

Digitalizacja położenia elektrod dla techniki hr EEG

Tomasz Zyss^{1,2}

¹ Klinika Psychiatrii Dorosłych Collegium Medicum UJ, Kraków

² Pracownia EEG i Potencjałów Wywołanych Kliniki Neurologii, Szpital Uniwersytecki, Kraków

Streszczenie

Zaprezentowano technikę digitalizacji położenia elektrod EEG - pozwalającą na dokładne określanie realnej lokalizacji elektrod na głowie człowieka.

Wstęp

Modelowe wartości położenia idealnych elektrod EEG zwyczajowo wyliczane są dla głowy prezentowanej jako kula ($r_x=r_y=r_z$). Tymczasem głowa ma nieregularny kształt przypominający sferoidę, gdzie promień na każdej osi jest sobie nierówny ($r_x \neq r_y \neq r_z$).

Osiągnięciem wprowadzonego jako standard układu 10-20 było uniezależnienie rozlokowywania elektrod od bezwzględnych wymiarów głowy, które wykazują znaczne wahania międzypersoniczne, a ponadto ulegają zmianie w przebiegu życia osobniczego każdego człowieka. Procenty odległości na powierzchni głowy pozwalają na w miarę powtarzalne rozmieszczanie elektrod u tej samej osoby w sytuacji kolejnych badań EEG. Umożliwiają ponadto rozmieszczanie elektrod nad tymi samymi obszarami głowy - niezależnie od tego czy głowa jest mała czy też duża [2, 6, 11, 12].

Układ GSN

W ostatnich latach pojawiły się rozwiązania lokalizacji położenia elektrod będące pewną alternatywą do powszechnie stosowanego układu 10-20. Jednym z nich jest zaproponowany przez Goelza i Roeslera układ „równoodległościowy” (equidistant electrode position system) - polegający na wykorzystaniu możliwie równych odległości łukowych między poszczególnymi elektrodami. Układ ten został stworzony w oparciu o pomysł triangulacji powierzchni głowy - podobnie jak ma się to w przypadku telefonii komórkowej. W stworzeniu uśrednionej

sieci elektrod (the geodesis sensor net's average electrodes; GSN system) pomogła firma Electrical Geodesis [4]. W chwili obecnej system GSN stanowi bardziej pewną ciekawostkę naukową, niż układ mogący być zagrożeniem dla układu 10-20 [Ryc. 1].



Ryc. 1. System elektrod w równoodległościowym (equidistant) układzie GSN

Czepki elektrodowe

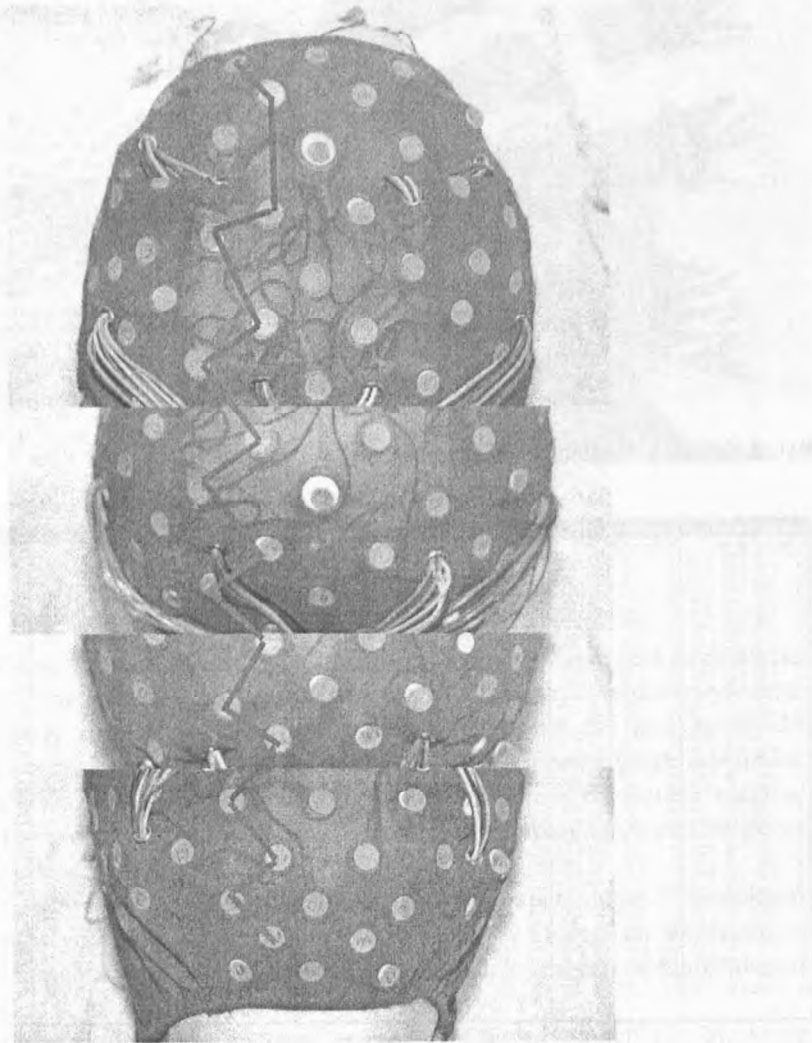
Rozmieszczanie dużej ilości elektrod sposobem ręcznym jest oczywiście niemożliwe. Z jednej strony przeszkodą byłaby precyzja rozlokowywania. Z drugiej strony czepki gumowe i elektrody grzybkowe nie nadają się do zastosowania w technice EEG dużych/wysokich rozdzielczości (high resolution EEG = hrEEG). Duże podstawki (stopki) elektrod zajmują zbyt dużo miejsca, aby móc je rozmieścić w ilości kilkudziesięciu, a nie mówiąc kilkuset sztuk na powierzchni głowy.

W tym celu posługiwać się można specjalnymi czepkami wieloelektrodowymi [5]. Elastyczny materiał czepka, w którym umieszczone są elektrody, zapewnia zachowanie stałych odległości kątowych niezależnie od wymiarów głowy, na którą czepki jest zakładany [Ryc. 2].

Dla elektrod dostępne są dane o realnych koordynatach [7, 8], które następnie są do wykorzystania w specjalnych programach do cyfrowego EEG i mapowania czynności bioelektrycznej [Ryc. 3].

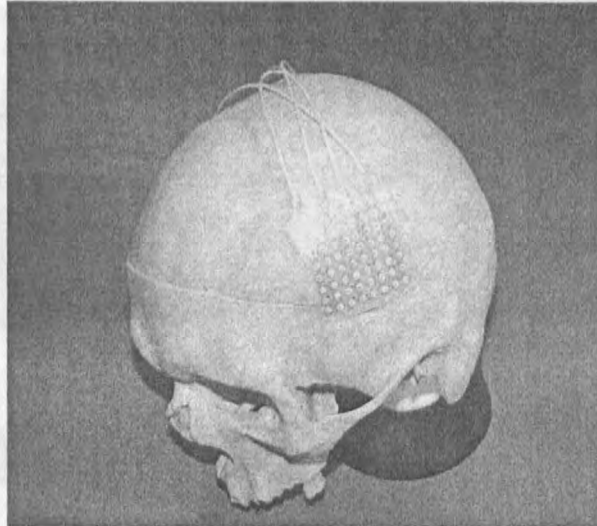
Jakość wykonania czepków wieloelektrodowych, jak również dokładność ich zakładania, ogranicza w pewnym zakresie możliwość wykorzystania metod tabelkowych.

parasagitalnej odległej o 10% odległości liniowej od osi strzałkowej X), które powinny znajdować się na jednej linii. Tymczasem elektrody znajdują się w rzeczywistości na krzywej łamanej [Ryc. 4].



Ryc. 4. Elektrody z głównych płaszczyzn XYZ

„Tabelkowe” systemy rozlokowywania elektrod nie nadają się również do definiowania położenia elektrod niestandardowych - jakimi są np. matryce elektrodowe [1], lub też elektrod lokowanych w punktach trudnych do zdefiniowania przy pomocy układu 10-20 [Ryc. 5].



Ryc. 5. 64 elektrody do elektrokortykografii (ECoG) zbudowane na prostokątnej matrycy 8x8 z odległościami międzyelektrodowymi 5 mm

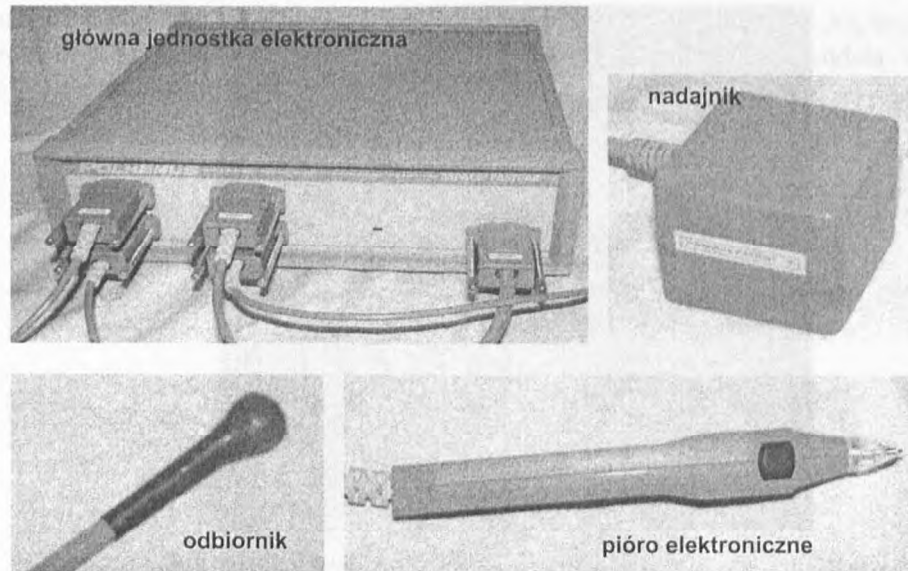
Technika digitalizacji elektrod

Rozwiązaniem poruszanych powyżej problemów jest wykorzystanie metody digitalizacji, która polega na wykorzystaniu specjalnych urządzeń - emitujących pole magnetyczne lub ultradźwięki, i umożliwiających lokalizowanie położenia elektrody z dokładnością do 2-3 mm [11, 12].

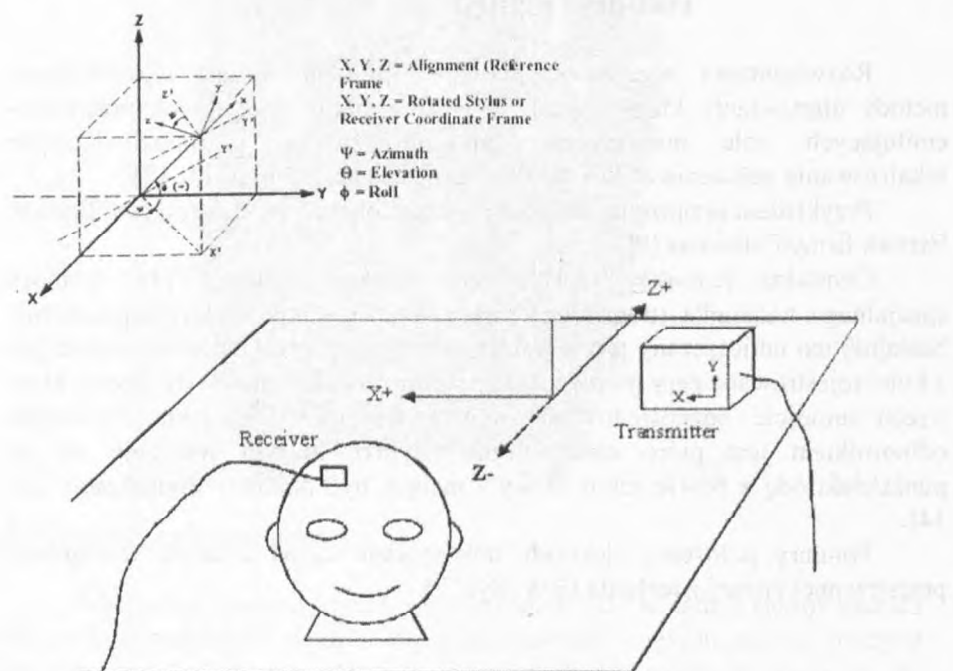
Przykładem urządzenia umożliwiającego lokalizację elektrod jest digitizer Fastrak firmy Polhemus [9].

Centralna jednostka elektroniczna systemu generuje przy pomocy specjalnego nadajnika (transmitter) niskoczęstotliwe pole elektromagnetyczne. Nadajnik ten umieszczany jest w pobliżu głowy pacjenta. Generowane pole jest z kolei rejestrowane przy pomocy 1-3 specjalnych odbiorników (receiver), które trzeba umieścić bezpośrednio na powierzchni głowy pacjenta. Czwartym odbiornikiem jest pióro elektroniczne (stylus), którym wskazuje się na punkt/elektrodę z powierzchni głowy - mający być poddany digitalizacji [13, 14].

Pomiary położenia elektrody dokonywane są na zasadzie triangulacji przestrzennej znanej z techniki GPS [Ryc. 7].

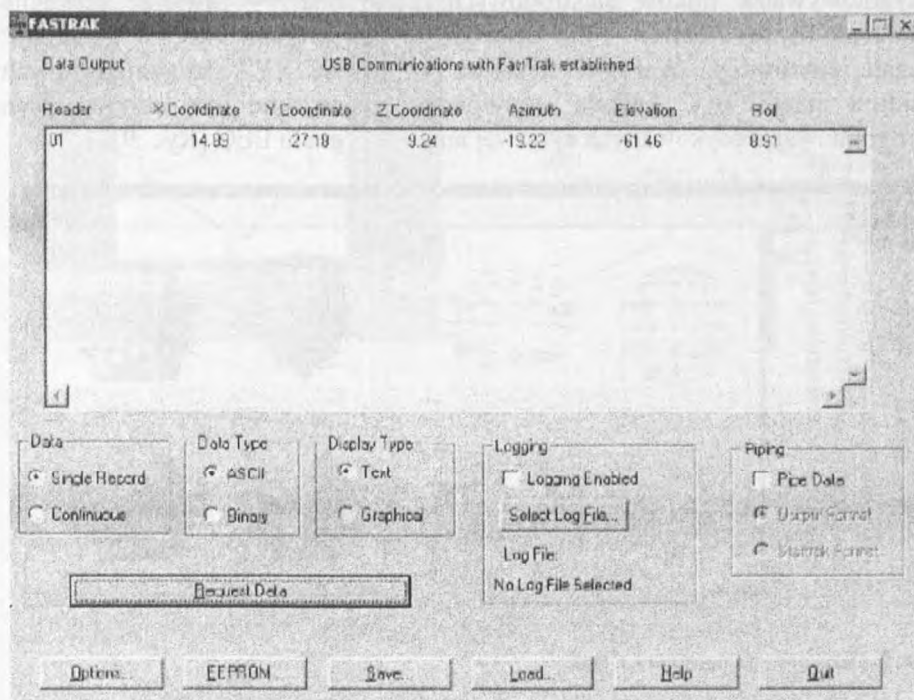


Ryc. 6. Urządzenie Fastrak typu digitizer firmy Polhemus



Ryc. 7. Ogólne zasady dokonywania pomiarów położenia elektrod przy pomocy digitalizacji

Oprogramowanie własne digitizera Fastrak digitizer jest mało przyjaznym użytkownikowi programem. Parametry położenia odbiorników - wyliczone z rachunku macierzowego - są prezentowane zbiorczo w oknie oprogramowania [Ryc. 8].



Ryc. 8. Okno oprogramowania Fastrak

Istnieją jednak specjalistyczne oprogramowania, które umożliwiają przestrzenną wizualizację wyników pomiarów elektrod EEG dla zastosowań neurofizjologicznych. Nie prezentują one położenia trzech odbiorników „kulistych”, a jedynie punkt wskazywany przez elektroniczne pióro.

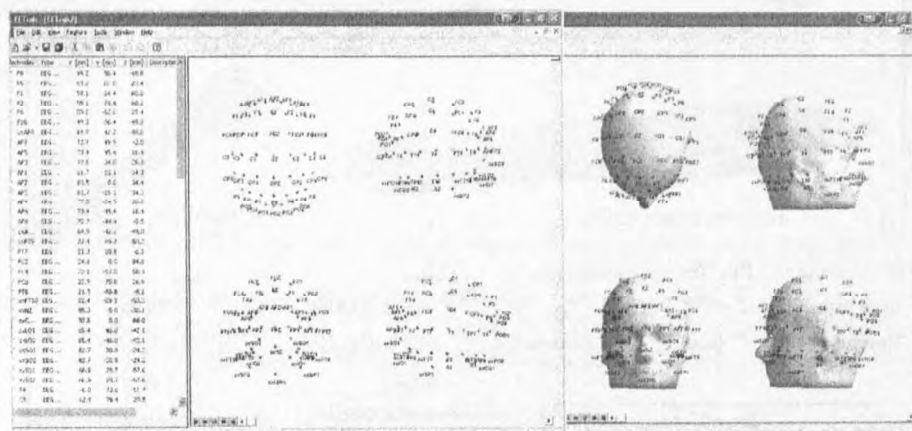
Przykładem oprogramowań współpracujących z digitizerem Fastrak może być EETrak holenderskiej firmy ANT [3] oraz Locator amerykańskiej firmy Source Signal Imaging [10].

Położenie elektrod jest w obydwu programach wyliczane w koordynatach kartezjańskich XYZ.

W programie EETrak digitalizacji dokonuje się na elektrodach znajdujących się we wcześniej przygotowanych plikach (electrode files; *.elc).

Plik elektrodowy można łączyć z danymi zawartymi w plikach <head model> (*.vol).

Sposób wizualizacji elektrod jest w oprogramowaniu EETrak znacznie lepszy niż w programie Locator. Znacznie trudniejsze jest natomiast przygotowywanie plików elektrodowych, które miałyby zawierać dowolnie określoną liczbę elektrod. Plik elektrodowy jest plikiem ASCII i może być ręcznie edytowany. Wartości liczbowe koordynat XYZ zdigitalizowanych elektrod mogą być funkcją copy-paste przenoszone do odpowiednich oprogramowań dedykowanych cyfrowej analizie sygnału EEG [Ryc. 9].



Ryc. 9. Okna oprogramowania EETrak

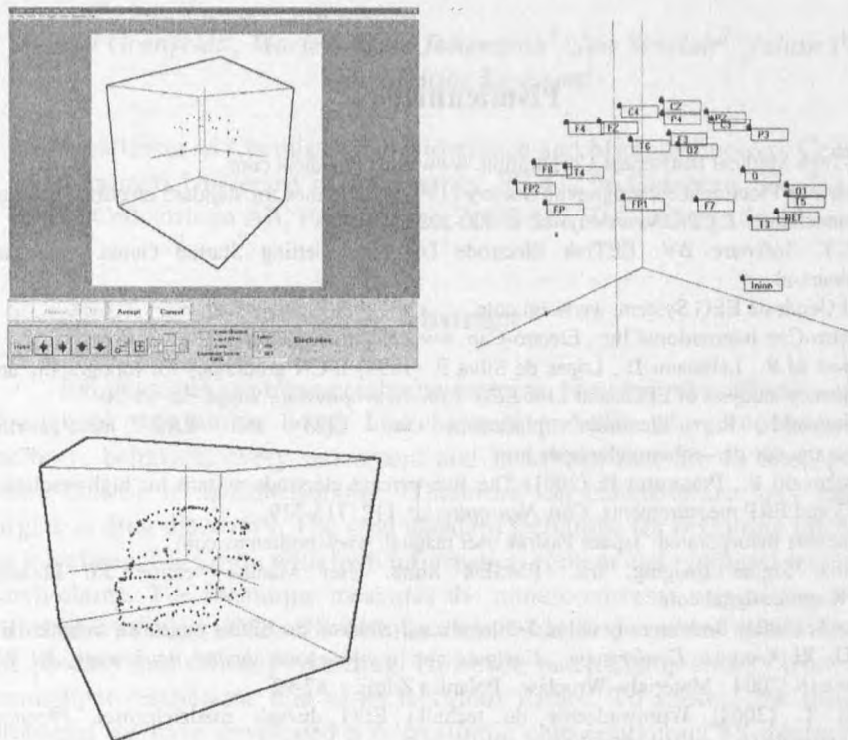
Poza programem EETrak - przy pomocy edytora tekstowego (np. notepad) przygotowuje się specjalny plik zawierający informacje o ilości elektrod, o wybranej jednostce pomiaru odległości (mm), o położeniu elektrod i ich nazwie. Predefiniując położenie elektrod nie musimy posiłkować się żadnymi tabelarycznymi czy jakimikolwiek przybliżonymi wartościami. Położenie każdej elektrody może być zdefiniowane jako $[0, 0, 0]$. W procesie digitalizowania każda elektroda otrzyma adekwatną realną wartość zgodną z jej rzeczywistym położeniem w kartezjańskiej przestrzeni XYZ.

Okno programu EETrak prezentuje wyniki zarówno w postaci numerycznej i zwizualizowanej.

W oprogramowaniu Locator lepsza jest metoda przygotowywania plików z niestandardowym zestawem elektrod. Już bowiem wewnątrz tego oprogramowania znajduje się specjalny edytor tego rodzaju plików.

Okno Locatora ma nieco mniej możliwości niż ma to miejsce w przypadku EETrak. Elektrody mogą być zaprezentowane różnoczasowo tylko

w jednej projekcji (w EETrak - w maksymalnie aż 4 projekcjach). Elektrody można również obracać w trzech stopniach swobody - wraz z możliwością przybliżenia wizerunku elektrod [Ryc. 10].



Ryc. 10. Okna oprogramowania Locator

Oba oprogramowania dysponują możliwością automatycznego eksportu wartości zdigitalizowanych elektrod do oprogramowań cyfrowego EEG dostarczanych przez te same firmy. W przypadku posługiwania się oprogramowaniem do EEG innych firm przeniesienie wyników pomiarów możliwe jest na drodze ręcznej lub półautomatycznej (przez otwieranie odpowiednich plików systemowych).

Systemy digitalizacji umożliwiają:

- 1) wyznaczenie przestrzennych (3D) koordynat elektrod rozlokowanych już na powierzchni głowy,
- 2) pozycjonowanie elektrody po wcześniejszym określeniu miejsca z którego ma być rejestrowany sygnał EEG,

- 3) wyznaczenie konturów głowy pacjenta w koordynatach przestrzennych dla celów korelacji z danymi pozyskanymi z technik neuroobrazowania.

Piśmiennictwo

1. Ad-Tech Medical Instrument Corporation. www.adtechmedical.com
2. American Electroencephalographic Society (1991) Guidelines for standard electrode position nomenclature. *J. Clin. Neurophysiol.* 8: 200-202.
3. A.N.T. Software BV: EETrak Electrode Digitizer. Getting Started Guide. www.ant-software.nl
4. EGI Geodesic EEG System. www.egi.com
5. Electro-Cap International Inc.: Electro-Cap. www.electro-cap.com
6. Nuwer M.R., Lehmann D., Lopes de Silva F. (1999) IFCN guidelines for topographic and frequency analysis of EEGs and EPs. *EEG. Clin. Neurophysiol.*, Suppl. 52: 15-20.
7. Oostenveld R.: Electrode placement for EEG and ERP measurement. www.smi.auc.dk/~roberto/electrode.htm
8. Oostenveld R., Praamstra P. (2001) The five percent electrode system for high-resolution EEG and ERP measurements. *Clin. Neurophysiol.* 112: 713-719.
9. Polhemus Incorporated: 3space Fastrak user manual. www.polhemus.com
10. Source Signal Imaging, Inc.: EMSE® Suite. User Manual version 5.0 Locator. www.sourcesignal.com
11. Zyss T. (2004) Rozszerzony układ 5-5 lokalizacji elektrod do EEG - podstawą techniki HR-EEG. *XI Krajowa Konferencja „Komputerowe wspomaganie badań naukowych. XI KK KOWBAN '2004 - Materiały*. Wrocław - Polanica Zdrój, s. 87-92.
12. Zyss T. (2004) Wprowadzenie do techniki EEG dużych rozdzielczości. *Przegląd Elektrotechniczny*, 12: 1205-1209.
13. Zyss T. (2005) Elektromagnetyczny digitizer Polhemus do dokładnej lokalizacji położenia elektrod EEG. XV Jubileuszowe Sympozjum PTZE. Ciechocinek, s. 217-219.
14. Zyss T. (2005) „Geometria” elektrod EEG oraz ich digitalizacja. *XII Krajowa Konferencja „Komputerowe wspomaganie badań naukowych. XII KK KOWBAN '2005*. Wrocław - Polanica Zdrój, s. 283-288.

Adres do korespondencji:

Tomasz Zyss

Klinika Psychiatrii Dorosłych
Collegium Medium UJ
ul. Kopernika 21a
31-501 Kraków
tel. (48) 602 335 245
e-mail: mzyss@cyf-kr.edu.pl