

58 / 1979

P. Łobacz, K. Mytkowski, P. Janicki

WPLYW CZYNNIKA FONETYCZNEGO
I LEKSYKALNEGO
NA CZAS REAKCJI SŁOWNEJ

P. 269



WARSZAWA 1979

Praca wpłynęła do Redakcji dnia 29 października 1979 r.

Zarejestrowana pod nr 58/1979



57188



N a p r a w a c h r ę k o p i s u

Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN

Nakład 160 egz. Ark.wyd.1,2. Ark.druk. 1,75.

Oddano do drukarni w listopadzie 1979 r.

Nr zamówienia 715/0/79

Warszawska Drukarnia Naukowa, Warszawa,
ul.Śniadeckich 8

Piotra Łobacz
Instytut Językoznawstwa UAM
Krzysztof Mytkowski
Piotr Janicki
Pracownia Fonetyki Akustycznej
IPPT PAN

Praca wykonana w ramach problemu węzłowego 10.4.

WPLYW CZYNNIKA FONETYCZNEGO I LEKSYKALNEGO

NA CZAS REAKCJI SŁOWNEJ ^{1/}

Streszczenie

Przedstawiono w pracy metodologię pomiaru czasu reakcji w przygotowanym uprzednio teście logatomowo-wyrazowym. Wyniki pomiarów dla każdego sygnału i każdej z badanych osób oddzielnie opracowano statystycznie. Obliczono współczynniki regresji wielokrotnej z dwiema wyznaczonymi poprzednio zmiennymi niezależnymi: subiektywną częstością wyrazów stanowiących reakcję oraz percepcyjną odległością między spółgłoskami występującymi w bodźcach logatomowych, a odpowiednimi elementami odpowiedzi leksykalnych. Stwierdzono, że czas reakcji jest wyraźnie zróżnicowany osobniczo, jak również wyraźnie zależny od pozycji dokonywanych w sygnale substytucji. Łączne występowanie czynnika podobieństwa i częstości wyrazowej wywiera silniejszy wpływ na czas reakcji, niż każdy z tych czynników z osobna.

1. Psycholingwistyczne przesłanki doświadczenia i jego miejsce w ogólnym modelu rozpoznawania mowy.

Badania procesu przetwarzania informacji lingwistycznej przez człowieka wymagają uwzględnienia określonych psychologicznych prawidłowości związanych głównie z funkcjonowaniem pamięci.

^{1/} Praca wykonana na zlecenie IPPT PAN nr 48.

Wśród podstawowych założeń, wykorzystywanych przy konstrukcji modeli percepcji, znajduje się między innymi następujące: "... that perception necessarily involves various types of memorial processes since recoding and retention of information must occur at all stages of information processing." (Pisoni i Sawusch [15], str. 25). Bez względu na to jak odmienne byłyby podstawy teoretyczne konstrukcji modeli percepcji mowy, każde opracowanie zawiera kilka wyspecjalizowanych bloków pamięciowych. W tzw. modelach aktywnych porównuje się ze zmagazynowanymi w pamięci wzorcami generowane w systemie "syntetyczne" repliki przetworzonego sygnału (np. u Stevensa [16]); w systemach pasywnych dokonuje się porównania przetworzonej w określonym bloku informacji z wzorcami w pamięci danego bloku (np. Bondarko i inni [1], Jassem [6], por. także dyskusję Mortona Broadbenta [11]).

Znaczna hierarchiczność poszczególnych płaszczyzn percepcji: audytorycznej, fonetycznej, fonologicznej, syntaktycznej i semantycznej (por. np. Studdert-Kennedy [18], Cutting i Pisoni [2], Pisoni i Sawusch [15]) odpowiada częściowo hierarchizacji poszczególnych systemów pamięci, które polegają na tym, że każdy następny blok pamięci zatrzymuje otrzymany materiał sensoryczny, bądź lingwistyczny na dłuższy okres czasu niż poprzedni oraz każdy wprowadza informację do następującego po nim bezpośrednio bloku (Norman [14]). Najczęściej wyodrębnia się trzy główne bloki (procesy) pamięci: pamięć sensoryczną (echoic memory, very short term memory - VSTM), pamięć krótkotrwałą (short term memory - STM) - dynamiczną oraz pamięć długotrwałą (long-term memory - LTM) - statyczną leksykalną i semantyczną. (Norman [14], Kurcz [7]).^{1/}

Poszczególne etapy procesu rozpoznawania w układach biologicznych nie odbywają się jednak wyłącznie w szeregowym układzie przetwarzania. Należy założyć (por. np. Cutting i Pisoni [2], Fry [3]), że niektóre stadia tego procesu zachodzą w układach równoległych. Stąd procesy pamięciowe związane z percepcją nie

^{1/} Przy powyższym opisie wykorzystano wyłącznie strukturalną charakterystykę operacji pamięci, pomijając analizę procesów neurofizjologicznych.

musza w sensie czasowym mieć charakteru addytywnego. Eksperymentalne badania funkcjonowania pamięci polegają zarówno na testowaniu jej cech jakościowych, (jak np.: sposoby magazynowania i wywoływania informacji), analizie procesu kojarzenia (pamięć semantyczna) itp., jak i ilościowych - odnoszących się do pojemności poszczególnych bloków pamięciowych (z wyjątkiem pamięci długotrwałej) oraz czasu trwania różnego typu procesów: kojarzenia, wywoływania informacji, jej utrwalania (uczenia się). Wszelkie badania czasowe dotyczą tzw. czasu reakcji (reaction time RT) - czasu pomiędzy momentem zaprezentowania informacji (bodźca testowego), a momentem wymaganą przez określone warunki eksperymentu odpowiedzi (Noordman-Vonk [13]). Pomiary RT wykorzystuje się do opisu procesów zachodzących we wszystkich płaszczyznach przetwarzania informacji lingwistycznej przez człowieka, dla większości interakcji między płaszczyznami, do ustalenia trwałości niektórych klas pamięci (sensorycznej - zachowującej wrażenie przez około 200 ms, krótkotrwałej - zatrzymującej informację przez 20-30 s). Nickerson [12] w teście decyzyjnym: ten sam - nie ten sam (sygnał), badał wpływ zmiany częstotliwości tonów na czas reakcji ich identyfikacji. Ustalano również siłę korelacji pomiędzy RT a zrozumiałością wyrazów w różnych warunkach zakłócenia ich szumem (Hecker i inni [4]). Doświadczenia z czasem reakcji wykorzystywano przy opracowywaniu automatycznych mierników uszkodzeń słuchu (wpływ intensywności sygnału na RT). Mierzono również wpływ fonetycznego podobieństwa na RT wyboru określonego bodźca oraz próbowano ustalić wielkość podstawowej lingwistycznej jednostki percepcyjnej (Stevenson [17]). Czas reakcji stanowi również charakterystyczny parametr w badaniach tzw. "semantycznej" pamięci. Już w 1901 roku Tumb i Marbe (cytat za Hörmannem [5]) mierzyli czas reakcji jako funkcję częstości wyrazów kojarzonych w teście semantycznego podobieństwa. Czas reakcji jako kryterium paralelnego przetwarzania informacji w kilku blokach wykorzystywany był np. przez Fry'a [3] i Wooda [19].

Niniejsza praca stanowi kolejny etap zbadania mechanizmów korekty błędów fonemetycznych w bloku wyrezowego przetwarzania informacji z wykorzystaniem zawartości pamięci długotrwałej (fonologicznej i leksykalnej). Skonstruowany specjalnie dla potrzeb obecnych badań test logotomowo-wyrezowy zaprezentowany

został w pracach [8, 9], w których szczegółowej analizie poddano jakość odpowiedzi. Tym razem przedmiotem badań był czas reakcji pomiędzy bodźcem logatomowym a odpowiedzią leksykalną. Założono, że RT stanowiąc powinien kryterium możliwości korekcji błędu fonematycznego w bloku wyrezowym. Im krótszy czas potrzebny na wywołanie z pamięci wyrazu znaczącego, powstającego w wyniku substytucji określonych fonemów, tym efektywniej substytucja ta wykorzystana być może do korekcji błędu.

Sporządzenie materiału bodźcowego oparte zostało na zbiorze wyrazów języka polskiego o budowie CVCV (wynoszącym 2152 elementów), dla których utworzono 253 szeregi komutacyjne (grupy wyrezów różniące się tylko jednym segmentem fonetycznym: nagłosową bądź śródgłosową spółgłoską). Szeregi komutacyjne zostały poddane ocenie subiektywnej częstości występowania zawartych w nich wyrazów. Test zasadniczy składał się z trzech części: w pierwszej - bodźce (logatomy) tworzone przez dobór spółgłosek najbardziej percepcyjnie podobnych do spółgłosek substytuowanych w najczestszych wyrazach (połączone czynniki podobieństwa fonetycznego i częstości wyrazowej), w drugiej - bodźce zawierały możliwe najbardziej percepcyjnie różne spółgłoski (eliminacja czynnika podobieństwa), w trzeciej zaś usunięto czynnik częstości wyrazowej poprzez substytucje podobnych spółgłosek w najrzadszych wyrazach. Zadaniem 30 słuchaczy było wypowiedzenie pierwszego przypomnianego, znaczącego wyrazu języka polskiego, różniącego się od nadanego sygnału tylko jednym dźwiękiem. Odpowiedzi słuchaczy (każdej osoby oddzielnie) zarejestrowano na odrębnym śladzie taśmy magnetofonowej zawierającej bodźce. Narzucono maksymalny czas przewidziany na odpowiedzi, który wynosił około 15 s^{1/}. Odstęp czasowy między kolejnymi sygnałami ustalono na podstawie rezultatów testu wstępnego z kilkoma osobami. Jeżeli reakcja następowała w krótszym, niż przewidziany czasie, pozostały czas oczekiwania na następny bodziec wyko-

1/ Kolejne logatomy nagrywano co 15 sekund. Ponieważ przeciętny czas trwania jednego logatomu wyznaczony dla 20 wybranych losowo sygnałów wynosił 870 ms, czas przewidziany na reakcję wynosił nieco ponad 14 s.

rzystywano na dodatkowe skojarzenia logatomu z realnymi wyrazami, których nie wypowiedziano głośno.^{1/} Jeżeli natomiast w przewidzianym czasie nie nastąpiła żadna odpowiedź, sygnał był prezentowany na osobnej sesji. Przy powtórny braku reakcji sygnał eliminowano z dalszej procedury obliczeniowej.

Przy powyższym układzie testu i sposobie jego przeprowadzenia, RT stanowi odzwierciedlenie następujących procedur percepcyjno-pamięciowych:

- (1) dekodowania fonematycznego i sprawdzania fonotaktycznego,
- (2) wywołania z osobniczej pamięci leksykalnej wyrazu spełniającego warunki testu,
- (3) podjęcia decyzji oraz przesłania rozkazów motorycznych do narządów artykulacyjnych.

2. Pomiar RT.

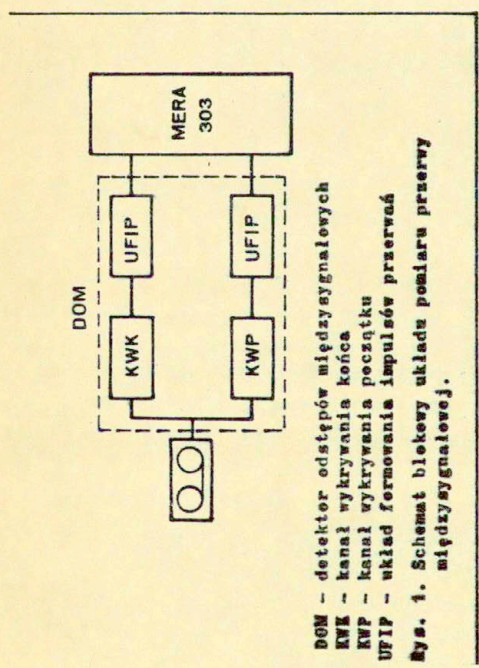
Pomiar czasu reakcji był wykonywany przy użyciu układu umożliwiającego wyznaczenie z dokładnością 10 ms odstępu czasowego pomiędzy końcem sygnału bodźcowego, a początkiem sygnału reakcji słownej. Układ składał się z analogowego detektora odstępów międzysygnałowych oraz algorytmu mierzącego długość odstępu, wprowadzającego informacje do minikomputera i wyprowadzającego z minikomputera wynik pomiaru. Wykorzystano magnetofon stereofoniczny, a algorytm umożliwił prostą obsługę automatycznego pomiaru.

Schemat blokowy układu podano na ryc. 1.

2.1. Detektor odstępów międzysygnałowych.

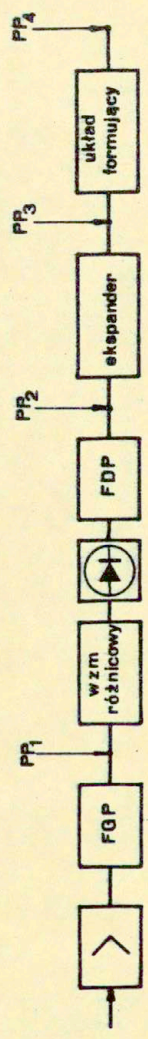
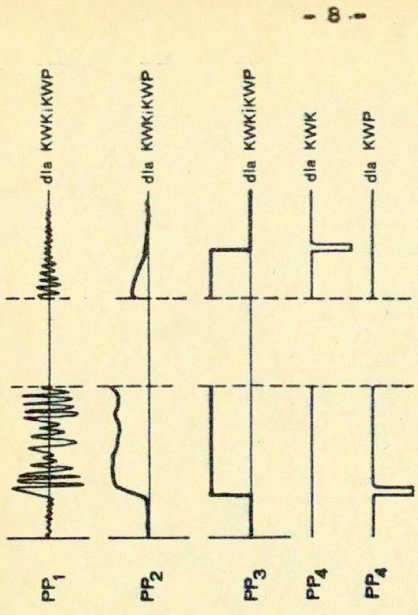
Opracowany i wykonany układ służy do optymalnego wykrywania początku oraz końca przebiegów akustycznych. Warunkiem dokładnego wyznaczenia tych granic jest znaczny odstęp poziomu sygnału od szumu. Różnica poziomów sygnału między wartością maksymalną a wartością progową, przy której układ zaczyna reagować, wynosi 40 dB. Detektor składa się z dwóch równolegle pracujących kanałów. Sygnały bodźców oraz reakcji, zapisane na taśmie magnetofonowej, na osobnych ścieżkach, w tym samym kierunku, odczytane zostają za pomocą magnetofonu stereofonicznego i doprowadzone do wejść de-

^{1/} Każdy szereg komutacyjny, dla którego tworzono bodźce logatomowe składał się z założenia testu (por. Łobacz [8, 9]) conajmniej z pięciu wyrazów, stąd logatomy mogły wywoływać kolejno kilka wyrazów.



DOM - detektor odstępów międzysygnalowych
 KWK - kanał wykrywania końca
 KWP - kanał wykrywania początku
 UFIP - układ formowania impulsów przerwań

rys. 1. Schemat blokowy układu pomiaru przerwy międzysygnalowej.



rys. 3. Schemat blokowy pojedynczego kanału.

tektora. Sygnały z obu ścieżek sterują odpowiednio: pierwszy kanałem wyznaczania końca sygnału, drugi kanałem wyznaczania początku sygnału.

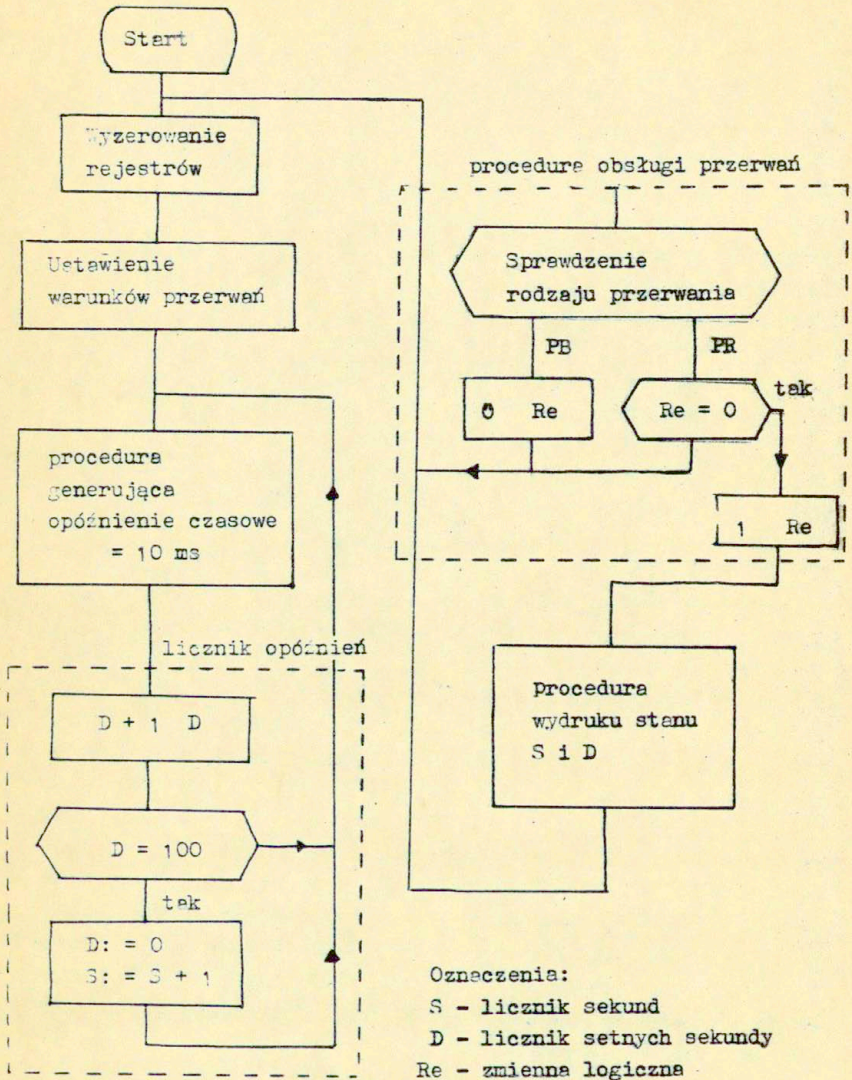
W każdym z kanałów sygnał zostaje wzmocniony, przesłany przez filtr górnoprzepustowy (częstotliwość graniczna 200 Hz), wzmocniony ponownie we wzmacniaczu różnicowym, a dalej wyprostowany dwupołkowo i wygładzony filtrem dolnoprzepustowym. Powstałe w ten sposób napięcie jednokierunkowe jest pod względem wartości proporcjonalne do poziomu sygnału akustycznego. Steruje ono następnie ekspanderem. Przez okres czasu, w którym wartość tego napięcia przekracza pewien ustalony próg, ekspander generuje impuls o stałej wartości. Następujący po ekspanderze układ reaguje w jednym kanale na zbocze dodatnie tego impulsu, a w drugim na jego zbocze ujemne, powodując wygenerowanie krótkotrwałych impulsów o szerokości $20 \mu s$, doprowadzanych do szyn minikomputera MERA 303. Na ryc. 2 ukazano schemat blokowy układu oraz kształty sygnału w poszczególnych punktach pomiaru kontrolnego.

2.2. Automatyczny pomiar RT przy użyciu minikomputera MERA 303.

Materiał zapisany na taśmie magnetofonowej samoczynnie steruje pracą minikomputera, który na bieżąco drukuje wyniki pomiaru. Rola operatora sprowadza się do funkcji kontrolnej. Przebiegi na ryc. 2 w punktach PP_1 , PP_2 i PP_3 pokazują powstawanie bramki obejmującej sygnał oraz generowanie impulsów wyznaczających początek i koniec sygnału. Impulsy wywołują odpowiednio sygnały przerwania. Z jednej ścieżki wykorzystywane są impulsy odpowiadające końcowi sygnału bodźca, a z drugiej impulsy sygnalizujące początek reakcji. Impulsy te powodują powstawanie sygnałów przerwania. Ponieważ jednak oba sygnały pierwotne mogą zawierać zaniki amplitudy, wykorzystywany jest do pomiaru czasu reakcji odpowiednio ostatni lub jedyny impuls końca bodźca oraz pierwszy lub jedyny impuls początku reakcji. Sygnały przerwania stanowiące podstawę obliczania RT oznaczamy odpowiednio KB (koniec bodźca) oraz PR (początek reakcji).

2.3. Opis działania programu pomiaru RT.

Zasadniczym członem programu jest licznik zliczający jednokrotne 10-cio milisekundowe odstępy czasowe. Stan licznika może być w dowolnej chwili skasowany lub może być zapisany za pomocą



Ryc. 3. Algorytm programu pomiaru czasu reakcji.

drukerki znakowo-mozaikowej DZM. Momenty czasowe zerowania lub drukowania stanu licznika są wyznaczone przez momenty wystąpienia sygnałów przerwań. Działanie programu przedstawiono na ryc. 3 w postaci algorytmu.

Program składa się z czterech współpracujących ze sobą procedur: (a) generowanie opóźnienia czasowego, (b) zliczanie opóźnień, (c) obsługi przerwania oraz (d) wydruku stanu licznika. Po uruchomieniu programu przez operatora następuje "odblokowanie" przerwań i przejście do stanu zliczania. W chwili pojawienia się na szynach wejściowych MERY impulsu KB następuje przejście do wykonania procedury obsługi przerwań, a następnie wyzerowanie rejestrów licznika i powrót do procedury zliczania opóźnień. W momencie wystąpienia na szynach wejściowych impulsu przerwania PR następuje: przejście do wykonania obsługi przerwań, sprawdzenia poprzez zbadanie zawartości rejestru Re, czy poprzednie przerwanie odpowiadało KB. Następnie przy pozytywnym wyniku sprawdzenia program przechodzi do drukowania stanu rejestrów liczników S i D.

W zależności od potrzeb stan licznika, podający wyniki pomiaru, może być dodatkowo wyperforowany na taśmie papierowej do celów dalszej obróbki statystycznej.

3. Obliczenie rangi wyrezów w szeregach komutacyjnych.

Procedurę wyznaczania rang na podstawie ankietyzacji 50 osób przedstawiono w precach [8,9]. Obliczono rangi dla każdego szeregu komutacyjnego oddzielnie. Różnice w ocenach rangowych oraz sposób wykorzystania tych ocen dla celów doświadczenia, będącego przedmiotem niniejszej pracy, ilustrują poniższe przykłady:^{1/}

A. Szereg komutacyjny pięcioelementowy.

wyrez	ranga					\bar{x} oceny	średnia	średnia
	1	2	3	4	5		ocena	ocena
							względna	normowana
tat i	<u>25</u>	13	1	1	0	1,36	0,090	0,31
tat si	10	<u>19</u>	9	5	7	2,60	0,172	0,60
tam i	2	10	<u>25</u>	11	2	3,02	0,200	0,69
tan i	2	5	12	<u>21</u>	10	3,64	0,240	0,83
tar i	0	2	3	12	<u>32</u>	4,52	0,298	1,04

^{1/} W doświadczeniu określającym rangi, wyrazy występowały w każdym szeregu w przypadkowej kolejności.

W każdej klatce umieszczono liczebność rangi podanej w nagłówku kolumny.

B. - patrz osobna tablica (str. 13).

W przypadku bezwzględnej zgodności otrzymane na przekątnych wartości równe liczbie osób testowanych ($n = 50$). W rzeczywistości zachodzi rozrzut ocen, którego rezultatem jest pojawienie się liczebności w różnych klatkach każdego. Zgodność ocen jest jednak lepsza w szeregach krótszych (kilkuelementowych), niż długich (kilkunastoelementowych), co zostało zilustrowane w powyższych przykładach podkreśleniem wartości modalnych. Wartości modalne pojawiają się dokładnie na przekątnej przykładu A, podczas gdy w przykładzie B niektóre wyrazy mają kilka wartości maksymalnych, przy czym najmniejsza zgodność zachodzi w wyrazach znajdujących się w rzędach środkowych. W kolumnie 2 umieszczono średnie arytmetyczne rang dla poszczególnych wyrazów. Dla przypadku idealnego liczby te stanowiłyby ciąg liczb całkowitych (dla przykładu A od 1 do 5, dla przykładu B od 1 do 16). W przykładzie A empiryczne średnie odbiegają, na skutek większej zgodności ocen, wyraźnie mniej od wartości oczekiwanych dla przypadku idealnego, niż to ma miejsce w przypadku B. Tym samym stosunek rangi najniższej do najwyższej, zamiast odpowiednio dla A = 0,20 oraz dla B = 0,063 wynosi dla A 3,52 oraz dla B 4,18.

Ponieważ w badaniu zależności czasu reakcji od subiektywnej częstości wyrezu stanowiącego reakcję na bodziec, uwzględnić trzeba wyniki ocen rangowych we wszystkich nierówno licznych szeregach komutacyjnych, obliczono średnią arytmetyczną ważoną względną - wyrażającą udział poszczególnej rangi w szeregu, a następnie wyznaczono średnie wartości normowane względem długości szeregu według procedury opisanej w precach [8,9].

4. Podobieństwo między spółgłoskami.

Percepcyjne podobieństwo między fonemami spółgłoskowymi języka polskiego wyznaczono na podstawie wyników testu logotomowego, którego przebieg zreferowano w pracy [9]. W konstrukcji testu i sposobie jego przeprowadzenia starano się w maksymalnym stopniu wyeliminować jakiegokolwiek dodatkowe czynniki lingwistyczne (szczególnie fonotektyczne i semantyczne), które mogły mieć wpływ na ocenę subiektywnego podobieństwa badanych elementów.

Rezultaty są jednak obciążone, chociaż niewątpliwie w znacz-

nie mniejszym stopniu, faktem, że jak wyjaśniono w pracy cyt. powyżej, nie można było ze względów praktycznych wytestować wszystkich możliwych par różnych fonemów. W wyniku tego ograniczenia trójkątna tablica odległości międzyspółgłoskowych z ogólnej liczby 378 wartości, zawierała ich tylko 218.

Pomiar czasu reakcji (RT) przeprowadzony był w teście, w którym zastępowano logotomy autentycznymi wyrazami, w wyniku czego powstawały pary spółgłosek nie posiadające w trójkątnej tablicy wartości odległości. Aby móc wykorzystać maksymalną liczbę zestawień logotom - wyraz, uzupełniono częściowo pierwotną tablicę, estymując niektóre odległości na podstawie uzyskanych empirycznie wartości. Wykorzystano przy tym cechy dystynktywne, którym można było przypisać liczbowe odpowiedniości. Na przykład uzupełniono w tablicy wartości dla par fonemów: /f - v, s - z, \int - ʒ, ξ - ʒ/, obliczając przeciętną odległość dla wszystkich występujących pierwotnie opozycji: dźwięczne - bezdźwięczne. Tablica zawierała 7 takich opozycji:

p - b	0,2500	t̄s - d̄z	0,2059
t - d	0,1569	t̄j - d̄ʒ	0,1797
c - ʒ	0,1691	t̄p - d̄z̄	0,3882
k - g	0,2794		

Wyliczona wartość przeciętna wynosi 0,2271; stanowi one estymator dla wszystkich 4 brakujących odległości.

Jeżeli znane były odległości fonemu A od fonemów $B_1, B_2 \dots B_n$, stanowiących grupę o wspólnej cesze dystynktywnej, natomiast nieznanymi były odległości fonemu A od spółgłosek $C_1, C_2 \dots C_n$, stanowiących inną grupę o wspólnej cesze dystynktywnej, przy czym z kolei zachodziły odpowiedniości $B_1 - C_1, B_2 - C_2 \dots B_n - C_n$, pod względem jakiejś innej cechy dystynktywnej, ponadto odległości $B_1 - C_1, B_2 - C_2 \dots$ itd. są małe, wówczas brakujące wartości $A - C_1, A - C_2 \dots, A - C_n$ zastępowano znanymi wartościami $A - B_1, A - B_2, \dots, A - B_n$. Zasadę tę zastosowano na przykład do estymacji odległości pomiędzy spółgłoskami sybilantnymi trącymi a fonemem /l/, przy znanych odległościach wszystkich afrykat (również sybilantnych) od /l/:

Odległości znane	Odległości znane	Odległości estymowane
A - B	B - C	A - C
t̄s - l 0,8957	s - t̄s 0,2026	s - l 0,8957

$\hat{d}\bar{z} - 1$	0,9091	$z - \hat{d}\bar{z}$	0,1928	$z - 1$	0,9091
$\hat{t}\bar{j} - 1$	0,9144	$\int - \hat{t}\bar{j}$	0,2157	$\int - 1$	0,9144
$\hat{d}\bar{z} - 1$	0,9224	$z - \hat{d}\bar{z}$	0,2026	$z - 1$	0,9224
$\hat{t}\bar{p} - 1$	0,9618	$p - \hat{t}\bar{p}$	0,2243	$p - 1$	0,9618
$\hat{d}\bar{z} - 1$	0,9500	$z - \hat{d}\bar{z}$	0,1765	$z - 1$	0,9500

Według opisanych powyżej metod estymowano łącznie 83 odległości (około 50% brakujących wartości). Na skutek pozostałych nieuzupełnionych wartości, liczba przebadanych sygnałów dla każdej z badanych osób zmniejszyła się przeciętnie o 1%.

5. Analiza statystyczna.

Dla zbadania współzależności między RT (zmienną zależną y) a rangą wyrazu (zmienną niezależną x_1) oraz odległością między spółgłoską nadaną a spółgłoską w odpowiedzi (zmienną niezależną, x_2) zastosowano model regresji liniowej wielokrotnej:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2$$

Poziom istotności wszystkich zmiennych przyjęto $\alpha = 0,05$.

Zastosowana procedura była następująca:

(1) Każdą zmienną scharakteryzowano parametrami: średniej arytmetycznej, odchyleniem standardowym oraz współczynnikiem zmienności.

(2) Wyznaczono trójkątną macierz korelacji między wszystkimi zmiennymi. Elementami niediagonalnymi macierzy są: $K_{x_1, x_1}, K_{x_1, y}, K_{x_2, y}$.

(3) Obliczono współczynnik korelacji wielokrotnej R.

(4) Zbadano istotność współczynników regresji b_1 i b_2 za pomocą statystyki T (por. Maléc i Caliński [10]). Jeśli oba współczynniki są istotne, R również jest istotne.

(5) W przypadku, gdy któryś z współczynników regresji okazał się nieistotny na przyjętym poziomie, wówczas odpowiednią zmienną eliminowano z modelu i wyznaczano ponownie współczynnik R.

(6) Ostatnim krokiem postępowania była charakterystyka zredukowanego modelu. O ostatecznym jego przyjęciu decydowała nieistotność współczynnika determinacji.

Wyniki obliczeń wykonanych na MC ODRA 1204 podane w formacie dla dwóch osób: 13 (istotne obie zmienne) oraz 14 (eliminacja x_1) umieszczono w dodatku drugim na końcu pracy.

6. Omówienie wyników.

Obliczenia statystyczne przeprowadzono dla każdej z 3 części

testu oddzielnie. W poszczególnych częściach dokonywano osobnych obliczeń dla substytucji w nagłosie i w śródgłosie, otrzymując sześć zestawów wyników. Zestaw mógł maksymalnie zawierać od 134 do 136 odpowiedzi dla każdej osoby (liczba nadanych logotomów). Faktycznie liczba ta była mniejsza, wynosiła przeciętnie 116 danych (rozrzut 90 - 125) na skutek następujących okoliczności:

- (a) nie udzielenia odpowiedzi w zadanym czasie,
- (b) udzielenia błędnej odpowiedzi z fonotaktycznego punktu widzenia,
- (c) skojarzenia nadanej spółgłoski z samogłoską niesylabiczną,
- (d) odrzucenia poprawnej z punktu widzenia założeń testu odpowiedzi na skutek braku danych w tablicy odległości spółgłosek (por. rozdz. 4).

6.1. Przeciętne wartości badanych zmiennych.

Srednie wartości rang wyrazów, stanowiących reakcję, obliczono dla odpowiedzi wszystkich osób w poszczególnych zestawach testu. Otrzymano następujące liczby:

część testu	pozycja	nagłos	śródgłos
I		0,74	0,74
II		0,83	0,84
III		0,84	0,87

Najniższe rangi dla pierwszej części testu wskazują na fakt, że nadawane logotomy częściej wywoływały z pamięci leksykalnej badanych osób wyrezy częste, niż miało to miejsce w pozostałych etapach testu, zgodnie z jego konstrukcją (współwystępowanie wyniku częstości i podobieństwa). W drugiej części testu, w której a priori wyeliminowano skojarzenie podobnej spółgłoski w najczęstszym wyrazie, otrzymano przeciętną rangę wyrazów - reakcji wyższą, zbliżoną do średniej wartości rangi wszystkich elementów poszczególnych szeregów komutacyjnych. Podobne wartości uzyskano dla trzeciej części testu. Różnica między nimi okazuje się nieistotna na poziomie $\alpha = 0,01$ (test Studenta), co oznacza, że słuchacze w swoich odpowiedziach nie posługiwali się wyłącznie kryterium podobieństwa fonetycznego.

W analogiczny sposób, jak opisany powyżej, wyznaczono przeciętne wartości odległości między nadanymi a występującymi w odpowie-

działach spółgłoskami.

część testu \ pozycja	nagłos	śródgłos
I	0,395	0,432
II	0,657	0,642
III	0,544	0,539

W pierwszej części testu wartości odległości między spółgłoskami są najmniejsze. Słuchacze, zatem, wykorzystywali w swoich odpowiedziach kryterium fonetycznego podobieństwa. Różnice pomiędzy średnimi, wytestowana za pomocą testu - t Studenta, dla nagłosu i śródgłosu wyrazów jest w tej części testu istotna na poziomie $\alpha = 0,01$. Pozwala to na stwierdzenie, że kryterium podobieństwa fonetycznego jest konsekwentniej stosowane w nagłosie częstych wyrazów. W mniejszym stopniu osoby badane odwoływały się do podobieństwa fonetycznego spółgłosek, kiedy nadawane sygnały sugerowały skojarzenia z rzadkimi wyrazami (część III testu). Największe odległości między fonemami stwierdzono dla drugiej części doświadczenia, w której a priori wyeliminowano czynnik podobieństwa. Jeżeli kryteria podobieństwa fonetycznego i częstości wyrazowej nie występują łącznie, różnice w pozycjach dokonywanych substytucji są nieistotne.

Przecietne wartości dla zmiennej zależnej (RT) przedstawiono poniżej (pomiar w sekundach):

część testu \ pozycja	nagłos	śródgłos
I	2,36	3,16
II	3,12	3,72
III	2,84	3,37

Wartości RT w sposób istotny ($\alpha = 0,01$) różnią się między sobą dla nagłosu i śródgłosu wyrazów stanowiących reakcję w pierwszej części testu. Wskazywałoby to na fakt dłuższego procesu dokonywania substytucji w śródgłosie częstych wyrazów. Prawdopodobnie proces ten jest bardziej skomplikowany w stosunku do reakcji nagłosowych na skutek konieczności zapamiętania początku wyrazu. Jednakże czas potrzebny na zapamiętanie pierwszej sylaby wyrazu jest zbyt mały, by odgrywał istotną rolę wówczas, gdy kojarzenie z realnymi jednostkami leksykalnymi jest utrudnione wyeliminowa-

niem bądź czynnika fonetycznego podobieństwa, bądź częstości wyrazowej.

6.2. Macierze współczynników korelacji.

Poniżej podano przykładowo dwa zestawienia elementów macierzy dla pierwszej części testu (substytucje w śródgłosie) oraz drugiej części testu (substytucje w nagłosie).

Osoby	część I testu			część II testu		
	K_{x_1, x_2}	$K_{x_1, y}$	$K_{x_2, y}$	K_{x_1, x_2}	$K_{x_1, y}$	$K_{x_2, y}$
1	0,42**	0,34**	0,37**			0,27**
2	0,43**	0,28**	0,19*	-0,26**		0,20*
3	0,37**	0,44**	0,53**	-0,22*		0,21*
4	0,39**	0,33**	0,40**	-0,29**		0,50**
5	0,44**	0,24**	0,19**	-0,26**		0,23*
6	0,44**					
7	0,26**	0,39**	0,53**	-0,29**		
8	0,41**	0,33**	0,40**		0,22*	0,21*
9	0,47**	0,34**	0,35**			0,26**
10	0,40**	0,37**	0,28**		0,33**	
11	0,39**		0,44**	-0,19*		
12	0,40**	0,18*	0,21*	-0,25**		0,34**
13	0,52**	0,22*	0,35**	-0,21*		
14	0,50**	0,20*	0,20*		0,19*	
15	0,45**	0,34**	0,27**	-0,20*	0,19*	
16	0,46**	0,26**		-0,29**		0,20**
17	0,49**	0,25**	0,19*			
18	0,43**	0,25**	0,26**	-0,22*		0,25**
19	0,43**	0,27**	0,21*	-0,23*		
20	0,29**	0,20*	0,31**	-0,20*		
21	0,30**	0,39**	0,22*		0,24*	0,25**
22	0,42**	0,21*		-0,29**		
23	0,47**	0,29**	0,36**	-0,28**	0,28**	
24	0,42**		0,32**	-0,23*		
25	0,47**	0,26**		-0,20*		0,27**
26	0,38**		0,33**			
27	0,55**					
28	0,52**			-0,20		
29	0,33**	0,30**	0,34**		0,38**	
30	0,23*					0,20*

W zestawieniach nie uwzględniono nieistotnych wartości współczynników korelacji.

W pierwszej części testu współczynniki korelacji obu zmiennych niezależnych (x_1 - ranga, x_2 - podobieństwo) są dla wszystkich osób istotne, w drugiej natomiast, gdzie czynnik fonetycznego podobieństwa uległ zachwianiu, są albo nieistotne, albo przyjmują wartości ujemne, co oznacza, że im większa odległość między fonemami, tym wyraz stanowiący reakcje jest częstszy. Jeśli zatem w sygnale nadanym nie sugeruje się podobieństwa fonetycznego, to proces wywoływania z pamięci leksykalnej odpowiedzi dokonuje się na podstawie subiektywnej częstości wyrazowej. Obie zmienne niezależne wywierają zbliżony wpływ na wartość RT w pierwszej części testu (zarówno $K_{x_1,y}$ jak i $K_{x_2,y}$ nieistotne dla 7 osób), natomiast wpływ podobieństwa na czas reakcji w drugiej części testu jest silniejszy. W trzeciej części testu zmienne niezależne są bądź nieistotne, bądź skorelowane ujemnie i również wpływ podobieństwa fonetycznego na czas reakcji jest większy. Przedstawione elementy macierzy współczynników korelacji wskazują na znaczne zróżnicowanie osobnicze. Niektóre z osób bez względu na dobór sygnałów (części testu) w większym stopniu wykorzystują podobieństwo fonetyczne (np. osoba 4), inne udzielają odpowiedzi w sposób przypadkowy (np. osoba 6 i 27).

6.3. Współczynnik korelacji wielokrotnej.

Testowanie istotności współczynnika R w opisaney w rozdz. 5 metodzie (por. Malec i Caliński [10]) przeprowadzono poprzez wyeliminowanie z modelu regresji zmiennej mniej istotnej. Wartość R jest zawsze istotna na określonym w metodzie poziomie ($\alpha = 0,05$) gdy w modelu występują obie zmienne. Jeśli wielkość R po eliminacji mniej istotnej zmiennej nie ulega znacznemu obniżeniu (na poziomie $\alpha = 0,05$), wpływ tej zmiennej na badany parametr RT przyjmuje się jako nieistotny. Tego rodzaju procedura redukcji zmiennych w modelu pozwala wyraźniej uchwycić różnice międzypersoniczne. Z przebadanych 30 osób nagłosowego zestawu pierwszej części testu, 8 wykorzystywało w procesie kojarzenia tylko jedną zmienną, z czego 4 osoby posługiwały się kryterium podobieństwa, a 4 subiektywną częstością wyrazów. W zestawie substytucji śródgłosowych 4 osoby pominały kryterium fonetyczne, a jedna leksykalne. W obu zestawach omawianej części osoby: 22 i 28 operowały zmienną częstościową.

Analogicznie prześledzono pozostałe części doświadczenia.

Stwierdzono następujące regularności dla całości materiału:

- (a) dla 4 osób zawsze istotne były obie zmienne niezależne,
- (b) dla 13 osób w niektórych częściach testu jedna zmienna niezależna podlegała eliminacji, przy czym dla danej osoby była to w każdym przypadku ta sama zmienna: dla 7 osób ranga, a dla 6 odległość między spółgłoskami,
- (c) dla pozostałych 13 osób podlegała eliminacji bądź jedna, bądź druga zmienna niezależna w poszczególnych częściach testu.

7. Wnioski.

(1) Jeżeli budowa logotomu, w sensie substytucji spółgłoski, sprzyjała wywołaniu z pamięci zarazem najbardziej podobnej spółgłoski i najczęstszego wyrazu szeregu komutacyjnego, wówczas: RT był tym krótszy im mniejsza odległość między spółgłoskami oraz im częstszy wyraz. •

(2) Jeśli natomiast logotom był tak skonstruowany, iż nie sprzyjał wywołaniu z pamięci bądź podobnego fonemu, bądź wyrazu o niskiej randze, to zależność między RT a podobieństwem i rangą ulegała zachwianiu, jak również różnica pomiędzy pozycjami dokonywanych substytucji ulegała zatarciu.

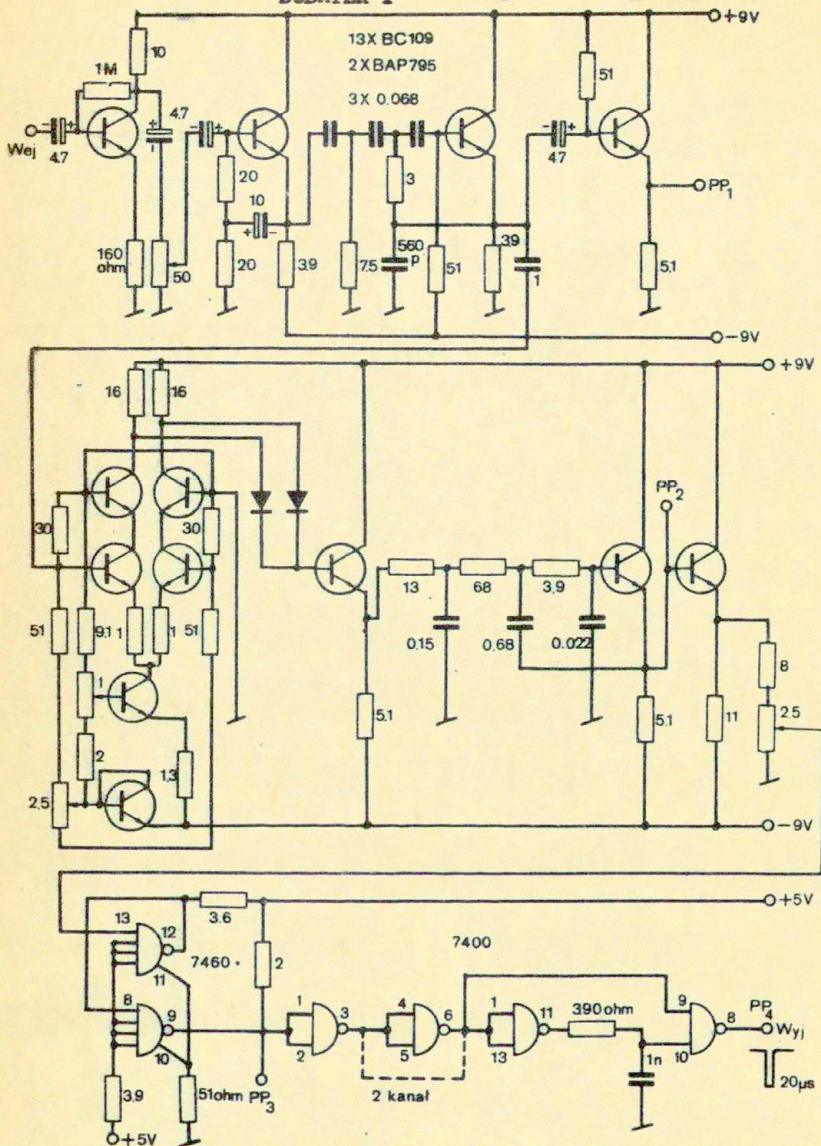
Jeśli procesy pamięciowo-decyzyjne układu biologicznego będą replikowane w systemie automatycznego rozpoznawania mowy, to dla niezawodności korekcji błędów fonologicznych na poziomie leksykalnym wykorzystać można wyniki charakteryzujące się istotną korelacją dodatnią wszystkich badanych zmiennych.

BIBLIOGRAFIA

1. BONDARKO, L.W., ZAGORUJKO, N.G., KOŻEWNIKOW, W.A., MOŁCZANOW, A.P., CISTOWICZ, L.A.: Model*owsprijatija rieczii czełowiekom, izd. Nauka, sib. odd. 1968.
2. CUTTING, J., PISONI, D. An information-processing approach to speech perception, Status Report on Speech Research, Haskins Laboratories SR-48, 287-326, 1976.
3. FRY, D.B.: Reaction time experiments in the study of speech processing, w: Nouvelles perspectives en phonétique, Université Libre de Bruxelles: Conférence et Travaux, vol 1, 15-35, 1970.
4. HECKER, M.M.L., STEVENS, K.N., WILLIAMS, C.E.: Measurements of reaction time in intelligibility tests, JASA 39, 1188-1189, 1966.
5. HORMAN, H.: Psycholinguistics, Springer-Verlag, Berlin, 1971.
6. JASSEM, W.: Założenia ogólnego modelu rozpoznawania mowy, Prace IPPT, 68/1977.
7. KURCZ, I.: Psycholingwistyka, PWN, Warszawa, 1976.
8. ŁOBACZ, P.: Distances between Polish consonant phonemes in tests with real and nonsense words, Speech Analysis and Synthesis, W. Jassem, ed., vol. 5, w druku.
9. ŁOBACZ, P.: Percepcyjne klasyfikacje spółgłosek polskich, Prace IPPT PAN, w druku.
10. MALEC, E., CALINSKI, T.: Analiza regresji wielokrotnej z wyborem najlepszego podzbioru zmiennych niezależnych, Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, LXIV, Algorytmy Biometryczne i Statystyczne, zeszyt 2, 11-19, 1974.
11. MORTON, J., HROGADEENT, D.E. Passive vs. active recognition models or, is your homunculus really necessary?, w: Proceedings of the Symposium on Models for Perception of Speech and Visual Form, Cambridge, MIT Press, 1967.
12. NICKERSON, R.S.: Same-different response-times: a further test of a "counter and clock" model, Acta Psychol. 35, 112-127.
13. NOORDMAN-VONK, W.: Retrieval from Semantic Memory, Springer Verlag, Berlin 1979.
14. NORMAN, D.A.: Models for human memory, w: Encyclopedia of Linguistics, Information and Control, Meetham, A.R., Hudson, R.A., eds., Pergamon Press, Oxford, 1969.
15. PISONI, D.B., SAWUSH, J.R.: Some stages of processing in speech perception, w: Structure and Process in Speech Perception, Cohen, A., Nooteboom, S.G., eds., Springer-Verlag, Berlin, 1975.

16. STEVENS, K.N.: The quantal nature of speech, w: Human Communication - a unified view, David E.E., Jr, P.B. Denes, eds. , 51-66, 1972.
17. STEVENSON, F.W.: Reaction time measurements in speech discrimination tasks, an automated system with closed response sets, Journal of Phonetics, No. 4, 347-368, 1973.
18. STUDDERT-KENNEDY M.: Speech Perception, w: Contemporary Issues in Experimental Phonetics, Less, N.J., ed. , Academic Press, New York, 1976.
19. WOOD, C.T.: Parallel processing of auditory and phonetic information in speech, Perception and Psychophysics, 15, 501-508, 1974.

DODATEK I



Schemat ideowy jednego kanału detektora odstępów międzysygnalowych.

ANALIZA REGRESJI WIELOKROTHNEJ

OSOBA 43

Część pierwsza testu

/ WYBÓR ZMIENNYCH NA POZIOME ALFA = .0500 /

CHARAKTERYSTYKA ZMIENNYCH

NUMER	SREDNIA	ODCH. STANO.	PI. STANO.	WSP. T.
1	67421	30063	.06315	45025
2	35115	22645	.08200	66698
Y	1 20816	86630	.11315	71578

MACIERZ KORELACJI

2	.43055**
3	.37412**
	.43405**

TABELA ANALIZY WARTOŚCI

ZMIENNOŚĆ	STOPNIE	SUMA	SREDNIA	WARTOŚĆ	ISTOTNOŚĆ
*	* SWRODY	* KWADRATOW	* KWADRATOW	* FUNKCJI F	*
REGRESJA	2	10.53585	9.76703	16.71253	.00000
ODCHYLENIE	111	64.87586	.58467		
CALKOWITA	113	84.41171	.74701		

CHARAKTERYSTYKA WSPOLCZYNNIKOW REGRESJI

```

*****
* NUMER * ORYGINALNY * STANDARDOWY * ODCH. STAND. * STATYSTYKA-T * ISTOTNOSC *
*****
* 1 * .64158 * .22084 * .25754 * 2.40307 * .014140 *
* 2 * 1.27896 * .33500 * .35188 * 3.63465 * .000423 *

```

WSPOLCZYNNIK R(0) = .32649
WSPOLCZYNNIK KORELACJI R = -.481077

ANALIZA REGRESJI WIELOKROTNYJ

OSOBA 14

/ WYBOR ZMIENNYCH NA POZIOMIE ALFA = .0500 /

Część pierwsza testu
CHARAKTERYSTYKA ZMIENNYCH

```

NUMPF SREDNIA ODCH. STAND. RL. STAND. WSP. ZM.
*****
1 85270 .33322 .07729 .30076
2 47856 .26380 .04335 .50080
Y 2.56010 1.84149 .23264 .71665

```

MACIERZ KORELACJI

```

2 .38506**
3 .10288 .12300

```

TABELA WNIKI WYNIKÓW

ZMIENNOŚĆ	STOPNIE	SUMA	SREDNIA	WARTOSC	ISTOTNOSC
* SMRODU	* KWADRATOW	* KWADRATOW	* KWADRATOW	* FUNKCJI F	*
* REGRESJA	* 2	* 7,69533	* 3,84766	* 1,13721	* 326172
* ODCZYLENIE	* 119	* 402,62655	* 3,38382	*	*
* CAŁKOWITA	* 121	* 410,32188	* 3,39100	*	*

CHARAKTERYSTYKA WSPÓLCZYNNIKÓW REGRESJI

NUMER	ORYGINALNY	STANDARDOWY	ODCHYLENIE	STATYSTYKA-T	ISTOTNOSC
*	*	*	*	*	*
* 1	* 35960	* 0,6507	* 56397	* 66107	* 509847
* 2	* 68302	* 0,0707	* 68712	* 99534	* 321589

WSPÓLCZYNNIK R(0) = 1,03562
 WSPÓLCZYNNIK KORELACJI R = 186067

WYNIKI WYNIKÓW

TABELA ANALIZY WARIANCJI

ZMIENNOSC	STOPNIE	SUMA	SREDNIA	WARTOSC	ISTOTNOSC
* SPORODY	* KUADRATOW	* KUADRATOW	* FUNKCJI F		
REGRESJA	1	6.21674	6.21674	1.84608	.176789
ODCHYLENIE	120	404.10514	3.36754		
CALKOWITA	121	410.32188	3.39100		

CHARAKTERYSTYKA WSPOLCZYNNIKOW REGRESJI

NUMER	ORGINALNY	STANDARDOWY	ODCH. STAND.	STATYSTYKA-T	ISTOTNOSC
2	.85924	.12300	.63239	1.35870	.176789

WSPOLCZYNNIK R(0) = 2.15813
 WSPOLCZYNNIK KORELACJI R = .123030

CHARAKTERYSTYKA REDUKCJI KOLEJNYCH MODELI

LICZBA	NUMER ZM.	POZIOM	ISTOTNOSC	TESTOW	WSPOLCZYNNIK
* W MODELU	* ISTOTNEJ	* CZASTKOWEGO	* OGOLNEGO	* DETERMINACJI	
2	1	.509847	.524172	1.875436	