



**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

RÓŻNICOWE PROGI CZUCIA WIBRACJI NA NADGARSTKU

Dorota Czopek

**Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
Katedra Mechaniki i Wibroakustyki**

Symposium KraSyNT 26.09.2016

Motywacja i cel pracy

Motywacja pracy:

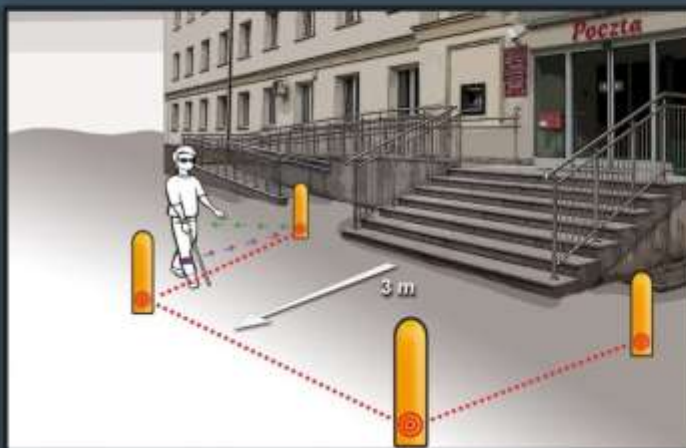
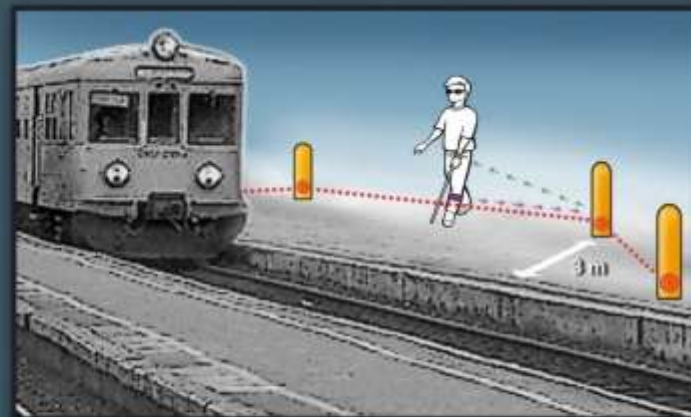
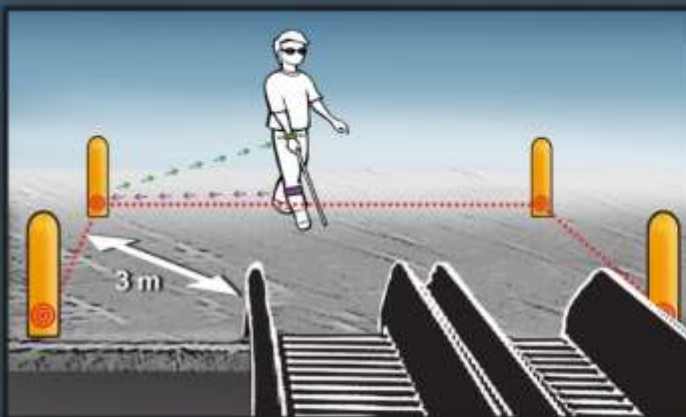
Zbadanie możliwości wykorzystania markerów falowo-wibracyjnych do wspomagania orientacji przestrzennej osób niewidomych







Budowa interfejsu wibracyjnego – element systemu wspomagającego poruszanie się osób niewidomych w dużej aglomeracji miejskiej

Cel pracy:

Zbadanie progów różnicowych czucia amplitudy i częstotliwości wibracji

Oznaczenie miejsc niebezpiecznych albo szczególnie istotnych dla osób niewidomych



	
	czujnik strefy niebezpiecznej
	bransoleta wibracyjna
	aktuator
	sygnał pobudzenia
	sygnał ostrzegawczy
strefa niebezpieczna	

Opracowanie metody oznaczania miejsc niebezpiecznych i szczególnie istotnych w dużym mieście dla osób niewidomych z wykorzystaniem markerów falowo-wibracyjnych, grant rozwojowy nr NR17001706

wrażenia wzrokowe stanowią około

80%

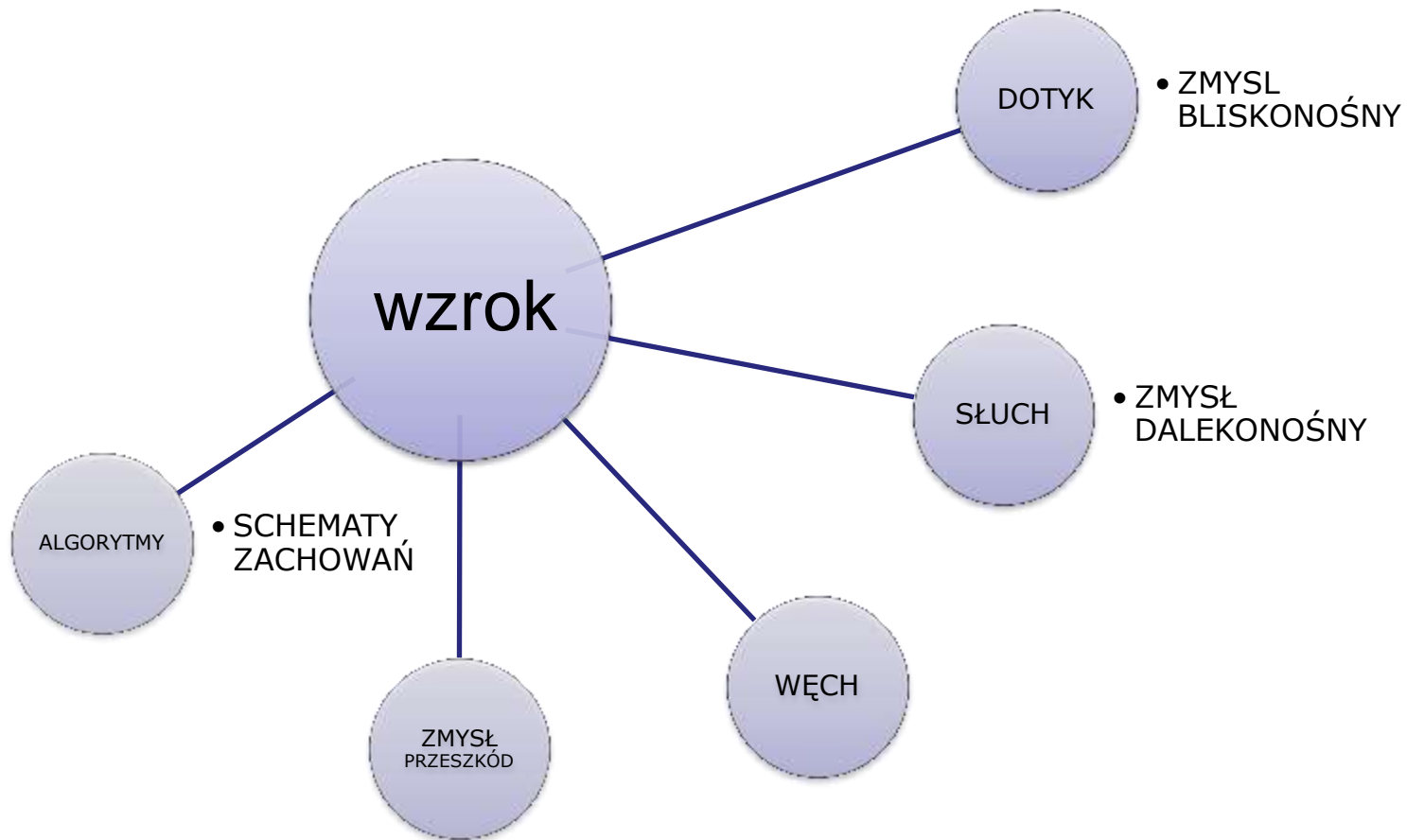
wszystkich informacji docierających do
mózgu

Kompensacja

compensatio – (łac.) wyrównanie braku,

mechanizm polegający na zastąpieniu zaburzonych funkcji organizmu poprzez zmobilizowanie innych, prawidłowo działających.

Kompensacja zmysłu wzroku



Kompensacja zmysłu wzroku



w orientacji przestrzennej



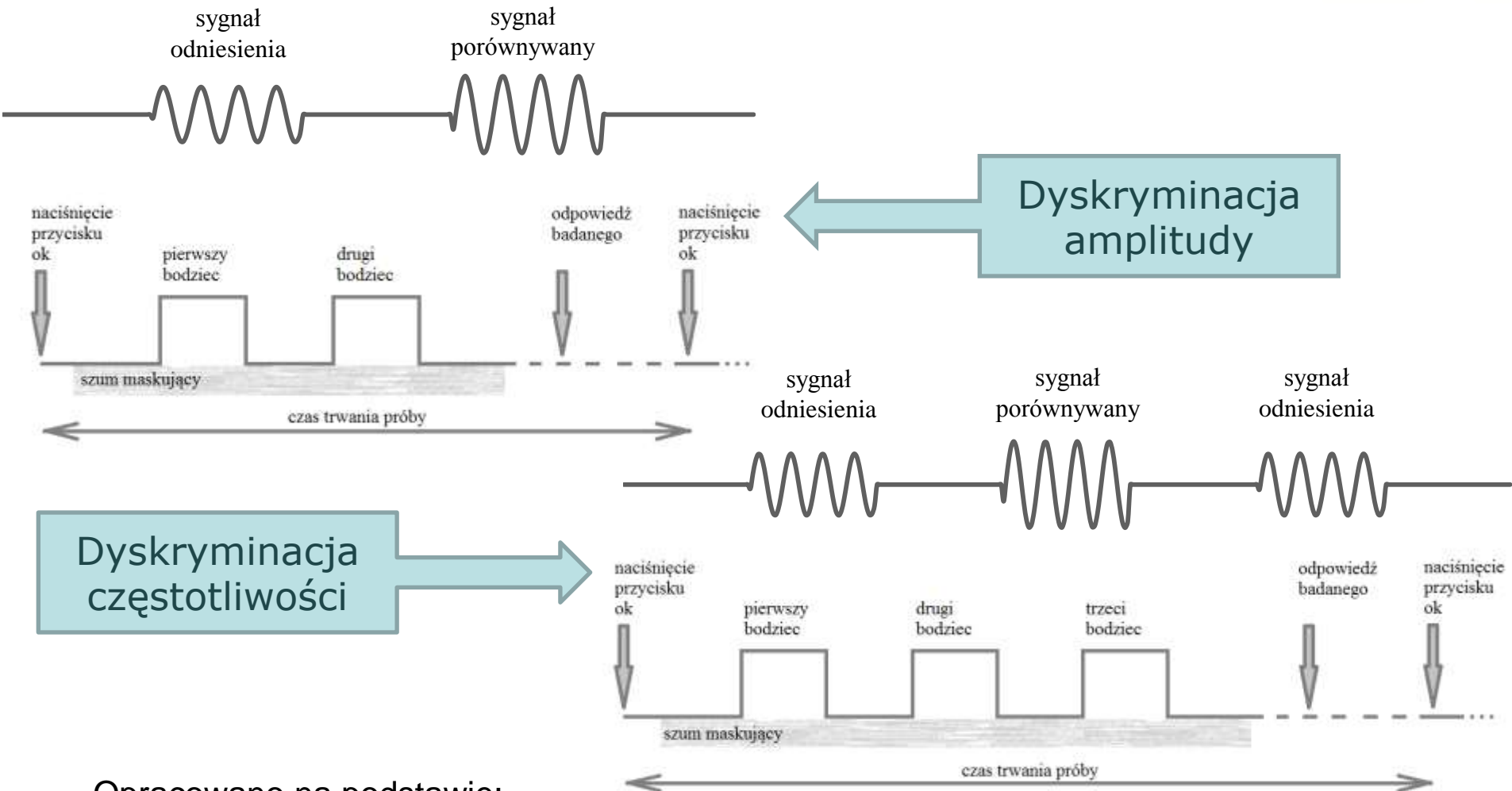
Progi różnicowe – oczekiwania

- analiza porównawcza progów otrzymanych dla pobudzenia sygnałem sinusoidalnym o różnych częstotliwościach
- dane do projektowania bransoletek podających drgania na nadgarstek
- dane do komponowania sygnałów do urządzeń podających wibracje na nadgarstek

Progi różnicowe – metody

		Badanie dyskryminacji	
		amplitudy wibracji	częstotliwości wibracji
bodziec	sygnał odniesienia	sinusoidalny sygnał pomiarowy o częstotliwościach 25, 32, 63, 125, 250 Hz i intensywnościach równych progowi czucia dla danej częstotliwości	
	sygnał porównywany	intensywności zmieniające się w zakresie 100 – 150 dB ref. 10^{-6} m/s^2	częstotliwości zmieniające się w zakresie 100 – 150% częstotliwości sygnału odniesienia
	sonda	płasko zakończony cylinder o średnicy 5 mm, bez otoczenia, z kontrolowaną siłą kontaktu ze skórą w zakresie 0,1 – 0,2 N	
metoda		metoda adaptacyjna 1 w górę – 2 w dół	
zadanie		procedura dwu-interwałowego wymuszonego wyboru (2AIC)	procedura trzy-interwałowego wymuszonego wyboru (3AIC)
analizy		różnicowy próg czucia wibracji dla każdej badanej częstotliwości obliczano jako średnią arytmetyczną wartości bodźca ze wszystkich odwrotów z pominięciem pierwszych dwóch	
miary		dB ref. 10^{-6} m/s^2	Hz

Progi różnicowe – metodyka badań



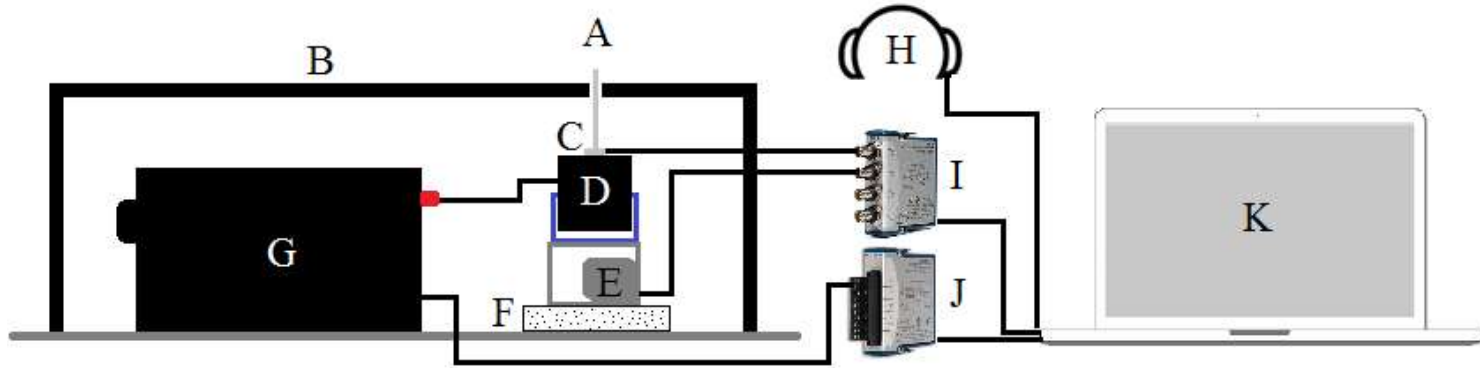
Opracowano na podstawie:

Kingdom, F. A. i Prins, N. (2010). *Psychophysics. Practical Introduction*. Academic Press

Progi różnicowe – metody

- Badania wykonano na nadgarstku ręki wiodącej
- W pomieszczeniu pomiarowym panowała dogodna temperatura (20 – 30°C wg ISO 13091-1)
- Przed testem właściwym każdy badany wykonywał test treningowy, aby zapoznać się z procedurą pomiarową
- Sygnały akustyczne, które mogłyby stanowić podpowieź były maskowane za pomocą szumu różowego podawanego badanemu na słuchawki

Progi różnicowe – stanowisko

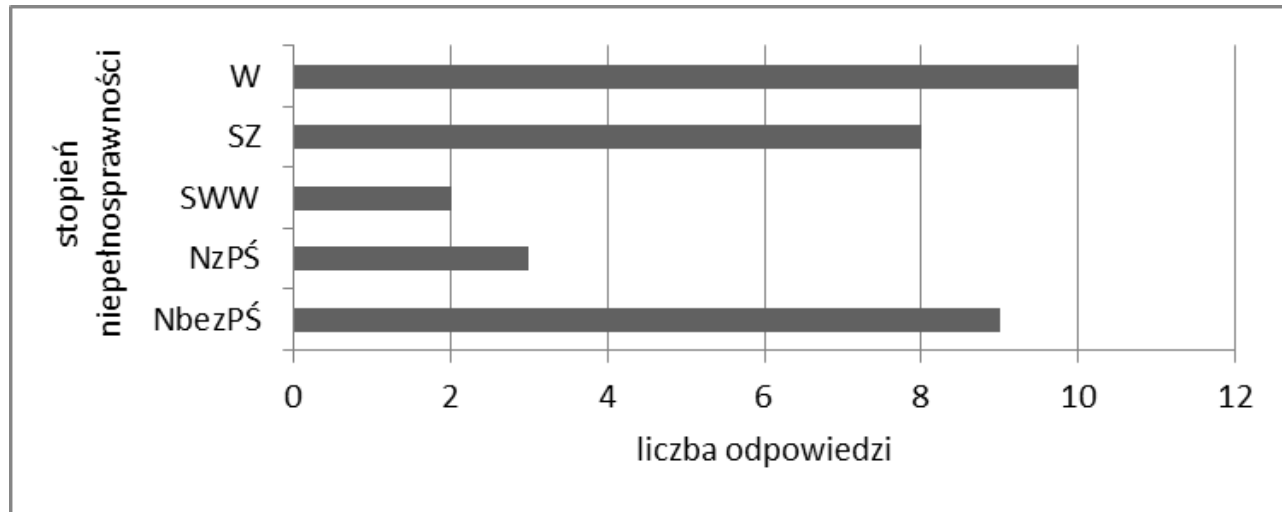


- A – sonda stymulacyjna, B – podparcie przedramienia badanego, w którym wykonano otwór na sondę o średnicy 9 mm,
- C – czujnik przyspieszenia PCB M354C03,
- D – wzбудnik drgań TMS 2004E, F – mata wibroizolująca,
- G – wzmacniacz Apart MB-150,
- H – słuchawki zamknięte Beyerdynamic DT 770 pro,
- I – karta pomiarowa NI 9234, J – karta pomiarowa NI 9263,
- K – komputer z oprogramowaniem LabVIEW

Progi różnicowe – charakterystyka respondentów

30 osób:

- po 10 osób niewidomych
osób słabowidzących
osób widzących normalnie
- w każdej grupie po 5 kobiet i 5 mężczyzn



NzPŚ – osoby niewidome z poczuciem światła

NbezPŚ – osoby niewidome bez poczucia światła

SWW – osoby słabowidzące korzystające ze wzroku w sprzyjających warunkach

SZ – osoby słabowidzące zawsze korzystające ze wzroku

W – osoby widzące normalnie

Progi różnicowe – charakterystyka respondentów

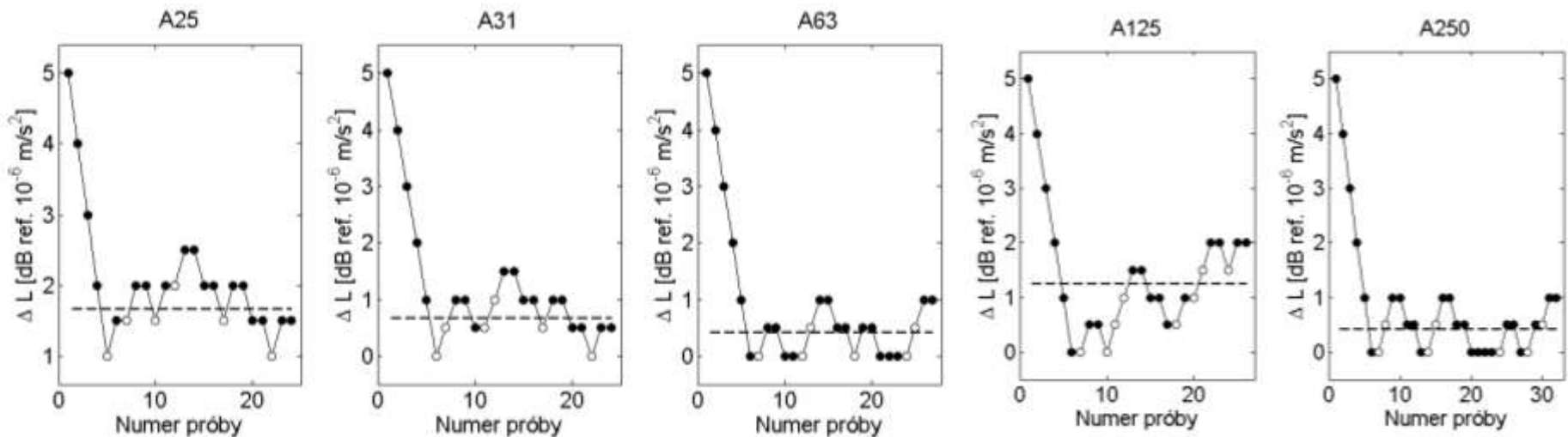
30 osób:

- po 10 osób niewidomych
osób słabowidzących
osób widzących normalnie
- w każdej grupie po 5 kobiet i 5 mężczyzn

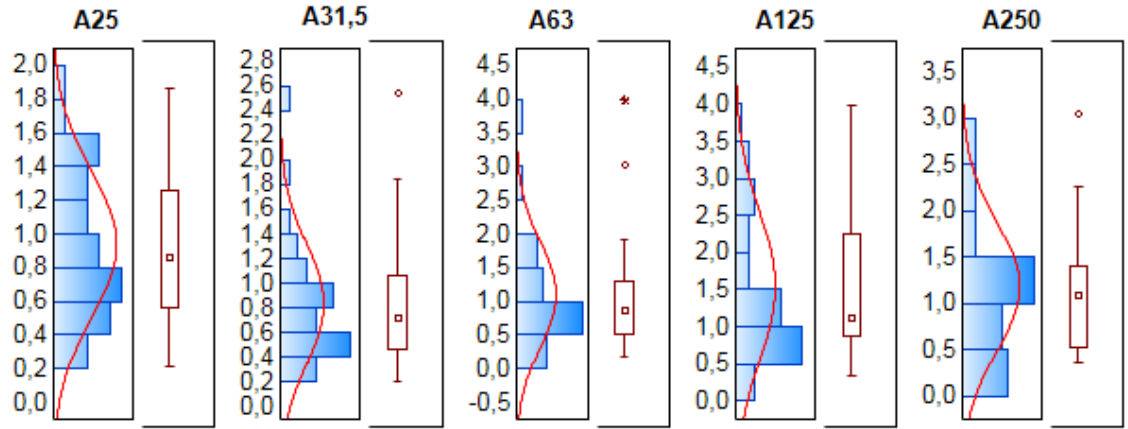
Zmienna	Średnia	Minimum	Maksimum	Odchylenie standardowe
Wiek	21	18	28	2
Wzrost	169	150	187	10
Waga	66	41	105	14
BMI	22,77	17,19	34,22	3,71
Temperatura pomieszczenia	22,2	20,7	26,0	1,2
Temperatura nadgarstka	35,6	34,0	36,8	0,8

Progi różnicowe czucia amplitudy wibracji – wyniki

Przykładowe przebiegi badania progów czucia amplitudy wibracji na nadgarstku z zastosowaniem metody adaptacyjnej 1 w górę – 2 w dół



Testowanie normalności rozkładu



$\alpha = 0,05$

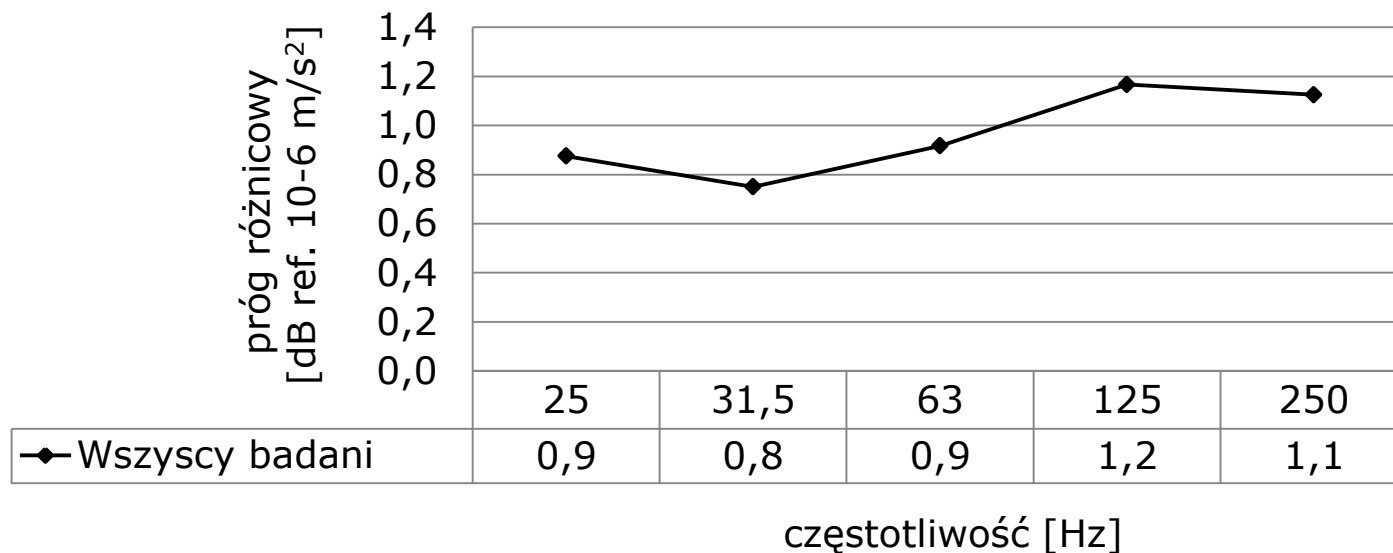
	A25	A31,5	A63	A125	A250
N:	30	30	30	30	30
Srednia:	0.933	0.828	1.094	1.539	1.178
Mediana:	0.875	0.750	0.917	1.167	1.125
Min:	0.250	0.250	0.250	0.417	0.417
Max:	1.833	2.500	3.917	3.917	3.000
25%:	0.583	0.500	0.583	0.917	0.583
75%:	1.250	1.083	1.333	2.250	1.417
Wariancja:	0.185	0.237	0.603		
Od.std.:	0.430	0.487	0.777		
Bł.std.:	0.0784	0.0889	0.142		
Skośn.:	0.289	1.659	2.182		
Kurt:	-0.854	3.836	5.880		
P.ufn. o.s.					
Dolny:	0.342	0.388	0.619		
Górny:	0.578	0.654	1.044		
P.ufn. średn.					
Dolny:	0.773	0.646	0.804		
Górny:	1.094	1.010	1.384		

Testowana grupa	Częstotliwość [Hz]	25	32	63	125	250
wszyscy	W	0,96565	0,86545	0,78800	0,87031	0,87101
	p	0,42784	0,00133	0,00004	0,00170	0,00176
kobiety	W	0,97045	0,76640	0,79217	0,82211	0,91379
	p	0,86471	0,00141	0,00292	0,00717	0,15480
mężczyźni	W	0,92474	0,94201	0,94639	0,89955	0,82205
	p	0,22743	0,40835	0,46950	0,09368	0,00716
niewidomi	W	0,92311	0,92745	0,54951	0,77929	0,85413
	p	0,38362	0,42329	0,00001	0,00812	0,06504
słabowidzący	W	0,96645	0,90982	0,88083	0,91456	0,88118
	p	0,85614	0,27978	0,13339	0,31383	0,13462
widzący normalnie	W	0,95360	0,92360	0,90100	0,73725	0,86940
	p	0,71120	0,38800	0,22471	0,00250	0,09838

Wartości testu Shapiro-Wilka

Progi różnicowe czucia amplitudy wibracji – wyniki

Mediana wartości różnicowych progów czucia amplitudy wibracji



Zależność progu od częstotliwości?

H_0 – wartości różnicowych progów czucia amplitudy wibracji nie zależą od częstotliwości;

H_a – wartości różnicowych progów czucia amplitudy wibracji zależą od częstotliwości, w co najmniej dwóch spośród obserwowanych grup.

ANOVA rang Kruskala-Wallisa

Badana częstotliwość	Częstotliwość (zmienna grupująca)	Kod	N ważnych	Suma Rang	Średnia ranga
różnicowy próg czucia amplitudy wibracji	Test Kruskala-Wallisa: $H(4, N=150) = 12,96364$ $p = 0,0115$				
	25 Hz	25	30	2085,000	69,50000
	31,5 Hz	32	30	1707,000	56,90000
	63 Hz	63	30	2212,500	73,75000
	125 Hz	125	30	2851,000	95,03333
	250 Hz	250	30	2469,500	82,31667

Wartość statystyki H znajduje się w obszarze krytycznym. Istnienie zatem podstawa do **odrzućcia hipotezy** zerowej o braku zależności wartości progów od częstotliwości. Przyjęto zatem hipotezę alternatywną: wartości różnicowych progów czucia amplitudy wibracji **zależą od częstotliwości w co najmniej dwóch spośród obserwowanych grup.**

Zależność progu od częstotliwości?

Wartość p dla porównań wielokrotnych (dwustronnych)

– Test Kruskala-Wallisa: $H(4, N=150) = 12,96364$ $p = 0,0115$

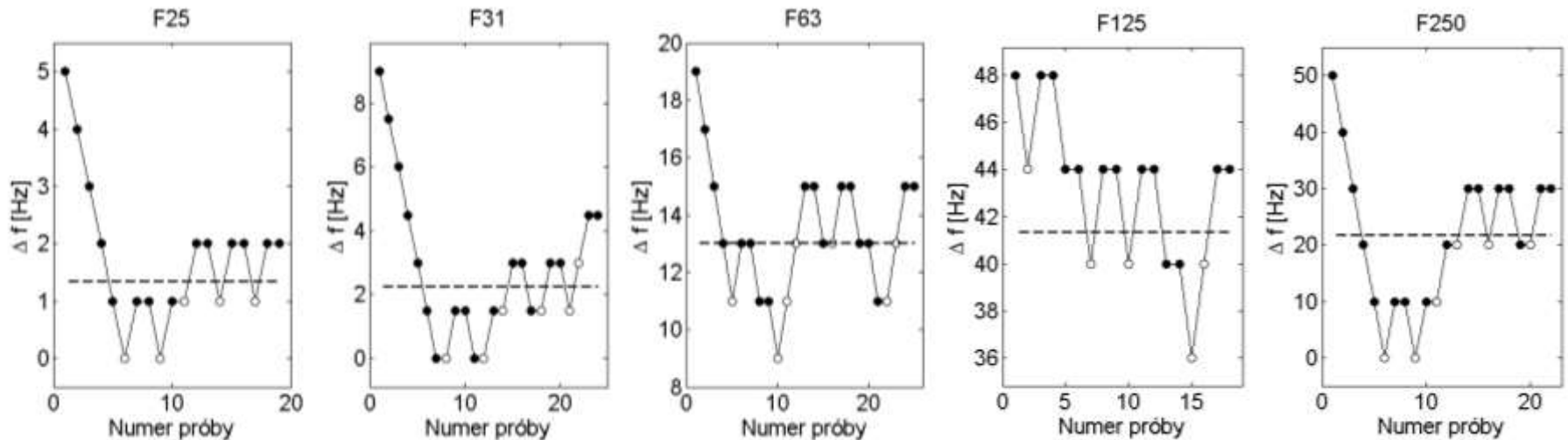
	25 Hz	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz
25 Hz		1,000000	1,000000	0,228343	1,000000
31,5 Hz	1,000000		1,000000	0,006752	0,234639
63 Hz	1,000000	1,000000		0,577850	1,000000
125 Hz	0,228343	0,006752	0,577850		1,000000
250 Hz	1,000000	0,234639	1,000000	1,000000	

Istotne statystycznie różnice:

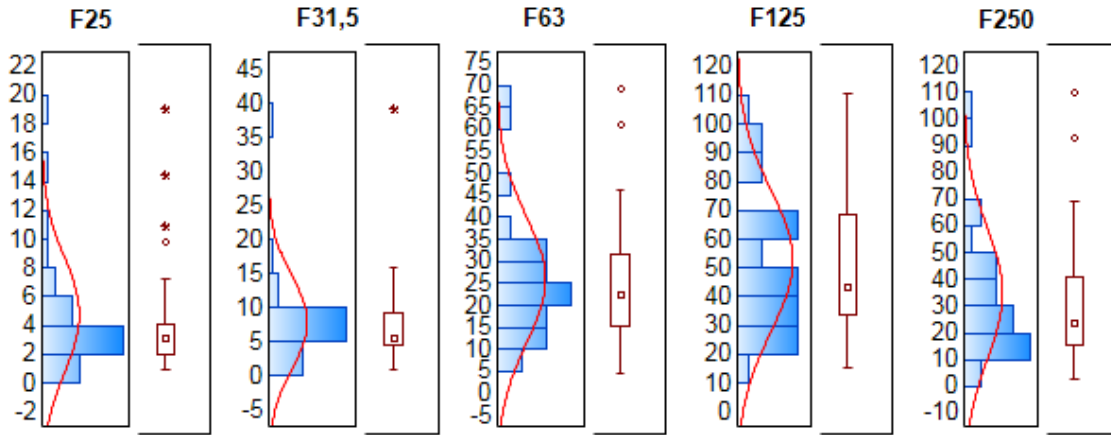
- niższe progi dla częstotliwości 31,5 Hz w stosunku do 125 Hz

Progi różnicowe czucia częstotliwości wibracji – wyniki

Przykładowe przebiegi badania progów czucia częstotliwości wibracji na nadgarstku z zastosowaniem metody adaptacyjnej 1 w górę – 2 w dół



Testowanie normalności rozkładu



N: 30
Srednia: 4.678
Mediana: 3.417
Min: 1.333
Max: 18.67
25%: 2.333
75%: 4.333
Wariancja: 15.93
Od.std.: 3.991
Bł.std.: 0.729
Skośn.: 2.201
Kurt: 5.010
P.ufn. o.s.
Dolny: 3.179
Górny: 5.365
P.ufn. sredn.
Dolny: 3.187
Górny: 6.168

N: 30
Srednia: 7.633
Mediana: 6.250
Min: 1.500
Max: 38.50
25%: 5.000
75%: 9.500
Wariancja: 45.46
Od.std.: 6.742
Bł.std.: 1.231
Skośn.: 3.495
Kurt: 15.54
P.ufn. o.s.
Dolny: 5.369
Górny: 9.063
P.ufn. sredn.
Dolny: 5.116
Górny: 10.15

N: 28
Srednia: 25.63
Mediana: 23.00
Min: 5.667
Max: 68.00
25%: 16.00
75%: 31.67
Wariancja: 208
Od.std.: 14.42
Bł.std.: 2.726
Skośn.: 1.375
Kurt: 2.310
P.ufn. o.s.
Dolny: 11.40
Górny: 19.63
P.ufn. sredn.
Dolny: 20.04
Górny: 31.22

N: 28
Srednia: 52.24
Mediana: 44.33
Min: 17.33
Max: 109
25%: 34.67
75%: 68.33
Waria
Od.st
Bł.std
Skośr
Kurt:
P.ufn.
Dolny
Górny
P.ufn.
Dolny
Górny

N: 29
Srednia: 34.43
Mediana: 25.00
Min: 5.000
Max: 108
25%: 16.67
75%: 41.67

Testowana grupa	Częstotliwość [Hz]	25	31,5	63	125	250
wszyscy	W	0,72916	0,64225	0,89196	0,92145	0,85798
	p	0,00000	0,00000	0,00746	0,03767	0,00111
kobiety	W	0,73582	0,58345	0,81360	0,88156	0,81589
	p	0,00062	0,00002	0,00993	0,07486	0,00790
mężczyźni	W	0,70818	0,88838	0,91202	0,90941	0,88968
	p	0,00030	0,06339	0,14544	0,13263	0,06631
niewidomi	W	0,63645	0,55100	0,79613	0,77892	0,95868
	p	0,00015	0,00001	0,01845	0,01170	0,78444
słabowidzący	W	0,85773	0,98469	0,91785	0,94907	0,93454
	p	0,07174	0,98531	0,37474	0,67983	0,49404
widzący normalnie	W	0,73469	0,91429	0,91561	0,92936	0,86111
	p	0,00232	0,31179	0,32179	0,44159	0,07863

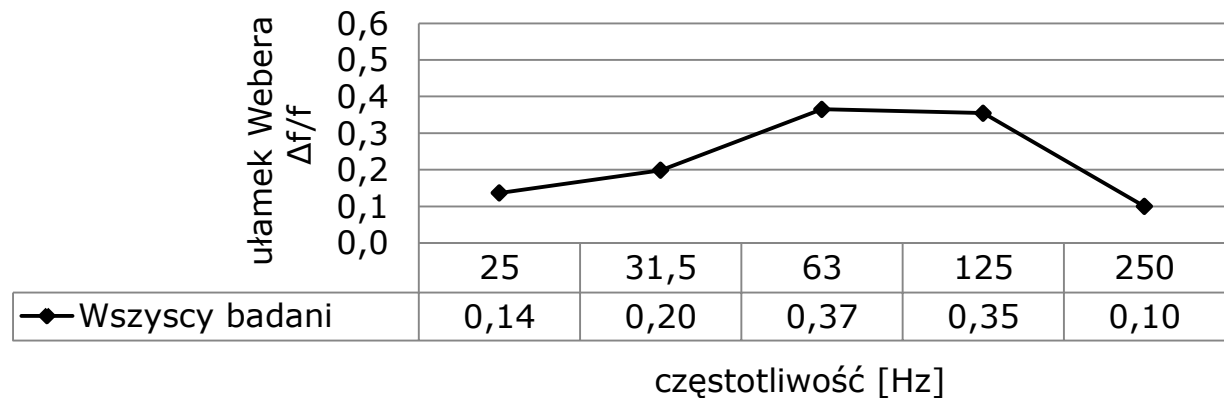
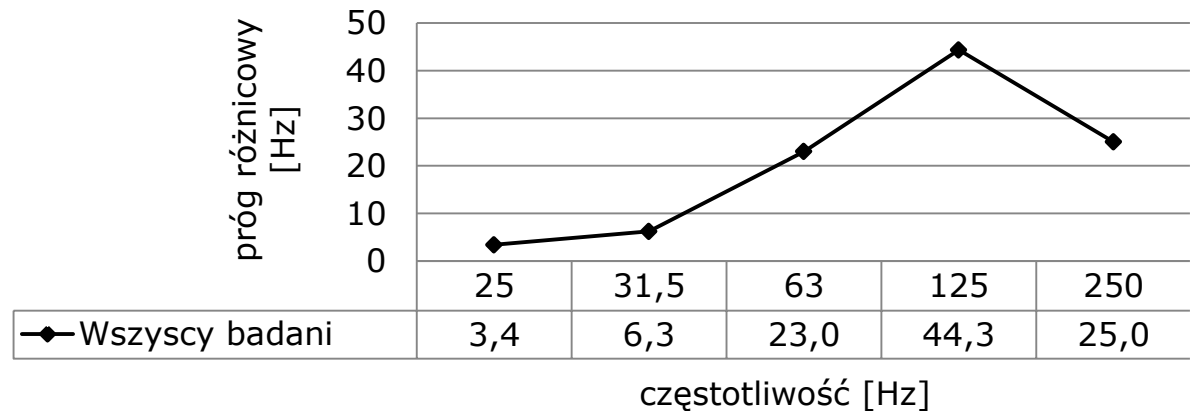
Wartości testu Shapiro-Wilka

Progi różnicowe czucia częstotliwości wibracji – wyniki

Mediana wartości różnicowych progów czucia amplitudy wibracji

Aby porównać ze sobą progi spostrzegania zmian częstotliwości dla poszczególnych częstotliwości odniesienia należy wyznaczyć

tzw. frakcję Webera równą stosunkowi wartości progu do wartości częstotliwości odniesienia $\Delta f/f$.



Zależność progu od częstotliwości?

H_0 – wartości różnicowych progów czucia częstotliwości wibracji nie zależą od częstotliwości;

H_a – wartości różnicowych progów czucia częstotliwości wibracji zależą od częstotliwości, w co najmniej dwóch spośród obserwowanych grup.

ANOVA rang Kruskala-Wallisa

Badana częstotliwość	Częstotliwość (zmienna grupująca)	Kod	N ważnych	Suma Rang	Średnia ranga
różnicowy próg czucia częstotliwości wibracji	Test Kruskala-Wallisa: $H(4, N=145) = 57,70360$ $p = 0,0000$				
	25 Hz	25	30	1545,000	51,5000
	31,5 Hz	32	30	2022,000	67,4000
	63 Hz	63	28	2870,000	102,5000
	125 Hz	125	28	2982,000	106,5000
	250 Hz	250	29	1166,000	40,2069

Wartość statystyki H znajduje się w obszarze krytycznym. Istnienie zatem podstawa do **odrzućcia hipotezy** zerowej o braku zależności wartości progów od częstotliwości. Przyjęto zatem hipotezę alternatywną: wartości różnicowych progów czucia częstotliwości wibracji **zależą od częstotliwości w co najmniej dwóch spośród obserwowanych grup.**

Zależność progu od częstotliwości?

Wartość p dla porównań wielokrotnych (dwustronnych)

– Test Kruskala-Wallis: $H(4, N=150) = 12,96364$ $p = ,0115$

	25 Hz	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz
25 Hz		1,000000	0,000038	0,000006	1,000000
31,5 Hz	1,000000		0,014714	0,003961	0,129143
63 Hz	0,000038	0,014714		1,000000	0,000000
125 Hz	0,000006	0,003961	1,000000		0,000000
250 Hz	1,000000	0,129143	0,000000	0,000000	

Istotne statystycznie różnice:

- niższe progi dla częstotliwości 25, 31,5 i 250 Hz w stosunku do 63 i 125 Hz

Wnioski

Zależność wartości progów różnicowych od częstotliwości:

- W większości przypadków stwierdzono brak zależności różnicowych progów czucia wibracji od częstotliwości.

Interfejsy wibracyjne stosowane na nadgarstku: zalecenia projektowe:

- Zmiany amplitudy sygnału drganiowego są dobrze rozpoznawane przez system czuciowy człowieka, dlatego zaleca się stosowanie sygnałów o zróżnicowanym poziomie amplitudy.
- Zmiany częstotliwości sygnału drganiowego są trudne do rozpoznania przez system czuciowy człowieka, dlatego nie zaleca się stosowania sygnałów o zróżnicowanej częstotliwości.

- Bochenek, A. i Reicher, M. (1998). *Anatomia Człowieka* (Tom V Układ nerwowy obwodowy. Układ nerwowy autonomiczny. Powłoka wspólna. Narządy zmysłów.). Warszawa: Wydawnictwo Lekarskie PZWL.
- Chałampowicz, R. (2009). Elektroniczne pomoce w orientacji przestrzennej. *Tyfloświat*, 1(3), strony 27 – 35.
- Chruściel, M. (2008). *LabVIEW w praktyce*. Legionowo: Wydawnictwo BTC.
- Gandhi, M. S., Sesek, R., Tuckett, R. i Bamberg, S. J. (2011). Progress in Vibrotactile Threshold Evaluation Techniques A Review. *Journal of Hand Therapy*, strony 1-16.
- Garbat, M. (2013). Wsparcie osób z niepełnosprawnością wzroku – krótka historia szkolenia psów przewodników i posługiwanie się białą laską. *Niepełnosprawność-zagadnienia, problemy, rozwiązania*, 3, strony 81-107.
- Goldstein, B. E. (2010). *Sensation and Perception*. Wadsworth: Cengage Learning.
- Gwóźdź, B. (2013). <http://nop.ciop.pl/>. (Centralny instytut ochrony Pracy) Pobrano 03 18, 2016 z lokalizacji Nauka o pracy – bezpieczeństwo, higiena, ergonomia. Rozdział 4.7 Percepcja bodźców w środowisku pracy: <http://nop.ciop.pl/>
- <http://candelapsych.wikity.cc>. (2015, 02). Pobrano 09 2016 z lokalizacji http://candelapsych.wikity.cc/files/2015/02/CNX_Psych_05_05_Touch.jpg
- Konturek, S. (1998). *Fizjologia człowieka* (Tom IV Neurofizjologia). Kraków: Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego.
- Lederman, S. J. i Klatzky, R. L. (2009). Haptic perception: A tutorial. *Attention, perception & psychophysics*, 71(7), strony 1439-1459.
- Morley, J. W. i Rowe, M. J. (1990). Perceived Pitch of Vibrotactile Stimuli: Effects of Vibration Amplitude, and Implications for Vibration Frequency Coding. *Journal of Physiology*, 431, strony 403 – 416.
- Traczyk, W. Z. i Trzebski, A. (Redaktorzy). (1989). *Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej*. Warszawa: Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich.
- Verrillo, R. T. i Bolanowski, S. J. (2008). Tactile Responses to Vibration. W D. Havelock, S. Kuwano i M. Vorländer, *Handbook of Signal Processing in Acoustics* (strony 1185 – 1213).
- Welsh, M., Price, M. P. i Xie, J. (2002). Biochemical Basis of Touch Perception: Mechanosensory Function of Degenerin/Epithelial Na⁺ Channels. *The Journal of Biological Chemistry*, strony 2369–2372.
- Wiciak, J., Borkowski, B., Czopek, D., Trojanowski, R., Okarmus, A., Zalewska, L. i inni. (2012). *Niewidomi w dużym mieście: system do oznaczania miejsc niebezpiecznych i szczególnie istotnych dla osób niewidomych i słabowidzących z wykorzystaniem markerów falowo-wibracyjnych*. Kraków: Wydawnictwa AGH.
- *World Health Organization*. (2015). Pobrano 20 Czerwca 2015 z lokalizacji <http://www.who.int/topics/blindness/en/>



Dziękuję



**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

RÓŻNICOWE PROGI CZUCIA WIBRACJI NA NADGARSTKU

Dorota Czopek

**Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
Katedra Mechaniki i Wibroakustyki**

Symposium KraSyNT 26.09.2016