rozwój układu nerwowego. **Elementy zabawy** pojawiające się w trakcie ćwiczeń odgrywają bardzo istotną rolę w całym procesie terapii sensorycznej. Angażując emocjonalnie dziec-

⁶⁷ M. Szybkowska, *Zaburzenia motoryczne o podłożu sensorycznym*, <https://www.wszpwn.com.pl/pl/salon-metodyczny/zaburzenia-motoryczne-o-podlozu-sensorycznym.html>, [dostęp: 19.07.2021].

ko w proces terapeutyczny dają poczucie przyjemności i relaksu istotnie zwiększając skuteczność działań terapeutycznych. Równocześnie zabawa, jako naturalna potrzeba każdego dziecka daje szansę na rozwijanie wszystkich procesów poznawczych⁶⁸.

Po kompleksowej diagnozie dziecka (jeszcze przed rozpoczęciem działań terapeutycznych) terapeuta tworzy szczegółowy, indywidualny program pracy z dzieckiem, tzw. dietę sensoryczną, w której określa odpowiedni dobór bodźców sensorycznych stosowanych w terapii. Dieta sensoryczna jest bardzo ważnym elementem zarówno dla terapeuty, jak i dla rodziców, którzy powinni się orientować, które powtarzające się w codziennym życiu aktywności zapewnią dziecku odpowiednie odpowiedzi adaptacyjne. I tak w przypadku dzieci z zaburzeniami modulacji sensorycznej w zależności od tego, czy mówimy o nadwrażliwości sensorycznej, czy o podwrażliwości sensorycznej program oferuje odpowiednie techniki wyciszania lub pobudzania ośrodkowego układu nerwowego. Dobra dieta sensoryczna powinna mieć możliwość modyfikacji w trakcie trwania terapii, żeby była skuteczna również wtedy, gdy zmieniają się potrzeby dziecka. W opracowaniu programu pracy z dzieckiem zaangażowani są również jego rodzice, ponieważ proponowane działania terapeutyczne realizuje się nie tylko podczas sesji terapeutycznych⁶⁹.

3.6.2 Ćwiczenia i zabawy w terapii integracji sensorycznej

W zależności od rodzaju zaburzenia przetwarzania sensorycznego terapeuci stosują określone zestawy ćwiczeń w formie „naukowej zabawy”. Ćwiczenia przeprowadzane są z wykorzystaniem jednego lub wielu specjalistycznych przyrządów rehabilitacyjnych i mogą być

⁶⁸ A.J. Ayres, *Dziecko a integracja sensoryczna...*, op. cit., s. 155–161.

⁶⁹ M. Wójcik, *Rola terapeuty integracji sensorycznej w procesie autorehabilitacji dziecka z zaburzeniami przetwarzania sensorycznego*, „Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, sectio J – Paedagogia-Psychologia”, 2015, t.27, nr 2, s. 47–48.

w zależności od potrzeby ukierunkowane na jeden lub wiele zmysłów równocześnie. Do wykonywania ćwiczeń wykorzystuje się również elementy gier zespołowych, zabawki zwykłe i sensoryczne oraz przedmioty codziennego użytku. Przykłady takich prostych ćwiczeń i zabaw ukierunkowanych na określone układy przetwarzania sensorycznego przedstawiono poniżej⁷⁰.

Ćwiczenia układu przedsionkowego



Zdj. 5. Ćwiczenia z wykorzystaniem huśtawki okrągłej.

- Stanie naprzemienne na jednej i drugiej nodze z oczami otwartymi i zamkniętymi.
- Chodzenie po skakance ułożonej na podłodze w linii prostej w taki sposób, by palce jednej stopy dotykały pięty drugiej stopy. Następnie chodzenie po równoważni przodem, bokiem i tyłem.

⁷⁰ M. Kuleczka-Raszewka i D. Markowska, *Uczę się poprzez ruch*, Harmonia Universalis, Gdańsk 2017, s. 59–87.

- Robienie pajacyka. Na początku pracują ręce, później nogi, a na końcu nogi i ręce.
- Ćwiczenie z wykorzystaniem ruchomego przyrządu np. konia na bieżniach z równoczesnym odbijaniu balona.
- Rzucanie piłką do celu z jednoczesnym huśtaniem się na hamaku.
- Skakanie z wykorzystaniem piłki typu kangur.

Ćwiczenia układu dotykowego



Zdj. 6. Ćwiczenia z wykorzystaniem dysków sensorycznych.

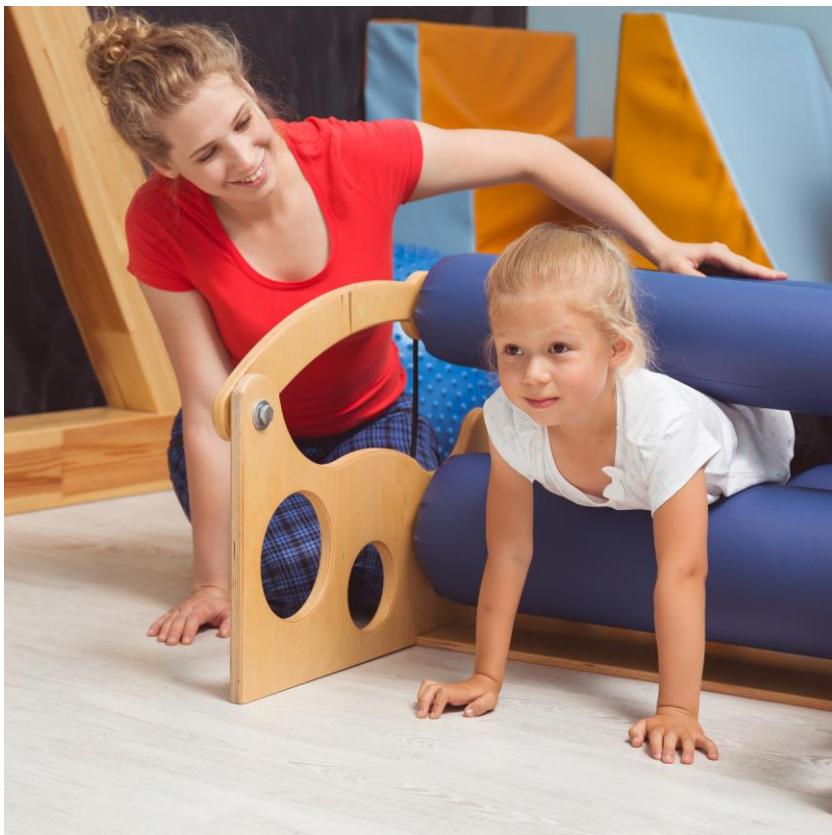
- Zabawa w zgadywanie „co to za przedmiot” polegająca na odgadywaniu nazw przedmiotów bez udziału wzroku. Przedmioty umieszczone są w worku lub pudełku z otworem na wkładanie ręki.
- Przesuwanie ręki i przedramienia po przedmiotach o zróżnicowanej fakturze.

- Przetaczanie dużej piłki po ciele.
- Zabawa w „ciuciubakę”.
- Modelowanie z plasteliny leżącej ósemki.
- Naprzemienne wkładanie rąk do ciepłej i zimnej wody i opisywanie wrażeń dotykowych.
- Wkładanie rąk i nóg do pojemnika z piłeczkami.

Ćwiczenia schematu ciała

- Poruszanie w rytmie muzyki różnych części ciała.
- Ćwiczenie przed lustrem polegające na dotykanii i nazywaniu różnych części ciała.
- Przekraczanie środkowej linii ciała za pomocą dotykania lewą ręką prawego ucha i prawą ręką lewego ucha.
- Naśladowanie ruchów różnych zwierząt.
- Z odległości jednego metra rzucanie do pojemnika piłeczek, woreczków.
- Kołysanie dziecka przez terapeutę w różnych kierunkach.

Ćwiczenia układu proprioceptywnego



Zdj. 7. Ćwiczenia z wykorzystaniem maglownicy.

- Przenoszenie przez dziecko ciężkich przedmiotów.
- Pchanie i ciągnięcie dużych przedmiotów po podłodze.
- Podciąganie się w zwisie na drabince.
- Naciskanie stopami i rękoma na ścianę.
- Odbijanie balona lub piłki za pomocą rakiety tenisowej lub kija.
- Zabawy z piłką plażową.

Ćwiczenia dyspraksji rozwojowej



Zdj. 8. Ćwiczenia z wykorzystaniem piłki.

W zakresie ogólnej koordynacji ruchowej:

- Zbieranie w leżeniu przodem na poruszającej się deskorolce różnych przedmiotów.
- Utrzymanie stabilnej pozycji na desce obrotowej w trakcie odbijania balonu.
- Czołganie się pod torem przeszkód.
- Chwytywanie rzucanych do dziecka przedmiotów.
- Skoki w worku.
- Turlanie się po podłodze.
- Uderzanie piłki zawieszzonej na sprężynie.

W zakresie usprawnienia małej motoryki i grafomotoryki:

- Ugniatanie gąbki i piłeczek.
- Zabawa ze sznurkami (pociąganie, nakładanie koralików).
- Wertowanie stron książki.
- Wydzieranki z kolorowego papieru.
- Rysowanie palcem figur na piasku.
- Zakręcanie i odkręcanie butelek.
- Cięcie nożyczkami papieru.

W zakresie koordynacji wzrokowo-ruchowej:

- Przekładanie z ręki do ręki różnych przedmiotów.
- Układanie przedmiotów w jednej linii.
- Porządkowanie klocków względem kształtów.
- Rysowanie na dużej powierzchni kresek i kropek.
- Dobieranie obrazków do przedmiotów.
- Szukanie wspólnej cechy między przedmiotami.
- Chodzenie po zaznaczonych na podłodze liniach.

W zakresie ćwiczeń równoważnych

- Przemieszczanie się na dmuchanym materacu.
- Chodzenie przodem i tyłem z woreczkiem na głowie wypełnionym sypkim materiałem.
- Chodzenie po ławeczce gimnastycznej.
- Chodzenie po ruchomej kładce.
- Przekładanie woreczka pod kolanem.
- W siedzeniu na deskorolce odpychanie się nogami od ściany.
- Zabawy na torze przeszkód.

3.6.3 Sprzęt rehabilitacyjny w terapii integracji sensorycznej

Obecnie na rynku można spotkać się z bardzo bogatą ofertą, często wyspecjalizowanych urządzeń i przyrządów używanych w rehabilitacji sensorycznej. Mogą one tworzyć zestawy (podstawowe i profesjonalne), które znajdują szerokie zastosowanie w placówkach posiadających sale przeznaczone do sesji terapeutycznych. Sprzęt ten może być sprzętem naziemnym lub sprzętem podwieszanym. Musi on spełniać ogólne warunki bezpieczeństwa i działania określone dla tego typu urządzeń (od 26 maja 2021 roku zaczęło obowiązywać w Polsce unijnej rozporządzenie 2017/745 z 5 kwietnia 2017 roku w sprawie wyrobów medycznych).

Dobrym przykładem działań wpisujących się w kierunek oferowania wysokiej jakości bezpiecznego sprzętu jest oferta sprzedażowa firmy SENSOR, której produkty są szeroko stosowane przez rehabilitantów w codziennej pracy z dziećmi z dysfunkcjami rozwojowymi. Jej podstawowy zestaw do terapii SI składa się z 14 elementów⁷¹

Podstawowy zestaw do terapii SI firmy SENSOR obejmuje:

- Mata sensoryczna z kolcami Jeż 30 cm × 90 cm
- Materace, 2 szt. 200 cm x 120 cm x 5 cm
- Piłka do skakania z uchwytami 55 cm
- Piłka bez kolców 55 cm
- Piłeczki do masażu, zestaw 2 szt. 6cm do masażu na zimno i gorąco
- Piłka sensoryczna z kolcami 65 cm
- Huśtawka trapez

⁷¹ Zestaw podstawowy do terapii SI Nr 1, https://www.sensoryczni.pl/sprzet_do_si/zestaw-podstawowy-do-terapii-si-nr-1/, [dostęp: 31.08.2021].

- Huśtawka platforma
- Huśtawka helikopter miękki, gruby
- Deska rotacyjna
- Równoważnia Kołyska duża
- Deskorolka duża z uchwytem na linę
- Huśtawka terapeutyczna ze stabilizatorem
- Podwiesie Stalowe Wolnostojące z okrągłymi słupami, (hak obroty x 2, punkty zawieszenia x 3, karabińczyk x 4)

3.7 Zabawa

3.7.1 Zabawa jako wspólny obszar działań projektowych

Z założenia projektowane pomoce dydaktyczne przeznaczone do pracy z dziećmi z zaburzeniami przetwarzania sensorycznego mają mieć zastosowanie w dwóch obszarach. Pierwszy obszar to terapia metodą integracji sensorycznej, a drugi obszar to nauczanie z zakresu wybranej dziedziny fizyki. Żeby osiągnąć cel główny i cel pomocniczy pracy, przedstawiony we wstępie niniejszej dysertacji należało znaleźć wspólny element łączący te dwa, wydawałoby z pozoru niezależne od siebie światy. **Po przeprowadzeniu analizy autor przyjął, że tym elementem może być zabawa.** W terapii integracji sensorycznej, jak podkreślają wszyscy terapeuci, „naukowa zabawa” jest warunkiem koniecznym skutecznej rehabilitacji dzieci. Nauczanie dzieci z zaburzeniami integracji sensorycznej jak i bez tych zaburzeń z zakresu wybranej dziedziny fizyki z wykorzystaniem elementów zabawy w prostych eksperymentach naukowych może również przynieść pożądane efekty pedagogiczne. Dowodem na to mogą być badania przeprowadzone na grupie dzieci przedszkolnych, które brały udział w specjalnie dla nich przygotowanych zabawach dydaktycznych. Eksperyment miał za zadanie sprawdzenie kształtowania się w trakcie trwania badania postaw badawczych i zainteresowania tematem zabawy badawczej.

Okazało się, że u badanych dzieci zaczęły wyodrębniać się struktury wiedzy formalnej dotyczącej szukania i odpowiadania na pytanie dlaczego i w jakim celu. Dzięki zabawie odnajdywały powiązania między zjawiskami znajdując skutki i przyczyny danego zjawiska⁷².

3.7.2 Charakterystyka zabawy

Zabawa to jedna z podstawowych form aktywności człowieka, niezależnie od jego wieku. W zależności od etapu rozwoju zmienia swoją formę i spełnia różne funkcje. Najbardziej widoczna jest w okresie dzieciństwa i ma niebagatelny wpływ na prawidłowy rozwój dziecka. Jest złożonym zjawiskiem, które łączy w sobie wiele elementów: pracę, naukę i działalność społeczną. Jest jedną z form poznawania otaczającego nas świata.

Od czasu Platona, który traktował zabawę jak przyjemność, która nie szkodzi, ale też nie przynosi żadnej korzyści powstało wiele teorii zabawy opartych na filozoficznych i naukowych przesłankach, które próbują uchwycić sens i znaczenie tego terminu⁷³. Chcąc w prosty sposób oddać charakter tego zjawiska Beata Suła określa zabawę w następujący sposób: „Jest ona najważniejszą formą aktywności dziecka znaczącą dla jego prawidłowego rozwoju psychicznego oraz dla kształtowania jego osobowości i postaw na wszystkich etapach rozwoju osobniczego. Tak więc zabawa stanowi integralny i niezbywalny czynnik homotwórczy, element zarówno wolności, konieczności jak i powinności jednostki ludzkiej, a także odwieczny i nieodłączny składnik kultury”⁷⁴.

⁷² B. Muchacka, *zabawa w poznawczym rozwoju dziecka*, „Pedagogika Przedszkolna i Wczesnoszkolna”, 2014, t.2, nr 1, s. 9.

⁷³ W. Okoń, *Zabawa a rzeczywistość*, Wydawnictwo Żak, Warszawa 1995, 2. wyd., s. 24–25.

⁷⁴ B. Suła, *Zabawa – potrzeba i konieczność w rozwoju dziecka*, „Zabawy i zabawki. Studia antropologiczne.”, 2016, nr 14, s. 21.

Najważniejsze cechy zabawy:

- Jest aktywnością podejmowaną z własnej woli w sposób spontaniczny.
- Nie służy żadnemu celowi.
- Jest aktywnością, która ma granice czasowe i przestrzenne.
- Obowiązują ją dobrowolnie przyjęte i przestrzegane reguły.
- W czasie jej trwania dziecko doświadcza silnych, czasem bardzo skrajnych emocji.
- W trakcie zabawy dziecko przebywa w innej czasoprzestrzeni.
- W zabawie występują elementy tajemniczość i poczucie inności.
- W zabawie następuje twórcza transformacja rzeczywistości⁷⁵.

Funkcje zabawy:

- **Funkcja kształcąca** zapewnia prawidłowy rozwój wszystkich procesów poznawczych, rozwija zmysły i podnosi sprawność, pobudza ciekawość, rozwija zainteresowania i uczucia intelektualne, daje poczucie przyjemności i zadowolenia. Wzbogaca wiedzę dziecka o świecie. Umożliwia poznanie własnych możliwości.
- **Funkcja wychowawcza** pomaga funkcjonować dziecku w oparciu o obowiązujące normy społeczne i umożliwia nawiązywanie nowych kontaktów z rówieśnikami. Daje poczucie własnej wartości. Umożliwia w późniejszym okresie pełnienie nowych ról społecznych. Pomaga określić rolę dziecka w grupie i pomaga w radzeniu sobie w trudnych sytuacjach.
- **Funkcja terapeutyczna** uczy wyrażania własnych emocji. Rozładowuje stres i zmniejsza napięcie emocjonalne. Pomaga w opanowaniu nowych umiejętności i przewyżnianiu własnych słabości. Przyczynia się do prawidłowego, harmonijnego rozwoju.

⁷⁵ Ibid.

- **Funkcja projekcyjna** pokazuje w jaki sposób dziecko reaguje na różne, nowe sytuacje. Umożliwia określenie na jakim etapie rozwoju emocjonalnego znajduje się dziecko.
- **Funkcja diagnostyczna** umożliwia zastosowanie prawidłowych działań pedagogicznych. Stwarza dobre warunki do określenia indywidualnego profilu rozwoju.
- **Funkcja relaksacyjna** zapewnia możliwość relaksu i odpoczynku, niwelując w ten sposób objawy stresu i zmęczenia⁷⁶.

⁷⁶ M. Kwaśniewska, *Zabawa jako podstawowa forma aktywności dziecięcej*, [w:] *Dziecko sześciolatnie w szkole: praca zbiorowa*, red. J. Karczewska i M. Kwaśniewska, Wydawnictwo Pedagogiczne ZNP, Kielce 2009, s. 82–83.



PROCES PROJEKTOWY

4 PROCES PROJEKTOWY

4.1 Struktura procesu projektowania

4.1.1 Etapy

Proces projektowania nowego produktu ma charakter wieloetapowy, a występujące po sobie w określonej kolejności elementy tworzą logiczną i czytelną strukturę. W zależności od stopnia skomplikowania zagadnienia projektowego może przybierać mniej lub bardziej złożoną formę. Uświadomienie sobie tego procesu i dokładne zdefiniowanie poszczególnych jego etapów w konkretnym zadaniu projektowym bardzo ułatwia cały proces projektowania i zwiększa szansę na powstanie produktu, który zaspokoi oczekiwania odbiorcy.

Na potrzeby niniejszej pracy autor przyjął następujący schemat kolejności poszczególnych etapów projektowania:

Etap pierwszy

- Określenie problemu projektowego.
- Określenie celu, grupy docelowej, szukanie pomysłu na rozwiązanie problemu projektowego.
- sformułowanie założeń projektowych.

Etap drugi

- Poszerzanie wiedzy, analiza istniejących rozwiązań, inspiracje, koncepcje projektowe.

Etap trzeci

- Powstanie modeli badawczych, pierwszy etap testowania w grupie docelowej, opracowanie wniosków.

Etap czwarty

- Powstanie kolejnych modeli badawczych z uwzględnieniem wniosków z pierwszego etapu testów, badanie wybranych parametrów technicznych na stanowisku pomiarowym, drugi etap testowania w grupie docelowej, opracowanie wniosków końcowych.

4.1.2 Problem projektowy

W rehabilitacji metodą terapii integracji sensorycznej stosuje się wiele sprzętów, które w trakcie ćwiczeń dostarczając określonych bodźców, działają na jeden lub wiele zmysłów równocześnie. Odbywa się to wszystko w ramach „naukowej” zabawy, która jest podstawą udanej terapii zajęciowej. Obecnie na rynku istnieje bogata oferta sprzedawców producentów takich sprzętów, która jest w stanie w pełni zaspokoić potrzeby zarówno gabinetów terapeutycznych jak również indywidualnych odbiorców. Podobnie wygląda sprawa ze środkami dydaktycznymi – bez problemu można znaleźć konkretne, wąsko ukierunkowane pomoce przeznaczone do nauczania w ramach wybranej dziedziny fizyki. Brakuje natomiast takich produktów, które w pracy z dziećmi z zaburzeniami przetwarzania sensorycznego spełniały by zarówno rolę terapeutyczną jak i edukacyjną.

4.1.3 Cel projektowy

Głównym celem jest stworzenia pomocy dydaktycznych (w postaci modeli badawczych), które można by było efektywnie wykorzystać w pracy z dziećmi z zaburzeniami przetwarzania sensorycznego za-

równy w procesie terapii integracji sensorycznej, jak i w procesie nau- czania w wybranej dziedzinie fizyki. Praca z dziećmi może mieć cha- rakter pracy indywidualnej z jednym dzieckiem, jak też może być for- mą pracy zespołowej z grupą dzieci.

Celem pomocniczym jest powstanie takiego projektu, który uwzględ- nia pracę z dziećmi w grupach integracyjnych i daje również możli- wość pracy z dziećmi bez dysfunkcji rozwojowych.

4.1.4 Grupa docelowa

Grupę docelową stanowią dzieci od trzeciego do piętnastego roku życia ze stwierdzonymi zaburzeniami przetwarzania sensorycznego, jak również dzieci w tym samym zakresie wiekowym bez dysfunkcji rozwojowych.

4.1.5 Pomysł

Jedną z metod stosowaną przy poszukiwaniu pomysłu na rozwiązanie problemu projektowego jest celowe zawężenie obszaru poszukiwań i skupienie się tylko na jego najistotniejszych elementach.

W rozdziale czwartym na podstawie analizy autor przyjął, że najważ- niejszym wspólnym obszarem działań projektowych z zakresu terapii metodą integracji sensorycznej i nauczania w wybranej dziedzinie fizyki mogą być elementy zabawy. W terapii integracji sensorycznej zabawa jest warunkiem koniecznym skutecznej rehabilitacji dzieci, natomiast proces dydaktyczny prowadzony z dziećmi z zaburzeniami przetwarzania sensorycznego jak i bez tych zaburzeń z wykorzysta- niem elementów zabawy w prostych eksperymentach fizycznych może również przyczynić się do zwiększenia efektywności nauczania.

Przeglądając wydawnictwa zwarte jak też liczne źródła internetowe, autor zwrócił uwagę na bardzo znany i prosty eksperyment fizyczny z zakresu mechaniki płynów. W eksperymencie tym piłeczka pingpon-

gowa wisi w powietrzu unoszona w strumieniu powietrza wypływają- cym z suszarki do włosów. Eksperyment ten został powtórzony w dwóch wariantach: w wariacie pierwszy wykorzystano piłeczkę oraz suszarkę do włosów, a w wariacie drugim nadmuchany balon i wentylator komputerowy.

Niezależnie od tego, czy unoszącym się przedmiotem była piłeczka, czy też balon, obserwacja zjawiska lewitacji z wykorzystaniem stru- mienia powietrza zawsze wywoływało u obserwatora podobny efekt: oczarowanie, zdumienie i chęć dalszego eksperymentowania. Szczególnie wtedy, gdy po odchyleniu od pionu wentylatorów o znaczny kąt unoszące się przedmioty dalej lewitowały w powietrzu. W czasie przeprowadzania eksperymentu zdarzyło się parokrotnie, że piłeczka czy balon na skutek zaburzenia ciągłości wypływającego strumienia powietrza spadała na podłogę. Pojawiał się wtedy u osoby obserwują- cej eksperyment odruch podniesienia przedmiotu i umieszczenia go w strumieniu wydmuchiwanego powietrza. Wymagało to szybkiej aktywności ruchowej, którą można by było w naturalny sposób wyko- rzystać w procesie rehabilitacji dziecka.

Po dokładnej analizie wynikającej z obserwacji tego prostego do- świadczenia fizycznego autor doszedł do wniosku, że lewitacja przedmiotu w strumieniu powietrza wytwarzanego przez wentylator elektryczny może stać się ciekawym i nieszablonowym pomysłem na rozwiązania problemu badawczego. Zawiera w sobie wszystkie funk- cje zabawy niezbędne w procesie terapii metodą integracji sensorycz- nej i elementy eksperymentu fizycznego, które można by było wyko- rzystać w procesie dydaktycznym z zakresu nauczania fizyki.



Zdj. 9. Piłeczka w strumieniu suszarki do włosów.



Zdj. 10. Balon w strumieniu wentylatora komputerowego.

4.1.6 Założenia projektowe

Dla zwiększenia czytelności przekazu założenia projektowe zostały podzielone na parę obszarów obejmujących problematykę analizy charakterystycznych cech związanych z produktem.

Obszar ogólny

- Produkt ma mieć formę modeli badawczych wykonanych techniką modelowania.
- Ma podlegać regułom projektowania uniwersalnego.
- Powinien mieć możliwie małe gabaryty zewnętrzne, być prosty i łatwy w obsłudze.

Obszar funkcyjny

- Produkt ma mieć zastosowanie zarówno w rehabilitacji metodą terapii integracji sensorycznej, jak i w dydaktyce w wybranej dziedzinie fizyki wykorzystując elementy zabawy i eksperymentu.
- Ma działać na jeden lub na parę zmysłów równocześnie.

Obszar wizualny

- Produkt swoim wyglądem powinien wzbudzać zaufanie.
- Ma być postrzegany jako sprzęt z pogranicza medycyny, małego AGD, zabawki sensorycznej.
- Nie powinien dominować wśród otaczających go przedmiotów, w czasie pracy z dziećmi, powinien umożliwić skupienie uwagi na wykonywanym ćwiczeniu.
- Jego bryła ma być łatwa do zdefiniowania (oparta o kształt walca, kuli, prostopadłościanu).
- Kolorystyka jasna (najlepiej biała).

- Wprowadzone dodatkowe elementy kolorystyczne mają być ograniczone do maksymalnie dwóch, trzech kolorów.

Obszar konstrukcyjny

- W produkcji ma być zastosowana dmuchawa.
- Do budowy dmuchawy wykorzystuje się różnego rodzaju silniki elektryczne i dodatkowe zewnętrzne elementy.
- Do kontroli ilości wydmuchiwanego powietrza stosuje się elektroniczne systemy sterowania obrotami silnika.
- Dysze wylotowe dmuchawy ze względu na rodzaje wykonywanych ćwiczeń i eksperymentów powinny mieć możliwość łatwej wymiany opartej na modułowej konstrukcji.

Obszar materiałowy

- Do budowy modeli badawczych powinny być wykorzystane proste materiały zapewniające bezproblemową obróbkę ręczną i maszynową.
- Tam gdzie jest to możliwe należy stosować materiały z odzysku.
- Ilość materiału powinna być ograniczona do minimum, które zapewnia uzyskanie prawidłowych parametrów konstrukcyjno-wytrzymałościowych.
- Do budowy przewiduje się wykorzystanie nowoczesnych materiałów zapewniających redukcję hałasu, którego źródłem jest pracujące urządzenie.

Obszar bezpieczeństwa

- Modele badawcze mają umożliwić przeprowadzenie bezpiecznych, wstępnych testów w grupach docelowych.
- W przypadku produktu zdefiniowanego jako zabawka, napięcie nominalne zasilające nie może przekroczyć w przypadku prądu stałego i odpowiadającemu mu napięciu prądu zmiennego 24 V, a napięcie w jej dostępnych częściach nie może przekroczyć 24 V prądu stałego lub odpowiadającego mu napięcia prądu zmiennego. Chyba że zapewnia się, że wytworzone napięcie i natężenie prądu nie stworzą ryzyka, w szczególności porażenia prądem, również w przypadku uszkodzenia zabawki (Dz. U. z 2016 r. poz. 1740)⁷⁷.
- W przypadku produktów nie określonych jako zabawka przyjęto możliwość zasilania prądem zmiennym o napięciu 230 V doprowadzonym do urządzenia na stałe kablem elektrycznym o przekroju dobranym do mocy urządzenia.
- W przypadku zasilania modeli badawczych napięciem stałym do 24 V urządzeniem zasilającym jest zasilacz impulsowy z zabezpieczeniem przeciwzwarciovym dołączany do modeli badawczych za pomocą wtyku do gniazda znajdującego się na obudowie modelu. Możliwe jest też zasilanie modeli za pomocą akumulatora w przedziale napięcia stałego od 3,7 V do 12 V.
- Obudowa i inne części, takie jak kable, gniazda i wyłączniki mające kontakt z użytkownikiem muszą być odpowiednio odizolowane od źródła prądu.
- Produkt musi spełniać wymagania w zakresie higieny i czystości.

⁷⁷ Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Finansów z dnia 20 października 2016 r. w sprawie wymagań dla zabawek, <http://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20160001730>, [dostęp: 23.01.2022].

4.1.7 Projektowanie uniwersalne

W założeniach projektowych w obszarze ogólnym autor zaznaczył, że modele badawcze mają spełniać zasady projektowania uniwersalnego. Projektowanie uniwersalne (universal design), czy też projektowania dla wszystkich (design for all) opiera się na pewnej filozofii projektowania, która daje każdemu człowiekowi, szczególnie osobom niepełnosprawnym, pełny dostęp do produktu, otoczenia i usług. Jest to więc idea projektowania, które uwzględnia potrzeby wszystkich ludzi, bez względu na ich wiek i możliwości adaptacyjne⁷⁸.

Budowanie niezależności osób niepełnosprawnych za pomocą projektowania uniwersalnego jest tematem wielu dokumentów: „Konwencji o prawach osób niepełnosprawnych” przyjętej przez Zgromadzenie Ogólne Narodów Zjednoczonych w 2006 roku i podpisanej przez Polskę w 2007 roku, ratyfikowanej w 2012 roku, „Karcie Praw Osób Niepełnosprawnych” z 1997 roku, „Traktacie o Funkcjonowaniu Unii Europejskiej” (część II: Niedyskryminacja i obywatelstwo) z 1992 roku, „Karcie Praw Podstawowych Unii Europejskiej” z 2012 roku, „Europa 2020” strategia na rzecz inteligentnego i zrównoważonego rozwoju sprzyjającemu włączeniu społecznemu z 2010 roku, „Europejskiej strategii w sprawie niepełnosprawności 2010-2020” – odnowionych zobowiązaniach do budowania Europy bez barier z 2010 roku⁷⁹.

Określenie Universal Design zostało po raz pierwszy użyte w 1985 roku przez niepełnosprawnego architekta Rona Mace’a. Jego firma starała się wprowadzać w Stanach Zjednoczonych standardy budowlane z ułatwieniem dostępu. Działanie te były doskonałym przykładem

⁷⁸ L. Przybylski i M. Błaszak, *Rzeczy są dla ludzi: niepełnosprawność i idea uniwersalnego projektowania / Things for people: disability and universal design*, Wydawnictwo Naukowe Scholar, Warszawa 2010, s. 54.

⁷⁹ E. Adaszyńska, *Projektowanie uniwersalne - dostępność i uczestnictwo dla wszystkich*, „Uniwersytet Zielonogórski. Miesięcznik społeczności akademickiej.”, 2017, nr 2, s. 17.

zastosowania filozofii projektowania bez barier. Urodzony w New Jersey Mace chorował na polio i jako student poruszający się na wózku napotykał na liczne przeszkody związane z dostępem do wielu obiektów użyteczności publicznej. Przyczynił się on w znaczny stopniu do uchwalenia w Stanach Zjednoczonych pierwszego kodeksu budowlanego, który uwzględniał w architekturze potrzeby osób niepełnosprawnych.

Koncepcję projektowania uniwersalnego przypisuje się Mace'owi. Jednak wcześniej, na początku lat sześćdziesiątych ubiegłego wieku Brytyjczyk Selwyn Goldsmith był pomysłodawcą stosowanej dziś powszechnie metody obniżania krawężników, która umożliwia poruszanie się w mieście osobom na wózkach inwalidzkich. Norwich w Wielkiej Brytanii było pierwszym miastem w którym taki system zastosowano na różnych skrzyżowaniach⁸⁰.

W 1997 roku grupa robocza składająca się z architektów, projektantów produktów, inżynierów i badaczy środowiskowych: Bettye Rose Connell, Mike Jones, Ron Mace, Jim Mueller, Abir Mullick, Elaine Ostroff, Jon Sanford, Ed Steinfeld, Molly Story i Gregg Vanderheiden w ramach Centrum Projektowania Uniwersalnego (Center for Universal Design) przy Uniwersytecie w Raleigh w Północnej Karolinie określiła siedem zasad projektowania uniwersalnego⁸¹.

- **Równe szanse dla wszystkich** (equitable use) to odwołanie się do demokratycznych zasad równości. Projekt ma nie segregować

i nie stygmatyzować żadnej grupy użytkowników. Ma być atrakcyjny i ma zapewnić bezpieczeństwo w użytkowaniu.

- **Elastyczność w użyciu** (flexibility in use) nawiązuje do różnych sposobów użycia tego samego przedmiotu. Projekt powinien uwzględniać różne preferencje i możliwości użytkownika.
- **Prostota i intuicyjność w użyciu** (simple, intuitive use) zapewnia każdemu użytkownikowi niezależnie od jego wiedzy, stanu koncentracji i kompetencji językowej zrozumienie zarówno projektowanej przestrzeni jak przedmiotów.
- **Postrzegalność informacji** (perceptible information) kładzie duży nacisk na modalność przekazu informacji. Najważniejsze informacje powinny skutecznie rejestrowane za pomocą wzroku, słuchu, jak i dotyku niezależnie warunków otoczenia.
- **Tolerancja błędów** (tolerance for error) redukuje niekorzystne konsekwencje użycia przedmiotu niezgodne z jego przeznaczeniem. Ma za zadanie zapewnić bezpieczeństwo wszystkim użytkownikom. Eliminuje użycie w projekcie niebezpiecznych elementów. Chroni przed niezamierzonymi działaniami.
- **Niewielki wysiłek fizyczny podczas użycia** (low physical effort) powoduje, że korzystanie z przestrzeni i przedmiotów jest wygodne i nie wiąże się z nadmiernym wysiłkiem fizycznym. Eliminuje powtarzające się, niepotrzebne czynności. Ogranicza wykonywanie czynności w nienaturalnej pozycji ciała.
- **Rozmiar i przestrzeń wystarczające do użycia** (size and space for approach and use) uwzględnia w projekcie wymiary ciała, wiek i płęć człowieka w nawiązaniu do zajmowanej przestrzeni. Umożliwia zapewnienie odpowiedniej wielkości przestrzeni przy wykonywaniu różnych czynności przez różnych użytkowników⁸².

⁸⁰ P. Simmons, *The Evolution of Universal Design: A Win-Win Concept for All*, <https://rockymountainada.org/news/blog/evolution-universal-design-win-win-concept-all>, [dostęp: 4.10.2021].

⁸¹ *The Center for Universal Design - Universal Design Principles*, https://projects.ncsu.edu/ncsu/design/cud/about_ud/udprinciplestext.htm, [dostęp: 4.10.2021].

⁸² L. Przybylski i M. Błaszak, *Rzeczy są dla ludzi...*, op. cit., s. 56–58.

4.2 Lewitacja piłeczki

4.2.1 Prawo Bernoullego

Eksperyment z lewitującą piłeczką w strumieniu powietrza suszarki do włosów jest bardzo prosty do wykonania nawet przez dziecko. Wytlumaczenie dlaczego piłka lewituje nie jest już takie łatwe. Najczęściej lewitację tłumaczy się wykorzystując prawo Bernoullego. W 1738 roku Daniel Bernoulli w książce *Hydrodynamica* zamieścił rezultaty swoich badań nad ruchem płynów. Stosując zasady zachowania energii dla przepływu laminarnego (przepływ, w którym warstwy płynu w ruchu przesuwają się względem siebie bez wzajemnego mieszania) odkrył zależności pomiędzy ciśnieniem a prędkością przepływu⁸³.

Prawo Bernoullego można zapisać za pomocą równania:

$$p_0 + pgh + \frac{\rho v^2}{2} = const$$

Gdzie p_0 oznacza ciśnienie zewnętrzne, pgh ciśnienie hydrostatyczne, a $\frac{\rho v^2}{2}$ ciśnienie dynamiczne. Za ciśnienie statyczne możemy przyjąć $p_0 + pgh$. (W przypadku ciśnienia statycznego mówimy o ciśnieniu wywieranym na element powierzchni równoległy do kierunku przepływu, a ciśnienie dynamiczne określamy jako ciśnienie wywierane na element powierzchni prostopadły do kierunku przepływu).

Prawo Bernoullego w prosty sposób tłumaczy, że dla przepływu stacjonarnego, czyli takiego, podczas którego w każdym miejscu w płynie prędkość ruchu pozostaje stała, suma ciśnień: statycznego (zewnętrznego i hydrostatycznego) i dynamicznego jest stała.



Zdj. 11. Piłeczka w strumieniu powietrza suszarki do włosów. Obrazowanie smugowe wykorzystujące optykę Schlieren.

Piłeczka w doświadczeniu wisi w powietrzu na określonej wysokości, ponieważ siła ciężkości piłeczki jest równoważona przeciwstawną siłą pochodzącą od ciśnienia dynamicznego strumienia powietrza pracującej suszarki. Wysokość ta jest zależna zarówno od masy piłeczki, jak i od prędkości strumienia powietrza.

Do wyjaśnienia, dlaczego piłeczka nie wypada z osi strumienia nawet wtedy, kiedy suszarkę odchylimy od pionu, przychodzi z pomocą równanie Bernoullego. Strumień powietrza docierając do dolnej części piłeczki rozdziela się symetrycznie i opływa piłeczkę ze wszystkich jej stron. Następuje przewężenie strumienia w stosunku do strumienia przed i za piłeczką. Przepływając koło piłeczki strumień zwiększa prędkość i wzrasta jego ciśnienie dynamiczne co skutkuje zgodnie z pra-

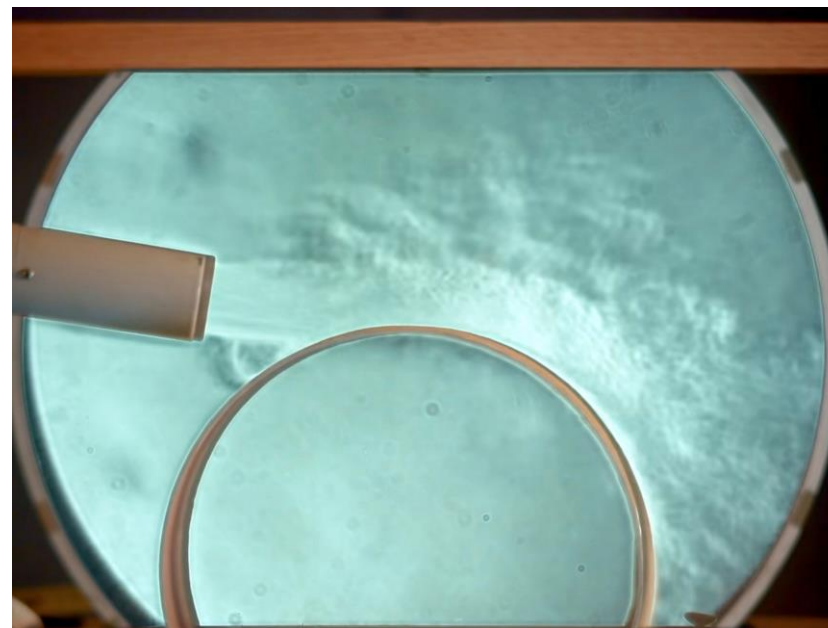
⁸³ *Fizyka dla szkół wyższych. Tom 1 - OpenStax CNX*, <https://cnx.org/contents/4eaa8f03-88a8-485a-a777-dd3602f6c13e:75017df0-f2c4-41e0-88d1-94b2d54d87a0>, [dostęp: 6.10.2021].

wem Bernoullego obniżeniem ciśnienia statycznego. Dookoła piłeczki tworzy się obszar niższego ciśnienia w stosunku do ciśnienia panującego na zewnątrz strumienia. Pojawiająca się różnica ciśnień sprawia, że piłeczka powraca do osi strumienia, nawet wtedy, gdy wypychamy ją ręką poza oś (stara się przemieścić od ciśnienia większego do ciśnienia mniejszego)⁸⁴.

4.2.2 Efekt Coandy

16 grudnia 1910 roku, 24-letni rumuński inżynier Henri Coandă wykonał lot prototypowym samolotem odrzutowym własnej konstrukcji, o nazwie „Coandă 1910”. Z powodu kłopotów z pracą silnika samolot zakończył się awaryjnym lądowaniem. Wtedy to Coandă zauważył, że dym wydobywający się z silnika zamiast unosić się do góry, zaczyna opływać kadłub samolotu. Obserwacja tego efektu i kolejne badania połączone z licznymi eksperymentami doprowadziły do odkrycia nowego efektu aerodynamicznego nazwanego później efektem Coandy i otrzymania w 1934 roku patentu „Metoda i urządzenie do odchylenia płynu w inny płyn”⁸⁵.

Efekt Coandy, czyli zjawisko przylegania strumienia płynu do najbliższej powierzchni obserwujemy zarówno w przypadku lewitacji naszej piłki na zdjęciu 7, jak i też w czasie opływania strumienia z suszarki do włosów na powierzchni walca i dużej piłki. We wszystkich przypadkach strumień powietrza wyraźnie „przykleja” się do powierzchni wzdłuż której przepływa. Związane jest to z tym, że płyn (w naszym przypadku płynem jest powietrze) charakteryzuje się pewną lepkością. Pomiędzy strumieniem przepływającym blisko powierzchni powietrza



Zdj. 12. Walec w strumieniu powietrza suszarki do włosów. Obrazowanie smugowe wykorzystujące optykę Schlieren.

a powierzchnią wytwarza się podciśnienie, które powoduje odchylenie kierunku strumienia w kierunku tejże powierzchni.

⁸⁴ A. Biadasz, D. Kasprovicz, i T. Runka, *Fizyka. Między zabawą a nauką.*, Poznań 2010, s. 22.

⁸⁵ Emil, *Efekt Coandy*, <http://plyny-niezwykle.blogspot.com/2019/05/efekt-coandy.html>, [dostęp: 6.10.2021].

4.3 Wentylatory

4.3.1 Definicje i podstawowe wielkości.

Wentylatorami nazywamy wirnikowe maszyny robocze przepływowe, które mają za zadanie przetłaczanie i sprężanie gazów i par. Mogą być wykorzystane jako urządzenia wyciągowe, podmuchowe lub jako ssąco-tłoczące. W maszynach tych wirnik wentylatora w sposób ciągły przekazuje energię przetłaczanemu czynnikowi. Wentylator możemy również określać jako dmuchawę przepływową w której spiętrzenie całkowite nie przekracza wartości 13 kPa. Maszyną podobną do wentylatora jest dmuchawa. Chociaż termin ten ma wiele znaczeń, najczęściej przyjmuje się za dmuchawę maszynę, która wytwarza spiętrzenie w granicach 13-200 kPa⁸⁶.

Pracę wentylatora charakteryzuje parę wielkości:

- **Strumień masy, wydajność masowa m [kg/s].** Jest to masa czynnika przepływającego w jednostce czasu przez przekrój wlotowy (w przypadku wentylatora ssącego lub ssąco-tłoczącego), lub przez przekrój wylotowy (w przypadku wentylatora tłoczącego).
- **Strumień objętości, wydajność objętościowa V [m³/s].** To objętość czynnika, który przepływa przez wentylator w jednostce czasu przez przekrój wlotowy (w przypadku wentylatora ssącego lub ssąco-tłoczącego), lub przez przekrój wylotowy (w przypadku wentylatora tłoczącego).
- **Przyrost ciśnienia statycznego, spiętrzenie statyczne Δp_s [Pa].** Oznacza różnicę ciśnienia statycznego panującego w przekroju wlotowym i wylotowym wentylatora.

- **Przyrost ciśnienia dynamicznego, spiętrzenie dynamiczne Δp_d [Pa].** Oznacza różnicę ciśnienia statycznego panującego w przekroju wlotowym i wylotowym wentylatora.
- **Przyrost ciśnienia całkowitego, spiętrzenie całkowite Δp_c [Pa].** To suma spiętrzenia statycznego i spiętrzenia dynamicznego.
- **Spręż p_2/p_1 [Pa].** Wyraża stosunek ciśnień panujących w przekroju wlotowym i wylotowym wentylatora.
- **Moc pobierana wentylatora P [W].** Jest to moc na wale wentylatora.
- **Moc użyteczna wentylatora P_u [W].** przyrost użytecznej postaci energii czynnika przepływającego przez wentylator w jednostce czasu.
- **Sprawność całkowita wentylatora η_w .** Stosunek zapotrzebowania mocy maszyny w warunkach idealnych do mocy rzeczywiście pobieranej.
- **Prędkość obrotowa wentylatora n [obr/s].** To liczba obrotów wirnika w ciągu jednostki czasu⁸⁷.

⁸⁶ J. Deja, L. Kielski, i M. Wiśniewski, *Ćwiczenia Laboratoryjne z Mechaniki Płynów i Hydrauliki*, WSEiZ, Warszawa 2017, s. 81.

⁸⁷ *Wentylatory*, <http://www.instsani.pl/854/wentylatory>, [dostęp: 17.10.2021].

4.3.2 Rodzaje wentylatorów

Nie ma jednego kryterium podziału wentylatorów. Najczęściej w zależności od uzyskiwanego przez wentylatory spiętrzenia statycznego dzielimy je trzy grupy:

- niskoprężne
- średnioprężne
- wysokoprężne

Innym kryterium podziału uwzględnia kierunek przepływu czynnika przez wirnik. Możemy tutaj wyróżnić wentylatory:

- osiowe
- promieniowe (odśrodkowe)
- mieszane⁸⁸

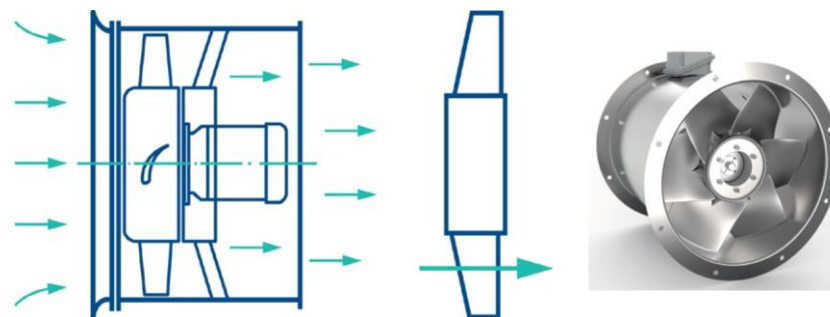
Wentylatory osiowe. Strumień powietrza jest zasysany i tłoczony wzdłuż osi wentylatora.

W wentylatorach osiowych, ze względu na zastosowane rozwiązania konstrukcyjne, występuje podział na wentylatory:

- śmigłowe
- kanałowe
- z kierownicami
- przeciwbieżne

W wentylatorach śmigłowych nie ma wieńca kierownic i obudowy. Najczęściej wykorzystuje się je w chłodnicach samochodowych, lecz używa się ich również jako wentylatory stołowe, podłogowe czy sufitowe. Charakterystyczną ich cechą jest duże objętościowo natężenie przepływu przy małym przyroście ciśnienia całkowitego.

W przemyśle możemy spotkać wentylatory kanałowe stosowane przy wentylacji ogólnej pomieszczeń, w urządzeniach odpylających oraz w górnictwie. W stosunku do wentylatora śmigłowego mają wyższe przyrosty ciśnienia całkowitego przy średnim objętościowo natężeniu przepływu.



Zdj. 13. Wentylator osiowy kanałowy z wieńcem kierownicy.

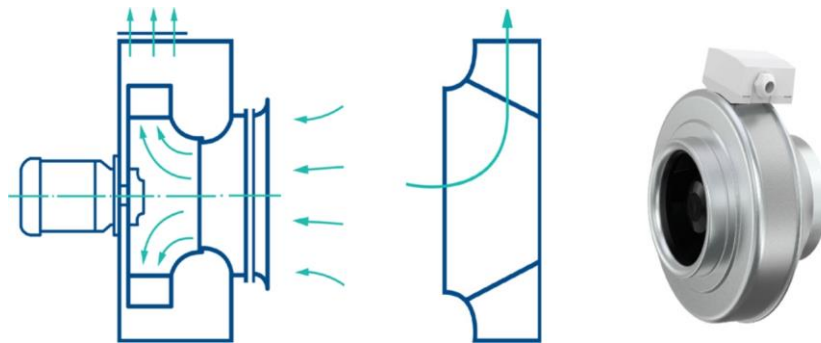
Rolą wieńca kierownic (często stosowanego w przypadku czynnika przenoszonego na większe odległości) jest pozbycie się krętu strumienia, który powoduje straty w przepływie czynnika przez wentylator.

Wentylatory przeciwbieżne mają dwa umieszczone jeden za drugim oddzielne silniki, których wieńce wirnikowe obracają się w przeciwnych kierunkach, dzięki czemu możliwe jest odzyskanie części energii. Energia ta pochodzi ze zniwelowania krętu strumienia powietrza.

⁸⁸ A. Mrowiec i M. Heronimczak, *Badanie wentylatorów promieniowych*, „Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce”, 2017, t. 9, nr 1, s. 13.

Wentylatory przeciwbieżne zapewniają duży przyrost ciśnienia i nie muszą mieć specjalnych kierownic⁸⁹.

Wentylatory promieniowe. Czynnik przepływający przez wirnik zasysany jest w kierunku osiowym a opuszcza wentylator w kierunku prostopadłym do osi wirnika.



Zdj. 14.. Wentylator promieniowy.

Tego typu wentylatory używane są wtedy, kiedy wymagane jest uzyskanie dużego ciśnienia. Ze względu na konstrukcję łopatek wirnika wyróżniamy trzy rodzaje wentylatorów promieniowych:

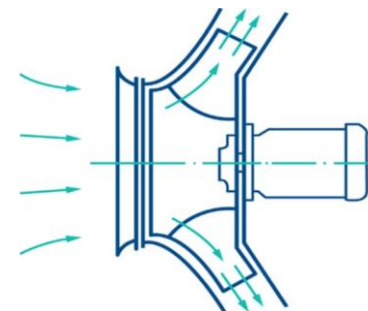
- wentylatory z łopatkami prostymi (promieniowymi).
- wentylatory z łopatkami nachylonymi do przodu (w kierunku ruchu wirnika).
- wentylatory z łopatkami nachylonymi do tyłu (przeciwnie do kierunku ruchu wirnika).

Grupa wentylatorów odśrodkowych z łopatkami prostymi osiąga wysokie ciśnienie statyczne przy dużej prędkości obrotowej, ale oferuje stosunkowo niską wydajność objętościową. Wentylatory z tej grupy

⁸⁹ M. Majcher, *Numeryczna analiza trójwymiarowych przepływów w kluczowych elementach wentylatorów osiowych*, rozprawa doktorska, WAT, Warszawa 2020, s. 8–9.

z łopatkami nachylonymi do przodu dają przy niższych prędkościach obrotowych większą wydajność objętościową i są cichsze przy mniejszych gabarytach. Trzeci rodzaj wentylatorów odśrodkowych łopatkami zakrzywionymi do tyłu pozwala uzyskać wyższe ciśnienie statyczne, jednak przepływ objętościowy powietrza jest mniejszy. Wszystkie wentylatory promieniowe z reguły emitują najniższy hałas w pobliżu punktu maksymalnej wydajności⁹⁰.

Wentylatory o przepływie mieszanym. Są one alternatywną wersją łączącą zalety wentylatorów osiowych, które dają duże przepływy objętościowe, i wentylatorów promieniowych z łopatkami odchylonymi do tyłu dających duże ciśnienie statyczne. Hybridowa konstrukcja wentylatora mająca elementy osiowe i promieniowe odchyła na zewnątrz strugę powietrza wychodzącą z wentylatora o kąt 45°. Daje to duży przepływ czynnika jakim jest powietrze połączony ze zwiększonym ciśnieniem w króćcu wylotowym⁹¹.



Zdj. 15. Wentylator o przepływie mieszanym.

⁹⁰ W. Partlow, *Fan Types - Heat Recovery*, 28.05.2021, <https://www.beyonddiscovery.org/heat-recovery/fan-types.html>, [dostęp: 17.10.2021].

⁹¹ *Fan Types - Why Choose an Mixed Flow / Diagonal Fan*, <https://www.hydroexperts.com.au/Fan-Types-Why-Choose-an-Mixed-Flow-/Diagonal-Fan>, [dostęp: 17.10.2021].

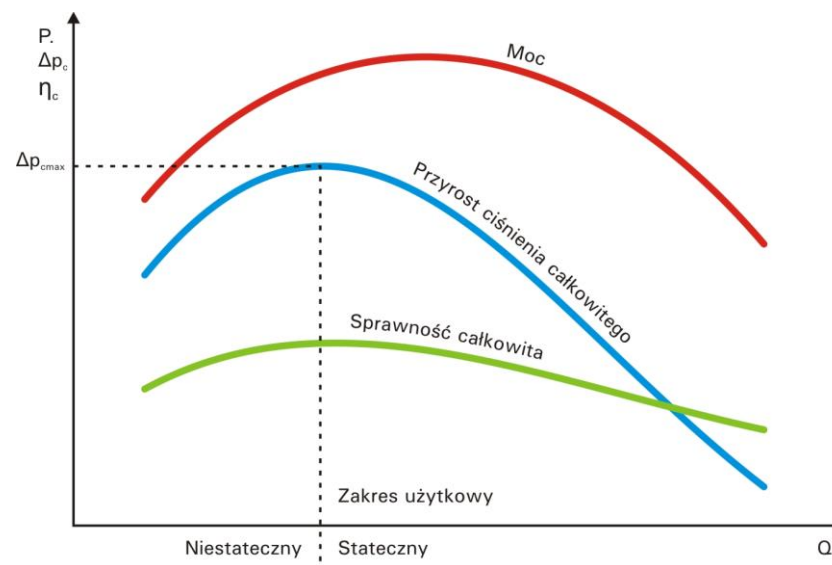
4.3.3 Charakterystyka wentylatora

Charakterystyką wentylatora nazywamy podstawowe zależności pomiędzy podstawowymi wielkościami, które charakteryzują jego pracę. Do podstawowych parametrów wentylatora zaliczamy przyrost ciśnienia całkowitego Δp_c [Pa] lub statycznego Δp_s [Pa], moc P [W] i sprawność całkowitą η_w lub statyczną η_c . Sprawności statyczna i sprawność całkowita związana jest z pojęciem przyrostu ciśnienia całkowitego lub statycznego. Często stosowane określenie „ciśnienie wentylatora” (z ang. „fan pressure”) jest utożsamiane z pojęciem „przyrost ciśnienia”.

Te trzy podstawowe wielkości w funkcji objętościowego natężenia przepływu V (wydajności objętościowej lub masowej) przy stałej prędkości obrotowej wentylatora tworzą pełną charakterystykę wentylatora, której graficznym obrazem są krzywe na wykresie w odpowiednim układzie współrzędnych. Charakterystyka przyrostu ciśnienia całkowitego (statycznego) $\Delta p_c = f(V)$, ($\Delta p_s = f(V)$) nosi nazwę **charakterystyki podstawowej** (zwanej krzywą charakterystyczną).

W charakterystyce wentylatora możemy wyróżnić dwa obszary pracy: obszar stateczny i obszar niestateczny. Użyteczny, stateczny obszar pracy obejmuje tę część wykresu w której, zmniejszanie objętościowe natężenie przepływu powoduje wzrost przyrostu ciśnienia. Obszar od miejsca gdzie nie występuje objętościowe natężenie przepływu do miejsca natężenia przepływu, któremu odpowiada maksymalne spiętrzenie jest obszarem niestatecznym. Praca w tym zakresie jest nieefektywna ze względu na niską sprawność, występujące drgania elementów wentylatora oraz ze względu na możliwość powstawania pulsacji przepływającego czynnika⁹².

⁹² M. Majcher, „Numeryczna analiza trójwymiarowych przepływów w kluczowych elementach wentylatorów osiowych”, op. cit.



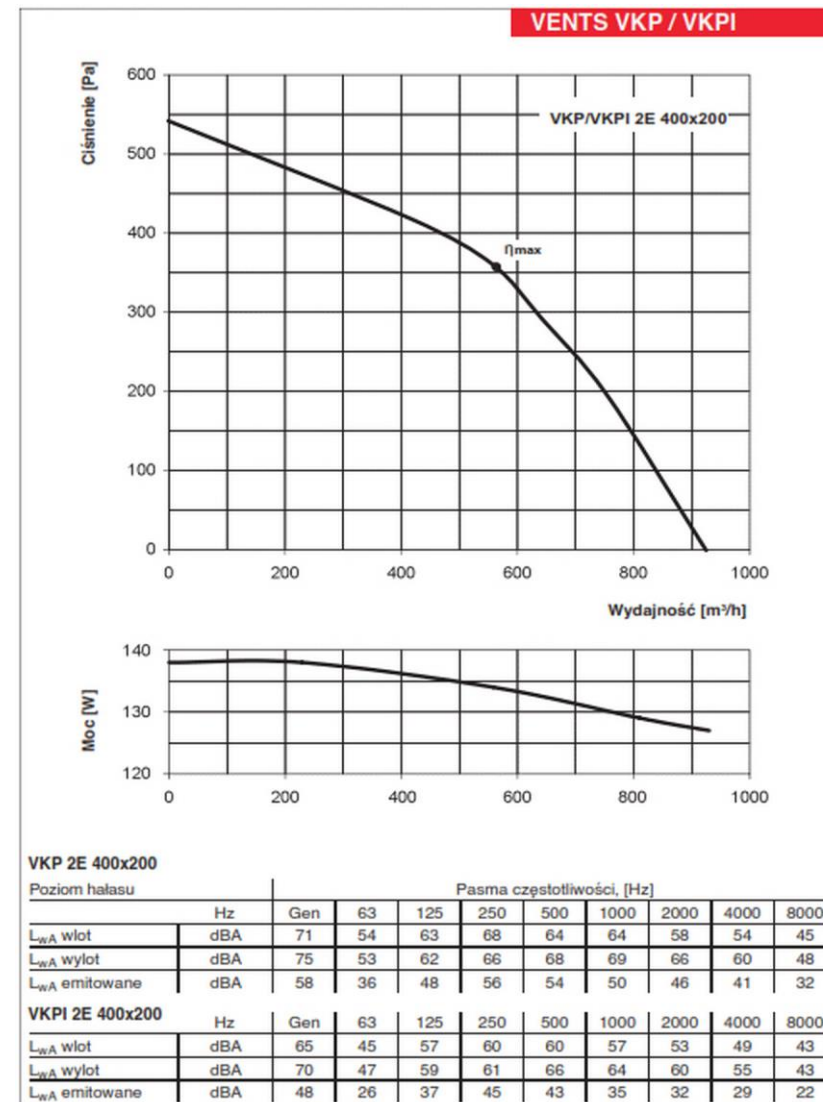
Zdj. 16. Przykładowa pełna charakterystyka wentylatora.

Podstawowe parametry pracy wentylatora wyznacza się doświadczalnie korzystając ze stanowisk znormalizowanych. Informacje na temat metodyki prowadzonych badań i sposobu określania parametrów wentylatora zawarte są w PN-EN ISO 5801:2017-12⁹³.

⁹³ PN-EN ISO 5801:2017-12 - wersja angielska, b.d., <https://sklep.pkn.pl/pn-en-iso-5801-2017-12e.html>, [dostęp: 19.10.2021].

Oprócz charakterystyki związanej z podstawowymi parametrami pracy wentylatora producenci często umieszczają dodatkowe informacje związane z poziomem emitowanego hałasu w poszczególnych pasmach częstotliwościowych. Informacje te podaje się również w rozbiu na źródło emisji hałasu. W przypadku wentylatora będzie to jego wlot i wylot.

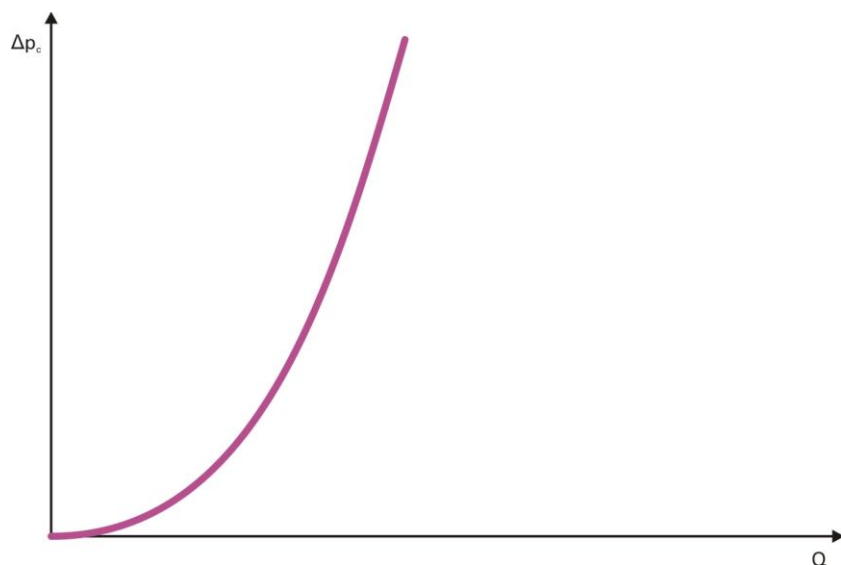
Przykładowa charakterystyka wentylatora kanałowego odśrodkowego do systemów prostokątnych wygląda następująco:



Zdj. 17. Charakterystyka wentylatorów serii VKP/VKPI firmy Vents Group.

4.3.4 Punkt pracy wentylatora

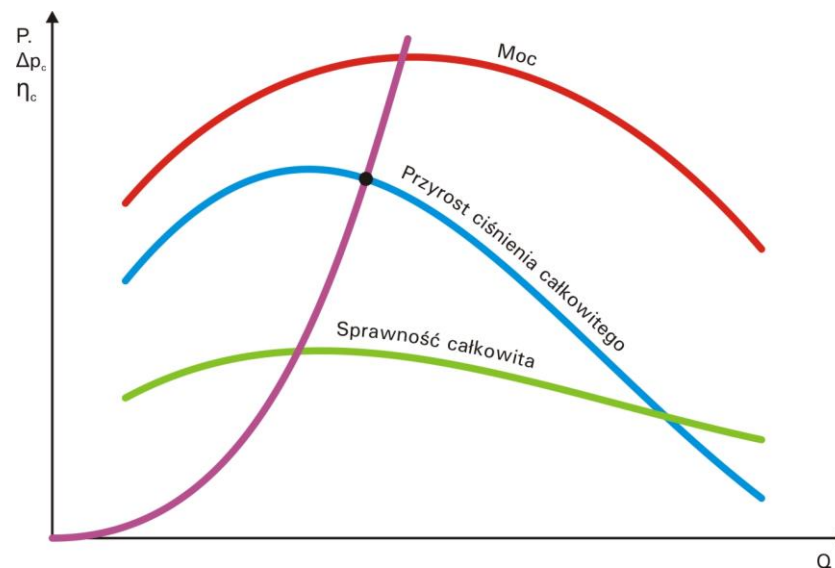
Jeżeli umieścimy wentylator w danym urządzeniu, albo w jakiejś sieci (np. w rurociągu), to żeby zapewnić możliwość przepływu czynnika w postaci gazu, wentylator musi wytworzyć określone ciśnienie całkowite Δp_c potrzebne do pokonania oporów przepływu urządzenia lub sieci. Krzywa reprezentująca takie opory ma kształt zbliżony do paraboli i nosi nazwę krzywej oporów.



Zdj. 18. Krzywa oporów.

Krzywa ta naniesiona na charakterystykę wentylatora przecina wykres w trzech punktach. Punkt przecięcia krzywej oporów z krzywą ciśnienia całkowitego wyznacza nam punkt pracy wentylatora w którym ustala się równowaga oporów sieci/urządzenia i ciśnienia całkowitego Δp_c . Gwarantuje to maksymalną sprawność wentylatora. Żeby

spełnić ten warunek, punkt pracy wentylatora musi znajdować się w stabilnym obszarze pracy, w okolicy optymalnej jego sprawności⁹⁴.



Zdj. 19. Punkt pracy wentylatora.

⁹⁴ J. Deja, L. Kielski, i M. Wiśniewski, *Ćwiczenia Laboratoryjne z Mechaniki Płynów i Hydrauliki...*, op. cit., s. 83–84.

4.4 Inspiracje projektowe

Po przyjęciu założeń projektowych autor starał się znaleźć w obszarze już istniejących rozwiązań takie produkty, które wykorzystując strumień ukierunkowanego powietrza, mogłyby być dobrym punktem wyjściowym do powstania pierwszych modeli badawczych. Po analizie rynku, produkty takie zostały podzielone na trzy grupy:

4.4.1 Zabawki



Zdj. 20. AstroShot Zero GS.



Zdj. 21. Latająca kula UFO.



Zdj. 24. Zestaw Wyścigówka.



Zdj. 25. Dmuchawa do liści dla dzieci.



Zdj. 26. Słonik fontanna z piłeczkami.



Zdj. 27. Klocki z pianki eva.



Zdj. 22. JoyGrow Bubble Gun.



Zdj. 23. Air dysk.



Zdj. 28. Mini hokej stolowy.



Zdj. 29. Wiatraczek dla dzieci.

4.4.2 Maszyny wystawowe



Zdj. 30. Muzeum Dziecięce LaunchPAD, Sioux City, USA.



Zdj. 31. Bernoulli Blower Machine, RPA.



Zdj. 34. Exploratorium, San Francisco, USA.



Zdj. 35. Bernoulli Blower, oferta firmy Science Projects, England.



Zdj. 36. Bernoulli Blower, oferta firmy Science Projects, England.



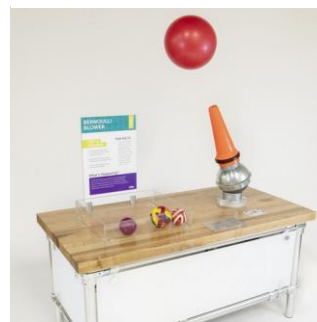
Zdj. 37. Bernoulli Blower, oferta firmy Science Projects, England.



Zdj. 32. Muzeum Odkryć Fort Collins, USA.



Zdj. 33. Bernoulli Blower, oferta firmy Science Kinetics, USA.



Zdj. 38. Ekspонат powystawowy, Discovery Center of Idaho, USA.



Zdj. 39. Park Piekarzyka, Elbląg, Polska.

4.4.3 Pomoce naukowe



Zdj. 40. Energia wiatru, zestaw podstawowy.



Zdj. 42. EZTW-12, zestaw profesjonalny.



Zdj. 41. Alternatywne źródła energii.



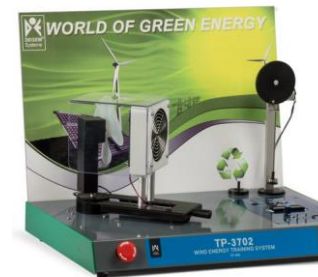
Zdj. 43. Z159, ręczny model elektrowni wiatrowej.



Zdj. 44. Energia wiatru, zestaw demonstracyjny.



Zdj. 46. Zestaw do doświadczeń z energią wiatrową.



Zdj. 48. System Szkoleniowy Energia Wiatrowa.



Zdj. 45. Energia wiatru, zestaw demonstracyjny.



Zdj. 47. Zestaw do doświadczeń z energią wiatrową.



Zdj. 49. Tor powietrzny z dmuchawą i licznikiem.

4.5 Produkty z wentylatorami w kontekście modeli badawczych

We wszystkich zamieszczonych wcześniej produktach będących źródłem inspiracji do powstania modeli badawczych najważniejszym elementem, który wytwarza ukierunkowany strumień powietrza, jest wentylator elektryczny. W najprostszej wersji składa się on z silnika elektrycznego oraz wirnika z odpowiednio ukształtowanymi łopatkami.

Autor przeanalizował kilkadziesiąt produktów występujących na rynku pod kątem zastosowanych w nich wentylatorów elektrycznych, które mogłyby być wykorzystane w modelach badawczych. Na zdjęciach pokazano tylko te grupy produktów, których wentylatory po serii doświadczeń zostały wybrane do prac przy powstawaniu modeli badawczych.

Przy wyborze wentylatorów brano pod uwagę zarówno parametry techniczne takie jak uzyskiwane ciśnienie, poziom emitowanego hałasu, gabaryty, jak również dostępność na rynku i możliwość prostej regulacji obrotów silnika. Dlatego też nie znalazły się w tych grupach np. elektryczne pompki do pompowania materacy (za duży hałas), silniki Dyson (duży koszt zakupu) czy też wentylatory kanałowe (skomplikowana regulacja obrotów).



Zdj. 50. Przykład badania wentylatora odkurzacza akumulatorowego pod kątem uzyskiwanego ciśnienia, napięcia zasilającego i poboru mocy.

4.5.1 Przenośne odkurzacze akumulatorowe



Zdj. 51. Wentylatory promieniowe z silnikami komutatorowymi na prąd stały.



Zdj. 52. Odkurzacz Dirt Devil.



Zdj. 53. Odkurzacz Turbo Tronic.

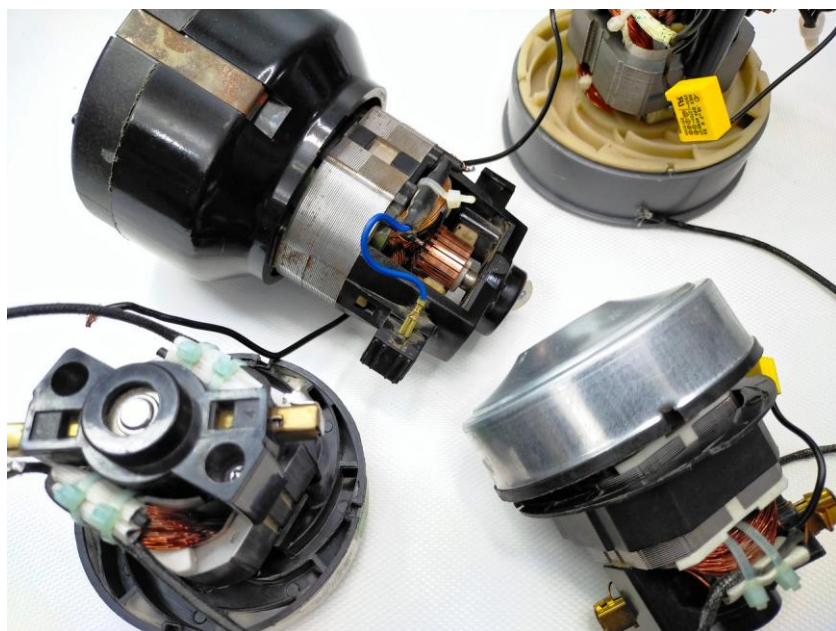


Zdj. 54. Odkurzacz Beldray.

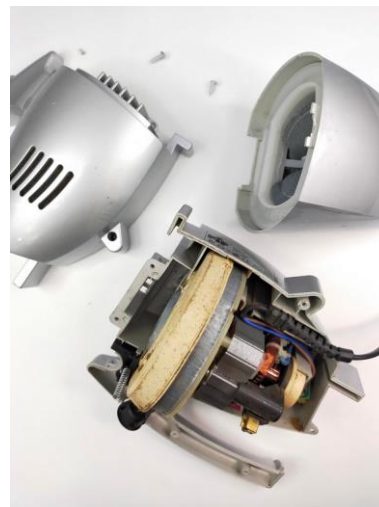


Zdj. 55. Marka nieznaną.

4.5.2 Przenośne odkurzacze zasilane napięciem 230 V



Zdj. 56. Wentylatory promieniowe z silnikami komutatorowymi na prąd zmienny.



Zdj. 57. Marka nieznaną.



Zdj. 58. Odkurzacz Tristar.

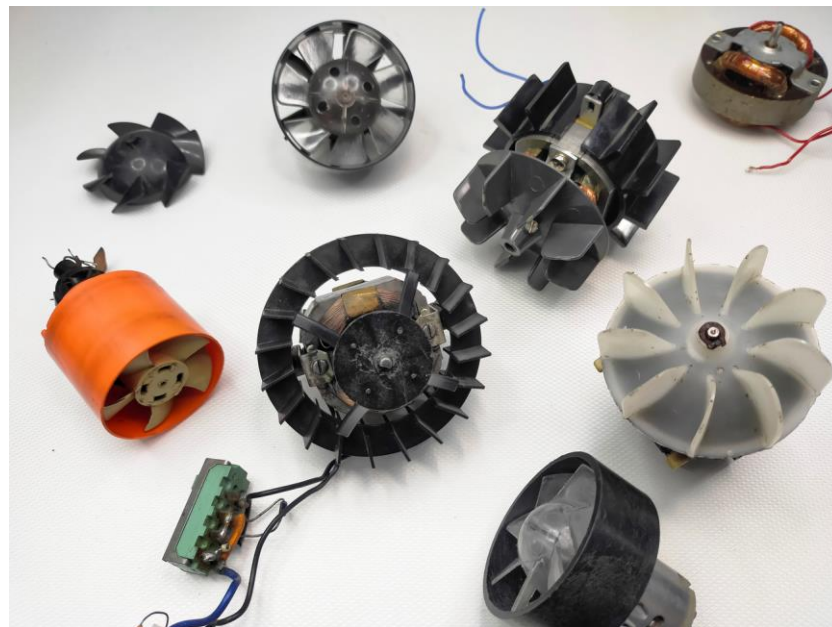


Zdj. 59. Odkurzacz Sinbo.



Zdj. 60. Odkurzacz Progress.

4.5.3 Suszarki do włosów



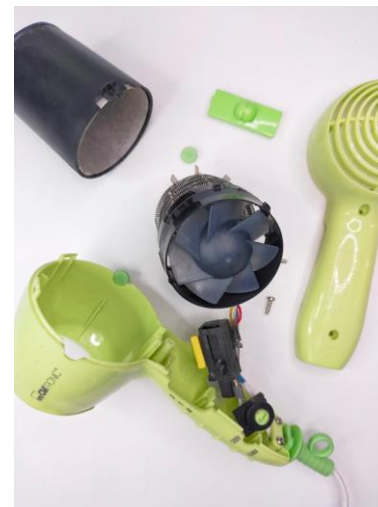
Zdj. 61. Wentylatory promieniowe i osiowe z silnikami komutatorowymi i indukcyjnymi na napięcie sieciowe 230 V.



Zdj. 62. Suszarko-łokówka Baybyliss.



Zdj. 63. Suszarka Braun.

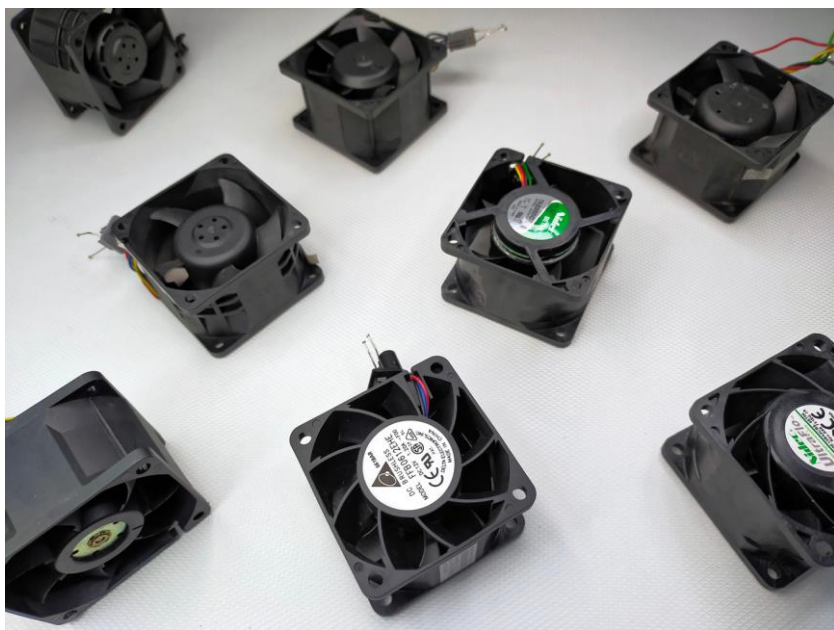


Zdj. 64. Suszarka Clatronic.

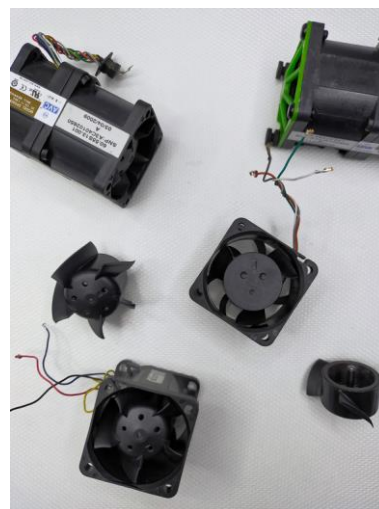


Zdj. 65. Suszarka Farel.

4.5.4 Wentylatory stosowane w sprzęcie komputerowym



Zdj. 66. Wentylatory komputerowe osiowe 60 mm.



Zdj. 67. Wentylatory komputerowe osiowe 40 mm.



Zdj. 68. Wentylatory komputerowe osiowe 80 mm.



Zdj. 69. Wentylatory komputerowe osiowe 120 mm.



Zdj. 70. Wentylatory komputerowe promieniowe o różnych wielkościach.

4.5.5 Produkty marki Dyson



Zdj. 71. James Dyson.

Analizując produkty, w których to użyte wentylatory mogą mieć zastosowanie w makietach badawczych, trudno pominąć firmę Dyson. Choć autor nie badał doświadczalnie produktów tej marki, biorąc pod uwagę parametry silników używanych do produkcji wentylatorów, a szczególnie najnowsze silniki cyfrowe, można sądzić, że rozwiązania techniczne tam zastosowane mogły by znaleźć zastosowanie nie tylko w makietach badawczych, ale również w końcowym etapie całościowego rozwiązania wzorniczego w postaci gotowego produktu.

Założycielem firmy Dyson jest brytyjski wynalazca i projektant przemysłowy Sir James Dyson. Urodził się 2 maja 1947 roku w Cromer w Norfolk w Wielkiej Brytanii. W latach 1956 – 1965 studiował w prestiżowej Gresham's School. Po jej skończeniu w 1966 roku przez rok

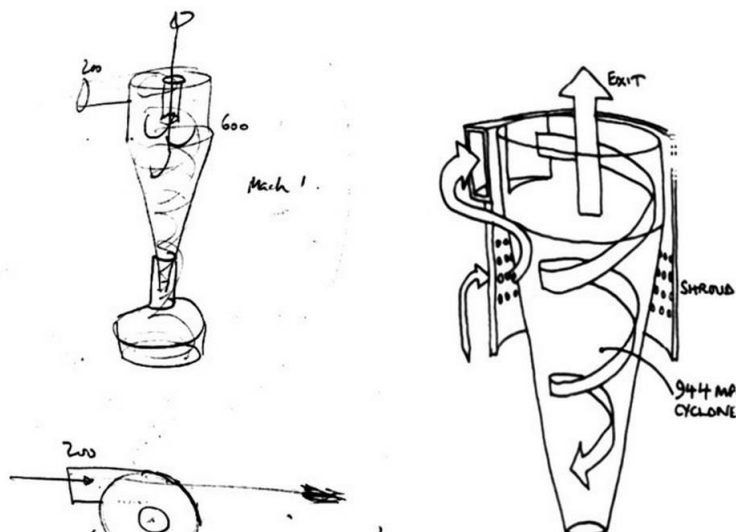
w Londynie uczęszczał do Byam Shaw School of Art., a w latach 1966 – 1970 w Royal College of Art. studiował meblarstwo i projektowanie wnętrz. Będąc na ostatnim roku studiów w 1970 roku wraz z Jeremy Fry zaprojektował Sea Truck. Była to mała i szybka jednostkę pływającą o płaskim kadłubie do zastosowań cywilnych i wojskowych. Własną firmę założył w 1974 roku. Wtedy też powstał jego oryginalny pomysł na taczkę Ballbarrow, która składała się z plastikowego kosza toczącego się na kuli zamiast na wąskim kole⁹⁵.



Zdj. 72. Ballbarrow.

⁹⁵ James Dyson | Biografia, wynalazki i fakty | Britannica, <https://www.britannica.com/biography/James-Dyson>, [dostęp: 15.11.2021].

W 1978 roku James Dyson odkurzając swoje mieszkanie odkurzaczem marki Hoover zauważył, że kurz zbierający się na ściankach worka powoduje bardzo widoczny spadek siły ssania. Wpadł wtedy na pomysł pozbycia się w odkurzaczu worka i zastąpienie go separatorem wykorzystującym technologię cyklonową. Taką technologię zastosował wcześniej do skonstruowanej przemysłowej wieży cyklonowej, która oddzielała cząsteczki farby od powietrza za pomocą siły odśrodkowej w jego własnej fabryce.



Zdj. 73. Szkic Dysona.

W 1983 roku, po pięciu latach wyteżonej pracy, na którą składało się wykonanie 5127 prototypów powstał jego pierwszy odkurzacz znany jako „G-Force”. Do budowy wykorzystano charakterystyczne, jaskraworóżowe tworzywo sztuczne. Odkurzacz kosztował 2000 dolarów i był sprzedawany w Japonii, w której to w 1991 roku zdobył nagrodę International Design Fair na Międzynarodowych Targach Designu.



Zdj. 74. Odkurzacz G-Force.



Zdj. 75. Odkurzacz DC-01.

Sprzedaż odkurzacza „G-Force” na rynku japońskim osiągnęła taki sukces, że w 1993 roku Dyson założył własną firmę Dyson-Ltd i otworzył w Catswolds fabrykę i centrum badawcze rozpoznawalne w całej Wielkiej Brytanii, a później również na całym świecie. Rozpoczął tam pracę nad nowym odkurzaczem, który miał zatrzymywać nawet najmniejsze cząsteczki kurzu. Tak powstał model DC-01 (od słów „Dual Cyclone”). Był to pierwszy odkurzacz, który przez cały okres swojej pracy utrzymywał 100% siły ssania⁹⁶. W ciągu dwóch lat istnienia na rynku model ten stał się najlepiej sprzedającym odkurzaczem w Wielkiej Brytanii.

⁹⁶ Historia firmy Dyson, <https://support.dyson.pl/spolecznosc/historia-firmy-dyson.aspx>, [dostęp: 17.11.2021].

Kolejnym, bardzo rozpoznawalnym modelem odkurzacza, który na stałe wpisał się w światowe wzornictwo był Dyson Ball. Powstał w 2005 roku. W tamtym czasie, w bardzo popularnych na zachodzie odkurzaczach Hoovera kółka nie były skrzętne. Utrudniało to pokonywanie przeszkód i nie można nimi było dowolnie manewrować. James Dyson, chcąc rozwiązać ten problem, zastosował koła w postaci kuli, nawiązując w ten sposób do Ballbarrow⁹⁷.



Zdj. 76. Big Ball.

⁹⁷ Iskier, *James Dyson, wielki wizjoner naszych czasów, który poświęcił kawał życia, żeby zrobić... odkurzacza*, <https://joemonster.org/art/46364>, [dostęp: 17.11.2021].

Chociaż marka Dyson kojarzy się nam głównie z innowacyjnymi rozwiązaniami zastosowanymi w odkurzaczach (szczególnie miejsce zajmują tu odkurzacze akumulatorowe), ma ona również ogromny wpływ na rozwój innych produktów.

W 2006 roku wprowadziła na rynek suszarkę do rąk Airblade wyposażoną w filtry antibakteryjne, która do suszenia używa cienkiego, płaskiego strumienia powietrza.

W 2009 roku pojawił się wentylator bez zewnętrznych łopatek z technologią Air Multiplier.

W 2014 roku można było zobaczyć nowy model odkurzacza automatycznego 360 Eye. Odkurzacza ten skanuje i mapuje w zakresie 360°. Separacja kurzu przebiega na drodze cyklonowej. Specjalnie zaprojektowany silnik cyfrowy zapewnia w odkurzaczu uzyskanie wysokiego ciśnienia ssania. Jest sterowany za pomocą Androida lub systemu iOS.

W kwietniu 2016 światło dzienne ujrzała suszarka Dyson Supersonic, która dla lepszej równowagi ma silnik umieszczony w rękojeści. Charakteryzuje się bardzo cichą pracą. System inteligentnej kontroli temperatury powietrza zapobiega przekraczaniu temperatury 150^o Celsjusa w wydmuchiwanym powietrzu⁹⁸.

W ofercie firmy znajduje się też sprzęt oświetleniowy. Lampa Dyson Lightcycle inteligentnie dopasowując się do pory dnia i zadania potrafi automatycznie symulować właściwości światła naturalnego.

⁹⁸ M. Martínez, *Odkryj biografię Sir Jamesa Dysona, od wynalazcy odkurzacza cyklonowego po producenta respiratorów szpitalnych* | *Marketizer.pl*, <https://www.quiminet.com/articulos/conoce-la-biografia-de-sir-james-dyson-de-inventor-de-la-aspiradora-ciclonica-a-fabricante-de-respiradores-para-hospitales-4530549.htm>, [dostęp: 17.11.2021].



Zdj. 77. Silnik cyfrowy V2 James Dyson.

W produktach marki Dyson ogromną rolę odgrywają silniki elektryczne, które wykorzystywane są przy budowie wentylatorów.

W 2004 roku, wraz z pojawieniem się przewodowego odkurzacza Dyson DC12 wyposażonego w silnik V1 osiągnięto zwiększenie mocy silnika w stosunku do konkurencji o 50%, przy jednoczesnym zmniejszeniu jego wagi o gabarytów o 50%. Silnik jest tak wydajny, że postanowiono go również użyć w suszarce do rąk Airblade. W 2009 roku w odkurzaczu DC31 zastosowano silnik V2, który podwajał wydajność silnika V1, a ponieważ jest mniejszy i lżejszy od swojego poprzednika przez lata znajduje zastosowanie w odkurzaczach bezprzewodowych.

Największym wyzwaniem i jednocześnie największym skokiem technologicznym w produkcji silników firmy Dyson był zaprojektowany w 2013 roku silnik V6. Projekt jego wirnika opierał się na badaniach

Evolution of Dyson digital motors



Zdj. 78. Ewolucja silników Dyson.

dynamiki płynów, a do jego wykonania zastosowano polimer termoplastyczny o wyjątkowej wytrzymałości PEEK. Do osłony magnesu silnika, którego obroty wynoszą 108 tysięcy na minutę wykorzystano lekki materiał z włókna węglowego o grubości 0,3 mm. Dla zapewnienia większego strumienia powietrza, zastosowano zachodzące na siebie łopatki wirnika, zwiększając w ten sposób jego powierzchnię i zapewniając większą wydajność⁹⁹.



Zdj. 79. Silnik cyfrowy V6.

⁹⁹ M. Pedrani, *David Warne ci racconta la chiave del successo di Dyson*, <https://www.tomshw.it/altro/david-warne-ci-racconta-la-chiave-del-successo-di-dyson/>.



Zdj. 80. Silnik V9.

Jednym z najmniejszych silników jest silnik V9. Znalazł on zastosowanie w suszarce do włosów Supersonic, która swój debiutowała na rynku w 2016 roku. Inżynierowie umieścili go w rękojeści, by w ten sposób lepiej rozłożyć ciężar i zwiększyć łatwość obsługi. Zamiast PEEK do budowy wirnika zastosowano aluminium. Przepływ powietrza jest osiowy, a nie promieniowy. Silnik jest lżejszy i mniejszy od poprzednika, przy takich samych osiągnięciach.



Zdj. 81. Silnik V10.

Do grona najnowszych silników Dyson zalicza się silnik V10. Ma jeszcze zmniejszoną w stosunku do poprzednich konstrukcji wagę (125 g), a jednocześnie większą wydajność. Wirnik obraca się z prędkością 125 tysięcy obrotów na minutę i jest wykonany z materiałów ceramicznych utwardzanych w temperaturze 1600⁰ Celsjusza¹⁰⁰.

¹⁰⁰ Ibid.

4.6 Modele badawcze

4.6.1 Koncepcja

Na modele badawcze składają się dwa wzajemnie uzupełniające się elementy – dmuchawa i osprzęt. Elementem bazowym jest dmuchawa składająca się z wentylatora elektrycznego umieszczonego w odpowiednio wyprofilowanym kanale osłoniętym elementami obudowy.

W dmuchawach zastosowano różnego rodzaju silniki w celu przetestowania i wybrania najbardziej optymalnych rozwiązań. Zasilane były albo bezpośrednio napięciem sieciowym 230/240 V, albo poprzez impulsowy zasilacz sieciowy obniżający napięcie do 12 V lub 48 V prądu stałego. Zasilacz umieszczony był poza obudową dmuchawy. Dzięki temu możliwe było zasilanie różnych dmuchaw przystosowanych do pracy z takim samym napięciem jednym zasilaczem. Obniżono się w ten sposób koszty urządzenia, zmniejszono jego gabaryty i zwiększono bezpieczeństwo użytkowania. Dodatkowym atutem takiego rozwiązania był łatwiejszy transport urządzenia do miejsca przeprowadzania testów. Oprócz ww. rozwiązań w niektórych dmuchawach zastosowano zasilanie akumulatorami litowo-jonowymi umieszczonymi w korpusie narządzenia. Uzyskano dzięki temu większą mobilność i możliwość przeprowadzenia ćwiczeń, które były nieosiągalne przy zasilaniu kablowym. Część dmuchaw została wyposażona w elektroniczną regulację obrotów silnika w celu kontroli ilości i ciśnienia generowanego ukierunkowanego ruchu powietrza. Wykorzystano zarówno proste, tyrystorowe regulatory napięcia, jak też zaawansowane regulatory obrotów PWM (Pulse Width Modulation)¹⁰¹.

¹⁰¹ *Sterowanie sygnałem PWM*, <https://physicsforelectronics.com/sterowanie-sygnalem-pwm/>, [dostęp: 5.12.2021].

Chociaż „sercem” modeli badawczych są dmuchawy, wykonanie większości ćwiczeń z dziećmi nie byłoby możliwe bez wykorzystania dodatkowych elementów. Elementy te, ze względu na zastosowanie możemy podzielić na parę grup:

- **Nasadki na dyszę wylotową** w postaci prostego lub zakrzywionego odcinka rury o średnicy takiej samej jak średnica dyszy wylotowej dmuchawy lub o zmniejszającej się średnicy pełniącej rolę konfuzora¹⁰². Ukierunkowują strumień powietrza i zwiększają jego prędkości w końcowej fazie wylotowej.
- **Rękaw powietrzny** nakładany na wybrane rodzaje dmuchaw. Jego średnica umożliwia włożenie do środka ręki dziecka.
- **Wąż elastyczny** łączy dmuchawę z nasadkami nakładanymi na dyszę wylotową.
- **Piłeczki** wykonane są ze styropianu ekspandowanego EPS lub z miękkiego PVC. Pozwalają wykonywać wiele ćwiczeń zręcznościowych i tłumaczyć niektóre zjawiska z dziedziny mechaniki płynów. Niektóre mają dodatkowy, wystający element składający się z pasemek cienkiej, jednakowej długości folii (polipropylen orientowany metalizowany) zwiększającej opór powietrza i stabilizującej efekt lewitacji. W tej grupie znalazły się też nadmuchiwane balony.
- **Pierścienie** ze styropianu i PVC wzbogacające zakres zastosowania piłeczek.
- **Pozostały osprzęt** do przeprowadzania wybranych doświadczeń z zakresu akustyki, energii wiatrowej, pokazywania paradoksów z dziedziny mechaniki płynów. W grupie tej znajdują się zarówno prądnice wiatrowe, piłeczki zawieszane na linkach do demonstracji Prawa Berniniego jak i rurki i kule do demonstracji rezonansu akustycznego.

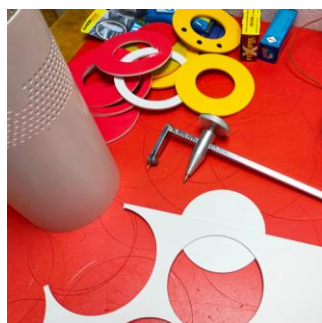
¹⁰² *Konfuzor*, <https://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Konfuzor&oldid=57189136>, [dostęp: 6.12.2021].

4.6.2 Makietowanie

Modele badawcze wykonane zostały metodą makietowania. Do budowy makiet użyto głównie PVC (twarde i spienione) i PP. Materiały te w dużej części pochodziły z odpadów poprodukcyjnych. Zastosowanie takich, a nie innych materiałów wynikało przede wszystkim z ich właściwości technologicznych: łatwego klejenia (z wyjątkiem PP), skrawania, formowania na gorąco, bezproblemowego cięcia, wiercenia i szlifowania. Materiały te miały również pożądane w modelach badawczych właściwości mechaniczne: wysoką udarność i wytrzymałość. Bardzo ważnym elementem gwarantującym bezpieczeństwo w pracy z dziećmi były ich dobre właściwości elektroizolacyjne.

Przy budowie makiet korzystano zarówno z bardzo prostych narzędzi ręcznych, jak też z różnego rodzaju elektronarzędzi i osprzętu specjalnie przystosowanego do wykonania danej czynności (np. przetłaczania, wiercenia powtarzalnych otworów).

W początkowej fazie makietowania używany był głównie powlekany karton (160-300 g/m²) oraz jedno i dwustronnie klejąca taśma.



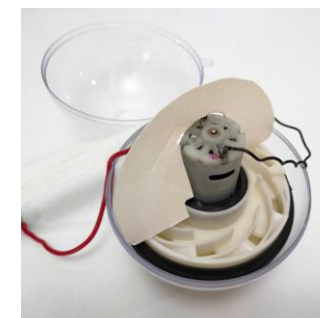
Zdj. 82. Wycinanie cyrklem wręg ze spienionego PVC.



Zdj. 83. Podstawowe narzędzia pracy.



Zdj. 84. Dobór wielkości komory wentylatora.



Zdj. 85. Określanie kształtu kierownicy strugi powietrza.



Zdj. 86. Próba wygłuszenia komory wentylatora.



Zdj. 87. Przetłaczanie obszaru przycisków sterujących.



Zdj. 88. Przecinanie walca z PP.



Zdj. 89. Toczenie kanału przepływu powietrza dmuchawy.

4.6.3 Dmuchała nr 1

Umożliwia unoszenie balonów i przeprowadzanie prostych ćwiczeń z wykorzystaniem rękawa powietrznego. Pracuje w pozycji leżącej, a po zastosowaniu specjalnej podstawki również w pozycji pionowej. Dmuchała nie posiada regulacji ilości wydmuchiwanego powietrza.

Korpus dmuchawy składa się z dwóch rur z twardego PVC, które łączone są między sobą za pomocą pierścieni wykonanych ze spienionego PVC. Średnice rur: 153 mm i 127 mm. Grubość ścianki pierwszej rury wynosi 1,5 mm, a grubość ścianki drugiej rury 1,3 mm. Grubość pierścieni montażowych, które usztywniają całą konstrukcję to 3 mm. Centralnie, w środku dmuchawy umieszczony jest osiowy wentylator komputerowy (stosowany m. in. w szafach serwerowych) o wymiarach 120 x 38 mm. Wentylator ma zeszlifowane narożniki w celu wpasowania go do wnętrza rury. Wlot i wylot wentylatora osłonięty jest stalową siatką zabezpieczającą przed wkładaniem rąk i różnych niebezpiecznych przedmiotów.

Bardzo ważnym elementem z punktu widzenia aerodynamiki jest kierownica strugi powietrza. Wykonana została z twardego PVC o grubości 1,5 mm. Umieszczono ją w górnej części dmuchawy. Bez niej zawirowania powietrza na wylocie dmuchawy są na tyle intensywne, że uniemożliwiają efektywną pracę z modelem badawczym.

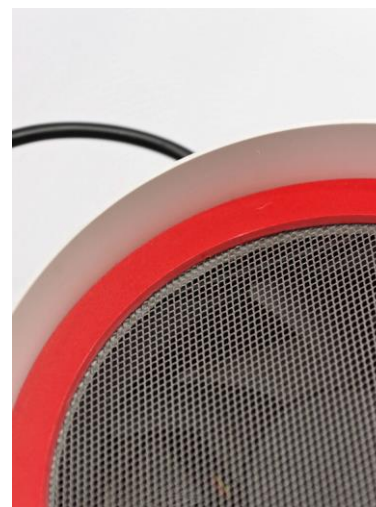
Do budowy podstawki, która umożliwia korzystanie z dmuchawy w pozycji pionowej zastosowano odcinek rury z twardego PVC o średnicy 149 mm, rurki aluminiowe o średnicy 8 mm i cztery nakładki tłumiące drgania z gumy antywibracyjnej. Do łączenia wszystkich materiałów zastosowano specjalistyczny klej do PVC, taśmę montażową dwustronnie klejącą oraz śruby z łbem imbusowym.



Zdj. 90. Kierownica strugi powietrza.



Zdj. 91. Wentylator osiowy dmuchawy.



Zdj. 92. Siatka zabezpieczająca.



Zdj. 93. Podstawka.

Specyfikacja techniczna:

Wymiary [mm]: 153 x 140 x 153

Waga [kg]: 0,60

Napięcie zasilające [V(DC)]: 12

Pobierana moc [W]: 9,02



Zdj. 94. Dmuchawa nr 1.

4.6.4 Dmuchawa nr 2

Dmuchawa umożliwia unoszenie balonów, piłeczek i przeprowadzanie doświadczeń z dziedziny fizyki. Może pracować zarówno w pozycji pionowej, jak i w pozycji leżącej.

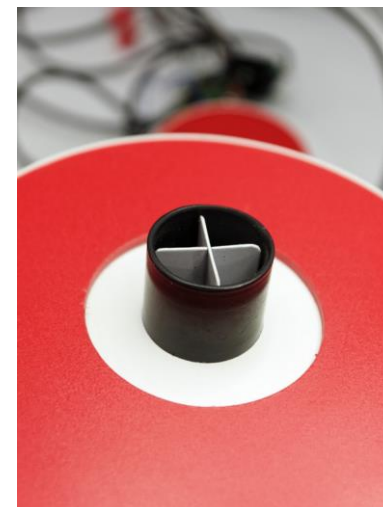
Korpus dmuchawy zbudowany jest z rury z twardego PVC o średnicy 153 mm i grubości ścianki 1,5 mm. Korpus usztywniony jest wręgami ze spienionego PVC o grubości 4 mm. W górnej części znajduje się rura wylotowa o średnicy 31,5 mm. W środku dmuchawy umieszczony jest wentylator promieniowy (stosowany m. in. w małych stacjonarnych i przenośnych odkurzaczach). Dopływ powietrza do wentylatora odbywa się poprzez trzy rzędy równomiernie rozmieszczonych w dolnej części obudowy otworów o średnicy 3 mm. Wylot wentylatora osłonięty jest stalową, odpowiednio wyprofilowaną kratownicą zabezpieczającą przed wkładaniem rąk i różnych niebezpiecznych przedmiotów. Dla efektywnego wykorzystania strumienia wydmuchiwane powietrze zastosowano kierownicę strugi powietrza wykonaną z dwóch kawałków twardego PVC o grubości 1 mm.

Na kablu zasilającym umieszczony został ręczny, tyrystorowy regulator obrotów. W podstawie dmuchawy znajduje się okrągła podkładka antywibracyjna wykonana z pianki EVA.

W celu redukcji hałasu wewnątrz obudowy zostało oklejone szarą, samoprzylepną gładką matą wygłuszającą, wykonaną z pianki poliuretanowej o otwartej strukturze komórkowej i o grubości 10 mm. Ten samogasnący materiał firmy SOUND SOLUTIONS stosowany jest m.in. przy wygłuszaniu sprężarek i agregatów (jako jedna z dwóch warstw wygłuszających).



Zdj. 95. Dolne wręgi usztywniające i perforowany wlot powietrza.



Zdj. 96. Rura wylotowa.



Zdj. 97. Tyrystorowy regulator obrotów.



Zdj. 98. Komora wentylatora.

Specyfikacja techniczna:

Wymiary [mm]: 153 x 220 x 153

Waga [kg]: 1,80

Napięcie zasilające [V(AC)]: 230-240

Max. pobierana moc [W]: 62,30



Zdj. 99. Dmuchawa nr 2.

4.6.5 Dmuchała nr 3

Dmuchała umożliwia unoszenie balonów, piłeczek i przeprowadzanie doświadczeń z dziedziny fizyki. Może pracować zarówno w pozycji pionowej, jak i w pozycji leżącej.

Korpus dmuchawy wykonany jest z rury z twardego PVC o średnicy 127 mm i grubości ścianki 1,3 mm. Korpus usztywniają trzy wręgi ze spienionego PVC o grubości 4 mm. W górnej części znajduje się rura wylotowa o średnicy 45 mm. W środku dmuchawy umieszczona jest skrócona obudowa profesjonalnej suszarki do włosów, w której znajduje się wentylator promieniowy. Dopływ powietrza do wentylatora zapewniają trzy rzędy równomiernie rozmieszczonych w dolnej części obudowy otworów o średnicy 3 mm. Wylot wentylatora osłonięty jest stalową, odpowiednio wyprofilowaną kratownicą zabezpieczającą przed wkładaniem rąk i różnych niebezpiecznych przedmiotów. Dla efektywnego wykorzystania strumienia powietrza zastosowano na wylocie oryginalną kierownicę strugi powietrza, na której wcześniej nawinięty był drut oporowy grzewczy suszarki. Kierownica wykonana jest z mikanitu.

Na kablu zasilającym umieszczony został ręczny, tyrystorowy regulator obrotów. W podstawie dmuchawy znajduje się okrągła podkładka antywibracyjna wykonana z pianki EVA.

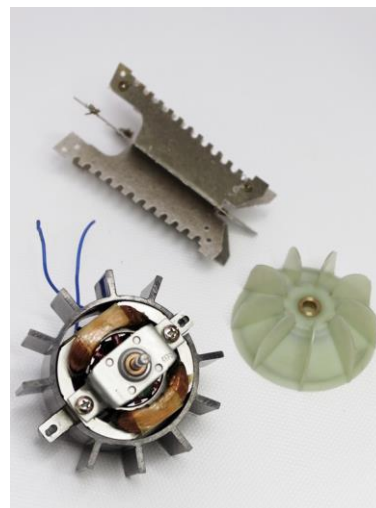
W celu redukcji hałasu wewnątrz obudowy zostało oklejone szarą, samoprzylepną gładką matą wygłuszającą, wykonaną z pianki poliuretanowej o otwartej strukturze komórkowej i o grubości 20 mm. Ten samogasnący materiał firmy SOUND SOLUTIONS stosowany jest m.in. przy wygłuszaniu sprężarek i agregatów, jako jedna z dwóch warstw wygłuszających.



Zdj. 100. Dolne wręgi usztywniające i perforowany wlot powietrza.



Zdj. 101. Tyrystorowy regulator obrotów.



Zdj. 102. Silnik komutatorowy.



Zdj. 103. Rura wylotowa.

Specyfikacja techniczna:

Wymiary [mm]: 127 x 230 x 127

Waga [kg]: 1,15

Napięcie zasilające [V(AC)]: 230-240

Max. pobierana moc [W]: 150,02



Zdj. 104. Dmuchawa nr 3.

4.6.6 Dmuchawa nr 4

Dmuchawa przenośna. Umożliwia unoszenie małych balonów i piłeczek. Zasilana jest akumulatorem lub za pomocą zasilacza sieciowego.

Korpus dmuchawy stanowi rura z twardego PVC o średnicy 47 mm i grubości ścianki 1,3 mm. Korpus usztywniają dwie wręgi ze spienionego PVC o grubości 3 mm. W górnej części znajduje się rura wylotowa o średnicy 31,5 mm. Do napędu wentylatora dmuchawy zastosowano wysokoobrotowy silnik bezszczotkowy używany do chłodzenia płyt serwerowych. Wentylator ma zeszlifowane narożniki w celu wpasowania go do wnętrza obudowy. Dopływ powietrza do wentylatora zapewnia umieszczony w dolnej części, osłonięty siatką otwór. Wylot wentylatora osłonięty jest stalową kratownicą zabezpieczającą przed wkładaniem rąk i różnych niebezpiecznych przedmiotów. Dla efektywnego wykorzystania strumienia powietrza zastosowano na wylocie kierownicę strugi powietrza. Wykonana jest z twardej płyty PVC o grubości 1 mm.

Dmuchawa nie posiada regulacji obrotów silnika i nie może być ustawiona pionowo na podłożu (zasłaniany jest wtedy wlot powietrza). W celu redukcji drgań silnika jego obudowa przed włożeniem do rury korpusu owinięta została pianką techniczną (pianka PE).



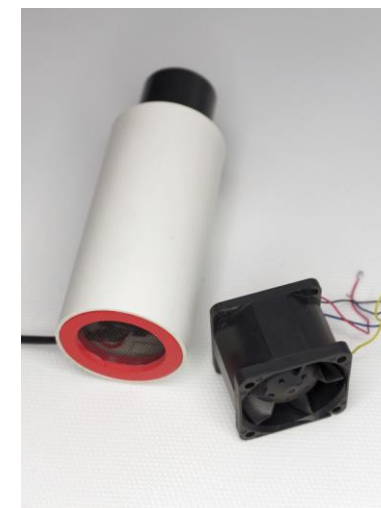
Zdj. 105. Wlot powietrza osłonięty metalową siatką.



Zdj. 106. Wylot powietrza z kierownicą strugi.



Zdj. 107. Akumulator z gniazdem i wtykiem zasilającym.



Zdj. 108. Wentylator dmuchawy z silnikiem bezszczotkowym.

Specyfikacja techniczna:

Wymiary [mm]: 47 x 130 x 47

Waga [kg]: 0,12

Napięcie zasilające [V(DC)]: 12

Pobierana moc [W]: 4,72



Zdj. 109. Dmuchawa nr 4.

4.6.7 Dmuchawa nr 5

Dmuchawa umożliwia unoszenie balonów, piłeczek i przeprowadzanie doświadczeń z dziedziny fizyki. Pracuje w pozycji leżącej i w pozycji pionowej.

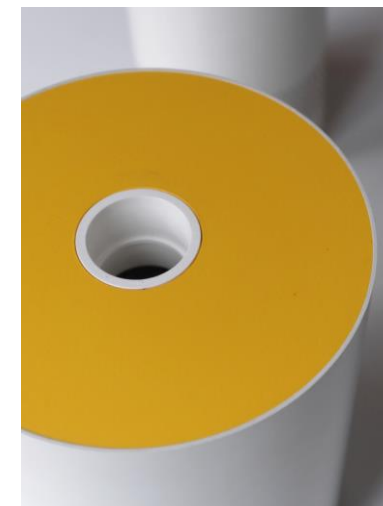
Korpus dmuchawy to rura z twardego PVC o średnicy 153 mm i grubości ścianki 1,5 mm. Jego sztywność zapewniają trzy wręgi ze spienionego PVC o grubości 4 mm. W górnej części korpusu znajduje się rura wylotowa o średnicy wewnętrznej 33 mm. W środku dmuchawy umieszczony jest wentylator promieniowy (stosowany m. in. w małych stacjonarnych i przenośnych odkurzaczach). Dopływ powietrza do wentylatora zapewniają trzy rzędy równomiernie rozmieszczonych w dolnej części obudowy otworów o średnicy 3 mm. Wylot wentylatora osłonięty jest odpowiednio wyprofilowaną stalową kratownicą zabezpieczającą przed wkładaniem rąk i różnych niebezpiecznych przedmiotów.

Dmuchawa wyposażona jest w wysoce wydajny, elektroniczny regulator obrotów silnika PWM. Sterowanie obrotami silnika i jego wyłączanie odbywa się za pomocą pokrętła umieszczonego na bocznej ścianie korpusu. Podstawa dmuchawy posiada antywibracyjną podkładkę wykonaną z pianki EVA.

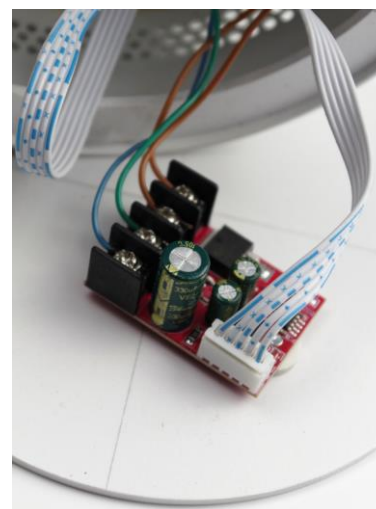
W celu redukcji hałasu wewnątrz obudowy zostało oklejone szarą, samoprzylepną gładką matą wygłuszającą, wykonaną z pianki poliuretanowej o otwartej strukturze komórkowej i o grubości 10 mm. Ten samogasnący materiał firmy SOUND SOLUTIONS stosowany jest m.in. przy wygłuszaniu sprężarek i agregatów (jako jedna z dwóch warstw wygłuszających).



Zdj. 110. Wlot powietrza.



Zdj. 111. Dysza wylotowa.



Zdj. 112. Regulator obrotów PWM.



Zdj. 113. Wentylator ze zdjętą osłoną.

Specyfikacja techniczna:

Wymiary [mm]: 153 x 200 x 153

Waga [kg]: 1,43

Napięcie zasilające [V(DC)]: 47,00

Max. pobierana moc [W]: 44,08

Max. ciśnienie statyczne [mbar]: 26,8

Max. głośność [dB/(A)/1 m]: 26,1



Zdj. 114. Dmuchawa nr 5.

4.6.8 Dmuchała nr 6

Dmuchała umożliwia unoszenie balonów, piłeczek i przeprowadzanie doświadczeń z dziedziny fizyki. Można do niej również podłączyć rękaw powietrzny.

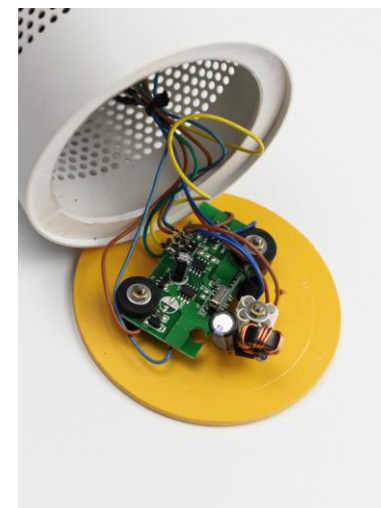
Korpus dmuchawy stanowi rura z twardego PVC o średnicy 103 mm i grubości ścianki 1,5 mm. Sztywność zapewniają dwie wręgi ze spienionego PVC o grubości 4 mm. W górnej części korpusu znajduje się rura wylotowa o średnicy wewnętrznej 47 mm. W wentylatorze zastosowano wysokoobrotowy silnik bezszczotkowy używany do chłodzenia płyt i szaf serwerowych. Dopływ powietrza do wentylatora zapewnia dziewięć rzędów równomiernie rozmieszczonych w dolnej części obudowy otworów o średnicy 3 mm. Wylot wentylatora osłonięty jest stalową kratownicą zabezpieczającą przed wkładaniem rąk i różnych niebezpiecznych przedmiotów. Dla efektywnego wykorzystania strumienia powietrza zastosowano na wylocie kierownicę strugi powietrza wykonaną z twardej płyty PVC o grubości 1 mm.

Dmuchała wyposażona jest w elektroniczny regulator obrotów silnika PWM. Do sterowania dmuchawą wykorzystuje się trzy przyciski usytuowane w jej górnej części. Pierwszy przycisk z czerwoną kropką pełni rolę wyłącznika, a dwa pozostałe regulują obroty silnika. **Z urządzeniem współpracuje również radiowy pilot zdalnego sterowania.** Podstawa dmuchawy posiada antywibracyjną podkładkę wykonaną z pianki EVA.

W celu redukcji hałasu komora silnika wentylatora została oklejona z zewnątrz warstwą maty butylowej STP Noiseblock grubości 2 mm firmy Standartplast, a korpus dmuchawy od wewnątrz taką samą warstwą maty butylowej i dodatkowo pianką kauczukową K6s grubości 6 mm firmy Oneflex Polska.



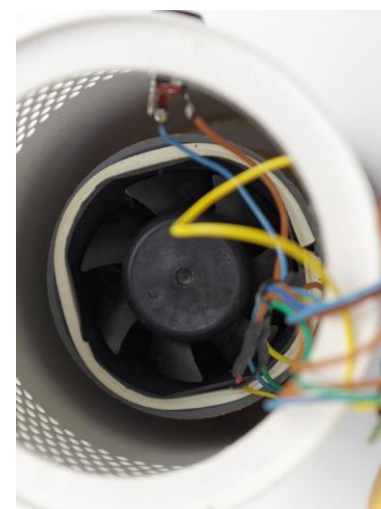
Zdj. 115. Panel sterujący.



Zdj. 116. Regulator obrotów PWM.



Zdj. 117. Wtyk i gniazdo zasilające.



Zdj. 118. Wentylator dmuchawy.

Specyfikacja techniczna:

Wymiary [mm]: 103 x 200 x 103

Waga [kg]: 0,62

Napięcie zasilające [V(DC)]: 12

Max. pobierana moc [W]: 12,55

Max. ciśnienie statyczne [mbar]: 2,1

Max. głośność [dB/(A)/1 m]: 23,8



Zdj. 119. Dmuchawa nr 6.

4.6.9 Dmuchawa nr 7

Dmuchawa umożliwia unoszenie balonów, piłeczek i przeprowadzanie doświadczeń z dziedziny fizyki. Pracuje w pozycji leżącej i w pozycji pionowej.

Korpus dmuchawy składa się z zamkniętego profilu prostokątnego z twardego PVC o wymiarach 122 mm x 60 mm, o grubości ścianki 1,5 mm. Korpus usztywniony jest dwiema wręgami ze spienionego PVC o grubości 4 mm. W górnej części znajduje się rura wylotowa o średnicy 33,5 mm. W dmuchawie zastosowano klasyczny wentylator odśrodkowy, do napędu którego wykorzystano profesjonalny, bezszczotkowy silnik komputerowy. Wylot i wlot wentylatora osłonięty jest stalową siatką zabezpieczającą przed wkładaniem rąk i różnych niebezpiecznych przedmiotów. Za sterowanie obrotami silnika odpowiada elektroniczny regulator obrotów PWM oparty na chipie sterującym NE555, posiadającym na wyjściu scalony, podwójny tranzystor MOSFET. Pokrętło regulatora obrotów umiejscowione jest na ścianie z dyszą wylotową.

Podstawa dmuchawy posiada antywibracyjną podkładkę wykonaną z pianki EVA.

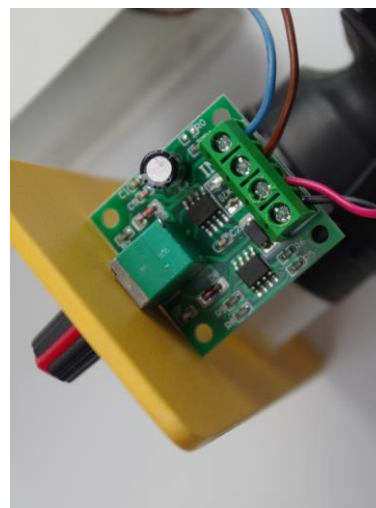
W celu redukcji hałasu komora silnika wentylatora została oklejona z zewnątrz warstwą maty butylowej STP Noiseblock grubości 2 mm firmy Standartplast, a korpus dmuchawy od wewnątrz taką samą warstwą maty butylowej i dodatkowo pianką kauczukową K6s grubości 6 mm firmy Oneflex Polska.



Zdj. 120. Dmuchawa w pozycji poziomej.



Zdj. 121. Elastyczne połączenie gumowe wentylatora z króćcem wylotowym.



Zdj. 122. Regulator obrotów PWM.



Zdj. 123. Wręga wzmacniająca.

Specyfikacja techniczna:

Wymiary [mm]: 122 x 190 x 60

Waga [kg]: 0,75

Napięcie zasilające [V(DC)]: 12

Max. pobierana moc [W]: 13,40

Max. ciśnienie statyczne [mbar]: 3,9

Max. głośność [dB/(A)/1 m]: 25,5

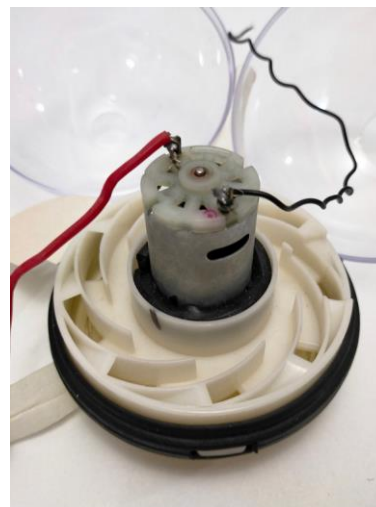


Zdj. 124. Dmuchawa nr 7.

4.6.10 Dmuchawa nr 8

Dmuchawa przenośna. Umożliwia unoszenie balonów i małych piłeczek. Pracuje w każdej pozycji.

Korpus dmuchawy stanowią dwie półkule wykonane z pomalowanego, przezroczystego polistyrenu. W górnej części znajduje się otwór wylotowy o średnicy 16 mm. W środku dmuchawy umieszczony jest wentylator promieniowy (stosowany w przenośnych odkurzaczach samochodowych) zasilany akumulatorami litowo-jonowymi umieszczonymi wewnątrz urządzenia. Wlot wentylatora osłonięty jest stalową siatką zabezpieczającą przed wkładaniem rąk i różnych niebezpiecznych przedmiotów. Dla efektywnego wykorzystania strumienia powietrza zastosowano na wylocie kierownicę strugi powietrza wykonaną z jednego kawałka twardego PVC o grubości 1,5 mm.



Zdj. 125. Wentylator dmuchawy.



Zdj. 126. Widok wszystkich elementów dmuchawy.



Zdj. 127. Dmuchawa przed założeniem górnej pokrywy.



Zdj. 128. Osłonięty stalową siatką wlot powietrza.

Specyfikacja techniczna:

Wymiary [mm]: 100 x 98 x 100

Waga [kg]: 0,32

Napięcie zasilające [V(DC)]: 3,7

Pobierana moc [W]: 2,34

Ciśnienie statyczne [mbar]: 2,4

Głośność [dB/(A)/1 m]: 11,3



Zdj. 129. Dmuchawa nr 8.

4.6.11 Dmuchawa nr 9

Dmuchawa przenośna, która dzięki swym niewielkim wymiarom zapewnia wyjątkową mobilność. Przeznaczona jest do unoszenia balonów i małych piłeczek. Pracuje w każdej pozycji.

Korpus dmuchawy wykonany jest z rury z twardego PVC o średnicy 32 mm i grubości ścianki 1,2 mm. Korpus usztywniają dwie wręgi ze spienionego PVC o grubości 4 mm. W środku dmuchawy znajduje się miniaturowy silnik (stosowany w małych dronach) zasilany jednym akumulatorem litowo-jonowym umieszczonym we wnętrzu urządzenia. Dla efektywnego wykorzystania strumienia powietrza zastosowano na wylocie kierownicę strugi powietrza wykonaną z dwóch kawałków twardego PVC o grubości 1,5 mm. Bezpieczne użytkowanie zapewnia osłona w postaci stalowej kratownicy umieszczonej bezpośrednio za łopatkami wirnika na rurze wylotowej urządzenia.



Zdj. 130. Widok wszystkich elementów dmuchawy.



Zdj. 131. Wylot powietrza z kierownicą strugi.



Zdj. 132. Wlot powietrza.



Zdj. 133. Schowany wyłącznik.

Specyfikacja techniczna:

Wymiary [mm]: 32 x 260 x 32

Waga [kg]: 0,11

Napięcie zasilające [V(DC)]: 3,7

Pobierana moc [W]: 0,85

Ciśnienie statyczne [mbar]: 0,6

Głośność [dB/(A)/1 m]: 25,2



Zdj. 134. Dmuchawa nr 9.

4.6.12 Osprzęt do dmuchaw

Nasadki na dyszę wylotową proste stosowane w większości prezentowanych tu dmuchaw mają kanał porządkowy o malejącym przekroju. Tworzą w ten sposób konfuzor, który powodując wzrost prędkości wydmuchiwanego powietrza, zwiększa np. wysokość lewitacji przedmiotów. Zwężający się odcinek rury zapewnia także węższy, ukierunkowany strumień wypływającego powietrza, który to umożliwia przeprowadzenie ćwiczeń nieosiągalnych dla szerokiego strumienia.

Nasadki zostały wykonane z twardego PVC lub z PP. Materiały te pozwalają uzyskać bardzo gładkie powierzchnie ścian wewnętrznych, zapewniając w ten sposób bardziej laminarny przepływ płynu. Skutkuje to większą wydajnością całego urządzenia i mniejszym poziomem emitowanego hałas.

Najmniejsza wewnętrzna średnica konfuzora jaka była użyta w czasie pracy z dziećmi to 12 mm. Nasadka taka bardzo dobrze współpracowała z dmuchawą nr 2, nr 5 i nr 7.

W niektórych z omawianych wcześniej dmuchaw konfuzor nie znajduje zastosowania. Tak dzieje się np. w przypadku dmuchawy nr 9. Po nałożeniu konfuzora punkt pracy wentylatora tej dmuchawy przesuwają się w niestateczny obszar pracy (w sposób wyraźny spada jego wydajność). Wynika to z budowy wentylatora, w którym zastosowano silnik o bardzo małej mocy i śmigło o niskiej sprawności. Przy tych samych wymiarach zewnętrznych dmuchawy, ale o innej, bardziej wydajnej budowie wentylatora, zastosowanie konfuzora miało by sens.



Zdj. 135. Nasadka wykorzystywana do ćwiczeń piłeczką.



Zdj. 136. Nasadka wykorzystywana do doświadczeń z energią wiatrową.



Zdj. 137. Przegląd nasadek prostych.

Nasadki na dyszę wylotową typu „fontanna” mają na końcu wylotu dodatkowe, wystające elementy składające się z pasemek cienkiej, jednakowej długości folii (polipropylen orientowany metalizowany). Przy przepływie powietrza obserwujemy bardzo widowiskowy efekt „fontanny”, który oprócz dostarczania dzieciom zupełnie nowych bodźców wzrokowych oddziałuje przede wszystkim na liczne mechanoreceptory znajdujące się w skórze.

Nasadki typu „fontanna” działają najlepiej z dmuchawami zapewniającymi zarówno duże ciśnienie dynamiczne jak i dużą wydajność objętościową wentylatora.



Zdj. 138. Nasadka typu „fontanna”.



Zdj. 139. Nasadka typu „fontanna”.



Zdj. 140. Przegląd nasadek typu „fontanna”.

Rękaw powietrzny przystosowany jest do pracy z dmuchawą nr 1 i dmuchawą nr 6, przy czym w przypadku dmuchawy nr 1 jego średnica wynosi 127 mm, a w przypadku dmuchawy nr 6 średnica wynosi 103 mm (przy maksymalnej długości rękawa 1100 mm). Rękawy wykonane są z miękkiego PVC zbrojonego stalowym drutem. Ich średnica umożliwia włożenie ręki każdego dziecka. Dla zwiększenia intensywności oddziaływania na mechanoreceptory ukierunkowanego ruchu powietrza można przed włożeniem do rękawa ręki lekko zwilżyć ją wodą. W dmuchawie nr 6, po założeniu rękawa na dmuchawę, regulacja przepływu objętościowego czynnika odbywa się zdalnie za pomocą radiowego pilota regulującego obroty silnika wentylatora.



Zdj. 142. Rękaw pracujący poziomo.



Zdj. 143. Rękaw pracujący pionowo.



Zdj. 141. Rękaw powietrzny do dmuchawy nr 6.



Zdj. 144. Rękaw powietrzny przed podłączeniem do dmuchawy nr 6.

Wąż elastyczny umieszczany jest między dmuchawą a nasadką na dyszę wylotową. Zwiększa zakres zastosowania dmuchaw stacjonarnych umożliwiając przeprowadzenie ćwiczeń, w których trzeba szybko i precyzyjnie operować strugą powietrza.

Ze względu na jego długość i karbowanie, ma duże opory przepływu i nie nadaje się do pracy z dmuchawami, które nie dysponują zapasem mocy.

Wąż elastyczny podłączany do prezentowanych wcześniej dmuchaw wykonany był z oryginalnego węża od odkurzacza. Próby wykorzystania innych przewodów karbowanych nieprzeznaczonych do transportu powietrza (np. rury osłonowe do kabli) nie znalazły zastosowania, ze względu na generowanie w trakcie ich pracy niepożądanych dźwięków.



Zdj. 145. Wąż elastyczny użyty w ćwiczeniu na strącanie piłeczek.



Zdj. 146. Wąż elastyczny z konfuzorem o średnicy 12 mm i średnicą przyłącza 33 mm.

Płeczki i balony to podstawowa i najliczniejsza grupa akcesoriów do dmuchaw wykorzystywanych do pracy z dziećmi zarówno w procesie terapii integracji sensorycznej, jak i w procesie nauczania w wybranej dziedzinie fizyki.

Średnice płeczek ze styropianu stosowane w ćwiczeniach zawierały się w przedziale od 25 mm do 115 mm. Najczęściej wykorzystywane były średnice 45 mm i 56 mm. Oprócz płeczek styropianowych bardzo dobrze sprawdziły się nadmuchiwane płeczki z PVC oraz balony. Testowane przez autora płeczki z PVC miały średnicę 57 mm, 68 mm i 70 mm.



Zdj. 148. Ćwiczenie zręcznościowe.



Zdj. 149. Lewitacja płeczki z PVC.



Zdj. 147. Płeczki styropianowe.



Zdj. 150. Nadmuchiwane płeczki z miękkiego PVC.

Balony osiągają dużą średnicę przy niedużym ciężarze, a przez to doskonale sprawdzają się w czasie pracy z dmuchawami, które charakteryzują się niewielką mocą i niewielkim przepływem. Wysokość ich lewitacji można w bardzo prosty sposób zmieniać – wystarczy dopompować do nich lub usunąć odpowiednią ilość powietrza.

W niektórych małych balonach udało się autorowi po napompowaniu osiągnąć kształt kuli. Powstały w ten sposób najlżejsze, 72 milimetrowe piłeczki o wadze 0,14 g.



Zdj. 151. Piłeczki z różnych materiałów.



Zdj. 152. Ćwiczenie z balonem.



Zdj. 153. Lewitacja piłeczki pingpongowej.



Zdj. 154. Balony z lateksu używane w pracy z dziećmi.

W grupie piłeczek styropianowych testowane były również piłki mające dodatkowy element składający się z pasemek cienkiej, jednakowej długości folii (polipropylen orientowany metalizowany). Ten drobny, wystający element w bardzo znaczący sposób zwiększał wysokość lewitacji i umożliwiał pracę z dmuchawami na bardzo niskich obrotach wentylatora. Pełnił on też rolę stabilizatora (działał podobnie jak ogon unoszącego się na wietrze latawca).

Autor eksperymentował także z piłeczkami z PVC z wycięciami i odchylanymi kłapkami, które umożliwiają wprowadzenie lewitującej piłki w ruch obrotowy, której prędkość można w pewnych granicach regulować obrotami silnika dmuchawy. W trakcie takiego ruchu obrotowego pojawiają się dodatkowe dźwięki przypominające odgłos startującego lub lądującego śmigłowca.



Zdj. 156. Lapanie piłeczki.



Zdj. 157. Lewitacja i ruch obrotowy trzech piłeczek połączonych osią.



Zdj. 155. Piłeczki z pasemkami folii.



Zdj. 158. Piłeczki z odchylanymi kłapkami wykonujące ruch obrotowy.

Pierścienie uzupełniają ćwiczenia z piłeczkami i pozwalają zarówno na demonstrację niektórych paradoksów z dziedziny mechaniki płynów, jak i na pracę z dziećmi w zakresie dużej aktywności ruchowej, którą można w naturalny sposób wykorzystać w procesie terapii metodą integracji sensorycznej. Mają różną średnicę dopasowaną do średnicy lewitującej piłeczki.

Najprostszym ćwiczeniem jest próba przesunięcia pierścienia od dołu do góry i odwrotnie nad lewitującą piłką. W miarę zbliżania się pierścienia do piłki, piłka zaczyna oddalać się od pierścienia. Jeżeli pierścień przesuwamy od dołu do góry, to żeby pierścień znalazł się nad piłką dziecko musi w większości przypadków wspiąć się na palce. Podobny efekt można uzyskać, zastępując pierścień krótkim odcinkiem odpowiednio dobranej średnicy rury.



Zdj. 159. Pierścień z piłeczką.



Zdj. 160. Pierścień z piłeczką.



Zdj. 161. Kolorowe pierścienie z PP o średnicach dopasowanych do średnicy piłeczek.

Osprzęt muzyczny to w najprostszym wykonaniu zestaw gotowych podstawowych instrumentów dętych do których należy np. flet prosty. Na warsztatach prowadzonych z dziećmi z zaburzeniami przetwarzania sensorycznego wykorzystywany był zestaw ośmiu rurek z PVC o średnicy 15 mm, zaślepionych na jednym końcu. Taki zestaw po dobraniu odpowiedniej długości poszczególnych rurek był w stanie odtworzyć dźwięki jednej oktawy razkreślnej, przy czym częstotliwość dźwięku C¹ (261,6 Hz) udało się uzyskać przy długości rurki wynoszącej 320 mm.

Zjawisko rezonansu akustycznego bazującego na powstawaniu fali stojącej występuje też w przypadku kul o różnych średnicach z wywierconym jednym otworem, które są puste w środku. W tym wypadku wydobywanie rezonansowego dźwięku jest trudniejsze i wymaga wyćwiczenia dobrej koordynacji wzrokowo-ruchowej.



Zdj. 162. Proste instrumenty muzyczne używane na warsztatach z dziećmi.



Zdj. 163. Ćwiczenie z zestawem rurek.



Zdj. 164. Praca z kulą z otworem.

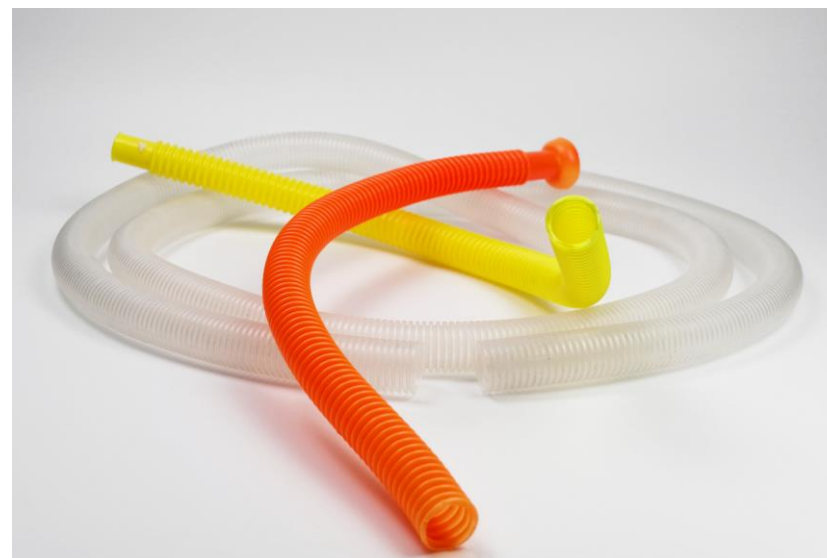


Zdj. 165. Kule do ćwiczeń z rezonansem akustycznym.

W czasie warsztatów korzystano też z karbowanych rur z PP z dwoma otwartymi końcami, które to przyłożone do nasadki na dyszę dmuchawy wydawały różne dźwięki. Częstotliwość uzyskiwanych dźwięków można w bardzo prosty sposób regulować za pomocą oddalania i przybliżania końca rury do nasadki.



Zdj. 166. Zabawy dźwiękiem przy wykorzystaniu przezroczystej rury z PP.



Zdj. 167. Rury używane na warsztatach z dziećmi do zabawy z dźwiękiem.

Pozostały osprzęt umożliwia przeprowadzenie wybranych doświadczeń z zakresu energii wiatrowej, paradoksów z dziedziny mechaniki płynów oraz zapewnia możliwość wykonania prostych zabaw zręcznościowych.

W skład zestawu przeznaczonego do doświadczeń z energią wiatrową wchodzi dwie prądnice prądu stałego poruszane czteropłatowym wirnikiem (z miękkimi łopatkami z PVC), dwie diody świecące zasilane prądnicami, prosty silnik wibracyjny oraz wymienna tarcza umieszczana na osi silnika. Po umieszczeniu drobnych przedmiotów na obracającej się tarczy możemy obserwować zachowanie się przedmiotów pod wpływem działania siły odśrodkowej.

Przy omawianiu paradoksów mechaniki płynów można korzystać m.in. z różnych lejków, które to po nałożeniu na otwór wylotowy dmuchawy służą do pokazania bezskutecznych prób gaszenia szerszym ich końcem zapalonych świeczek.



Zdj. 168. Wykorzystanie energii wiatru do zasilania świecącej diody LED.



Zdj. 169. Wykorzystanie energii wiatru do napędu silnika wibracyjnego.



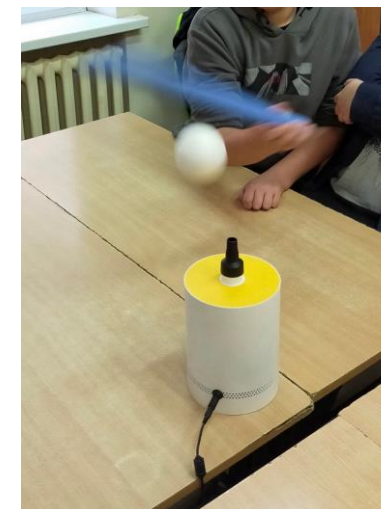
Zdj. 170. Elementy zestawu do doświadczeń z energią wiatrową.

Do ćwiczeń dyspraksji rozwojowej w zakresie ogólnej koordynacji ruchowej i koordynacji wzrokowo-ruchowej można wykorzystać wałki z PE z piłeczkami, różnego rodzaju wiatraczki, ponacinane piłki, w których ruchy lewitacyjne są trudne do przewidzenia i wymagają od dziecka większego skupienia przy próbie ich złapania.

Pozostały osprzęt tworzą też zabawki, takie jak modele samochodów, dyski powietrzne itd., na przykładzie których można, wykorzystując strugę powietrza, tłumaczyć znaczenie siły tarcia i siły oporu powietrza.



Zdj. 172. Teleskopowy wiatraczek.



Zdj. 173. Zbijanie lewitującej piłeczki.



Zdj. 171. Zestaw lejków do prezentacji paradoksów mechaniki płynów.



Zdj. 174. Dodatkowy osprzęt uzupełniający wykorzystywany do pracy z dmuchawami.

4.7 Stanowisko badawcze

4.7.1 Geneza i konstrukcja

Z założenia pomiary wybranych parametrów eksploatacyjnych modeli badawczych miały być przeprowadzone po zakończeniu cyklu warsztatów, stanowiących końcowy test w grupie docelowej. Jednak już na etapie wstępnego makietowania pojawiła się konieczność przygotowania odpowiedniego stanowiska badawczego, które pozwoliłoby nie tylko zmierzyć parametry końcowe gotowych modeli, ale również zbadać doświadczalnie i poddać analizie niektóre zagadnienia związane z mechaniką płynów występujące już w początkowej fazie projektowania.

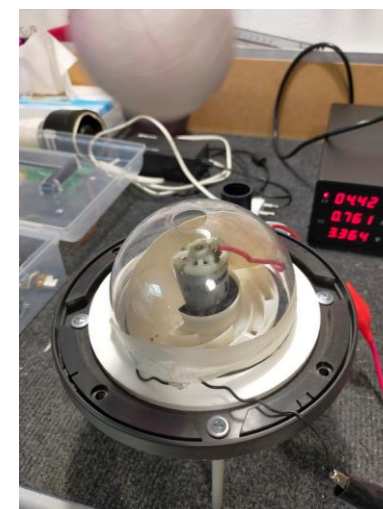
Powstanie takiego stanowiska badawczego, (w miarę jak wzrastała ilość doświadczeń mających na celu sprawdzenie i skorelowanie wiedzy teoretycznej z praktyką) nabierało coraz to większego znaczenia. Stanowisko miało uporządkować i ułatwić pracę badawczą oraz być na tyle elastyczne, żeby za pomocą prostego oprzyrządowania można było w krótkim czasie przestawić się na pracę z różnymi wariantami wentylatorów występujących w modelach badawczych. Jego stabilna konstrukcja miała zapewnić porównywalność wyników prób przeprowadzanych w różnych okresach czasowych (przy tych samych parametrach wyjściowych), a w przypadku pomiarów eksploatacyjnych dmuchaw stanowisko miało umożliwić badanie podstawowych parametrów elektrycznych, akustycznych i przepływowych.



Zdj. 175. Elementy do badania wpływu formy komory na ciśnienie dynamiczne strugi.



Zdj. 176. Badanie komory wentylatora.

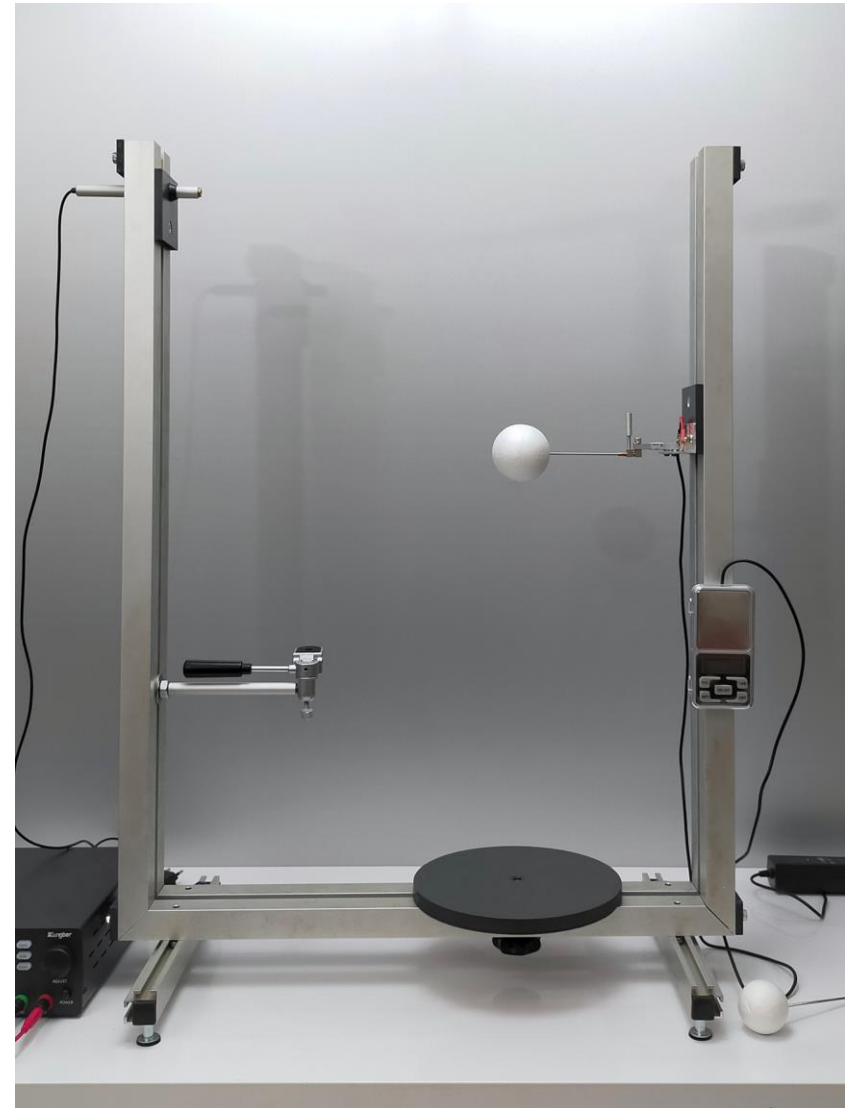


Zdj. 177. Badanie wentylatora w kuli.

Do budowy stanowiska użyto aluminiowych profil wystawienniczych w powłoce anodowanej. Profile połączone są za pomocą rozłącznych metalowych łączników prostych i kątowych. Konstrukcja posiada metalowe nóżki o regulowanej wysokości i dwie libelle rurkowe do ustalenia płaszczyzn pionu i poziomu. Na dolnych i bocznych prowadnicach można zamontować różne dodatkowe akcesoria z blokadą ich położenia. Mogą to być zarówno ruchome podesty (z uchwytem lub bez uchwyty) na których umieszcza się badane elementy, jak i elementy będące częścią przyrządów pomiarowych (mierniki, czujniki, przyrządy liniowe itd.).

Stanowisko postawione jest na dodatkowym, wyposażonym w gniazda zasilające, mobilnym blacie, który pozwala na pracę w pomieszczeniach wyposażonych w dowolne powierzchnie robocze, a w przypadku braku takich powierzchni na pracę z dowolnym, składanym stołem warsztatowym.

W związku z tym, że poszczególne elementy stanowiska można demontować (przy użyciu klucza imbusowego), po demontażu mieści się ono w opakowaniu o wymiarach 800 mm x 130 mm x 80 mm.



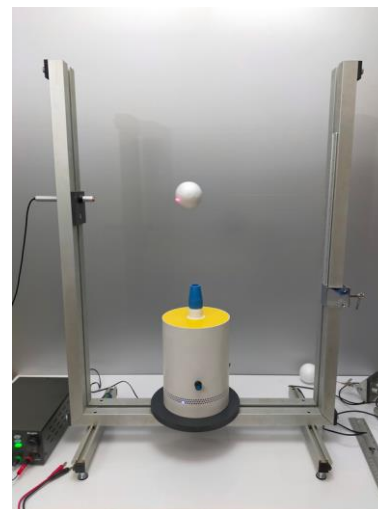
Zdj. 178. Stanowisko badawcze.

4.7.2 Pomiar wysokość lewitacji

Ważną cechą modeli badawczych przedstawionych w niniejszej rozprawie doktorskiej była umiejętność wprawiania w stan lewitacji balonów i piłeczek. Uzyskanie maksymalnej wysokości lewitacji w przypadku różnych modeli stanowiło pośrednie kryterium przydatności urządzenia do pracy z dziećmi zaburzeniami przetwarzania sensorycznego.

Przed powstaniem stanowiska badawczego największą trudnością dla autora było jednoznaczne określenie wysokości lewitacji piłeczki przy pracującym modelu. Wyrzut strugi powietrza miał bardzo często cechy przepływu turbulentnego i piłeczka zmieniała w pewnych określonych granicach swoją pozycję, uniemożliwiając skuteczny pomiar jej odległości od końca nasadki na dyszy wylotowej. Dodatkowo sprawę komplikował fakt, że chcąc zmierzyć wysokość unoszenia piłeczki należało wprowadzić jak najbliżej strumienia linii do określenia wysokości. Pojawienie się dodatkowego przedmiotu w strumieniu przemieszczającego się powietrza powodowała zaburzenie jego przepływu i piłeczka wykazywała jeszcze większą labilność, co jeszcze bardziej utrudniało prawidłowy odczyt pomiaru.

Pierwszym pomysłem na rozwiązanie tego problemu było umieszczenie na jednym z pionowych ramion stanowiska badawczego przesuwanej głowicy nadajnika światła lasera. Światło to, przecinając drogę lewitującego przedmiotu, odbija się na przedmiocie, lub omijając przedmiot, odbija się na przymiarze kreskowym umieszczonym na przeciwnym ramieniu stanowiska. Wysokość lewitacji można bardzo prosto określić, odczytując ślad wiązki lasera na wyskalowanej, przesuwanej w pionie, prowadnicy przymiaru.



Zdj. 179. Laserowy pomiar wysokości lewitacji.



Zdj. 180. Ślad lasera na piłce.



Zdj. 181. Głowica nadajnika lasera.



Zdj. 182. Odczyt śladu lasera na skali.

Drugim i – jak się okazało – lepszym pomysłem na określenie wysokości lewitacji było wykorzystanie faktu, że w czasie lewitacji piłeczka wisi w powietrzu na określonej wysokości, ponieważ siła ciężkości piłeczki jest równoważona przeciwstawną siłą pochodzącą od ciśnienia dynamicznego strumienia powietrza modelu badawczego. Wysokość zwisu zależna jest zarówno od masy piłeczki, jak i od prędkości strumienia powietrza. Wystarczyło zastosować czujnik nacisku na piłeczkę w postaci belki tensometrycznej, który przesuwany wzdłuż osi strumienia powietrza, znajdzie punkt równowagi działania tych dwóch sił. Odczytanie zerowej wartości pomiaru z podłączonej do belki wzmacniacza sygnału było równoznaczne z osiągnięciem przez piłeczkę punktu równowagi.

Praca z sensorem wagowym w bardzo precyzyjny sposób pozwala na określenie wysokości lewitacji danego przedmiotu i wykrywa wszelkie, nawet bardzo delikatne zaburzenia w przepływie strumienia powietrza. Autor przeprowadzał eksperymenty z różnymi wielkościami piłeczek i z dwoma czujnikami opartymi na belce tensometrycznej o różnym zakresie wagowym. Przy konstruowaniu modeli badawczych, przy testach na stanowisku badawczym, najczęściej korzystał z dwóch średnic styropianowych kulek – średnicy 45 mm i 56 mm umieszczanych na belce o zakresie pomiarowym 200 g/0,01 g. Piłka w czasie pomiaru wsunięta była na metalowy trzpień o średnicy 1,5 mm zamocowany na wolnym końcu belki tensometrycznej.

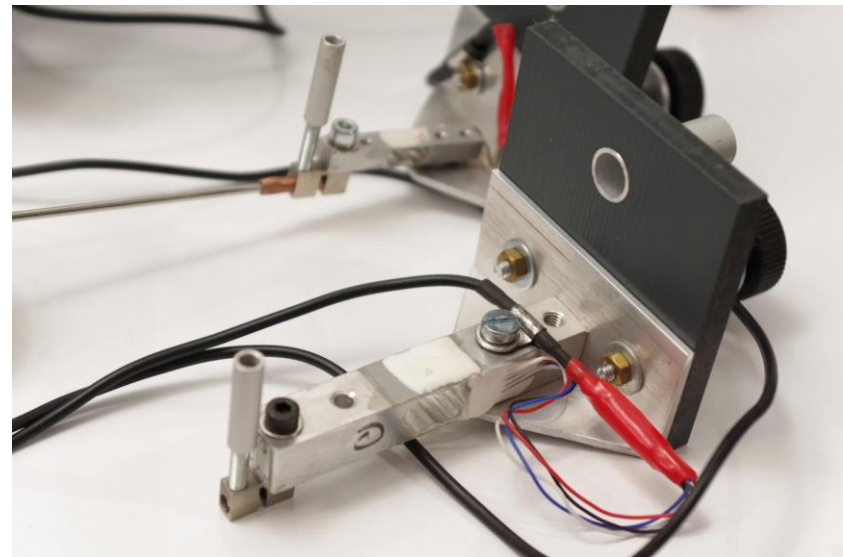
Do budowy czujnika opartego na belce autor wykorzystał elementy bardzo precyzyjnej wagi jubilerskiej. Zamiast gładkich piłeczek przy testach modeli stosowane były również piłeczki z pasemkami folii zwiększających wysokość lewitacji oraz wsuwane na trzpień okrągłe, płaskie płaszczyzny pozwalające odczytywać bardzo niewielkie wahania zmiany ciśnienia w strudze powietrza mówiące o charakterze przepływu powietrza.



Zdj. 183. Praca z sensorem wagowym.



Zdj. 184. Odczyt pomiaru.



Zdj. 185. Dwa rodzaje belek tensometrycznych o różnych zakresach pomiarowych.

Oprócz precyzyjnego badania wysokości lewitacji piłeczek za pomocą belki tensometrycznej autor wykorzystywał również nieskomplikowaną i szybką metodę porównawczą, która polegała na umieszczeniu koło siebie trzech pracujących dmuchaw testujących trzy identyczne piłeczki. W metodzie tej wysokość nasadek na dysze była na jednakowym poziomie, a średnice dysz poszczególnych dmuchaw zostały wcześniej dobrane pod kątem uzyskania największej wysokości unoszenia piłek.

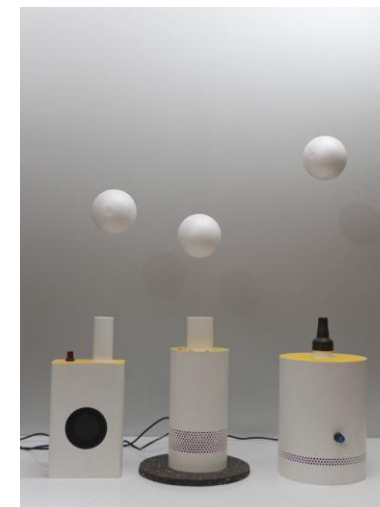
Rezultaty tych testów porównawczych z wykorzystaniem obiektów badawczych nr 5 i nr 6, których silniki pracowały na maksymalnych obrotach, możemy zobaczyć na zdjęciach obok.

Do testów były wykorzystywane piłeczki styropianowe o średnicy 62 mm (2,27 g) i 78 mm (4,36 g) oraz piłeczki z PVC o średnicy 57 mm (6,08 g) i 68 mm (4,16 g).

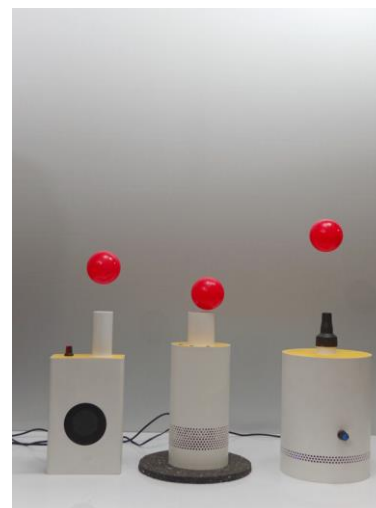
Dysza zastosowana w dmuchawie nr 5 miała średnicę wewnętrzną 13 mm, w dmuchawie nr 6 średnicę 43 mm, a w dmuchawie nr 7 średnicę 28 mm.



Zdj. 186. Piłeczki styropianowe 62 mm.



Zdj. 187. Piłeczki styropianowe 78 mm.



Zdj. 188. Piłeczki z PVC 57 mm.



Zdj. 189. Piłeczki z PVC 68 mm.

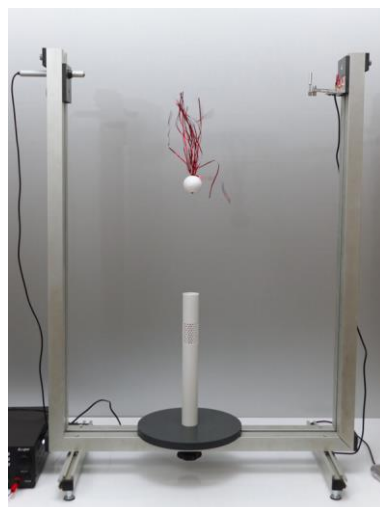
Zjawisko lewitacji było też badane, m.in. przy odchyleniu strumienia powietrza od pionu o określony kąt. Sprawdzano w ten sposób przydatność dmuchawy do ćwiczeń na koordynację wzrokowo-ruchową polegających na przesuwaniu w powietrzu piłeczki w celu umieszczenia jej w określonym pojemniku ustawionym na stole. Do eksperymentów wykorzystano dodatkowe uchwyty przystosowane do konkretnego typu dmuchawy i pojemniki z metalowej siatki zapewniające swobodny dostęp powietrza do kanału wlotowego wentylatora.



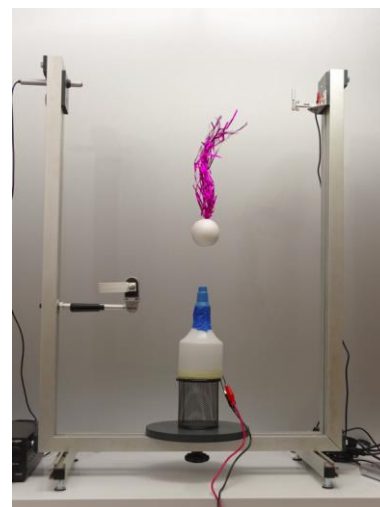
Zdj. 192. Wykorzystanie uchwyty siatkowego.



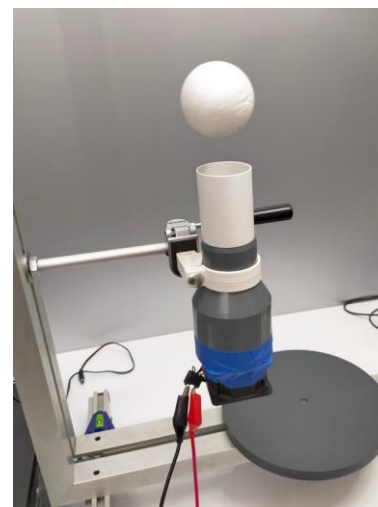
Zdj. 193. Lewitacja piłeczki z pasemkami z odchyleniem od pionu.



Zdj. 190. Wykorzystanie podstawy okrągłej przy lewitacji w pionie.



Zdj. 191. Lewitacja piłeczki z pasemkami w pozycji pionowej.



Zdj. 194. Wykorzystanie uchwyty zaciskowego.

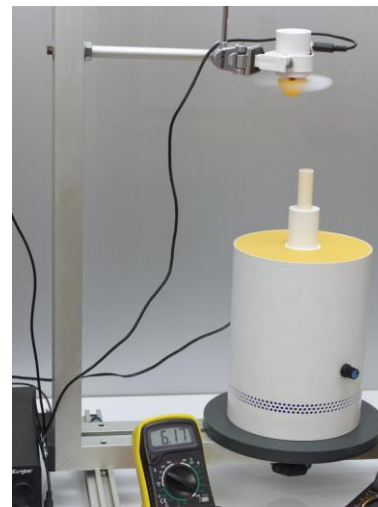


Zdj. 195. Lewitacja gładkiej piłeczki z odchyleniem od pionu.

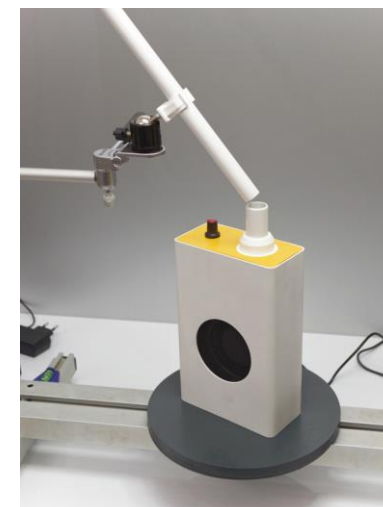
4.7.3 Testowanie nasadek na dysze

Stanowisko badawcze bardzo dobrze sprawdziło się przy testowaniu kształtu nasadek zakładanych na dysze wylotowe dmuchaw. Ich geometria miała duże znaczenie przy próbach uzyskania dźwięku z komór rezonansowych rurek czy kul.

Na stanowisku badawczym był też testowany osprzęt do doświadczeń z energią wiatrową. Na podstawie pomiaru napięcia prądu stałego wytwarzanego przez prądnicę wiatrową napędzaną energią strumienia powietrza różnych dmuchaw autor dobierał zakresy napięciowe świejących diod LED używanych do demonstracji energii wiatru.



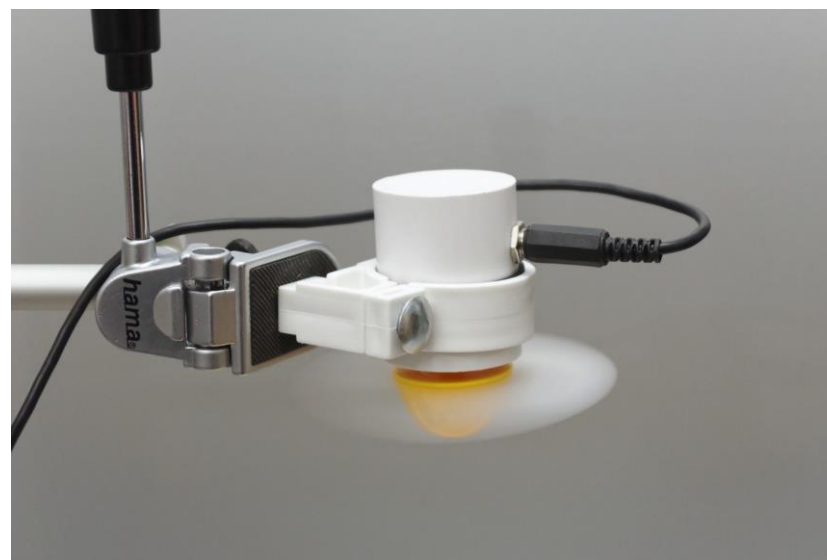
Zdj. 197. Test prądnicy wiatrowej.



Zdj. 198. Testy dźwiękowe piszczałki.



Zdj. 196. Testy dźwiękowe z wykorzystaniem fletu prostego.



Zdj. 199. Mocowanie prądnicy wiatrowej na stanowisku badawczym.

4.7.4 Pomiar ciśnienia i mocy

Stanowisko badawcze służyło też do pomiarów maksymalnego ciśnienia statycznego i podstawowych parametrów elektrycznych, takich jak napięcie zasilania, natężenie płynącego prądu oraz pobierana moc.

Pomiary te były wykorzystane przez autora do wstępnego porównania podstawowych parametrów pracy modeli badawczych w celu wytypowania najbardziej optymalnych i pożądanych cech urządzenia przeznaczonego do pracy z dziećmi.



Zdj. 200. Pomiar mocy.



Zdj. 201. Pomiar ciśnienia statycznego.



Zdj. 202. Pomiar ciśnienia statycznego.



Zdj. 203. Pomiar parametrów elektrycznych dmuchawy.

4.7.5 Pomiary akustyczne

Poziom hałasu wytwarzanego przez modele badawcze miał duży wpływ na przebieg niektórych ćwiczeń, które były prezentowane w czasie warsztatów, zarówno wśród grupy przedszkolnej, jak i szkolnej. Autor ma na myśli głównie ćwiczenia z wykorzystaniem osprzętu akustycznego. Dzieci, próbując uzyskać dźwięki za pomocą przykładania do dyszy różnych przedmiotów, musiały mieć zapewniony odpowiednio niski poziom natężenia tła akustycznego¹⁰³, na który składały się również niepożądane dźwięki wytwarzane przez dmuchawy. Dodatkowo praca w grupie docelowej przez dłuższy czas przy dużym natężeniu dźwięku stawała się uciążliwa i mało komfortowa, zarówno dla prowadzącego zajęcia, jak również dla jego uczestników.

Ze względu na brak skalibrowanego mikrofonu, czy też wygłuszonego pomieszczenia badawczego pomiary, jakie przeprowadził autor nie miały charakteru ściśle laboratoryjnego. Miały jedynie za zadanie pomóc przy wstępnym porównaniu modeli badawczych pod względem wytwarzanego ciśnienia akustycznego i jakościowego obrazu wytwarzanego hałasu. Informacja taka była wykorzystywana, np. przy wygłuszeniu wybranych modeli dmuchaw.

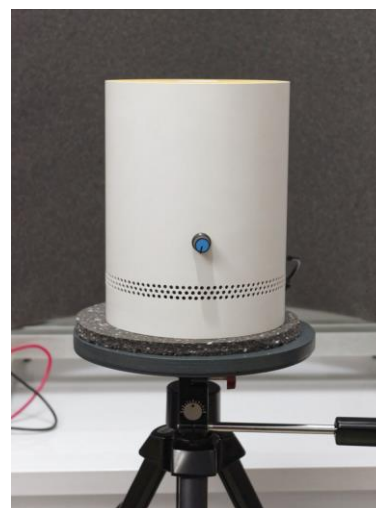
W celu uzyskania jak najbardziej obiektywnych wyników, wszystkie pomiary były wykonywane w temperaturze w granicach 18°C, przy poziomie tła akustycznego wynoszącego 36,4 dB. Mikrofon pomiarowy znajdował się w odległości jednego metra od badanego obiektu. Dodatkowo w celu wyeliminowania przenoszenia się dźwięków przez podłoże, zarówno mikrofon, jak i badany obiekt mocowany był na specjalnym materiale tłumiącym dźwięki.



Zdj. 204. Pomiar natężenia hałasu.



Zdj. 205. Mocowanie mikrofonu.



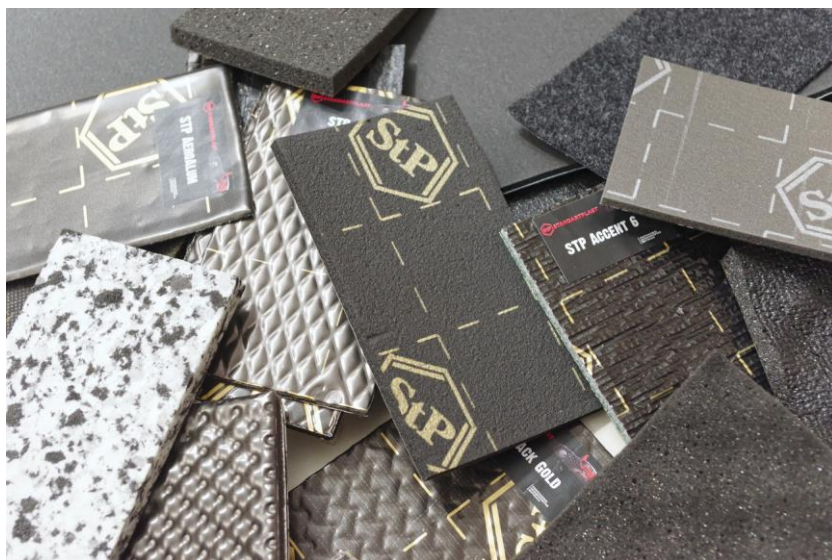
Zdj. 206. Obiekt na statywie.



Zdj. 207. Podkładka tłumiąca dźwięki.

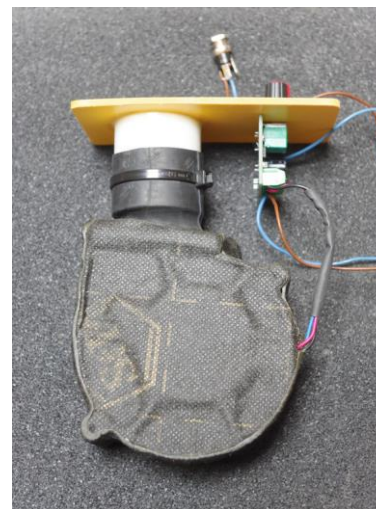
¹⁰³ Poziom tła akustycznego - definicja, <https://www.locja.pl/haslo/poziom-tla-akustycznego,808>, [dostęp: 18.01.2022].

W przypadku pięciu dmuchaw autor dokonał próby obniżenia poziomu hałasu, wykorzystując w tym celu najprostsze, tradycyjne, pasywne metody bazujące na właściwości niektórych materiałów w kierunku pochłaniania dźwięków. Przy dwóch wygłuszanych dmuchawach (nr 6 i nr 7), w celu sprawdzenia, czy można jeszcze bardziej świadomie wpływać na końcowy efekt wygłuszania, zastosowano pomiar hałasu uwzględniający odczyt analizy częstotliwościowej (wykres rozkładu natężenia składowych dźwięku w funkcji ich częstotliwości)¹⁰⁴.



Zdj. 208. Dobór materiałów wygłuszających.

¹⁰⁴ M. Kozielski, K. Wosińska, i P. Duda, 5.13. Fale akustyczne - Tom III - Multimedialny podręcznik fizyki, <http://ilf.fizyka.pw.edu.pl/podrecznik/3/5/13>, [dostęp: 19.01.2022].



Zdj. 209. Wygłuszenie komory silnika.



Zdj. 210. Wygłuszenie obudowy.



Zdj. 211. Wygłuszenie komory silnika.

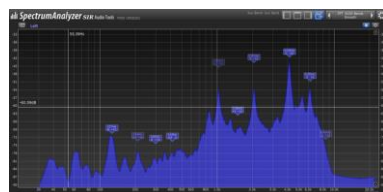


Zdj. 212. Wygłuszenie obudowy.

Efekt doboru materiałów wygłuszających w oparciu o analizę widma dźwięku możemy zobaczyć na zdjęciach obok. Uzyskano wyraźne obniżenie amplitudy w zakresie zarówno niższych, jak i wyższych częstotliwości dźwięków. Stosując jeszcze inne materiały dźwiękochłonne można spróbować obniżyć natężenia dźwięku w zakresie średnich częstotliwości. Na podstawie analizy widmowej możemy doskonale obserwować rozłożenie tonów składowych i harmoniczn¹⁰⁵. Informacja takie mogą być bardzo przydatne w celu wybiórczej eliminacji najbardziej uporczywych i przeszkadzających w pracy dźwięków. Obraz do analizy widma akustycznego uzyskano za pomocą programu Audacity z zainstalowaną wtyczką SpectrumAnalyzer SIR Audio Tools.



Zdj. 213. Widmo akustyczne dmuchawcy nr 6 przed wygłuszeniem.



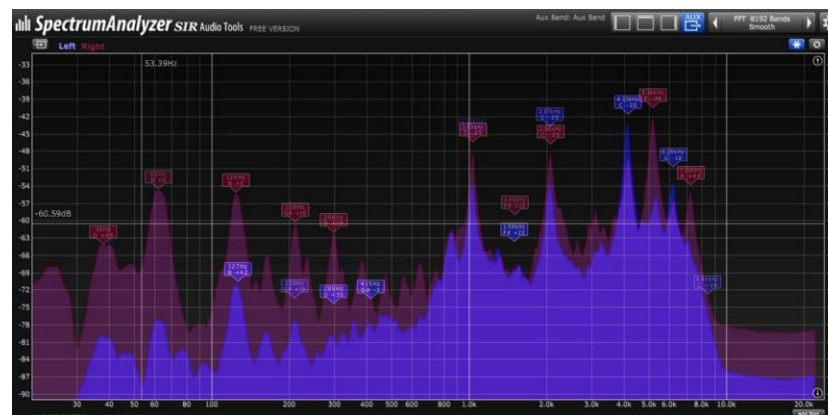
Zdj. 214. Widmo akustyczne dmuchawcy nr 6 po wygłuszeniu.



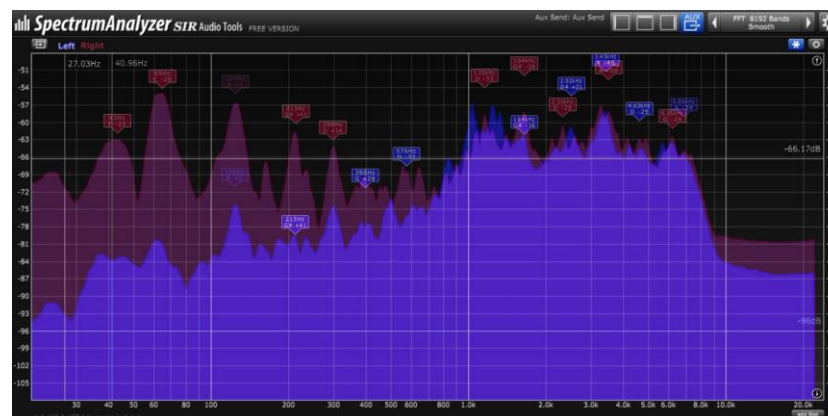
Zdj. 215. Widmo akustyczne dmuchawcy nr 7 przed wygłuszeniem.



Zdj. 216. Widmo akustyczne dmuchawcy nr 7 po wygłuszeniu.



Zdj. 217. Porównanie na jednym wykresie widm akustycznych dmuchawcy nr 6 przed wygłuszeniem i po wygłuszeniu. Widoczna wyraźna poprawa parametrów akustycznych.



Zdj. 218. Porównanie na jednym wykresie widm akustycznych dmuchawcy nr 7 przed wygłuszeniem i po wygłuszeniu. Widoczna wyraźna poprawa parametrów akustycznych.

¹⁰⁵ M. Pilch i M. Toporowski Akademia Muzyczna im. Karola Szymanowskiego (Katowice), Frodo, *Dawne temperacje: podstawy akustyczne i praktyczne wykorzystanie*, Akademia Muzyczna im. Karola Szymanowskiego : Frodo, Katowice; Bytom 2014, s. 12.

4.8 Warsztaty

W celu przetestowania modeli badawczych i sprawdzenia ich pod kątem przydatności do pracy z dziećmi z zaburzeniami przetwarzania sensorycznego autor przeprowadził cykl warsztatów w Zespole Szkół im Jana Pawła II w Rawiczu. Były to cztery spotkania, w których brały udział dzieci w wieku przedszkolnym i szkolnym w grupie wiekowej od 3 do 16 lat.

Grupa uczniów (dziewiętnaścioro dzieci) charakteryzowała się niepełnosprawnością intelektualną w stopniu lekkim i umiarkowanym z niepełnosprawnością sprzężoną pod postacią umiarkowaną i autyzmem. Grupa dzieci w wieku przedszkolnym (pięcioro dzieci) uczęszczała na zajęcia wczesnego wspomaganie rozwoju dziecka, które były organizowane w Zespole Szkół w Rawiczu.

Zarówno grupa wiekowa dzieci, jak i rodzaj i charakter ich niepełnosprawności pokrywał się ze wcześniejszymi założeniami w określaniu grupy docelowej dla modeli badawczych. Jedynym odstępstwem od złożeń był brak na testach takiej samej grupy wiekowej, ale bez dysfunkcji rozwojowych.

Na warsztatach dzieci nie tylko wykonywały ćwiczenia przygotowane wcześniej przez prowadzącego, ale również miały możliwość, aby na koniec zajęć samodzielnie eksperymentować i bawić się modelami badawczymi.



Zdj. 219. Grupa przedszkolna.



Zdj. 220. Grupa przedszkolna.



Zdj. 221. Grupa przedszkolna.



Zdj. 222. Grupa przedszkolna.



Zdj. 223. Grupa przedszkolna.



Zdj. 224. Grupa przedszkolna.



Zdj. 227. Grupa przedszkolna.



Zdj. 228. Grupa przedszkolna.



Zdj. 225. Grupa przedszkolna.



Zdj. 226. Grupa przedszkolna.



Zdj. 229. Grupa przedszkolna.



Zdj. 230. Grupa przedszkolna.



Zdj. 231. Grupa szkolna.



Zdj. 232. Grupa szkolna.



Zdj. 234. Grupa szkolna



Zdj. 235. Grupa szkolna.



Zdj. 233. Grupa szkolna.



Zdj. 236. Grupa szkolna.



Zdj. 237. Grupa szkolna.

5 WNIOSKI

5.1.1 Obszar makietowania i konstrukcji dmuchaw

Użycie metody makietowania przy tworzeniu modeli badawczych bardzo usprawniło proces powstawania obiektów, które od razu były gotowe do testowania w grupach docelowych. Użycie prostych materiałów konstrukcyjnych, których obróbka w większości przypadków nie wymagała bardzo specjalistycznych narzędzi, jeszcze bardziej ten proces przyspieszyła. Autor bardzo często korzystał z oprzyrządowania własnej konstrukcji, które dobrze sprawdziło się chociażby przy wykonywaniu dużej ilości powtarzalnych otworów (większość wlotów powietrza w dmuchawach), czy przy ręcznym wycinaniu w PVC wszystkich powierzchni o kształcie koła.

We wszystkich modelach badawczych autor zastosował konstrukcję opartą na wręgach. Pozwoliło to, po mimo niedużej grubości materiału użytego do budowy korpusu urządzenia, uzyskać odpowiednią sztywność i stabilność wymiarową obiektu.

W dmuchawach, które powstały jako jedne z pierwszych (od nr 2 do nr 4), dysze wylotowe wystawały na zewnątrz urządzenia i nasadki nakładane były na dysze. W modelach, które powstały później było odwrotnie – dysze wylotowe nie wychodziły poza obrys urządzenia, a nasadki były wkładane do ich środka. Był to świadomy zabieg autora mający na celu przetestowanie dwóch różnych rozwiązań. Dysze, które wystawały na zewnątrz sprawiały trudności w transporcie (uniemożliwiały układanie dmuchaw jedna na drugą) i były bardziej narażone na mechaniczne uszkodzenia. Ich zaletą było to, że wystający króciec wentylatora pozwalał wydłużyć kanał powietrzny za wentylatorem i dzięki temu było większe pole manewru, zarówno do wygłuszenia dmuchawy, jak i do stworzenia bardziej stabilnej strugi powie-

trza. W opinii autora, proces obsługi i łatwość, z jaką można było korzystać z tych dwóch urządzeń, nie różniła się znacząco pomiędzy tymi dwoma rozwiązaniami.

Pierwsze dmuchawy (nr 2 i nr 3) miały sterowanie oparte na układzie tyrystorowym, który umieszczony został na zewnątrz urządzenia pośrodku długiego kabla podłączanego do źródła zasilania. Rozwiązanie takie się w praktyce okazało się niewystarczające. Kabel był za ciężki i za mało elastyczny, często się plątał i w związku z tym, że był na stałe podłączony z obiektem, przeszkadzał w znalezieniu sensownego rozwiązania na opakowanie dmuchawy. Układ sterownika tyrystorowego nie zapewniał stabilnych obrotów silnika dmuchaw pracujących na niskich obrotach i generował wyższy poziom hałasu wirnika silnika, dlatego też później został zastąpiony nowocześniejszym i wydajniejszym układem sterowania PWM.

W dmuchawie nr 6 autor zastosował zarówno sterowanie ręczne, jak i radiowe. W przypadku sterowania zdalnego, na początku były prowadzone próby z różnymi pilotami na podczerwień, ale takie rozwiązanie w dużej grupie dzieci, która zasłaniała odbiornik podczerwieni, nie dało dobrych rezultatów. Sterowanie radiowe znalazło zastosowanie w czasie prowadzenia zajęć, w których wymagana była ingerencja terapeuty w przebieg ćwiczenia z pewnej odległości (np. gdy dziecko próbuje uchwycić unoszący się powoli balon). Podwójne sterowanie mogłoby być zastosowane w przyszłości we wszystkich urządzeniach.

Dmuchawa nr 6 miała też, jako jedyna z prezentowanych urządzeń elektroniczny, panel sterowania oparty na przyciskach. W produkcie docelowym uzupełnieniem takiego rozwiązania powinien być optyczny wskaźnik aktualnej mocy lub obrotów silnika, który by jednoznacznie określał w jakim punkcie wydajności znajduje się silnik.

Autor nie stosował w wentylatorach najnowszej generacji. silników bezszczotkowych BLDC (ang. *brushless direct-current motor*)¹⁰⁶. Silniki BLDC, które stosował autor nie należały do silników najnowszej klasy, a co za tym idzie – miały gorsze osiągi od tych produkowanych obecnie. Nie mniej jednak, na podstawie doświadczeń w pracy ze starszą generacją napędu, najnowsze silniki bezszczotkowe mogłyby być docelowo wykorzystane we wszystkich prezentowanych tutaj modelach badawczych, jak również w urządzeniach produkowanych fabrycznie.

Przy budowie modeli badawczych, w zakresie doboru wentylatorów i konstrukcji kanałów przepływowych zarówno dolotowych, jak i wylotowych, autor czerpał wiedzę z różnych publikacji. Często były to pozycje naukowe, które poruszały bardzo wąskie, specjalistyczne tematy związane chociażby tylko z grupą wentylatorów poprzecznych¹⁰⁷. Ten sam obszar wiedzy był również weryfikowany z opracowaniami innych autorów¹⁰⁸. Bardzo cenne dla autora okazały się informacje pozyskiwane z różnych blogów o tematyce wentylacji¹⁰⁹. Niektóre z nich zawierały bardzo konkretne i praktyczne wskazówki, które można było bezpośrednio wykorzystać przy budowie wszystkich dmuchaw¹¹⁰.

¹⁰⁶ *Bezczotkowe Silniki Prądu Stałego BLDC (Ang. BrushLess Direct-Current Motor) - Teoria - falowniki od strony teoretycznej | Falowniki24.info.pl*, <https://www.falowniki24.info.pl/teoria/art-302.html>, [dostęp: 23.01.2022].

¹⁰⁷ M. Chmielowiec-Jabłczyk, *Wyznaczanie charakterystyk aerodynamicznych wentylatorów poprzecznych za pomocą numerycznej symulacji przepływu*, rozprawa doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków 2008.

¹⁰⁸ T. Ali, *Fluid flow analysis and performance prediction of a radial fan using CFD*, praca dyplomowa, 2012.

¹⁰⁹ J. Tang, *Fan Basics: Air Flow, Static Pressure, and Impedance*, <https://blog.orientalmotor.com/fan-basics-air-flow-static-pressure-impedance>, [dostęp: 23.01.2022].

¹¹⁰ B. Rose, *Understanding Airflow Fundamentals for Proper Dc Fan Selection*, 16.07.2019, <https://www.cuidevices.com/blog/understanding-airflow-fundamentals-for-proper-dc-fan-selection>, [dostęp: 23.01.2022].

Oprócz tego autor wykorzystywał wiedzę, która była przeznaczona dla projektantów różnych systemów wentylacyjnych i klimatyzacyjnych. Szczególnie pomocnym źródłem informacji okazały się materiały do projektowania firmy Venture w postaci „Poradnika Wentylacji i Klimatyzacji”¹¹¹.

5.1.2 Obszar metrologii

Przy charakterystyce technicznej dmuchaw bardzo ważnym parametrem jest określenie jej wydajności objętościowej. Autor podjął próby pomiaru tego parametru za pomocą anemometru wiatraczkowego (czyli klasycznego miernika przepływu powietrza), ale ze względu na to, że końcówka pomiarowa takiego anemometru wprowadzała bardzo duże opory przepływu, pomiar taki nie mógł być wiarygodny. Żeby określić ten parametr przy tak małych średnicach dysz wylotowych dmuchaw zaprojektowanych przez autora, należałoby stworzyć specjalne stanowisko badawcze i pomiar na takim stanowisku musiałby być przeprowadzony zupełnie innymi metodami. Dlatego też przy parametrach technicznych dmuchaw autor nie podaje wyniku pomiarów wydajności objętościowej.

Przy wygłuszaniu modeli badawczych autor korzystał z najprostszych, pasywnych metod redukcji hałasu. Przy projektowaniu docelowych obiektów przeznaczonych do produkcji na pewno warto byłoby skorzystać z rozwiązań bardziej złożonych i niewątpliwie skuteczniejszych. Przykładem takiego nowoczesnego i bardzo efektywnego podejścia projektowego może być układ z wnęką Helmholtza¹¹². Zastosowano go w drugiej generacji wentylatorów Air Multiplier firmy Dyson.

¹¹¹ *Wentylatory - Rekuperatory - Wentylatory - Wentylacja - Klimatyzacja - Wentylacja - Klimatyzacja*, <https://venture.pl/>, [dostęp: 23.01.2022].

¹¹² Dyson, *What are Helmholtz cavities? Helping Dyson engineers reduce the noise of bladeless fans*, <https://www.youtube.com/watch?v=X2luzIEJmfM>, [dostęp: 24.01.2022]

5.1.3 Obszar warsztatów

Przebieg warsztatów z udziałem dzieci z dysfunkcjami rozwojowymi miał różny charakter w zależności od grupy wiekowej, w jakiej były one przeprowadzone. W grupie przedszkolnej dzieci były bardziej spontaniczne i bardzo szybko podejmowały próby samodzielnego sprawdzania możliwości wykorzystania dmuchaw i nasadek. W związku z tym próbowały również wkładać różne przedmioty, które nie były do tego celu przeznaczone, w króćce wylotowe dmuchaw. Oczywiście przy konstrukcji modeli badawczych autor rozważył różne scenariusze i uwzględnił możliwość niestandardowego użycia modeli przez dzieci, dlatego też wprowadzone zostały również osłony zabezpieczające. Pomimo to, „pomysłowość” przedszkolaków w czasie eksperymentowania z modelami wykroczyła poza jego oczekiwania.

Przy wykorzystywaniu dmuchaw jako środka dydaktycznego (np. do prezentacji energii wiatrowej) można używać w różnych grupach ten sam osprzęt, dodatkowo jednak do każdej grupy (w zależności od wieku i możliwości percepcyjnych dziecka) należy dobrać odpowiednie rekwizyty. W grupie przedszkolaków wystarczy za pomocą prostych, wyciętych z kartonu sylwetek drzew, czy zabawkowych domów ustawionych na stole pokazać, co może zrobić z nimi silny wiatr. W grupie bardziej zaawansowanej można zaprezentować, że ta sama energia wiatru może być przetworzona w energię elektryczną.

W przypadku rehabilitacji mających na celu pobudzenie mechanoreceptorów bardzo dobrze sprawdziły się we wszystkich grupach nasadki typu „fontanna”. Było to szczególnie widoczne podczas pracy z dzieckiem z niepełnosprawnością sprzężoną, które wielokrotnie reagowało na dostarczane przez tę nasadkę bodźce. Tak pozytywna reakcja nie była obserwowana wcześniej przy wykorzystaniu tradycyjnych metod rehabilitacji.

6 PODSUMOWANIE

Napisanie niniejszej pracy stanowiło dla autora duże wyzwanie. Wymagało bowiem interdyscyplinarnego podejścia i wykorzystania wiedzy z różnych obszarów, takich jak neurobiologia, medycyna, inżynieria mechaniczna czy wzornictwo przemysłowe. Tym jednak, co połączyło wszystkie te dziedziny i stanowiło klucz do ich zrozumienia przez autora, było dążenie do znalezienia odpowiedzi na pytanie: „jak to działa?”.

Autor starał się zachować w całej pracy spójny i jednorodny charakter omawianych wątków. Niektóre kwestie wymagały jednak szerszego objaśnienia, dlatego autor zdecydował poświęcić im więcej uwagi, wierząc, że ich właściwa interpretacja jest niezbędna do zrozumienia kolejnych części analizy badawczej.

Głównym celem niniejszej pracy było stworzenie i opisanie serii pomocy dydaktycznych w postaci modeli badawczych, które z powodzeniem można byłoby wykorzystać w pracy z dziećmi z zaburzeniami przetwarzania sensorycznego w terapii integracji sensorycznej, zarówno w formie pracy indywidualnej jak i w formie pracy zespołowej.

Warsztaty przeprowadzone z udziałem dzieci z dysfunkcjami rozwojowymi, były jednym z najważniejszych elementów weryfikujących hipotezę badawczą postawioną przez autora na początku pisanie pracy doktorskiej. Analizując ich przebieg i efekty pracy z dziećmi, autor ma nadzieję, że stworzenie produktów końcowych opartych na opisanych modelach badawczych, zapewniłoby jeszcze bardziej efektywną rehabilitację dzieci. Autor nie spotkał się dotychczas z podobnymi rozwiązaniami wykorzystującymi strugę powietrza do ćwiczeń rehabilitacyjnych w zaburzeniach przetwarzania sensorycznego. Opracowane modele badawcze mogą być więc bardzo dobrym uzupełnieniem tradycyjnych metod rehabilitacji dzieci opisanych wcześniej przez autora.

Autor wierzy również, że niniejsza praca może stać się źródłem refleksji na temat złożoności funkcjonowania ludzkiego organizmu i pomoże w uświadomieniu sobie skomplikowanych korelacji praw fizyki obejmujących mechanikę płynów. Może być również inspiracją i początkiem drogi do realizacji kolejnych projektów łączących rozwiązania z zakresu wzornictwa przemysłowego oraz innych dziedzin, których celem będzie zapewnienie dzieciom szansy na lepszy rozwój i przygotowanie do kolejnych etapów życia.

Bibliografia

Wydawnictwa zwarte

- Ali T., *Fluid flow analysis and performance prediction of a radial fan using CFD*, 2012, praca dyplomowa, https://www.researchgate.net/publication/332606723_fluid_flow_analysis_and_performance_prediction_of_a_radial_fan_using_cfd, [dostęp: 6.02.2022]
- Ayres A.J., *Dziecko a integracja sensoryczna*, Harmonia Universalis, Gdańsk 2018, 3. wyd.
- Bezszcotkowe Silniki Prądu Stałego BLDC (Ang. BrushLess Direct-Current Motor) - Teoria - falowniki od strony teoretycznej | Falowniki24.info.pl*, <https://www.falowniki24.info.pl/teoria/art-302.html>, [dostęp: 23.01.2022].
- Biadasz A., Kasprowicz D., i Runka T., *Fizyka. Między zabawą a nauką.*, Poznań 2010.
- Chmielowiec-Jabłczyk M., *Wyznaczanie charakterystyk aerodynamicznych wentylatorów poprzecznych za pomocą numerycznej symulacji przepływu*, rozprawa doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków 2008.
- Deja J., Kielski L., i Wiśniewski M., *Ćwiczenia Laboratoryjne z Mechaniki Płynów i Hydrauliki*, WSEiZ, Warszawa 2017.
- Dobaczewska H., *Anatomia ośrodkowego układu nerwowego*, AM, Warszawa 2002.
- Dubert F., Kozik R., Krawczyk S., Kula A., Marklo-Worłowska M., i Zamachowski W., *Biologia na czasie 2*, Nowa Era, Warszawa 2017, 2. wyd.
- F.Maas V., *Uczenie się przez zmysły*, Harmonia Universalis, Gdańsk 2016.
- Fizyka dla szkół wyższych. Tom 1 - OpenStax CNX*, <https://cnx.org/contents/4eaa8f03-88a8-485a-a777-dd3602f6c13e:75017df0-f2c4-41e0-88d1-94b2d54d87a0>, [dostęp: 6.10.2021].
- Gołąb B.K., *Anatomia czynnościowa ośrodkowego układu nerwowego*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2004, 5. wyd.
- Górski J., *Fizjologia człowieka*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2010.
- Grunwald M., *Homo Hapticus*, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 2019.
- Kalat J.W., *Biologiczne podstawy psychologii*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006.
- Kozielski M., Wosińska K., i Duda P., *5.13. Fale akustyczne - Tom III - Multimedialny podręcznik fizyki*, <http://ilf.fizyka.pw.edu.pl/podrecznik/3/5/13>, [dostęp: 19.01.2022].
- Kranowitz C.S., *Nie-zgrane dziecko. Zaburzenia przetwarzania sensorycznego - diagnoza i postępowanie.*, Harmonia Universalis, Gdańsk 2012.
- Kuleczka-Raszewka M., i Markowska D., *Uczę się poprzez ruch*, Harmonia Universalis, Gdańsk 2017.
- Kwaśniewska M., *Zabawa jako podstawowa forma aktywności dziecięcej*, [w:] *Dziecko sześćoletnie w szkole: praca zbiorowa*, red. J. Karczewska i M. Kwaśniewska, Wydawnictwo Pedagogiczne ZNP, Kielce 2009.
- Magrini M., *Mózg, podręcznik użytkownika*, Wydawnictwo JK, Łódź 2019.
- Majcher M., *Numeryczna analiza trójwymiarowych przepływów w kluczowych elementach wentylatorów osiowych*, rozprawa doktorska, WAT, Warszawa 2020.
- Michajlik A., i Ramotowski W., *Anatomia i fizjologia człowieka*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2003, 5. wyd.
- Okoń W., *Zabawa a rzeczywistość*, Wydawnictwo Żak, Warszawa 1995, 2. wyd.
- Pilch M., i Toporowski M. Akademia Muzyczna im. Karola Szymanowskiego (Katowice), Frodo, *Dawne temperacje: podstawy akustyczne i praktyczne wykorzystanie*, Akademia Muzyczna im. Karola Szymanowskiego : Frodo, Katowice; Bytom 2014.
- Przybyłski L., i Błaszak M., *Rzeczy są dla ludzi: niepełnosprawność i idea uniwersalnego projektowania / Things for people: disability*

ty and universal design, Wydawnictwo Naukowe Scholar, Warszawa 2010.

Sadowski B., *Biologiczne mechanizmy zachowania się ludzi i zwierząt*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.

Tomaszewski T., *Psychologia ogólna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1995.

Wentylatory - Rekuperatory - Wentylatory - Wentylacja - Klimatyzacja - Wentylacja - Klimatyzacja, <https://venture.pl/>, [dostęp: 23.01.2022].

Ziółkowski P., *Teoretyczne podstawy kształcenia*, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Gospodarki, Bydgoszcz 2015.

Artykuły w wydawnictwach ciągłych

Adaszyńska E., *Projektowanie uniwersalne - dostępność i uczestnictwo dla wszystkich*, „Uniwersytet Zielonogórski. Miesięcznik społeczności akademickiej.”, 2017, nr 2.

Kapuścińska-Kozakiewicz J., *Znaczenie integracji sensorycznej dla prawidłowego rozwoju dziecka*, „SI w pracy pedagoga”, 2018, nr 102.

Mrowiec A., i Heronimczak M., *Badanie wentylatorów promieniotwórczych*, „Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce”, 2017, t.9, nr 1.

Muchacka B., *zabawa w poznawczym rozwoju dziecka*, „Pedagogika Przedszkolna i Wczesnoszkolna”, 2014, t.2, nr 1.

Sufa B., *Zabawa – potrzeba i konieczność w rozwoju dziecka*, „Zabawy i zabawki. Studia antropologiczne.”, 2016, nr 14.

Wójcik M., *Rola terapeuty integracji sensorycznej w procesie autorehabilitacji dziecka z zaburzeniami przetwarzania sensorycznego*, „Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, sectio J – Paedagogia-Psychologia”, 2015, t.27, nr 2, s. 41.

Artykuły w wydawnictwach internetowych

Emil, *Efekt Coandy*, <http://plyny-niezwykle.blogspot.com/2019/05/efekt-coandy.html>, [dostęp: 6.10.2021].

Iskier, *James Dyson, wielki wizjoner naszych czasów, który poświęcił kawał życia, żeby zrobić... odkurzacz*, <https://joemonster.org/art/46364>, [dostęp: 17.11.2021].

Martínez M., *Odkryj biografię Sir Jamesa Dysona, od wynalazcy odkurzacza cyklonicznego po producenta respiratorów szpitalnych / Marketizer.pl*, <https://www.quiminet.com/articulos/conoce-la-biografia-de-sir-james-dyson-de-inventor-de-la-aspiradora-ciclonica-a-fabricante-de-respiradores-para-hospitales-4530549.htm>, [dostęp: 17.11.2021].

Partlow W., *Fan Types - Heat Recovery*, 28.05.2021, <https://www.beyonddiscovery.org/heat-recovery/fan-types.html>, [dostęp: 17.10.2021].

Pedrani M., *David Warne ci racconta la chiave del successo di Dyson*, <https://www.tomshw.it/altro/david-warne-ci-racconta-la-chiave-del-successo-di-dyson/>, [dostęp: 18.11.2021].

Przyrowski Z., *Historia Integracji Sensorycznej w Polsce cz. I - Sensum Mobile*, <https://procesysensoryczne.pl/historia-is-pl/>, [dostęp: 7.07.2021].

Rose B., *Understanding Airflow Fundamentals for Proper Dc Fan Selection*, 16.07.2019, <https://www.cuidevices.com/blog/understanding-airflow-fundamentals-for-proper-dc-fan-selection>, [dostęp: 23.01.2022].

Simmons P., *The Evolution of Universal Design: A Win-Win Concept for All*, <https://rockymountainada.org/news/blog/evolution-universal-design-win-win-concept-all>, [dostęp: 4.10.2021].

Szybkowska M., *Zaburzenia modulacji w integracji sensorycznej*, <https://www.wszpwn.com.pl/pl/salon-metodyczny/zaburzenia-modulacji-w-integracji-sensorycznej.html>, [dostęp: 16.07.2021].

- Szybkowska M., *Zaburzenia motoryczne o podłożu sensorycznym*,
<https://www.wszpwn.com.pl/pl/salon-metodyczny/zaburzenia-motoryczne-o-podlozu-sensorycznym.html>,
 [dostęp: 19.07.2021].
- Tang J., *Fan Basics: Air Flow, Static Pressure, and Impedance*,
<https://blog.orientalmotor.com/fan-basics-air-flow-static-pressure-impedance>, [dostęp: 23.01.2022].

Strony www

- Bezszczotkowe Silniki Prądu Stałego BLDC (Ang. BrushLess Direct-Current Motor) - Teoria - falowniki od strony teoretycznej | Falowniki24.info.pl*, <https://www.falowniki24.info.pl/teoria/art-302.html>, [dostęp: 23.01.2022].
- dydaktyka - definicja, synonimy, przykłady użycia*,
<https://sjp.pwn.pl/szukaj/dydaktyka.html>, [dostęp: 7.09.2021].
- Dyson, *What are Helmholtz cavities? Helping Dyson engineers reduce the noise of bladeless fans*, 2014,
<https://www.youtube.com/watch?v=X2luzlEJmfM>,
 [dostęp: 24.01.2022]
- Fan Types - Why Choose an Mixed Flow / Diagonal Fan*,
<https://www.hydroexperts.com.au/Fan-Types-Why-Choose-an-Mixed-Flow-/Diagonal-Fan>, [dostęp: 17.10.2021].
- Historia firmy Dyson*, <https://support.dyson.pl/spolecznosc/historia-firmy-dyson.aspx>, [dostęp: 17.11.2021].
- James Dyson | Biografia, wynalazki i fakty | Britannica*,
<https://www.britannica.com/biography/James-Dyson>,
 [dostęp: 15.11.2021].
- Konfuzor*, 3.08.2019,
<https://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Konfuzor&oldid=57189136>, [dostęp: 6.12.2021].
- PN-EN ISO 5801:2017-12 - wersja angielska*, <https://sklep.pkn.pl/pn-en-iso-5801-2017-12e.html>, [dostęp: 19.10.2021].
- pomoc - definicja, synonimy, przykłady użycia*,
<https://sjp.pwn.pl/szukaj/pomoc.html>, [dostęp: 7.09.2021].
- Poziom tła akustycznego - definicja*,
<https://www.locja.pl/haslo/poziom-tla-akustycznego,808>, [dostęp: 18.01.2022].
- Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Finansów z dnia 20 października 2016 r. w sprawie wymagań dla zabawek*,
<http://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20160001730>, [dostęp: 23.01.2022].
- Sterowanie sygnałem PWM*,
<https://physicsforelectronics.com/sterowanie-sygnalem-pwm/>, [dostęp: 5.12.2021].
- The Center for Universal Design - Universal Design Principles*,
https://projects.ncsu.edu/ncsu/design/cud/about_ud/udprinciplestext.htm, [dostęp: 4.10.2021].
- Wentylatory - Rekuperatory - Wentylatory - Wentylacja - Klimatyzacja - Wentylacja - Klimatyzacja*, <https://venture.pl/>,
 [dostęp: 23.01.2022].
- Wentylatory*, <http://www.instsani.pl/854/wentylatory>,
 [dostęp: 17.10.2021].
- Zestaw podstawowy do terapii SI Nr 1*,
https://www.sensoryczni.pl/sprzet_do_si/zestaw-podstawowy-do-terapii-si-nr-1/, [dostęp: 31.08.2021].

Spis ilustracji

- Zdj. 1. Podział układu nerwowego. Opracowano na podstawie: Dubert F., Kozik R., Krawczyk S., Kula A., Marklo-Worłowska M., i Zamachowski W., *Biologia na czasie 2*, Nowa Era, Warszawa 2017, 2. wyd., s. 80.
- Zdj. 2. Podział mózgowia w ujęciu rozwojowym i klinicznym. Opracowano na podstawie: Dubert F., Kozik R., Krawczyk S., Kula A., Marklo-Worłowska M., i Zamachowski W., *Biologia na czasie 2*, Nowa Era, Warszawa 2017, 2. wyd., s. 243.
- Zdj. 3. Specyfikacja techniczna mózgu. Opracowano na podstawie: Magrini M., *Mózg, podręcznik użytkownika*, Wydawnictwo JK, Łódź 2019, s. 8-19.
- Zdj. 4. Podział zaburzeń przetwarzania sensorycznego. Opracowano na podstawie: Kranowitz C.S., *Nie-zgrane dziecko. Zaburzenia przetwarzania sensorycznego - diagnoza i postępowanie.*, Harmonia Universalis, Gdańsk 2012, s. 33.
- Zdj. 5. Ćwiczenia z wykorzystaniem huśtawki okrągłej. photographee.eu
- Zdj. 6. Ćwiczenia z wykorzystaniem dysków sensorycznych. photographee.eu
- Zdj. 7. Ćwiczenia z wykorzystaniem maglownicy. photographee.eu
- Zdj. 8. Ćwiczenia z wykorzystaniem piłki. photographee.eu
- Zdj. 9. Pileczka w strumieniu suszarki do włosów. Zdjęcie autora.
- Zdj. 10. Balon w strumieniu wentylatora komputerowego. Zdjęcie autora.
- Zdj. 11. Pileczka w strumieniu powietrza suszarki do włosów. Obrazowanie smugowe wykorzystujące optykę Schlieren. <https://www.youtube.com/watch?v=NvzXKZNJ7ZU>.
- Zdj. 12. Walec w strumieniu powietrza suszarki do włosów. Obrazowanie smugowe wykorzystujące optykę Schlieren. <https://www.youtube.com/watch?v=NvzXKZNJ7ZU>
- Zdj. 13. Wentylator osiowy kanałowy z wieńcem kierownicy. https://www.systemair.com/fileadmin/user_upload/systemair-b2b/Local/Norway/Leaflets/Technical_Handbook_EN_2019-07_E2029_web_no.pdf
- Zdj. 14. Wentylator promieniowy. https://www.systemair.com/fileadmin/user_upload/systemair-b2b/Local/Norway/Leaflets/Technical_Handbook_EN_2019-07_E2029_web_no.pdf
- Zdj. 15. Wentylator o przepływie mieszanym. https://www.systemair.com/fileadmin/user_upload/systemair-b2b/Local/Norway/Leaflets/Technical_Handbook_EN_2019-07_E2029_web_no.pdf
- Zdj. 16. Przykładowa pełna charakterystyka wentylatora. Opracowano na podstawie: Majcher M., *Numeryczna analiza trójwymiarowych przepływów w kluczowych elementach wentylatorów osiowych*, WAT, Warszawa 2020., s.11.
- Zdj. 17. Charakterystyka wentylatorów serii VKP/VKPI firmy Vents Group. <https://www.vents-group.pl/>.
- Zdj. 18. Krzywa oporów. Opracowanie własne.
- Zdj. 19. Punkt pracy wentylatora. Opracowano na podstawie: Deja J., Kielski L., i Wiśniewski M., *Ćwiczenia Laboratoryjne z Mechaniki Płynów i Hydrauliki*, WSEiZ, Warszawa 2017, s. 84
- Zdj. 20. AstroShot Zero GS. <https://www.amazon.com/USA-Toyz-AstroShot-Compatible-Target/dp/B08B46J8CD?th=1>
- Zdj. 21. Latająca kula UFO. <https://arena.pl/oferta/kula-led-swiecaca-sterowana-reka-latajaca-ufo-hit-40462931>
- Zdj. 22. JoyGrow Bubble Gun. <https://www.amazon.com/JoyGrow-Automatic-Blaster-Outdoor-Birthday/dp/B08YRPDM37?th=1>
- Zdj. 23. Air dysk. https://przydasie.pl/produkt/latajaca-pilka-dysk-krazek-cybergaj-duzy-18cm/?utm_source=moneteasy.pl&utm_medium=referral
- Zdj. 24. Zestaw Wyścigówka. <https://www.smarkacz.pl/Wspanialy-zestaw-mechaniczny.-Wyścigowka,product280176.html>
- Zdj. 25. Dmuchawa do liści dla dzieci. <https://www.jula.pl/catalog/wypoczynek/aktywnosci-rekreacyjne/zabawa-na-dworze/narzedzia-ogrodowe/dmuchawa-do-lisci-dla-dzieci-006280/>

- Zdj. 26. Słonik fontanna z piłeczkami.
<https://www.dlabobasow.pl/pl/p/Dumel-Discovery-Slonik-fontanna-z-pileczkami-18m-/2497>
- Zdj. 27. Klocki z pianki eva. <https://pl.aliexpress.com>
- Zdj. 28. Mini hokej stołowy. <https://damizabawki.pl/product-pol-22451-Cybergaj-Gra-Zrecznosciowa-Mini-Hokej-Stol-Do-Gry.html>
- Zdj. 29. Wiatraczek dla dzieci.
<https://hoffen.com.pl/produkty/wiatraczek-dla-dzieci/>
- Zdj. 30. Muzeum Dziecięce LaunchPAD, Sioux City, USA.
<https://www.bosssdisplay.com/portfolio/science-exhibits/bernoulli-blower>
- Zdj. 31. Bernoulli Blower Machine, RPA.
<http://scienceation.com/home.html>
- Zdj. 32. Muzeum Odkryć Fort Collins, USA.
<https://www.bosssdisplay.com/portfolio/science-exhibits/bernoulli-blower>
- Zdj. 33. Bernoulli Blower, oferta firmy Science Kinetics, USA.
<https://www.sciencekinetics.com/exhibits-catalog-home/bernoulli-blower>
- Zdj. 34. Exploratorium, San Francisco, USA.
<https://www.exploratorium.edu/exhibits/balancing-ball>
- Zdj. 35. Bernoulli Blower, oferta firmy Science Projects, England.
<https://science-projects.org/exhibits/>
- Zdj. 36. Bernoulli Blower, oferta firmy Science Projects, England.
<https://science-projects.org/exhibits/>
- Zdj. 37. Bernoulli Blower, oferta firmy Science Projects, England.
<https://science-projects.org/exhibits/>
- Zdj. 38. Ekspонат powystawowy, Discovery Center of Idaho, USA.
<https://www.dcidaho.org/exhibit-sales/>
- Zdj. 39. Park Piekarczyka, Elbląg, Polska.
<https://parkpiekarczyka.elblag.pl/atraccje/>
- Zdj. 40. Energia wiatru, zestaw podstawowy.
<https://www.pomoceszkolne24.pl/energia-wiatru-zestaw-sredni/6783/>
- Zdj. 41. Alternatywne źródła energii.
<https://www.pomoceszkolne24.pl/alternatywne-zrodla-energii/11978/>
- Zdj. 42. EZTW-12, zestaw profesjonalny.
<http://www.instsani.pl/1046/energia-wiatru-2>
- Zdj. 43. Z159, ręczny model elektrowni wiatrowej.
<https://www.eduvis.pl/oferta/fizyka-pomocedydaktyczne/zestaw-nr-159-reczny-model-elektrowni-wiatrowej-detail>
- Zdj. 44. Energia wiatru, zestaw demonstracyjny.
<https://www.sklep.fpnnysa.com/pl/p/Energia-wiatru-54620-zestaw-demonstracyjny/877>
- Zdj. 45. Energia wiatru, zestaw demonstracyjny.
<https://www.sklep.fpnnysa.com/pl/p/Energia-wiatru-54620-zestaw-demonstracyjny/877>
- Zdj. 46. Zestaw do doświadczeń z energią wiatrową.
https://www.conatex.pl/catalog/ekologia/meteorologia/urzedzenia_meteorologiczne/product-zestaw_do_doswiadczen_z_energia_wiatrowa/sku-1168073#.YYI9EmDMJPa
- Zdj. 47. Zestaw do doświadczeń z energią wiatrową.
https://www.conatex.pl/catalog/ekologia/meteorologia/urzedzenia_meteorologiczne/product-zestaw_do_doswiadczen_z_energia_wiatrowa/sku-1168073#.YYI9EmDMJPa
- Zdj. 48. System Szkoleniowy Energia Wiatrowa.
<https://www.pomoceszkolne24.pl/system-szkoleniowy-energia-wiatrowa/8584/>
- Zdj. 49. Tor powietrzny z dmuchawą i licznikiem.
<https://cezasglob.pl/mechanika/tor-powietrzny-z-dmucha-wa-i-licznikiem-elektronicznym>
- Zdj. 50. Przykład badania wentylatora odkurzacza akumulatorowego pod kątem uzyskiwanego ciśnienia, napięcia zasilającego i poboru mocy. Zdjęcie autora.
- Zdj. 51. Wentylatory promieniowe z silnikami komutatorowymi na prąd stały. Zdjęcie autora.

- Zdj. 52. Odkurzacz Dirt Devil. Zdjęcie autora.
- Zdj. 53. Odkurzacz Turbo Tronic. Zdjęcie autora.
- Zdj. 54. Odkurzacz Beldray. Zdjęcie autora.
- Zdj. 55. Marka nieznana. Zdjęcie autora.
- Zdj. 56. Wentylatory promieniowe z silnikami komutatorowymi na prąd zmienny. Zdjęcie autora.
- Zdj. 57. Marka nieznana. Zdjęcie autora.
- Zdj. 58. Odkurzacz Tristar. Zdjęcie autora.
- Zdj. 59. Odkurzacz Sinbo. Zdjęcie autora.
- Zdj. 60. Odkurzacz Progress. Zdjęcie autora.
- Zdj. 61. Wentylatory promieniowe i osiowe z silnikami komutatorowymi i indukcyjnymi na napięcie sieciowe 230 V. Zdjęcie autora.
- Zdj. 62. Suszarko-łokówka Baybyliss. Zdjęcie autora.
- Zdj. 63. Suszarka Braun. Zdjęcie autora.
- Zdj. 64. Suszarka Clatronic. Zdjęcie autora.
- Zdj. 65. Suszarka Farel. Zdjęcie autora.
- Zdj. 66. Wentylatory komputerowe osiowe 60. Zdjęcie autora.
- Zdj. 67. Wentylatory komputerowe osiowe 40 mm. Zdjęcie autora.
- Zdj. 68. Wentylatory komputerowe osiowe 80 mm. Zdjęcie autora.
- Zdj. 69. Wentylatory komputerowe osiowe 120 mm. Zdjęcie autora.
- Zdj. 70. Wentylatory komputerowe promieniowe o różnych wielkościach. Zdjęcie autora.
- Zdj. 71. James Dyson.
<https://www.mynewsdesk.com/de/dyson/images/james-dyson-461901>
- Zdj. 72. Ballbarrow.
<https://www.mynewsdesk.com/de/dyson/images/ballbarrow-391948>
- Zdj. 73. Szkic Dysona.
https://joemonster.org/art/46364/James_Dyson_wielki_wizjoner_naszyczasow_ktory_poswiecil_kawal_zycia_zeby_zrobic_odkurzacz
- Zdj. 74. Odkurzacz G-Force.
<https://www.mynewsdesk.com/de/dyson/images/g-force-542850>
- Zdj. 75. Odkurzacz DC-01.
<https://www.mynewsdesk.com/de/dyson/images/dyson-dc01-391952>
- Zdj. 76. Big Ball.
<https://www.mynewsdesk.com/de/dyson/images/dyson-big-ball-563788>
- Zdj. 77. Silnik cyfrowy V2 James Dyson.
<https://www.mynewsdesk.com/de/dyson/images/digitaler-motor-v2-james-dyson-394003>
- Zdj. 78. Ewolucja silników Dyson. <https://www.tomshw.it/altro/robot-umanoide-toyota-controllato-in-remoto-grazie-alla-rete-5g-primotest-in-giappone/>
- Zdj. 79. Silnik cyfrowy V6.
<https://www.mynewsdesk.com/de/dyson/images/digitaler-motor-v6-2-393836>
- Zdj. 80. Silnik V9. <https://www.dyson.pl/produkty/pielegnacja-wlosow/dyson-supersonic/technologie>
- Zdj. 81. Silnik V10.
<https://www.dyson.pl/produkty/bezprzewodowe/odkurzacz-dyson-v10/informacje>
- Zdj. 82. Wycinanie cyrkiem wręg ze spienionego PVC. Zdjęcie autora.
- Zdj. 83. Podstawowe narzędzia pracy. Zdjęcie autora.
- Zdj. 84. Dobór wielkości komory wentylatora. Zdjęcie autora.
- Zdj. 85. Określanie kształtu kierownicy strugi powietrza. Zdjęcie autora.
- Zdj. 86. Próba wygłuszenia komory wentylatora. Zdjęcie autora.
- Zdj. 87. Przetłaczanie obszaru przycisków sterujących. Zdjęcie autora.
- Zdj. 88. Przecinanie walca z PP. Zdjęcie autora.
- Zdj. 89. Toczenie kanału przepływu powietrza dmuchawy. Zdjęcie autora.
- Zdj. 90. Kierownica strugi powietrza. Zdjęcie autora.
- Zdj. 91. Wentylator osiowy dmuchawy. Zdjęcie autora.
- Zdj. 92. Siatka zabezpieczająca.
- Zdj. 93. Podstawka. Zdjęcie autora.
- Zdj. 94. Dmuchawa nr 1. Zdjęcie autora.

- Zdj. 95. Dolne wręgi usztywniające i perforowany wlot powietrza.
Zdjęcie autora.
- Zdj. 96. Rura wylotowa. Zdjęcie autora.
- Zdj. 97. Tyrystorowy regulator obrotów. Zdjęcie autora.
- Zdj. 98. Komora wentylatora. Zdjęcie autora.
- Zdj. 99. Dmuchawa nr 2. Zdjęcie autora.
- Zdj. 100. Dolne wręgi usztywniające i perforowany wlot powietrza.
Zdjęcie autora.
- Zdj. 101. Tyrystorowy regulator obrotów. Zdjęcie autora.
- Zdj. 102. Silnik komutatorowy. Zdjęcie autora.
- Zdj. 103. Rura wylotowa. Zdjęcie autora.
- Zdj. 104. Dmuchawa nr 3. Zdjęcie autora.
- Zdj. 105. Wlot powietrza osłonięty metalową siatką. Zdjęcie autora.
- Zdj. 106. Wylot powietrza z kierownicą strugi. Zdjęcie autora.
- Zdj. 107. Akumulator z gniazdem i wtykiem zasilającym.
Zdjęcie autora.
- Zdj. 108. Wentylator dmuchawy z silnikiem bezszczotkowym.
Zdjęcie autora.
- Zdj. 109. Dmuchawa nr 4. Zdjęcie autora.
- Zdj. 110. Wlot powietrza. Zdjęcie autora.
- Zdj. 111. Dysza wylotowa. Zdjęcie autora.
- Zdj. 112. Regulator obrotów PWM. Zdjęcie autora.
- Zdj. 113. Wentylator ze zdjętą osłoną. Zdjęcie autora.
- Zdj. 114. Dmuchawa nr 5. Zdjęcie autora.
- Zdj. 115. Panel sterujący. Zdjęcie autora.
- Zdj. 116. Regulator obrotów PWM. Zdjęcie autora.
- Zdj. 117. Wtyk i gniazdo zasilające. Zdjęcie autora.
- Zdj. 118. Wentylator dmuchawy. Zdjęcie autora.
- Zdj. 119. Dmuchawa nr 6. Zdjęcie autora.
- Zdj. 120. Dmuchawa w pozycji poziomej. Zdjęcie autora.
- Zdj. 121. Elastyczne połączenie gumowe wentylatora z króćcem wylotowym. Zdjęcie autora.
- Zdj. 122. Regulator obrotów PVM. Zdjęcie autora.
- Zdj. 123. Wręga wzmacniająca. Zdjęcie autora.
- Zdj. 124. Dmuchawa nr 7. Zdjęcie autora.
- Zdj. 125. Wentylator dmuchawy. Zdjęcie autora.
- Zdj. 126. Widok wszystkich elementów dmuchawy. Zdjęcie autora.
- Zdj. 127. Dmuchawa przed założeniem górnej pokrywy.
Zdjęcie autora.
- Zdj. 128. Osłonięty stalową siatką wlot powietrza. Zdjęcie autora.
- Zdj. 129. Dmuchawa nr 8. Zdjęcie autora.
- Zdj. 130. Widok wszystkich elementów dmuchawy. Zdjęcie autora.
- Zdj. 131. Wylot powietrza z kierownicą strugi. Zdjęcie autora.
- Zdj. 132. Wlot powietrza. Zdjęcie autora.
- Zdj. 133. Schowany wyłącznik. Zdjęcie autora.
- Zdj. 134. Dmuchawa nr 9. Zdjęcie autora.
- Zdj. 135. Nasadka wykorzystywana do ćwiczeń piłeczką.
Zdjęcie autora.
- Zdj. 136. Nasadka wykorzystywana do doświadczeń z energią wiatrową. Zdjęcie autora.
- Zdj. 137. Przegląd nasadek prostych. Zdjęcie autora.
- Zdj. 138. Nasadka typu „fontanna”. Zdjęcie autora.
- Zdj. 139. Nasadka typu „fontanna”. Zdjęcie autora.
- Zdj. 140. Przegląd nasadek typu „fontanna”. Zdjęcie autora.
- Zdj. 141. Rękaw powietrzny do dmuchawy nr 6. Zdjęcie autora.
- Zdj. 142. Rękaw pracujący poziomo. Zdjęcie autora.
- Zdj. 143. Rękaw pracujący pionowo. Zdjęcie autora.
- Zdj. 144. Rękaw powietrzny przed podłączeniem do dmuchawy nr 6.
Zdjęcie autora.
- Zdj. 145. Wąż elastyczny użyty w ćwiczeniu na strącanie piłeczek.
Zdjęcie autora.
- Zdj. 146. Wąż elastyczny z konfuzorem o średnicy 12 mm i średnicą przyłącza 33 mm. Zdjęcie autora.
- Zdj. 147. Piłeczki styropianowe. Zdjęcie autora. Zdjęcie autora.
- Zdj. 148. Ćwiczenie zręcznościowe. Zdjęcie autora.
- Zdj. 149. Lewitacja piłeczki z PVC. Zdjęcie autora.
- Zdj. 150. Nadmuchiwane piłeczki z miękkiego PVC. Zdjęcie autora.
- Zdj. 151. Piłeczki z różnych materiałów. Zdjęcie autora.
- Zdj. 152. Ćwiczenie z balonem. Zdjęcie autora.
- Zdj. 153. Lewitacja piłeczki pingpongowej. Zdjęcie autora.
- Zdj. 154. Balony z lateksu używane w pracy z dziećmi. Zdjęcie autora.
- Zdj. 155. Piłeczki z pasemkami folii. Zdjęcie autora.

- Zdj. 156. Łapanie piłeczki. Zdjęcie autora.
- Zdj. 157. Lewitacja i ruch obrotowy trzech piłeczek połączonych osią. Zdjęcie autora.
- Zdj. 158. Piłeczki z odchylanymi kłapkami wykonujące ruch obrotowy. Zdjęcie autora.
- Zdj. 159. Pierścień z piłeczką. Zdjęcie autora.
- Zdj. 160. Pierścień z piłeczką.
- Zdj. 161. Kolorowe pierścienie z PP o średnicach dopasowanych do średnicy piłeczek. Zdjęcie autora.
- Zdj. 162. Proste instrumenty muzyczne używane na warsztatach z dziećmi. Zdjęcie autora.
- Zdj. 163. Ćwiczenie z zestawem rurek. Zdjęcie autora.
- Zdj. 164. Praca z kulą z otworem. Zdjęcie autora.
- Zdj. 165. Kule do ćwiczeń z rezonansem akustycznym. Zdjęcie autora.
- Zdj. 166. Zabawy dźwiękiem przy wykorzystaniu przeźroczystej rury z PP. Zdjęcie autora.
- Zdj. 167. Rury używane na warsztatach z dziećmi do zabawy z dźwiękiem. Zdjęcie autora.
- Zdj. 168. Wykorzystanie energii wiatru do zasilania świecącej diody LED. Zdjęcie autora.
- Zdj. 169. Wykorzystanie energii wiatru do napędu silnika wibracyjnego. Zdjęcie autora.
- Zdj. 170. Elementy zestawu do doświadczeń z energią wiatrową. Zdjęcie autora.
- Zdj. 171. Zestaw lejków do prezentacji paradoksów mechaniki płynów. Zdjęcie autora.
- Zdj. 172. Teleskopowy wiatraczek. Zdjęcie autora.
- Zdj. 173. Zbijanie lewitującej piłeczki. Zdjęcie autora.
- Zdj. 174. Dodatkowy osprzęt uzupełniający wykorzystywany do pracy z dmuchawami. Zdjęcie autora.
- Zdj. 175. Elementy do badania wpływu formy komory na ciśnienie dynamiczne strugi. Zdjęcie autora.
- Zdj. 176. Badanie komory wentylatora. Zdjęcie autora.
- Zdj. 177. Badanie wentylatora w kuli. Zdjęcie autora.
- Zdj. 178. Stanowisko badawcze. Zdjęcie autora.
- Zdj. 179. Laserowy pomiar wysokości lewitacji. Zdjęcie autora.
- Zdj. 180. Ślad lasera na piłce. Zdjęcie autora.
- Zdj. 181. Głowica nadajnika lasera. Zdjęcie autora.
- Zdj. 182. Odczyt śladu lasera na skali. Zdjęcie autora.
- Zdj. 183. Praca z sensorem wagowym. Zdjęcie autora.
- Zdj. 184. Odczyt pomiaru. Zdjęcie autora.
- Zdj. 185. Dwa rodzaje belek tensometrycznych o różnych zakresach pomiarowych. Zdjęcie autora.
- Zdj. 186. Piłeczki styropianowe 62 mm. Zdjęcie autora.
- Zdj. 187. Piłeczki styropianowe 78 mm. Zdjęcie autora.
- Zdj. 188. Piłeczki z PVC 57 mm. Zdjęcie autora.
- Zdj. 189. Piłeczki z PVC 68 mm. Zdjęcie autora.
- Zdj. 190. Wykorzystanie podstawy okrągłej przy lewitacji w pionie. Zdjęcie autora.
- Zdj. 191. Lewitacja piłeczki z pasemkami w pozycji pionowej. Zdjęcie autora.
- Zdj. 192. Wykorzystanie uchwytu siatkowego. Zdjęcie autora.
- Zdj. 193. Lewitacja piłeczki z pasemkami z odchyleniem od pionu. Zdjęcie autora.
- Zdj. 194. Wykorzystanie uchwytu zaciskowego. Zdjęcie autora.
- Zdj. 195. Lewitacja gładkiej piłeczki z odchyleniem od pionu. Zdjęcie autora.
- Zdj. 196. Testy dźwiękowe z wykorzystaniem fletu prostego. Zdjęcie autora.
- Zdj. 197. Test prądnicy wiatrowej. Zdjęcie autora.
- Zdj. 198. Testy dźwiękowe piszczałki. Zdjęcie autora.
- Zdj. 199. Mocowanie prądnicy wiatrowej na stanowisku badawczym. Zdjęcie autora.
- Zdj. 200. Pomiar mocy. Zdjęcie autora.
- Zdj. 201. Pomiar ciśnienia statycznego. Zdjęcie autora.
- Zdj. 202. Pomiar ciśnienia statycznego. Zdjęcie autora.
- Zdj. 203. Pomiar parametrów elektrycznych dmuchawy. Zdjęcie autora.
- Zdj. 204. Pomiar natężenia hałasu. Zdjęcie autora.
- Zdj. 205. Mocowanie mikrofonu. Zdjęcie autora.
- Zdj. 206. Obiekt na statywie. Zdjęcie autora.
- Zdj. 207. Podkładka tłumiąca dźwięki. Zdjęcie autora.

- Zdj. 208. Dobór materiałów wygłuszających. Zdjęcie autora.
Zdj. 209. Wygłuszenie komory silnika. Zdjęcie autora.
Zdj. 210. Wygłuszenie obudowy. Zdjęcie autora.
Zdj. 211. Wygłuszenie komory silnika. Zdjęcie autora.
Zdj. 212. Wygłuszenie obudowy. Zdjęcie autora.
Zdj. 213. Widmo akustyczne dmuchawy nr 6 przed wygłuszeniem.
Zdjęcie autora.
Zdj. 214. Widmo akustyczne dmuchawy nr 6 po wygłuszeniu.
Zdjęcie autora.
Zdj. 215. Widmo akustyczne dmuchawy nr 7 przed wygłuszeniem.
Zdjęcie autora.
Zdj. 216. Widmo akustyczne dmuchawy nr 7 po wygłuszeniu.
Zdjęcie autora.
Zdj. 217. Porównanie na jednym wykresie widm akustycznych dmuchawy nr 6 przed wygłuszeniem i po wygłuszeniu. Widoczna wyraźna poprawa parametrów akustycznych. Zdjęcie autora.
Zdj. 218. Porównanie na jednym wykresie widm akustycznych dmuchawy nr 7 przed wygłuszeniem i po wygłuszeniu. Widoczna wyraźna poprawa parametrów akustycznych. Zdjęcie autora.
Zdj. 219. Warsztaty z grupą przedszkolną. Zdjęcie autora.
Zdj. 220. Warsztaty z grupą przedszkolną. Zdjęcie autora.
Zdj. 221. Warsztaty z grupą przedszkolną. Zdjęcie autora.
Zdj. 222. Warsztaty z grupą przedszkolną. Zdjęcie autora.
Zdj. 223. Warsztaty z grupą przedszkolną. Zdjęcie autora.
Zdj. 224. Warsztaty z grupą przedszkolną. Zdjęcie autora.
Zdj. 225. Warsztaty z grupą przedszkolną. Zdjęcie autora.
Zdj. 226. Warsztaty z grupą przedszkolną. Zdjęcie autora.
Zdj. 227. Warsztaty z grupą przedszkolną. Zdjęcie autora.
Zdj. 228. Warsztaty z grupą przedszkolną. Zdjęcie autora.
Zdj. 229. Warsztaty z grupą przedszkolną. Zdjęcie autora.
Zdj. 230. Warsztaty z grupą przedszkolną. Zdjęcie autora.
Zdj. 231. Warsztaty z grupą szkolną. Zdjęcie autora.
Zdj. 232. Warsztaty z grupą szkolną. Zdjęcie autora.
Zdj. 233. Warsztaty z grupą szkolną. Zdjęcie autora.
Zdj. 234. Warsztaty z grupą szkolną. Zdjęcie autora.
Zdj. 235. Warsztaty z grupą szkolną. Zdjęcie autora.
Zdj. 236. Warsztaty z grupą szkolną. Zdjęcie autora.
Zdj. 237. Warsztaty z grupą szkolną. Zdjęcie autora.
Zdj. Str. 1. pixabay.com