

NOWA METODA WYZNACZENIA POŁA POWIERZCHNI SKÓRY PRZEDRAMIENIA I DŁONI WYKORZYSTUJĄCA SZTUCZNĄ SIĘĆ NEURONOWĄ

Grzegorz REDLARSKI¹, Marek KRAWCZUK², Gustaw RZYMAN³, Piotr Mateusz TOJZA⁴, Janusz SIEBERT⁵

1. Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki
tel.: (58)347 2317 e-mail: grzegorz.redlarski@pg.gda.pl
2. Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki
tel.: (58)347 1421 e-mail: marek.krawczuk@pg.gda.pl
3. Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki
tel.: (58)347 1894 e-mail: gustaw.rzyman@pg.gda.pl
4. Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki
tel.: (58)347 1994 e-mail: piotr.tojza@pg.gda.pl
5. Gdański Uniwersytet Medyczny, Katedra Medycyny Rodzinnej
tel.: (58)349 15 75 e-mail: kmr@gumed.edu.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono rozbieżności pomiędzy wartościami pola powierzchni skóry obliczonymi za pomocą znanych metod a ich rzeczywistymi wartościami. Wykorzystując skaner 3D o wysokiej dokładności, zmierzono pole powierzchni skóry przedramienia i dłoni. Zaobserwowano, że błędy obliczeń są w wysokim stopniu skorelowane z wartościami BMI badanych osób. W grupie osób o BMI poniżej 20 stwierdzono maksymalny błąd względny wynoszący -8,5%, natomiast w grupie osób o BMI powyżej 25 odnotowano błędy kilkakrotnie wyższe, w skrajnym przypadku sięgające 27%. W celu redukcji błędów zaproponowano podejście alternatywne, bazujące na wykorzystaniu sztucznej sieci neuronowej.

Słowa kluczowe: wyznaczenie pola powierzchni skóry, SSN.

1. WPROWADZENIE

1.1. Istota wyznaczenia pola powierzchni ciała człowieka

Szybkie oraz dokładne określenie pola powierzchni skóry wybranego fragmentu ciała (*Total Body Surface Area*, TBSA) stanowi obecnie podstawę szeregu nowoczesnych terapii medycznych (m.in. podczas leczenia oparzeń). W tym celu personel medyczny dysponuje licznymi formułami [1] umożliwiającymi wyznaczenie całkowitego pola powierzchni ciała (*Body Surface Area*, BSA), która po przemnożeniu przez odpowiedni współczynnik lub współczynniki (zdefiniowane w stosownych tablicach [2]) pozwala na określenie wartości TBSA reprezentującej rozpatrywany fragment ciała.

Powyższe postępowanie obarczone jest jednak błędami, których źródeł należy upatrywać przede wszystkim w zmienności osobniczej. W celu wyeliminowania wskazanej niedogodności, na przestrzeni dziesięcioleci, wprowadzano szereg modyfikacji mających na celu minimalizację błędów. Były to opracowywane korekty wzorów lub nowe wzory uwzględniające w pewien sposób specyfikę zmian w budowie ciała (dzieci lub dorośli: kobiety i mężczyźni) [2]. Pomimo tych prób problem pozostał nie w pełni rozwiązany. Nadal występujące duże wartości błędów obliczeń oraz ich niekorzystny wpływ na przebieg szeregu procedur

medycznych skłoniły autorów artykułu do podjęcia kolejnej próby rozwiązania przedmiotowego zagadnienia.

Podjęmując wyzwanie, wykonano serię pomiarów dłoni i przedramienia – obiekt ten wybrano ze względu na wysoką złożoność obliczeniową, wynikającą z dużej liczby detali, a także względy praktyczne podyktowane potrzebą częstego wyznaczenia pola powierzchni skóry właśnie tej części ciała [3]. Zaobserwowano, że między wartościami dokładnymi – wynikającymi z pomiarów – a wartościami obliczonymi na podstawie wzorów występują błędy, od kilku do kilkudziesięciu procent, w zależności od przyjętej metody wyznaczania BSA (szczegółową analizę błędów tych metod opisano w [1]) oraz wyznaczonej wartości BMI (silnie skorelowanej z masą ciała). Na tej podstawie zaproponowano nową, alternatywną metodę wyznaczania pola powierzchni skóry, bazującą na wykorzystaniu sztucznej sieci neuronowej (SSN).

1.2. Metoda pomiaru pola powierzchni

Wszystkie pomiary pola powierzchni skóry przedramienia i dłoni zostały wykonane przy pomocy ręcznego skanera Artec Eva 3D, który w tym celu tworzył siatkę powierzchni dokonując zapisu chmury punktów. Podawana przez producenta dokładność pomiarów odległości wynosiła 0,1 mm, a rozdzielczość 0,5 mm. Pozwalało to na utworzenie wysokiej jakości modeli 3D, które po odpowiednim procesie obróbki graficznej – za pomocą oprogramowania Artec Studio 11 Professional – pozwalały na precyzyjne określenie pola powierzchni (rysunek 1). We wszystkich badanych przypadkach – co potwierdziły testy eksperymentalne – maksymalny błąd wyznaczenia pola powierzchni nie przekroczył ułamka procenta (0,01 mm²).

Podczas skanowania każda z osób znajdowała się w pozycji stojącej. Dodatkowo w celu ustabilizowania ruchów ręki stosowano specjalnie przygotowaną podpórkę (umieszczaną na wysokości ramienia).

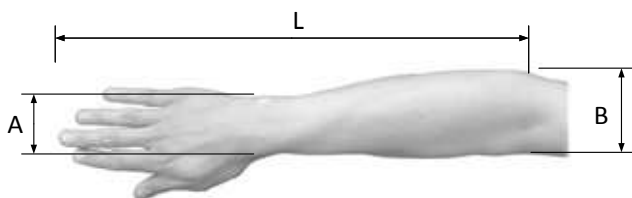


Rys. 1. Model przedramienia oraz dłoni uzyskany przy pomocy skanera Artec Eva 3D

1.3. Pomiary wybranych parametrów przedramienia

W celu opracowania nowej i dokładnej metody wyznaczenia pola powierzchni skóry przedramienia i dłoni, poza procesem skanowania, przeprowadzono pomiary (z dokładnością do 1 mm) parametrów antropometrycznych przedramienia i dłoni (rysunek 2), tj.:

- obwód nadgarstka (A),
- obwód przedramienia w jego dystalnej części (B),
- odległość między końcem najdłuższego palca dłoni a wyrostkiem łokciowym (L).



Rys. 2. Parametry antropometryczne uwzględniane w procesie wyznaczenia pola powierzchni skóry przedramienia i dłoni za pomocą sztucznej sieci neuronowej

2. BŁĘDY WYZNACZANIA POŁA POWIERZCHNI SKÓRY ZNANYMI METODAMI

2.1. Stosowana procedura obliczeniowa

Obecnie współczynniki przyjmowane do wyznaczenia pola powierzchni skóry przedramienia i dłoni zawarte są w tabeli *Lunda i Browdera* oraz określone „regułą dziewiątek” [4]. Tabela *Lunda i Browdera* uznawana jest za dokładniejszą. Według wytycznych zaproponowanych w tej tabeli szacowana powierzchnia skóry przedramienia i dłoni w grupie badanych osób wynosi 5,5% [2] z całkowitej wartości BSA wyznaczonej metodą zaproponowaną przez braci *Du Bois* [5], tj.:

$$BSA = 0,007184 \cdot W^{0,424} \cdot H^{0,725} \quad (1)$$

gdzie: W – oznacza masę ciała [kg], H – wzrost [cm].

Stosowanie powyższej metody wyznaczenia pola powierzchni skóry przedramienia i dłoni obarczone jest z reguły istotnym błędem, którego główne składowe wynikają z:

- niedokładności pomiarów wzrostu i masy ciała, które wpływają na dokładność wyznaczenia wartości BSA, zgodnie ze wzorem (1),
- błędów metody wyznaczenia wskaźnika BSA, który – jak podaje się w pracy [1] – może podlegać

istotnym wahaniom uwarunkowanym niemożliwością do wyeliminowania zmiennością osobniczą,

- niedokładnych (a zarazem, z uwagi na zmienność osobniczą, niemożliwych do określenia w każdym przypadku) współczynników zawartych w tabeli *Lunda i Browdera*.

W celu udokumentowania wartości błędów wynikających ze stosowania powyższej procedury w tablicy 1 zestawiono:

- pole powierzchni skóry przedramienia i dłoni (P_{obl}), wyznaczone zgodnie z powyżej opisaną procedurą,
- powierzchnię rzeczywistą (P_{rzecz}) uzyskaną za pomocą skanera 3D.

Analizując wyniki zawarte w tablicy 1 zaobserwowano, że średni błąd względny w grupie 28 przebadanych osób wyniósł 2,72%, a mediana 1,98%. Niskie, średnie wartości błędów wynikają z występowania odchyłek dodatnich, jak i ujemnych od wartości dokładnych, co powoduje „efekt ukrycia” błędów maksymalnych, których wartości mogą być wielokrotnie wyższe.

Tablica 1. Zestawienie wartości obliczonych i rzeczywistych reprezentujących pole powierzchni skóry przedramienia i dłoni

Lp.	P_{obl} [m ²]	P_{rzecz} [m ²]	Błąd [%]
1	0,12118	0,09563	26,71
2	0,11630	0,09785	18,86
3	0,10172	0,09037	12,57
4	0,10942	0,09957	9,89
5	0,12004	0,10986	9,26
6	0,09804	0,10580	-7,34
7	0,07218	0,07892	-8,54

2.2. Błędy wyznaczania pola powierzchni a BMI

Dokonując analizy błędów aktualnych metod wyznaczenia pola powierzchni skóry przedramienia oraz dłoni (ze względu na ich wartość oraz znak) podjęto próbę ich powiązania z wartościami określającymi wskaźnik masy ciała (*Body Mass Index*, BMI). Wskaźnik ten zależy w dużej mierze od budowy ciała człowieka i obliczany jest zgodnie ze wzorem:

$$BMI = \frac{W}{H^2 \cdot 10^{-4}} \quad (2)$$

gdzie: W – oznacza masę ciała [kg], a H – wzrost [cm].

Zaobserwowano, że w przypadku osób z nadwagą lub otyłością (BMI większe od 25) znak błędu przyjmuje najczęściej wartość dodatnią, natomiast w przypadku osób z niedowagą (BMI mniejsze od 20) znak błędu jest zawsze ujemny. Z kolei w grupie osób o BMI z przedziału od 20 do 25 znak błędu może być zarówno dodatni, jak i ujemny, lecz wówczas błąd średni nie przekracza 0,24% (a maksymalny błąd bezwzględny jest równy 7,34%).

W tablicy 2 zestawiono maksymalne i średnie błędy obliczeń, po dokonaniu podziału badanej grupy osób na podgrupy ze względu na wskaźnik BMI. Z podanego zestawienia, wynika jednoznacznie, że otrzymane wyniki, szczególnie w grupie osób z nadwagą i otyłością (BMI > 25), należy uznać za dalece niesatysfakcjonujące.

2.3. Weryfikacja współczynników *Lunda i Browdera*

Stosowna od blisko 70 lat tabela *Lunda i Browdera* pozwala personelowi medycznemu oszacować powierzchnię skóry dowolnej części ciała. Według wytycznych z tej tabeli,

w przypadku powierzchni przedramienia oraz dłoni należy przyjąć współczynnik równy 5,5% dokładnej wartości BSA.

Tablica 2. Zestawienie błędów obecnych metod obliczeniowych w zależności od wartości BMI w badanej grupie osób

Lp.	BMI	Błąd maksymalny [%]	Błąd średni [%]
1	<0;20)	-8,54	-7,67
2	<20;25)	-7,34	0,24
3	<25;∞)	26,71	6,47

W celu zweryfikowania wartości zdefiniowanych przez *Lunda i Browdera* dla przedramienia oraz dłoni dokonano (metodą skanowania 3D) również pomiarów BSA w badanej grupie osób. Na tej podstawie możliwe było precyzyjne określenie procentowego udziału rozpatrywanego fragmentu ciała w odniesieniu do BSA (tablica 3), co z kolei uprawniało do stwierdzenia, że analizowany współczynnik *Lunda i Browdera* zmieniał się w zakresie od 4,48% do 5,8%.

Tablica 3. Wartość stosunku powierzchni skóry przedramienia oraz dłoni do BSA w badanej grupie osób

Lp.	BMI	Stosunek powierzchni skóry przedramienia i dłoni do BSA [%]		
		Maksymalny	Minimalny	Średni
1	<0;20)	5,8	5,74	5,8
2	<20;25)	5,73	5,16	5,4
3	<25;∞)	5,72	4,48	5,1
4	Wartość średnia w grupie	5,3		
5	Współczynnik <i>Lunda i Browdera</i>	5,5		

3. ZASTOSOWANIE SZTUCZNEJ SIECI NEURONOWEJ W PROCESIE SZYBKIEJ I DOKŁADNEJ METODY WYZNACZENIA POŁA POWIERZCHNI SKÓRY

3.1. Uzasadnienie zastosowania SSN

Sztuczne sieci neuronowe stanowią obecnie jedno z najczęściej wykorzystywanych narzędzi komputerowej analizy danych. Na podstawie przeglądu literatury przedmiotowej [6] można stwierdzić, że znajdują one szczególnie szerokie zastosowanie w naukach technicznych i w inżynierii biomedycznej. Zasada działania sztucznych sieci neuronowych bazuje na mechanizmie funkcjonowania naturalnych sieci neuronowych zwierząt (z reguły kręgowców). Stąd też sztuczne sieci neuronowe zbudowane są z neuronów, imitując ich naturalne działanie spotykane w przyrodzie. Pojedyncze neurony łączą się z sobą w sieci i tym samym – na podobieństwo funkcjonowania u zwierząt – stwarzają możliwość odbierania i przekazywania sygnałów, zapamiętywania informacji, kojarzenia faktów, czy percepcji i wnioskowania. Z tego względu szczególnie chętnie są one wykorzystywane w zagadnieniach technicznych, gdzie służą jako: klasyfikatory, predyktory czy narzędzia do analizy sygnałów i obrazów (szczególnie w kontekście filtracji).

Wyżej opisane narzędzie, w kontekście rejestrowanych pomiarów przedramienia i dłoni może, zdaniem autorów, stanowić wartą rozważenia alternatywę dla obecnego sposobu wyznaczania pola powierzchni skóry. Wybór SSN

wyduje się tym bardziej uzasadniony, jeśli uwzględnić liczne zalety metody w klasie analogicznych problemów oraz wyniki badań literaturowych, z których jednoznacznie wynika brak prób ich zastosowania w odniesieniu do zdefiniowanego problemu.

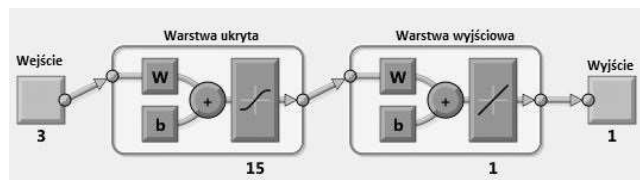
3.2. Wyznaczenie pola powierzchni skóry za pomocą SNN

W celu zaprojektowania sztucznej sieci neuronowej umożliwiającej szybkie oraz dokładne wyznaczenie pola powierzchni skóry przedramienia i dłoni wykorzystano wszystkie zgromadzone parametry antropometryczne, tj.: obwód nadgarstka (A), obwód przedramienia w jego dystalnej części (B) oraz odległość między końcem najdłuższego palca dłoni a wyrostkiem łokciowym (L). Pozyskanie wyżej wymienionych parametrów nie nastęca problemem, nawet w przypadku pacjentów nieprzytomnych.

Proponowana sieć neuronowa bazuje na danych pomiarowych zgromadzonych od grupy liczącej 28 pacjentów. W odnośnej grupie znajdowały się osoby zaklasyfikowane do trzech podgrup względem BMI, tj.:

- BMI poniżej 20 (osoby szczupłe i z niedowagą),
- BMI zawartym w przedziale od 20 do 25 (osoby o prawidłowej masie ciała)
- oraz o BMI powyżej 25 (osoby z nadwagą/otyłe).

Do uczenia sieci wykorzystano dane pochodzące od 18 pacjentów, do walidacji dane od 6 kolejnych osób, a do testowania dane od pozostałych 4 pacjentów. W kolejnym kroku jakość działania sztucznej sieci neuronowej testowano na danych które nie były wykorzystane do opracowania sieci. Wykonane przez autorów symulacje wykazały, że najlepsze wyniki można uzyskać w przypadku zastosowania funkcji uczenia *Levenberga-Marquardt* z propagacją wsteczną (dostępna w środowisku Matlab) dla sieci o 15 neuronach w warstwie ukrytej i jednym neuronie na wyjściu. Schemat takiej sieci przedstawiono na rysunku 3.

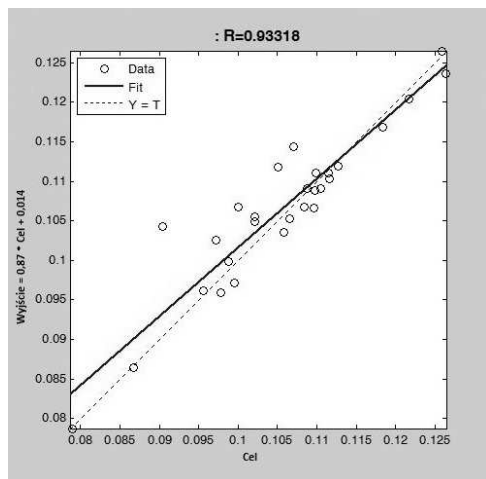


Rys. 3. Struktura zaprojektowanej i testowanej sieci neuronowej

Należy podkreślić, że neurony w bloku sumacyjnym (rysunek 3) realizowały funkcję sumowania, a neurony w warstwie ukrytej sigmoidalną funkcję aktywacji. Z kolei neuron w warstwie wyjściowej bazował na liniowej funkcji aktywacji. W celu oceny jakości działania sieci wykorzystano funkcję błędu średniokwadratowego. Na rysunku 4 zaprezentowano wykres regresji zaprojektowanej sieci neuronowej.

W kolejnym etapie badań, dla celów porównawczych, działanie sieci przetestowano na wynikach pacjentów, które nie były uwzględniane na etapie projektowania sieci. W tym przypadku błąd wyznaczenia pola powierzchni (przy braku podziału na podgrupy względem BMI) wyniósł 3,04%.

Błędy dopasowania w sieci (rysunek 4) wyznaczono po zrealizowaniu pełnego procesu uczenia. Błąd maksymalny wyniósł 1,35%, zaś błąd minimalny 0,26%. W grupie osób o prawidłowej masie ciała, BMI ∈ [20 ÷ 25], średni błąd sieci wyniósł 0,2%, w grupie osób z nadwagą lub otyłością 0,36%, a u osób szczupłych i/lub z niedowagą 0,28%.



Rys. 4. Wynik regresji zaprojektowanej sieci neuronowej

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Wykonana przez autorów seria pomiarów wykazała w sposób jednoznaczny możliwość wystąpienia dużych błędów podczas wyznaczania pola powierzchni skóry i przedramienia obecnie stosowanymi metodami. W grupie osób z nadwagą lub otyłością ($BMI > 25$) notowano przede wszystkim błędy dodatnie, których maksymalna wartość osiągnęła niemal 27%. W grupie osób szczupłych lub z niedowagą ($BMI < 20$) notowano błędy ujemne, a maksymalny wyznaczony błąd osiągnął -8,54%. Z kolei w grupie osób o prawidłowej masie ciała ($BMI \in [20 \div 25]$) rejestrowano zarówno błędy dodatnie, jak i ujemne, a maksymalna odnotowana wartość bezwzględna wyniosła 7,34%.

Powyższa klasyfikacja błędów stosowanych metod obliczeniowych, ze względu na BMI, pozwoliła na rewizję współczynników określonych w tabeli *Lunda* i *Browdera*, w myśl której powierzchnia skóry przedramienia i dłoni należy przypisać 5,5% całkowitej powierzchni ciała człowieka. Współczynniki określone przez autorów na podstawie serii wykonanych pomiarów sugerują, że w przypadku osób o $BMI < 20$, należy przyjmować współczynnik równy 5,8%, w przypadku osób o $BMI \in [20 \div 25]$, należy przyjmować współczynnik wynoszący 5,4%, a w przypadku osób o $BMI > 25$, współczynnik równy 5,1%. Już samo takie działanie, pozwala na redukcję maksymalnych błędów, odpowiednio do wartości: -4,04% i 18,59% dla osób z $BMI < 20$ i $BMI > 25$.

Zaproponowane poprawki współczynników podanych przez *Lunda* oraz *Browdera* wprawdzie przyczyniają się do

zminimalizowania błędów obliczeniowych, jednakże nadal są one na tyle duże, że trudno je uznać za akceptowalne. W kolejnym etapie badań, do minimalizacji błędów, autorzy zaproponowali sztuczną sieć neuronową uzależnioną od trzech, łatwych do pomiaru, parametrów antropometrycznych (obwodu nadgarstka, obwodu przedramienia i długości dłoni i przedramienia), a także wykorzystali skorygowane już wartości współczynników *Lunda* i *Browdera*. W wyniku takiego działania uzyskano znaczącą redukcję błędów, które mogą zostać uznane za w pełni akceptowalne. W tabelicy 4 zestawiono błędy dla wszystkich analizowanych przypadków.

Tabela 4. Błędy metod wyznaczania powierzchni skóry dłoni i przedramienia w przypadku analizowanych wariantów

Lp.	BMI	Błąd maksymalny [%]		
		Metoda wg tabeli Lunda i Browdera	Proponowana metoda	SSN
1	<0;20)	-8,5	-4,04	3,04%
2	<20;25)	-7,34	10,71	
3	<25;∞)	26,71	18,59	

5. BIBLIOGRAFIA

1. Redlarski G., Palkowski A., Krawczuk M.: Body Surface area formulae: an alarming ambiguity, Scientific Reports, Nr 6, 2016.
2. Wachtel T., Berry C., Wachtel E., Frank H.: The inter-rater reliability of estimating the size of burns from various burn area chart drawings, Burns, Nr 26 (2), 2000, s.156-170.
3. Kawalec A., Pawalas K.: Struktura oparzeń wśród dzieci na Dolnym Śląsku w latach 2010-2012, Problemy Higieny i Epidemiologii, Nr 95(2), 2014.
4. Kurnatowski W.: Ciężkie oparzenia - charakterystyka I wskazania terapeutyczne, Zakażenia, Nr 3, 2003, s. 83-88.
5. Du Bois D., Du Bois E.: A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known, Nutrition, Nr 5 (5), Los Angeles 1916, s. 303.
6. Naęcz M., Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna 2000, tom 6: Sieci Neuronowe, Akademicka Oficyna Wydawnicza Exit, Warszawa 2000.

Badania były finansowane z grantu przyznanego przez Narodowe Centrum Nauki UMO-2014/15/B/NZ7/01018 Metodyka szybkiego oraz dokładnego wyznaczania powierzchni ciała człowieka.

NEW METHOD OF FOREARM AND PALM SKIN AREA ESTIMATION USING NEURAL NETWORKS

The article introduces a comparative analysis of existing methods for calculation of forearm and palm skin surfaces with high quality 3D models. Moreover, it was possible to systematize the errors resulting from these calculations and their division due to the BMI of a person. For people with BMI below 20, a maximum error of 8.5% was found, while for people with BMI above 25 the error was close to -27%. On this basis, inaccuracies in the process of the forearm and palm skin estimation of an abnormal body were found. What is more, an artificial neural network to determine this surface was proposed. The proposed neural network was developed for 15 neurons in the hidden layer and 1 neuron in the output layer. The *Levenberg-Marquardt* with backpropagation learning method was used. The maximal error for the neural network during the forearm and palm skin estimation was 3,04%.

Keywords: skin surface estimation, artificial neural network.