

# **DOSTOSOWANIE KŁAWIATURY KOMPUTERA DO POTRZEB OSOBY Z DYSFUNKCJĄ MANUALNĄ**

*Leszek Lorens, krulon@o2.pl*

*Krzysztof Jassem, jassem@amu.edu.pl*

*Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Poznań*

## **Streszczenie**

Praca omawia zagadnienie niestandardowej obsługi komputera przez osobę z niesprawnością manualną. W pierwszej części omówione są wybrane rozwiązania technologiczne w zakresie wspierania niepełnosprawnych użytkowników komputerów. Autorzy wskazują na decydujące znaczenie indywidualizacji stosowanych rozwiązań. W drugiej części omówiony jest autorski projekt „Zmodyfikowana klawiatura osobista”. Projekt został opracowany przez jednego z autorów niniejszej pracy, który, wobec niemożności skorzystania z dostępnych urządzeń wspierających, przeprogramował klawiaturę numeryczną, dostosowując ją ściśle do swoich potrzeb. Przedstawione są wyniki testów funkcjonalnych dostosowanej klawiatury ze wskazaniem na ergonomiczne aspekty pracy ze zmodyfikowanym sprzętem.

W podsumowaniu autorzy stawiają tezę, że optymalizacja warunków pracy poprzez dostosowanie rozwiązań do indywidualnej postaci dysfunkcji może mieć decydujące znaczenie dla aktywności zawodowej osoby niepełnosprawnej.

## **ADAPTATION OF THE COMPUTER KEYBOARD TO THE NEEDS OF MANUALLY DISABLED PEOPLE**

### **Abstract**

The paper discusses the issue of non-standard computer use by a manually disabled person. The first part of the paper discusses selected technological solutions that support disabled computer users. The authors point out the significance of the individualised approach in the designed solutions. The second part presents a project “Modified Personal Keyboard”. The project was developed by one of the authors of the paper, who, due to the lack of supporting devices appropriate for his disability, re-implemented the functions of the numerical keyboard in order to adapt it to his specific needs. The paper presents the results of functional tests as well as the conclusions on the ergonomic aspects of the device.

The authors conclude that the optimization of work conditions by adapting the supporting devices to the individual form of the dysfunction may prove decisive for the professional activity of the disabled person.

### **Słowa kluczowe**

niestandardowe urządzenia wprowadzania danych, osoby niepełnosprawne manualnie

## **1. Wprowadzenie**

Niepełnosprawność motoryczna często jeszcze jest czynnikiem wykluczającym całe grupy ludzi z życia społecznego i zawodowego. Można to zmienić poprzez wyposażenie osób niepełnosprawnych w odpowiednie środki informatyczne, które umożliwią naukę i pozwolą na wykorzystanie zdobytych

kwalifikacji do podjęcia pracy zawodowej. W wielu przypadkach zdolności i indywidualne predyspozycje niepełnosprawnej osoby mogą się ujawnić dopiero dzięki wykorzystaniu odpowiednich narzędzi i pracy w optymalnych warunkach. Kluczowe znaczenie ma w tym względzie precyzyjne określenie możliwości funkcjonowania człowieka z konkretną postacią dysfunkcji, połączone z bardzo szczegółową analizą wytworzonych indywidualnie mechanizmów kompensacyjnych. Pozwala to na dobór właściwego oprzyrządowania oraz stworzenie takiego środowiska pracy, które osobie niepełnosprawnej pozwoli działać w warunkach porównywalnych z tymi, w jakich pracują osoby zdrowe.

Czasami jednak oferta sprzętu i oprogramowania adresowana do osób z zaburzeniami motorycznymi nie jest wystarczająca, aby odpowiedzieć na zapotrzebowania tych użytkowników, których niepełnosprawność ma postać dysfunkcji wielorakich. Tak bywa w przypadku osób z mózgowym porażeniem dziecięcym, u których współwystępować mogą zaburzenia zarówno motoryczne, jak też sensoryczne. W takich sytuacjach znalezienie odpowiednich środków, trafny wybór technologii w wyposażeniu stanowiska pracy może się okazać dużym wyzwaniem. Istnieją już wprawdzie wypracowane standardy techniczne rozwiązań wspierających niepełnosprawnych użytkowników komputerów, jednak w przypadku osób z ciężkimi zaburzeniami motoryki konieczne jest poszukiwanie rozwiązań niestandardowych. Może to być niezbędne zarówno w stosunku do zastosowanych środków informatycznych, jak też w odniesieniu do warunków pracy czy wreszcie w określaniu wymagań stawianych osobie niepełnosprawnej na proponowanym stanowisku. W każdym z tych odniesień ujawnienie potencjału zawodowego, zdolności czy predyspozycji osoby niepełnosprawnej warte jest wychodzenia poza standardy.

Optymalizacja warunków pracy, wykorzystanie dostępnych środków i narzędzi informatycznych w sposób oczywisty zwiększa szansę osób niepełnosprawnych ruchowo na aktywność zawodową oraz w znaczącym stopniu przyczynia się do zmiany jakości ich życia.

## **2. Technologie informatyczne wspomagające osoby z niepełnosprawnością motoryczną**

### **2.1 *Niestandardowe możliwości obsługi komputera przez użytkowników z dysfunkcjami ruchowymi***

Na poziomie oprogramowania obsługa komputera może być wspomagana poprzez wybór opcji ułatwień dostępu, które są zawarte wewnątrz systemów operacyjnych. Z tego poziomu możliwe jest zastępowanie ruchów myszy klawiszami strzałek czy używanie klawiatury ekranowej. Jednak osoby mające problemy z obsługą standardowych urządzeń wejścia często nie są w stanie skorzystać z tych ułatwień bez pomocy specjalistycznego sprzętu. Konieczne jest w takich przypadkach oprzyrządowanie mogące zastąpić kontrolery wymagające sprawności dłoni i palców. Nowoczesne technologie informatyczne

tworzą w tym zakresie różnorodne rozwiązania. W katalogach firm produkujących urządzenia wspomagające osoby niepełnosprawne można znaleźć manipulatory zastępujące typową mysz komputerową, myszy sterowane ruchem głowy, ruchem oczu, klawiatury ekranowe, a także całe systemy będące alternatywą dla standardowych kontrolerów, jakimi są mysz i klawiatura.

Wśród urządzeń zastępujących funkcję myszy znajduje się Head Mouse Extreme (rys. 1).



**Rys. 1.** Head Mouse Extreme

Źródło: <http://www.harpo.com.pl>

Jest to niewielkich rozmiarów urządzenie, które podłącza się przez USB i montuje nad monitorem komputera. Na czole użytkownika umieszczana jest kropka śledząca ruchy kursora, a czytnik monitora rejestruje te ruchy. Wykorzystywany jest tu odbiornik podczerwieni. Oprogramowanie symulujące funkcje myszy pozwala „naciskać” na przyciski w wybranym miejscu.

Ruchami głowy można obsługiwać komputer również za pomocą innych urządzeń, jak np. Camera Mouse [8], gdzie na podstawie obrazu twarzy rejestrowanego przez wbudowaną kamerę, możliwe jest sterowanie kursorem myszy oraz realizacja kliknięcia ruchem głowy.

Ruchami głowy lub twarzy można też uruchamiać mysz za pomocą programów takich jak: Enable Viacam [4] oraz Magic Kursor (dostępne w ofercie razem z urządzeniem Tracker Pro) [3].

Technologie informatyczne oferują też rozwiązania pozwalające symulować funkcje myszy poprzez ruch samych tylko oczu. Warto wskazać tutaj na program Mrugomysz będący częścią urządzenia Blink-It wykorzystujący czujnik mrugnięć (rys. 2) oraz programy oparte na technologii eyetrackingu (śledzenia ruchu gałek ocznych) stosowane w urządzeniu EyeTech TM 4 (rys. 3).



**Rys. 2.** Czujnik mrugnięć systemu Blink-It

Źródło: <http://www.ober-consulting.com/product/blink-it/>



**Rys. 3.** EyeTech TM4 podłączone do monitora

Źródło: [http://www.harpo.com.pl/index.php?prtlid=1098&kat\\_id=164](http://www.harpo.com.pl/index.php?prtlid=1098&kat_id=164)

Innym sposobem sterowania myszą jest wykorzystanie ruchu ust. Zassanie i dmuchnięcie umożliwia odpowiednio klikanie prawym lub lewym przyciskiem myszy, a najdrobniejszy ruch warg porusza kursor na ekranie. Obsługa kontrolera ruchami warg jest możliwa dzięki takim urządzeniom, jak Exelon Mouse [3] czy Integra Mouse Plus [3].

Warto zwrócić uwagę na opracowany niedawno System Sensor [9]. Jest to zespół urządzeń pozwalający, za pomocą czujników poruszanych drobnym ruchem mięśni, np. twarzy lub kończyny, sterować dołączonym zestawem dżojstyków oraz obsługiwać klawiaturę ekranową. Potencjalny użytkownik musi jedynie móc kontrolować minimalny choćby ruch mięśni dowolnej części twarzy lub kończyny, oraz precyzyjnie skupiać wzrok na ekranie (rys. 4).



**Rys. 4.** Przykład czujnika zamontowanego w pobliżu ust

Źródło: <http://systemsensor.pl>

Jeżeli użytkownik ma dobrze zachowaną sprawność artykulacyjną, możliwe jest sterowanie komputerem za pomocą mowy. Dostępne są w tym zakresie programy oparte na systemach rozpoznawania mowy takie jak np. SkryBot [7] (jego bezpłatną wersję demonstracyjną do rozpoznawania mowy polskiej można pobrać pod adresem: <http://skrybotdomowy.sourceforge.net>.) Innym programem, wykorzystującym do obsługi komputera mowę w połączeniu z ruchami głowy, jest opracowany przez polskich studentów Face Controller [2].

Oprócz oprogramowania i urządzeń alternatywnych dla myszy, osoby niepełnosprawne mają do dyspozycji różnego rodzaju klawiatury, od ekranowych po specjalistyczne, przeznaczone dla użytkowników z różnymi manualnymi ograniczeniami, np. dla osób jednoręcznych (rys. 5).



**Rys. 5.** Klawiatura Maltron dla osób praworęcznych

Źródło: <http://maltron.com/keyboard-info/single-hand-keyboards>

Szczególnym wyzwaniem dla technologii informatycznych są sytuacje dotyczące obsługi komputera przez użytkowników pozbawionych możliwości wykonania jakiegokolwiek ruchu. Istnieją rozwiązania, w których komunikacja człowieka z maszyną jest możliwa dzięki zastosowaniu interfejsów mózg-komputer (brain-computer interfaces – BCI) [5]. W takich rozwiązaniach wykorzystuje się badanie elektrofizjologicznej aktywności mózgu. Pomiar tej aktywności może się odbywać dwojako: poprzez wszczepienie elektrod bezpośrednio do kory mózgowej lub poprzez przetwarzanie sygnałów zarejestrowanych podczas badania EEG. Badanie zapisu EEG jest częściej wykorzystywane jako pomiar nieinwazyjny. Kiedy osoba badana skupia wzrok na wybranym polu urządzenia generującego migoczące światło, w obszarze kory wzrokowej mózgu pojawia się sygnał o określonej częstotliwości. Analiza widma tego sygnału pozwala ustalić, na co badana osoba patrzyła, a nawet, jakie działanie miała na myśli. W ten sposób możliwe jest wyodrębnienie sygnałów pozwalających na sterowanie urządzeniami. Kluczowa jest w tym wypadku rola wzroku jako narzędzia odbioru bodźców. Sygnały odbierane są jednocześnie z wielu elektrod umieszczonych na powierzchni skóry głowy osoby badanej. Sygnały EEG w bardzo krótkim czasie (mierzonym w milisekundach) odwzorowują zmieniające się stany mózgu, w związku z czym sterowanie komputerem w taki sposób może być o wiele szybsze niż tempo sterowania używanymi powszechnie kontrolerami, jak mysz czy klawiatura.

## **2.2. Proste rozwiązanie alternatywą dla zaawansowanych technologii**

Urządzenia mające wspomagać w obsłudze komputera osobę ze znaczną dysfunkcją motoryki, powinny zostać bardzo precyzyjnie dostosowane do stopnia i postaci niepełnosprawności tej osoby. Konieczna jest dokładna analiza zarówno czynników decydujących o możliwościach ruchowych kończyn i poszczególnych partii ciała, jak też czynników ograniczających te możliwości. Na przykładzie konkretnego użytkownika, pokażemy jak bardzo postać niepełnosprawności wpływa na możliwość lub niemożliwość skorzystania z technologicznie zaawansowanych rozwiązań.

Autor niniejszego artykułu z powodu mózgowego porażenia dziecięcego ma znaczną dysfunkcję motoryki, objawiającą się ruchami mimowolnymi kończyn i całego ciała. Nieustanne wymachy rąk są na tyle silne, że ręce trzeba przypinać pasami, aby możliwe było ustawienie ciała w pozycji siedzącej. Mimo stabilizacji na wózku inwalidzkim, ciało ciągle jest w ruchu. Dłonie i palce wykonują dystoniczne zgięcia i wyprosty. Kończyny są pozbawione funkcjonalności własnych, ponadto wytrącają też z równowagi cały tułów. Autor nie jest przez chorobę unieruchomiony ani sparaliżowany, wręcz przeciwnie – problemem jest nieustanny nadmierny ruch. Dodatkowym zaburzeniem jest spastyka aparatu artykulacyjnego, przez co niewyraźna jest mowa. Wszystko to wyklucza zastosowanie urządzeń wspomagających manualną obsługę komputera, a także utrudnia wypracowanie mechanizmów kompensacyjnych mogących zrównoważyć zaburzoną motorykę rąk.

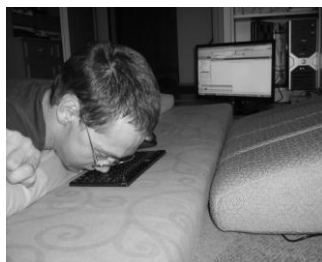
Wobec ograniczeń manualnych autor poszukiwał innego rozwiązania mogącego pomóc mu w komunikacji człowiek-komputer. W toku poszukiwań próbował wykorzystać funkcję ruchu oczu w urządzeniach wbudowanych w system Blink-It oraz próbował obsługi programu B-Link [8]. Jednak przeszkodą nie do pokonania okazała się niemożność osiągnięcia płynnego i bardzo precyzyjnego ruchu oczu oraz wymaganych znikomych ruchów głowy, które pozwoliłyby sterować kontrolerem, utrzymując kursor w granicach obszaru monitora. Zaburzenia artykulacji z kolei wykluczyły zastosowanie programów opartych na rozpoznawaniu mowy. Niemożliwe okazało się też użycie urządzeń wykorzystujących ruchy warg. Nadmierne i mimowolne ruchy nie dają też szansy na obsługę czujników w rozwiązaniu System Sensor, który prawidłowo działa tylko przy nieznacznym ruchach.

W tej sytuacji pozostało przeanalizowanie ruchów głowy jako jedynej części ciała, której motoryka w pewnym stopniu daje się kontrolować. Próby pokazały, że możliwe jest kontrolowanie pojedynczych ruchów głową, co pozwala z bliskiej odległości trafiać nosem i brodą w klawisze. Możliwe także jest poruszanie kulki trackballa po bezpośrednim dotknięciu jej brodą lub inną częścią twarzy. Trafianie w klawisze jest przy tym możliwe tylko wówczas, kiedy klawiatura znajduje się tuż przed twarzą. Wcześniejsze próby trafiania w klawisze z większej odległości, wskaźnikiem umieszczonym na opasce zamocowanej na głowie, kończyły się niepowodzeniem, podobnie jak

kontrolowanie kursora głową z odległości bez wskaźnika. Wykorzystanie więc ruchów głowy w tym przypadku było możliwe jednak pod pewnymi warunkami:

- klawiatura i mysz musi się znajdować w takiej odległości od głowy, aby możliwe było ich dotykanie bezpośrednio częściami twarzy,
- ekran monitora musi mieć standardowe rozmiary i być umieszczony w odległości takiej jak na typowych stanowiskach komputerowych,
- konieczne jest zabezpieczenie gwałtownych ruchów rąk.

Dodatkowym wymaganiem było to, aby w przypadku dłuższego czasu pracy autor miał możliwość zmiany pozycji ciała w sytuacji zmęczenia, bez potrzeby wzywania pomocy opiekuna. W związku z tym konieczne było przystosowanie stanowiska pracy tak, aby użytkownik mógł obsługiwać kontrolery w pozycji leżącej na brzuchu. Komputer wraz z monitorem umieszczono na podłodze. Przed monitorem w wymaganej odległości położono materace, na których możliwe jest swobodne leżenie w pozycji na brzuchu, a w przypadku zmęczenia – krótka przerwa i zmiana pozycji ciała na inną. Pozycja leżenia na brzuchu blokuje też skutecznie większość mimowolnych ruchów rąk. Kluczowe urządzenia sterujące, czyli mysz z trackballem i klawiatura znajdują się przed twarzą autora (rys. 6). Na tak urządzonym stanowisku autor może z powodzeniem obsługiwać komputer.

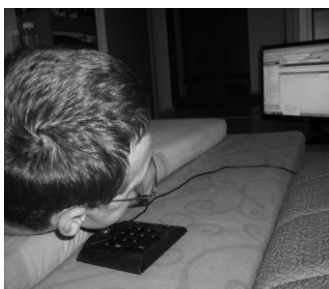


**Rys. 6.** Obsługa komputera w pozycji leżenia na brzuchu  
*Źródło: Opracowanie własne*

Po pewnym okresie stosowania tej techniki pojawiły się problemy w pracy. Wychylenie głowy i szyi w celu osiągnięcia skrajnie położonych klawiszy powodowało ból szyjnej części kręgosłupa, zwłaszcza po wielu godzinach pracy. Ponadto konieczne było opracowanie rozwiązania pozwalającego na korzystanie z komputera również w dowolnym miejscu w pozycji siedzącej.

Tak powstał pomysł modyfikacji klawiatury numerycznej, która miała zastąpić używaną przez autora klawiaturę standardową. Celem było ograniczenie wychyleń głowy i szyi przez zmniejszenie rozmiarów klawiatury oraz zastosowanie trackballa wbudowanego w tę klawiaturę. (Należy przy tym podkreślić, że fakt naciskania klawiszy nosem i brodą ogranicza w pewien sposób możliwość zmniejszania samych klawiszy – nie mogą być one tak małe, jak np. w telefonie komórkowym). Dlatego postanowiono zastosować klawiaturę o znacznie zmniejszonej powierzchni całkowitej, z zachowaniem jednak rozmiaru klawiszy i modyfikacji ich funkcji. Takie warunki mogły zostać

spełnione przy użyciu klawiatury numerycznej i zmianie funkcjonalności poszczególnych jej klawiszy. Wybrano prosty model takiej klawiatury z wbudowanym trackballem (rys. 7).



**Rys. 7.** Obsługa klawiatury numerycznej z trackballem

*Źródło: Opracowanie własne*

Aby klawiatura numeryczna mogła przejąć wszystkie funkcje standardowej klawiatury alfanumerycznej, została przez autora przeprogramowana. W taki sposób powstało indywidualnie dostosowane narzędzie niestandardowej obsługi urządzeń wejścia.

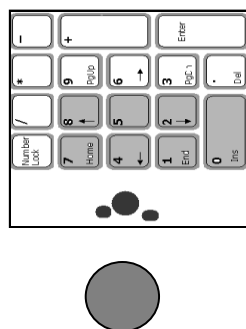
### **3. Zmodyfikowana klawiatura osobista**

#### **3.1. Opis szczegółowy modyfikacji klawiatury**

Przedstawiony schemat klawiatury (rys. 8) w układzie bocznym pokazuje, że w takim właśnie położeniu względem głowy autora znajduje się ona podczas pracy (małe czarne plamki na obudowie oznaczają kulkę trackballa i przyciski, duże kółko przed klawiaturą oznacza głowę obsługującego). Klawisze oznaczone szarym odcieniem są w takim ustawieniu najbliższe głowie, a to z kolei jest zależne od położenia trackballa na obudowie klawiatury. Nie można jednak wykluczyć, że aktualnie używany model klawiatury ulegnie uszkodzeniu i trzeba go będzie zastąpić innym, w którym trackball będzie wbudowany w innym miejscu. W takiej sytuacji autor, chcąc dosięgnąć głową kulki będzie zmuszony odwrócić klawiaturę, wskutek czego najbliższe głowie znajdą się inne klawisze niż te, które były najbliższe w poprzednim modelu. Stwarzałoby to dużą trudność w obsłudze, ponieważ w sytuacji osoby z opisywanymi dysfunkcjami głowa, będąca „narzędziem” obsługującym urządzenie, porusza się jedynie w ograniczonym zasięgu.

Warto też założyć możliwość przetestowania układów z kilkoma różnymi położeniami trackballa w celu znalezienia rozwiązania optymalnego dla autora. Modyfikacja klawiatury musi więc uwzględnić wymaganie, aby przy dowolnym odwróceniu klawiatury klawisze używane najczęściej znalazły się najbliższe głowie autora.



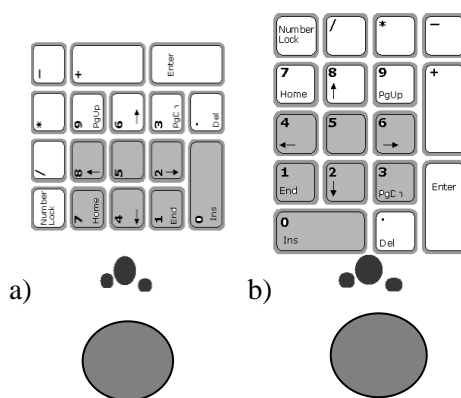


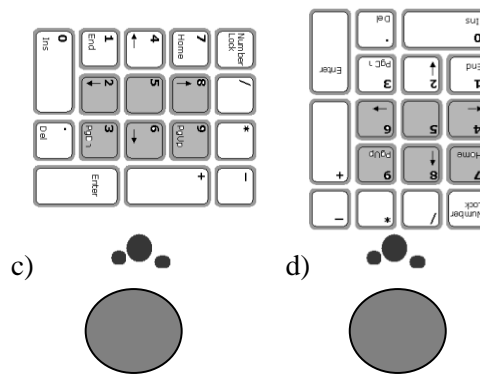
**Rys. 8.** Schemat klawiatury w układzie bocznym  
*Źródło: opracowanie własne*

Realizację wyżej opisanych założeń poprzedziło zdefiniowanie wymagań funkcjonalnych, a także analiza problemów, jakie trzeba będzie rozwiązać, aby osiągnąć optymalne przystosowanie klawiatury do użytku przez osobę pozbawioną sprawności manualnych. Modyfikacja urządzenia polega na zmianie funkcji każdego z dziesięciu klawiszy numerycznych. Klawisze te w zmodyfikowanej wersji będą używane nie pojedynczo, ale jako kombinacje dwuklawiszowe.

Kombinacje dwóch klawiszy pozwalają na zakodowanie  $10^2$  znaków, co pozwala zmieścić minimum znaków potrzebnych do wykorzystania przez autora podczas pracy ze zmodyfikowaną klawiaturą. Każdej z kombinacji został przypisany znak lub ciąg znaków. Przypisania te różnią się dla różnych modeli klawiatur.

Dla wygody pracy różne modele klawiatur muszą być tak odwrócone w stosunku do użytkownika, aby kulka trackballa znajdowała się najbliżej głowy. Przyjęto, że mogą wystąpić cztery modele usytuowania trackballa na obudowie klawiatury (rys. 9):





Rys. 9. Cztery modele usytuowania trackballa na obudowie klawiatury  
*Źródło: opracowanie własne*

W celu ustalenia szczegółów i kolejnych kroków realizacji przypisać każdy z możliwych układów klawiatury zobrazowany został jako 10-elementowa **lista L**. Elementami *listy L* są klawisze klawiatury numerycznej. Indeksacja elementów listy odpowiada ich kolejności wyznaczonej według najłatwiej dostępnego, przy danym położeniu klawiatury. Listy poszczególnych układów zdefiniowano następująco:

- układ a)  $L = [ \mathbf{0} \mathbf{1} \mathbf{2} \mathbf{4} \mathbf{5} \mathbf{7} \mathbf{8} \mathbf{3} \mathbf{6} \mathbf{9} ]$ ,
- układ b)  $L = [ \mathbf{0} \mathbf{1} \mathbf{2} \mathbf{3} \mathbf{4} \mathbf{5} \mathbf{6} \mathbf{7} \mathbf{8} \mathbf{9} ]$ ,
- układ c)  $L = [ \mathbf{3} \mathbf{6} \mathbf{9} \mathbf{2} \mathbf{5} \mathbf{8} \mathbf{1} \mathbf{4} \mathbf{7} \mathbf{0} ]$ ,
- układ d)  $L = [ \mathbf{7} \mathbf{8} \mathbf{9} \mathbf{4} \mathbf{5} \mathbf{6} \mathbf{1} \mathbf{2} \mathbf{3} \mathbf{0} ]$

(pogrubioną czcionką zaznaczono najłatwiej dostępne klawisze).

Cały zbiór klawiszy numerycznych określono jako **zbiór K**. Minimalny zbiór klawiszy, do których w danym układzie jest najbliższy dostęp oznaczono jako **zbiór minK**.

Przy kombinacji dwuklawiszowej, wykorzystując tylko 6 najłatwiej dostępnych klawiszy, możliwe jest zakodowanie (przypisanie) 36 znaków lub ciągów znaków. Do sprawnego pisania za pomocą klawiatury numerycznej należało zakodować zestaw 62 znaków (ciągów znaków) przedstawionych w Tabeli 1. Zostały one wyznaczone przez autora metodą heurystyczną.

Tabela 1. Tabela zbioru **Z** (podstawowe zestawy znaków)

Ciąg znaków	#
Alfabet łaciński	26
Cyfry arabskie	10
Ctrl+Alt+Del, Ctrl+c, Ctrl+v	3
Crtl, Alt, Shift, Home, Insert, End	6
nawiasy	4
strzałki	4
, ' " ' `	5
= \	2
spacja, znak tabulacji	2

*Źródło: opracowanie własne*

Założono, że wielkie litery oraz polskie znaki diakrytyczne uzyskuje się przez kombinację klawiszy shift/alt+litera. W zestawie 62 znaków nie ma też znaków: *escape*, *slash*, *gwiazdka*, *backspace*, *minus*, *plus*, *przecinek* oraz *enter*. Te znaki pozostaną aktywne pod jednym klawiszem (nie będą podlegały modyfikacji). Nie zakodowano również przecinka, ponieważ w polskim układzie klawiatury znak ten uzyskuje się przez naciśnięcie kropki na klawiaturze numerycznej. Zestaw 62 znaków oznaczono jako **zbiór Z**.

Wszystkich znaków ze zbioru Z nie można jednak przypisać do dwukombinacji klawiszy ze zbioru minK, zatem ze zbioru Z wybrano podzbiór 36 znaków najczęściej używanych podczas pisania. Oznaczono je jako podzbiór **M**. Wyboru dokonano w oparciu o tabelę częstotliwości występowania liter alfabetu polskiego w tekście [1], dodając do zbioru oprócz liter, najbardziej potrzebne znaki interpunkcyjne i znaki specjalne. Powstały w ten sposób 36-elementowy podzbiór **M** ma zawartość odpowiadającą znakom umieszczonym w tabeli przypisań TM (Tab. 2).

**Tabela 2.** Tabela przypisań TM

L(0) L(0) = space	L(2) L(0) = ctrl	L(4) L(0) = ''+lewo
L(0) L(1) = ctrl-c	L(2) L(1) = c	L(4) L(1) = ()+lewo
L(0) L(2) = alt	L(2) L(2) = e	L(4) L(2) = {}+lewo
L(0) L(3) = shift	L(2) L(3) = s	L(4) L(3) = []+lewo
L(0) L(4) = ""'+lewo	L(2) L(4) = d	L(4) L(4) = o
L(0) L(5) = .	L(2) L(5) = k	L(4) L(5) = b
L(1) L(0) = ctrl-v	L(3) L(0) = ;	L(5) L(0) = \
L(1) L(1) = a	L(3) L(1) = m	L(5) L(1) = p
L(1) L(2) = z	L(3) L(2) = t	L(5) L(2) = tab
L(1) L(3) = n	L(3) L(3) = i	L(5) L(3) = '='
L(1) L(4) = r	L(3) L(4) = j	L(5) L(4) = y
L(1) L(5) = w	L(3) L(5) = l	L(5) L(5) = u

Źródło: opracowanie własne

W Tabeli 2. indeksy oznaczają numer elementu na liście L dla odpowiedniego układu klawiszy (rozpoczynając od indeksu 0). Na przykład litera 'w' realizowana jest przez kombinację klawiszy L(1) L(5), co oznacza odpowiednio:

- kombinację klawiszy 1-7 dla układu klawiatury a)
- kombinację klawiszy 1-5 dla układu klawiatury b)
- kombinację klawiszy 6-8 dla układu klawiatury c)
- kombinację klawiszy 8-6 dla układu klawiatury d).

Formuła „+lewo” oznacza powrót kursora o jedną pozycję w lewo po wpisaniu ciągu znaków, np. []+lewo oznacza wypisanie obu znaków nawiasów kwadratowych i powrót kursora przed znak ].

Pozostałe 26 znaków zbioru Z określono jako podzbiór **P**, którego zawartość odpowiada znakom z tabeli przypisań TP (Tab. 3). Znaki zostały przypisane do indeksów odpowiadających kombinacjom różnych klawiszy z całego zbioru K.

**Tabela 3.** Tabela przypisań TP

L(0) L(7) = End	L(2) L(7) = g	L(6) L(1) = strzałka w górę
L(0) L(8) = Home	L(9) L(8) = <>+lewo	L(6) L(2) = strzałka w dół
L(0) L(9) = Ctrl+Alt+Del	L(2) L(9) = v	L(6) L(3) = strzałka w lewo
L(1) L(7) = h	L(7) L(4) = 4	L(6) L(4) = strzałka w prawo
L(1) L(8) = insert	L(7) L(5) = 5	L(7) L(9) = 9
L(1) L(9) = q	L(3) L(7) = f	L(9) L(9) = `
L(7) L(0) = 0	L(3) L(8) = x	
L(7) L(1) = 1	L(6) L(7) = 6	
L(7) L(2) = 2	L(7) L(7) = 7	
L(7) L(3) = 3	L(7) L(8) = 8	

*Źródło: opracowanie własne*

Ponadto zastosowano kodowanie tzw. „akcji pustej”, czyli operacji stosowanej wtedy, kiedy pierwszy z klawiszy kombinacji zostanie błędnie naciśnięty. Jeśli pomyłkowe wprowadzenie pierwszego klawisza kombinacji zostanie zauważone, to użytkownik ma do dyspozycji kombinację błędnie wciśniętego klawisza z klawiszem odpowiadającym indeksowi 6 na liście L. Ta operacja generuje „akcję pustą” i bez wyprowadzania na ekran jakiegokolwiek znaku powoduje powrót do oczekiwania na użycie właściwej kombinacji.

### **3.2. Funkcjonalności zmodyfikowanej klawiatury osobistej**

Zmodyfikowana klawiatura osobista posiada szerszy zakres funkcjonalności niż standardowa klawiatura alfanumeryczna. Te funkcjonalności zostały zaprogramowane tak, aby w najdrobniejszych szczegółach odpowiadały potrzebom konkretnego użytkownika. Przyczynia się to do zwiększenia tempa pracy autora, minimalizacji jego wysiłku oraz ogólnej poprawy ergonomii indywidualnego stanowiska obsługi komputera.

W szczególności, program modyfikujący obsługę klawiatury numerycznej pozwala na wykonanie następujących operacji:

- wybór układu klawiszy względem położenia trackballa na obudowie,
- wprowadzanie liter alfabetu łacińskiego z polskimi znakami diakrytycznymi,
- wprowadzanie cyfr oraz znaków specjalnych,
- wprowadzanie wieloelementowych ciągów znaków,
- używanie klawiszy funkcyjnych,
- definiowanie nowych ciągów znaków wraz z ich przypisywaniem do kombinacji klawiszy,
- zmianę istniejących ciągów znaków,
- wyświetlanie listy znaków przypisanych.

Jako domyślny zaprogramowany został układ klawiatury zgodny z układem a) na Rys. 9.

W sytuacji, kiedy konieczna jest zmiana modelu klawiatury, na którym trackball jest w innym miejscu na obudowie, autor może odwrócić klawiaturę, aby łatwo dosięgnąć kulki. Odpowiednio do tego obrotu wybiera wówczas układ klawiatury a), b), c) lub d). W wybranym układzie program wyświetla okno przedstawiające sposób przypisań znaków do odpowiednich klawiszy.

Wprowadzanie znaków lub ciągów znaków odbywa się poprzez wciśnięcie dwuklawiszowej kombinacji. Program określa indeksy listy L, pod którymi znajdują się wciśnięte klawisze, po czym sprawdza, czy w tablicy przypisań pod danymi indeksami znajduje się ciąg znaków. Jeśli tak jest, wysyła go na ekran.

Podczas definiowania nowych ciągów znaków autor w wyświetlonym oknie „nowy znak” wybiera parę klawiszy oraz wprowadza ciąg znaków. Program określa indeksy listy L, pod którymi znajdują się wybrane klawisze, po czym sprawdza, czy na liście L pod określonymi indeksami znajduje się jakiś ciąg znaków. Jeśli nie – przypisuje tym indeksom nowo zdefiniowany ciąg znaków.

Program posiada też możliwość wyświetlania listy dostępnych znaków po wprowadzeniu pierwszego klawisza kombinacji. Jest to pomocne na pierwszym etapie korzystania z nowej wersji klawiatury, kiedy autor jeszcze nie do końca pamięta, jakie znaki są zakodowane pod danymi klawiszami.

Przewidziana jest możliwość rozszerzania modyfikacji o dalsze funkcje takie, jak:

- sygnalizacja naciśnięcia klawisza,
- wprowadzanie znaków za pomocą kombinacji trzech klawiszy, co pozwoli kodować większą liczbę ciągów.

### ***3.3. Ergonomiczne aspekty zmodyfikowanego stanowiska pracy z komputerem***

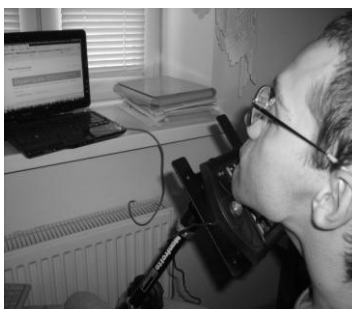
Z racji ograniczonej mobilności ciała i dolegliwości bólowych autor musi podczas pracy przyjmować na przemian pozycję leżącą oraz pozycję siedzącą.

Nowo zaprogramowana klawiatura, używana w pozycji leżącej, znacznie ogranicza dotkliwie bóle kręgosłupa. Spowodowane jest to mniejszymi rozmiarami klawiatury oraz faktem, że zawiera ona wbudowany trackball. Dzięki temu użytkownik nie musi dodatkowo głową sięgać do osobno leżącej myszy, jak to miało miejsce przy użyciu klawiatury alfanumerycznej. Dosięganie skrajnie położonych klawiszy w nowym rozwiązaniu wymaga o wiele mniejszego wysiłku, co dodatkowo wpływa na zmniejszenie napięcia mięśniowego całego ciała. Jest to znaczna poprawa ergonomii stanowiska pracy.

Używając zmodyfikowanej klawiatury autor po raz pierwszy miał możliwość samodzielnej obsługi komputera w pozycji siedzącej. Zamocowanie narzędzia na stelażu pozwala na bardzo precyzyjne ustawienie zmodyfikowanej klawiatury tak, aby wszystkie jej klawisze oraz trackball znajdowały się dokładnie na wprost twarzy użytkownika w odległości zapewniającej wygodną manipulację klawiszami (rys. 10, 11).



**Rys. 10.** Zmodyfikowana klawiatura numeryczna zamontowana na stelażu  
*Źródło: Opracowanie własne*



**Rys. 11.** Autor obsługujący zmodyfikowaną klawiaturę zamontowaną na stelażu  
*Źródło: Opracowanie własne*

Klawisze oraz trackball mieszczą się na powierzchni odpowiadającej polu kwadratu o boku 11 cm. To jest płaszczyzna, na której autor w pozycji siedzącej jest w stanie dosięgnąć brodą i nosem do każdego klawisza. Jest to szczególnie ważne, bo decyduje o możliwości obsługi komputera w pozycji siedzącej, czyli w warunkach typowych dla zdrowych osób, np. na uczelni czy w miejscu pracy.

### **3.4. Test szybkości wprowadzania danych**

Test szybkości wprowadzania znaków przeprowadzono na trzech rodzajach tekstów:

- tekst ciągły – miarą jest liczba znaków wprowadzona w ciągu 10 minut
- tekst zawierający wzory matematyczne z zastosowaniem miary, jak przy tekście ciągłym
- tekst złożony z linii kodu źródłowego w języku programowania – poza liczbą wprowadzonych znaków brano pod uwagę też liczbę linii kodu wprowadzoną w ciągu 10 minut.

Wprowadzanie odbywało się najpierw przy użyciu klawiatury standardowej, następnie przy użyciu zmodyfikowanej klawiatury numerycznej.

Każdy z testów przeprowadzono 4-krotnie przyjmując jako wynik ostateczny średnią arytmetyczną czterech uzyskanych wyników.

Zestawienie wyników przedstawiono w tabelach: (Tab. 4, Tab. 5, Tab. 6).

**Tabela 4.** Tabela wprowadzania tekstu ciągłego

Klawiatura zwykła		Klawiatura numeryczna	
Nr testu	Liczba znaków	Nr testu	Liczba znaków
1	222	1	191
2	250	2	198
3	231	3	209
4	217	4	215
średnia = 230 znaków w ciągu 10 min		średnia = 203 znaków w ciągu 10 min	

*Źródło: Opracowanie własne*

**Tabela 5.** Tabela wprowadzania tekstu z wzorami matematycznymi

Klawiatura zwykła		Klawiatura numeryczna	
Nr testu	Liczba znaków	Nr testu	Liczba znaków
1	136	1	167
2	185	2	177
3	194	3	152
4	194	4	175
średnia = 177 znaków w ciągu 10 min.		średnia = 167 znaków w ciągu 10 min.	

*Źródło: Opracowanie własne*

**Tabela 6.** Tabela wprowadzania tekstu złożonego z linii kodu programu

Klawiatura zwykła		Klawiatura numeryczna	
Nr testu	Liczba znaków/linii kodu	Nr testu	Liczba znaków/linii kodu
1	227/10	1	250/11
2	195/9	2	252/11
3	236/11	3	259/12
4	223/10	4	284/12
średnia = 220 znaków /10 linii kodu/10 min.		średnia = 261 znaków /11,5 linii kodu/10 min.	

*Źródło: Opracowanie własne*

Na podstawie wyników z Tabeli 4 oraz Tabeli 5 stwierdzono, że w ciągu 10 minut przy użyciu standardowej klawiatury wprowadzono więcej znaków tekstu ciągłego, a także więcej znaków tekstu zawierającego wzory matematyczne niż przy użyciu zmodyfikowanej klawiatury numerycznej.

Wyniki z Tabeli 6 z kolei wskazują, że przy wprowadzania tekstu złożonego z linii kodu sytuacja jest odwrotna - więcej znaków, a tym samym więcej linii kodu w tym samym przedziale czasowym wprowadzono używając zmodyfikowanej klawiatury numerycznej.

Powyższe wyniki pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- przy użyciu zmodyfikowanej klawiatury numerycznej wprowadzanie tekstu ciągłego lub tekstu z wzorami matematycznymi odbywa się nieznacznie wolniej niż przy użyciu standardowej klawiatury,

- przy użyciu zmodyfikowanej klawiatury numerycznej wprowadzanie tekstu złożonego z linii kodu programu komputerowego odbywa się szybciej niż przy użyciu standardowej klawiatury.

Testy szybkości pokazały, że przy użyciu zmodyfikowanej klawiatury numerycznej szybkość wprowadzania danych nieznacznie się zmniejszyła. Przepuszczalność jest to wynikiem zbyt małej jeszcze wprawy w korzystaniu z kombinacji klawiszy. Można założyć, że po dłuższym czasie korzystania z klawiatury szybkość pisania wzrośnie. Warto zauważyć, że pomyślnie wyniki uzyskano w przypadku wprowadzania danych w postaci znaków kodu źródłowego w języku programowania. Ma to swoje uzasadnienie w kombinacjach klawiszy zaprogramowanych przez autora specjalnie do pisania kodu. Na przykład w kodzie informatycznym często występują nawiasy, dlatego przypisano je do kombinacji klawiszy w taki sposób, aby przez naciśnięcie jednej tylko kombinacji wykonana została sekwencja otwarcia nawiasu, jego zamknięcia oraz powrotu kursora pomiędzy te nawiasy. Nie bez znaczenia dla szybkości jest też fakt, że podczas pisania kodu bardzo często używanym klawiszem jest klawisz *enter*, będący jednym z najłatwiej dostępnych na klawiaturze numerycznej.

#### **4. Podsumowanie**

W wyniku przeprogramowania klawiatury numerycznej powstało zindywidualizowane narzędzie pozwalające autorowi bez pomocy rąk swobodnie sterować urządzeniami wejścia. Opisany przykład wskazuje na ogromną rolę, jaką w organizacji stanowiska pracy odgrywa diagnozowanie możliwości funkcjonalnych konkretnej osoby. Ma to szczególne znaczenie w sytuacji osób dotkniętych niesprawnościami połączonymi. W takich przypadkach dobór odpowiedniego sprzętu wydaje się być zagadnieniem kluczowym. Jeśli przy pomocy starannie dostosowanych narzędzi komfort pracy zmienia się na tyle, że człowiek może pracować w pozycji siedzącej zamiast, jak to było wcześniej, na leżąc, to jest to zmiana podnosząca nie tylko jakość pracy, ale też jakość życia konkretnego człowieka. W tym kontekście warto, poza wymiarem osobistym, wskazać na wymiar społeczny optymalizacji warunków pracy osób niepełnosprawnych. Standardy, jakie wyznacza w tym względzie nowoczesne europejskie społeczeństwo zawarte są w dokumentach *Europejskiej Strategii w Sprawie Niepełnosprawności 2010-2020* [6]. Zapisy tych dokumentów wzywają wręcz państwa członkowskie Unii Europejskiej do znoszenia barier technicznych w celu umożliwienia osobom niepełnosprawnym efektywnego udziału w gospodarce. W walce z barierami natury technicznej potrzeby osób z wielorakimi niepełnosprawnościami stanowią dla technologii informatycznych duże wyzwanie. Warto jednak to wyzwanie ciągle na nowo podejmować, ponieważ wydaje się, że wśród osób niepełnosprawnych zgromadzony jest potencjał, który ma szansę ujawnić się dopiero po zniesieniu barier natury zarówno technicznej jak i mentalnej.



## Literatura

- [1] Częstotliwość znaków, Tabela frekwencji. Pobrano z: [http://leksykot.top.hell.pl/tech/czestotliwosc\\_znakow](http://leksykot.top.hell.pl/tech/czestotliwosc_znakow) (30.05.2014).
- [2] Face Controller, O Produkcje, Pobrano z: <http://www.face-controller.com/pl/> (2.06.2014).
- [3] Harpo, Produkty, Sprzęt wspomagający komunikację, Urządzenia zastępujące mysz komputerową, Pobrano z: [http://www.harpo.com.pl/index.php?prtlid=1098&kat\\_id=164](http://www.harpo.com.pl/index.php?prtlid=1098&kat_id=164) (4.06.2014).
- [4] Kleczek P., Opiola Ł.: Instalacje i testowanie oprogramowania „obcego” dla osób niepełnosprawnych, Koncepcja proponowanego rozwiązania, Akademia Górniczo-Hutnicza im. St.Staszica w Krakowie, Laboratorium Biocybernetyki. Pobrano z: [http://dev-kaib.agh.edu.pl/lab\\_biocyb/wojtek/download/MM133\\_WOJSOFT1.pdf](http://dev-kaib.agh.edu.pl/lab_biocyb/wojtek/download/MM133_WOJSOFT1.pdf) (4.06.2014).
- [5] Mikołajewska E., Mikołajewski D.: Neurorehabilitacja XXI wieku. Techniki Informatyczne, Impuls, Kraków 2011, s. 20-71.
- [6] Rzecznik Praw Obywatelskich, Komunikat Komisji Do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego komitetu Ekonomiczno-Społecznego I Komitetu Regionów, Europejska Strategia w sprawie niepełnosprawności 2010-2020. Pobrano z: <http://www.rpo.gov.pl/pl/content/europejska-strategia-w-sprawie-niepe%C5%82nosprawno%C5%9Bci-0> (29.05.2014).
- [7] Skrybot, Produkty, Rozpoznawanie Mowy SkryBot doMowy, Pobrano z: <http://skrybot.pl> (30.05.2014).
- [8] Strumiłło P., Materka A., Królak A.: Systemy interakcji człowiek-komputer dla osób niepełnosprawnych, Biuletyn Techniczno-Informacyjny Oddziału Łódzkiego Stowarzyszenia Elektryków Polskich, Nr 1/2011, s. 4. Pobrano z: [http://www.seplodz.pl/biuletyn/sep\\_1\\_2011.pdf](http://www.seplodz.pl/biuletyn/sep_1_2011.pdf) (6.06.2014).
- [9] System Sensor, Pierwsze kroki. Pobrano z: [http://www.systemsensor.pl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=13&Itemid=33&lang=pl](http://www.systemsensor.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=13&Itemid=33&lang=pl) (6.06.2014).