

**WYKORZYSTANIE ANALIZ TYPU GIS DO DETEKCJI WYBRANYCH
CZĘŚCI ANATOMICZNYCH CIAŁA LUDZKIEGO DLA POTRZEB BADANIA
WAD POSTAWY**

**THE APPLICATION OF GIS ANALYSIS FOR THE DETECTION
OF SELECTED ANATOMICAL PARTS OF HUMAN BODY FOR THE POSTURE
DEFECTS EXAMINATION**

Regina Tokarczyk, Piotr Tokarczyk

Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska,
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: wady postawy, fotogrametria cyfrowa bliskiego zasięgu, krzywizna powierzchni, analizy GIS

STRESZCZENIE: Parametry określające wady postawy są obliczane na podstawie przestrzennego położenia wybranych punktów anatomicznych ciała człowieka, którymi są elementy układu kostnego, przeniesione na powierzchnię ciała metodą palpacji. Zatem charakter punktów pomiarowych pogarsza dokładność wyznaczenia parametrów oceny postawy. Tymczasem współczesne metody pomiarowe, w tym fotogrametryczne pozwalają na uzyskanie dokładności pomiaru znacznie przewyższające dokładność sygnalizacji punktów pomiarowych. Metoda badawcza opisana w niniejszym opracowaniu bazuje na założeniu, że kształt powierzchni ciała odzwierciedla położenie elementów kostnych, kluczowych dla badania wad postawy, zatem przez analizy tej powierzchni można znaleźć potrzebne punkty pomiarowe. Model powierzchni ciała człowieka o dokładności wyznaczenia jego punktów poniżej 1 mm uzyskano wykorzystując fotogrametryczny system bliskiego zasięgu PI3000 Topcon do opracowania pary zbieżnych zdjęć wykonanych cyfrowymi aparatami fotograficznymi. Poddano go analizom, wykorzystując programy: GeoMedia Professional z nakładką Grid oraz Idrisi-Andes. Przebieg kręgosłupa uzyskano drogą analiz DEM służących do detekcji spływu wody, zakładając zjawisko podobieństwa powierzchni pleców w rejonie kręgosłupa do doliny rzecznej. W pomiarach służących ocenie wad postawy wykorzystuje się wybrane punkty anatomiczne jako definiujące układ antropometryczny, są to najczęściej: wyrostek kolczysty siódmego kręgu szyjnego C7 (vertebra prominens) oraz kolce biodrowe tylne górne (spina iliaca posterior superior). Próby ich detekcji dokonano wstępnie za pomocą wyznaczenia linii kręgosłupa w GeoMedia, a potem przez wykorzystanie krzywizny powierzchni z użyciem Idrisi-Andes. W drugiej fazie detekcji okazało się, że wymaga ona wygładzenia modelu powierzchni i jest to niezbędny warunek jej poprawnej klasyfikacji dotyczącej form wysokościowych.

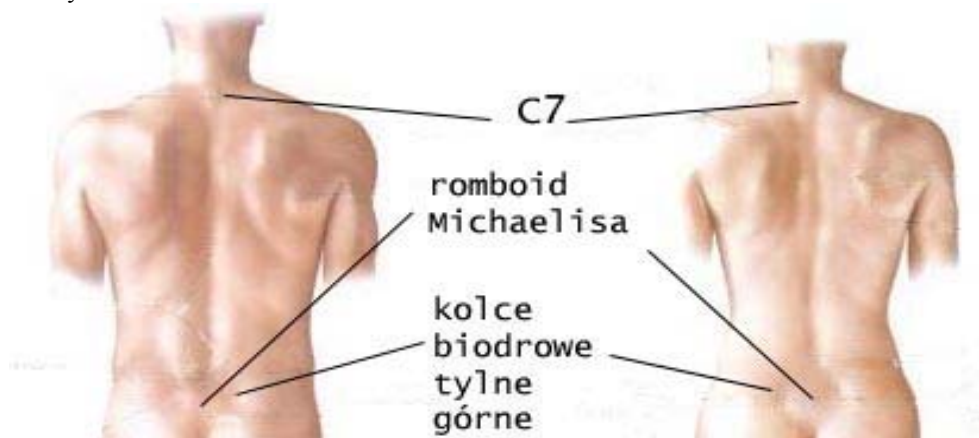
1. WSTĘP

Miernikiem oceny wad postawy w nowoczesnych systemach pomiarowych służących do tego celu są parametry obliczane na podstawie przestrzennego położenia wybranych punktów anatomicznych ciała człowieka. Punktami tymi są głównie elementy układu

kostnego, przeniesione na powierzchnię ciała metodą palpacji. Jest to czynione z różną dokładnością, zależną od rozmiaru części, palpacyjnej możliwości jej identyfikacji oraz od wieku i tuszy osoby badanej. Zatem charakter punktów pomiarowych pogarsza dokładność wyznaczenia parametrów oceny postawy. Szczególnie niekorzystny wpływ sygnalizacji występuje tam, gdzie parametry kątowe jakości postawy są obliczane z krótkich odcinków. Dotyczy to głównie kręgosłupa – kluczowej części ciała, której badanie deformacji w płaszczyźnie czołowej i strzałkowej jest podstawowym badaniem dla diagnostyki wad postawy.

Ponieważ współczesne metody pomiarowe, w tym zaliczane do szeroko pojętych metod fotogrametrycznych pozwalają na uzyskanie dokładności znacznie przewyższających dokładność powyżej opisaną sygnalizację, prowadzone są prace badawcze w celu zaproponowania takich metod pomiaru geometrii ciała, które nie potrzebują przenoszenia struktur kostnych na skórę osoby badanej.

Celem badań opisanych w niniejszym opracowaniu było sprawdzenie, jakimi metodami i z jaką dokładnością można dokonać bezdotykowej detekcji wybranych kostnych struktur podpowierzchniowych. Wymaga to przyjęcia założenia (Tokarczyk i Szczygieł, 2008), że powierzchnia ciała w jakimś stopniu odzwierciedla przebieg struktur kostnych.



Rys. 1. Odzwierciedlenie na powierzchni ciała punktów anatomicznych: wyrostka kolczystego C7 oraz kolców biodrowych tylnych górnych.

(Rysunek zaczerpnięty z książki: Michael Schünke, Erik Schulte, Lawrence M. Ross „Thieme atlas of anatomy”, dostępny na stronie: <http://books.google.pl/books?id=eT282ocEwnQC>)

Założenie to jest szczególnie słuszne dla powierzchni pleców, której kształt koreluje z kształtem kręgosłupa oraz górnej części miednicy. Wybrane punkty anatomiczne tych struktur są używane do zdefiniowania układu odniesienia dla wielu metod pomiaru skoliozy kręgosłupa – najczęściej badanego efektu wad postawy. Do tych punktów zalicza się przede wszystkim wyrostek kolczysty siódmego kręgu szyjnego C7 (*vertebra prominens*) oraz kolce biodrowe górne tylne (*spina iliaca posterior superior*).

Wyrostek kolczysty C7 oraz środek wcięcia szyjnego rękodojeści mostka (*incisura iugularis, suprasternale*), to punkty anatomiczne definiujące układ odniesienia, tzw. układ

pacjenta w systemie pomiarowym PBE (Photogrammetrical Body Explorer) powstałym przy udziale pracowników Katedry Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH w Krakowie (Tokarczyk i Mikrut, 1999, 2000), (Tokarczyk i Mitka, 2002), (Tokarczyk *et al.*, 2007), (Tokarczyk, 2009). Wykorzystany w nim pomiar fotogrametryczny dokonywany jest na podstawie pary zdjęć zbieżnych, pozyskanych z użyciem dwu cyfrowych aparatów fotograficznych o znanych parametrach rzutowania. Ciało pacjenta zarejestrowane jest zarówno z przodu, jak i z tyłu, co umożliwia lustro, będące składnikiem systemu. Parametry postawy obliczane są z przestrzennego położenia markerów sygnalizujących wewnętrzne elementy struktur kostnych, przeniesione na skórę metodą palpacji.

Zdjęcia pozyskane za pomocą systemu zostały wykorzystane w opisanych poniżej pracach badawczych do sporządzenia modelu powierzchni pleców, który posłużył do analiz mających na celu detekcję punktów anatomicznych: wyrostka kolczystego siódmego kręgu szyjnego oraz kolców biodrowych górnych tylnich (Rys.1). Analizy te postanowiono przeprowadzić z użyciem GIS-owskich systemów komputerowych. Takie postępowanie pozwoli na zbadanie przydatności wybranych typów analiz i przekonanie się, czy są one wystarczające do osiągnięcia zamierzonego celu.

2. KRZYWIZNA JAKO CECHA CHARAKTERYZUJĄCA POWIERZCHNIĘ

Krzywizna jest cechą dominującą przy rozpoznawaniu form powierzchni i ich klasyfikacji, jej główną zaletą jest niezależność od przyjętego układu współrzędnych. Przy jej wyznaczeniu korzysta się z pierwszej i drugiej pochodnej funkcji aproksymującej powierzchnię. Spośród wielu krzywizn, które można wyznaczyć w dowolnym punkcie powierzchni wybiera się jako charakterystyczne wartości krzywizny: maksymalnej – liczonej na linii największego spadku i minimalnej – w kierunku prostopadłym do tej linii. Jeśli przyjmiemy, że powierzchnię opisuje funkcja $f(x,y)$, to krzywiznę maksymalną i minimalną określają wyrażenia:

$$k_1 = \frac{f_{xx} \cdot f_x^2 + 2f_{xy} \cdot f_x \cdot f_y + f_{yy} \cdot f_y^2}{(f_x^2 + f_y^2) \sqrt{1 + f_x^2 + f_y^2}} \quad (1)$$
$$k_2 = \frac{f_{xx} \cdot f_x^2 - 2f_{xy} \cdot f_x \cdot f_y + f_{yy} \cdot f_y^2}{(f_x^2 + f_y^2) \sqrt{1 + f_x^2 + f_y^2}}$$

gdzie:

k_1 – krzywizna maksymalna,

k_2 – krzywizna minimalna,

$$f_x = \frac{\partial f}{\partial x}, \quad f_{xx} = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2}, \quad (2)$$
$$f_y = \frac{\partial f}{\partial y}, \quad f_{yy} = \frac{\partial^2 f}{\partial y^2},$$
$$f_{xy} = \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y},$$

Oprócz krzywizn maksymalnej i minimalnej do klasyfikacji form powierzchni wykorzystywane są ich funkcje: iloczyn – określany jako krzywizna gaussowska K oraz średnia krzywizna H :

$$K = k_1 \cdot k_2 = \frac{f_{xx} \cdot f_{yy} - f_{xy}^2}{(1 + f_x^2 + f_y^2)^2} \quad (3)$$

$$H = \frac{k_1 + k_2}{2} = \frac{f_{xx}(1 + f_y^2) - 2f_{xy} \cdot f_x \cdot f_y + f_{yy}(1 + f_x^2)}{2(1 + f_x^2 + f_y^2)^{3/2}}$$

Wartości powyższych czterech parametrów: k_1 , k_2 , K i H pozwalają na sklasyfikowanie form topograficznych powierzchni. Należy zwrócić uwagę, że klasyfikacja dla niektórych form jest uzależniona od kierunku „patrzenia” na powierzchnię, zgodnym lub niezgodnym ze wzrastaniem wektora normalnego do powierzchni. W tabeli 1 przedstawiono zależność występowania formy terenu od krzywizny maksymalnej i minimalnej, a w tabeli 2 – od krzywizny gaussowskiej i średniej.

Tabela 1. Klasyfikacja form terenu na podstawie krzywizny maksymalnej i minimalnej. Kierunek patrzenia przeciwny do wzrastania wektora normalnego do powierzchni (Chen *et al.*, 2008)

	$k_2 < 0$	$k_2 = 0$	$k_2 > 0$
$k_1 < 0$	Dołek, wklęsłość (elipsoida wklęsła)	Rów, dolina (wklęsłość cylindryczna)	Siodło wypukłe (hiperboloida wypukła)
$k_1 = 0$	Rów, dolina (wklęsłość cylindryczna)	Płaszczyzna	Grzbiet (wypukłość cylindryczna)
$k_1 > 0$	Siodło wklęsłe (hiperboloida)	Grzbiet (wypukłość cylindryczna)	Wypukłość (elipsoida wklęsła)

Tabela 2. Klasyfikacja form terenu na podstawie krzywizny gaussowskiej i średniej. Kierunek patrzenia przeciwny do wzrastania wektora normalnego do powierzchni (Colombo *et al.*, 2006)

	$K < 0$	$K = 0$	$K > 0$
$H < 0$	Siodło wklęsłe (hiperboloida wklęsła)	Dolina, rów (wklęsłość cylindryczna)	Dołek (wklęsłość eliptyczna)
$H = 0$	Powierzchnia paraboloidalna wklęsła	Płaszczyzna	Nie występuje
$H > 0$	Siodło wypukłe (hiperboloida wypukła)	Grzbiet (wypukłość cylindryczna)	Górka (wypukłość eliptyczna)

Dane pozyskane do klasyfikacji form powierzchni na podstawie kryterium jej krzywizn powinny cechować (Buxton *et al.*, 2000):

- dokładność: punkty, będące wynikiem pomiaru winny leżeć na powierzchni obiektu z określoną tolerancją,
- gęstość: w celu zapewnienia właściwej reprezentacji ciągłej powierzchni należy dostarczyć odpowiedniej ilości danych na jednostkę tej powierzchni,
- kompletność: zbiór danych uważa się za wystarczająco kompletny, jeżeli wszystkie części powierzchni obiektu są reprezentowane przez odpowiednio gęstą próbę pomiarową, nie występują „dziury” oraz braki w odtwarzanej powierzchni.

Klasyfikacji może podlegać powierzchnia reprezentowana przez dyskretny zbiór danych (Gatzke i Grimm, 2006), (Drerup i Hierholtzer 1985, 1987) lub też przez funkcję ciągłą, którą otrzymuje się przez dopasowanie funkcji matematycznej – zwykle wielomianu 3-go stopnia do otoczenia próbki terenu (Herringtoni Pellegrini, 2000), (Buxton i Douros, 2002).

Obydwa podejścia wymagają „wygładzenia” powierzchni. O ile w drugim takie wygładzenie może być dokonane przy aproksymacji fragmentu powierzchni funkcją przez np. detekcję i eliminację błędów grubych i odstających, to metoda bazująca na danych dyskretnych wymaga bezwarunkowego usunięcia szumów.

Szczególnie istotne jest to przy pomiarach typu punktowego, dokonanych np. za pomocą skaningu laserowego lub w pomiarach metodą fotogrametryczną. Metody takie jak topografia mory, wzorców świetlnych dostarczają danych w postaci ciągłej, w dalszym cyklu próbkowanych dyskretnie, natura tych metod powoduje, że są bardziej dogodne do wyznaczania krzywizn.

Detekcja części ciała ludzkiego na podstawie krzywizny wykorzystywana jest do różnych celów: dla badania skoliozy (Drerup i Hierholzer, 1985, 1987), dla dopasowania ubrań w przemyśle odzieżowym (Buxton *et al.*, 2002), (Buxton i Douros 2002), (Buxton *et al.*, 1999), dla celów ortopedii (Liu *et al.*, 2002), detekcji i rozpoznawania twarzy (Colombo *et al.*, 2006), itd. Zwykle dla jej potrzeb tworzone są autorskie programy, najczęściej mało uniwersalne i dostosowane tylko do danej aplikacji.

W komputerowych systemach przeznaczonych dla potrzeb GIS znajduje się wiele funkcji analizujących powierzchnię terenu. Danymi do analiz może być zarówno postać wektorowa jak i rastrowa DEM, analizy są prowadzone w oparciu o różne kryteria, w tym w oparciu o krzywiznę powierzchni. Systemy te posiadają ponadto wiele funkcji przydatnych do przygotowania danych, takich jak filtracje pozwalające na wygładzanie powierzchni oraz konwersje raster-wektor i wektor-raster.

3. POZYSKANIE MODELU 3D POWIERZCHNI CIAŁA


Do sporządzenia modelu powierzchni pleców postanowiono wykorzystać zdjęcia wykonane tak, jak się je pozyskuje w systemie PBE, a więc jako zdjęcia w przybliżeniu poziome, o kącie zbieżności około 50° (parametry geometrii zdjęć w tabeli 3).

Tabela 3. Charakterystyka geometrii zdjęć

Ogniskowa obiektywów	50 mm
Kąt od prostopadłej do linii bazy zdjęć zdjęcia lewego	+22°
Kąt od prostopadłej do linii bazy zdjęć zdjęcia prawego	-16°
Stosunek bazowy B/odl. do obiektu	0.71
Skala zdjęć	1: 90

Wybór takiej konfiguracji zdjęć, z jednej strony dającej korzystne warunki na przecięcie się promieni homologicznych, z drugiej – uniemożliwiającej uzyskanie efektu stereoskopowego podyktowany został chęcią sprawdzenia, czy bogaty materiał pomiarowy uzyskany w praktyce lekarskiej za pomocą PBE może być potencjalnym źródłem danych do dalszych analiz medycznych prowadzonych na modelu powierzchni ciała.

Tabela 4. Charakterystyka aparatów fotograficznych Minolta Dynax 5D

	Typ kamery	SLR
	Rozdzielczość	2000x3008
	Efektywna rozdzielczość	6.1 Mp
	Wielkość detektora matrycy	0.0078 mm
	Rodzaj i wielkość sensora	CCD 23.5 mm x 15.7 mm
	Obiektyw	Konica Minolta 50/1.7

Na podstawie znajomości anatomii człowieka założono, że dokładność określenia przestrzennych współrzędnych punktów powierzchni ciała powinna oscylować koło wartości 1 mm. Zdjęcia wykonano na stanowisku systemu przy wykorzystaniu dwóch lustrzanek cyfrowych Minolta Dynax 5D z obiektywami 50 mm (charakterystyka w tabeli 3), o znanych parametrach kalibracji. Przedstawiona na nich osoba stała plecami w kierunku aparatów, na jej ciało narzucono za pomocą projektora komputerowego teksturę o charakterze przypadkowym (obraz zdjęcia lotniczego). Takie postępowanie podyktowane zostało zamiarem wykorzystania automatycznego *matchingu* do pomiaru zdjęć, który uniemożliwiałaby gładka powierzchnią skóry. Dla celów kontroli prawidłowości detekcji punktów anatomicznych przeniesiono je szczególnie dokładnie metodą palpacyjną i zasygnalizowano na skórze naklejonymi markerami.

Modelu pleców utworzono z użyciem fotogrametrycznej stacji cyfrowej PI 3000 Topcon. Wyrównanie metodą wiązki dało RMSE na obu zdjęciach około $\pm 10 \mu\text{m}$, co odpowiada wielkości 0.8 mm sytuacyjnie i 1.1 mm głębokościowo na mierzonym obiekcie. Jest to dokładność absolutnie wystarczająca do pomiaru ciała ludzkiego, charakteryzującego się dynamicznymi zmianami w czasie nawet w pozycji nieruchomej (oddychanie, skurcze mięśni, zmiana objętości wynikająca ze zmiennej ilości wody w organizmie, itd.). Automatyczny pomiar punktów na obrazach został przeprowadzony z

wykorzystaniem *matchingu* metodą LSM w siatce co 5 mm, alternatywna w PI 3000 metoda ABM dla zdjęć zbieżnych przyniosła dużo mylnych dopasowań. Efektem pomiaru na stacji był model ciała w postaci siatki TIN, z którego w nakładce MGE Terrain Analyst sporządzono potrzebny do dalszych analiz model w postaci regularnej siatki GRID o oczku wielkości 5 mm.

4. WYZNACZENIE LINII KRĘGOSŁUPA

Detekcja wybranych punktów anatomicznych musi zostać poprzedzona zawężeniem pola poszukiwań i wstępnym wyznaczeniem rejonów, gdzie należy się ich spodziewać.

Ponieważ szukane punkty znajdują się w pobliżu kręgosłupa, zatem najlepiej jest poprzedzić ich detekcję wyznaczeniem na powierzchni pleców linii podskórnego przebiegu tej części ciała. Wykorzystano do tego program GeoMedia z nakładką GRID, z jego funkcjami: *Surface-Fill Depressions*, *Downhill Path* i *Downhill Accumulation* (Tokarczyk i Szczygieł, 2008). W analizach numerycznego modelu terenu służą one do detekcji kierunku spływu wody na podstawie spadku. Wykorzystano tu zjawisko podobieństwa powierzchni pleców w rejonie kręgosłupa do doliny rzecznej, z założeniem grawitacyjnego spływu wody. Ponieważ w pewnych miejscach kręgosłup zaznacza się jednak wypukłościami, dodatkowo analizie poddano model o „odwróconej” deniwelacji. Następnie „dodano” wykryte doliny rzeczne. Rysunki 2a)-c) przedstawiają poszczególne etapy wyznaczania linii kręgosłupa w płaszczyźnie czołowej, rysunek 2d) daje porównanie wykrytej linii z położeniem markerów wyrostków kolczystych kolejnych kręgow. Maksymalna niezgodność położenia markera z wykrytą linią wyniosła 3 mm.

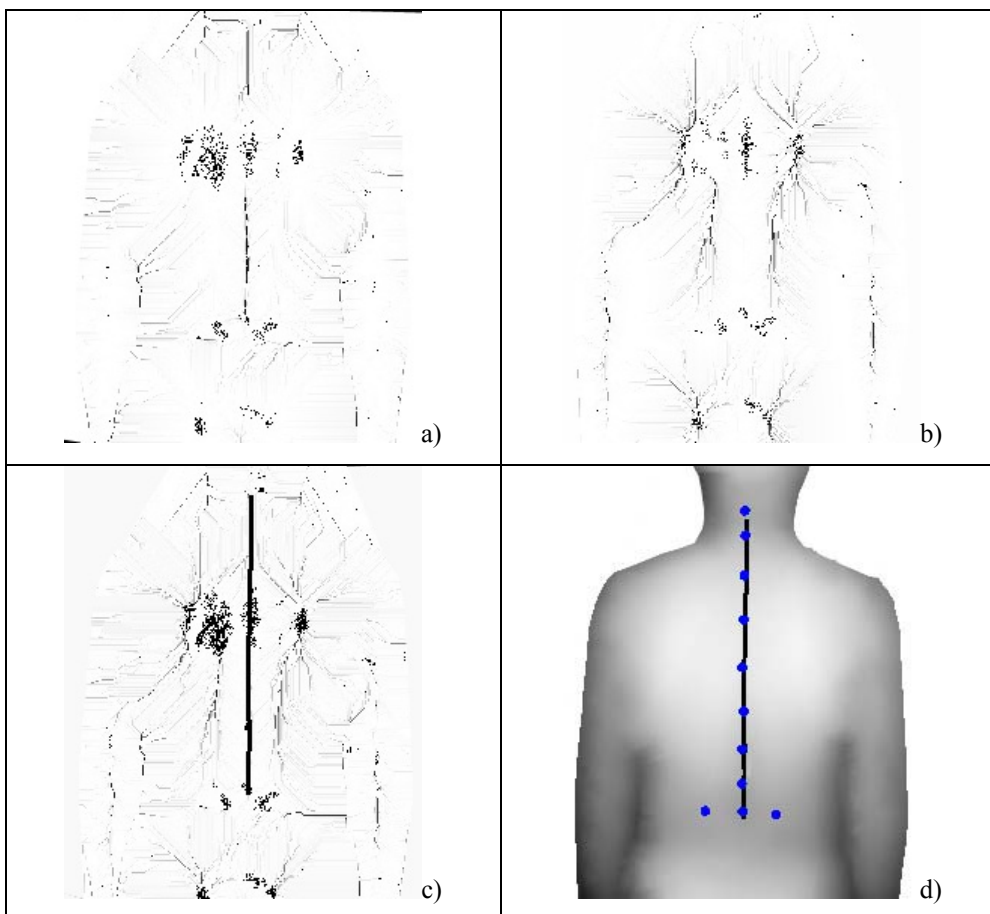
Wyrostek kolczysty C7 znajduje się w pobliżu początku linii kręgosłupa (od góry), natomiast kolce biodrowe górne tylnie – na końcu, symetrycznie po obu stronach, w odległości wynikającej z danych antropometrycznych. Wstępnie można je zauważyć na rysunkach 2 a) i b) jako rejony zlewiskowe.

5. WYZNACZENIE PUNKTÓW ANATOMICZNYCH ZA POMOCĄ KRZYWIZNY POWIERZCHNI

Popularne edukacyjne programy GIS-owskie takie jak Idrisi oraz Ilwis mają wśród swoich licznych funkcji także analizy przeprowadzane na DEM. Do detekcji punktów anatomicznych wybrano program Idrisi-Andes i jego funkcję *TOPOSHAPE*. Klasyfikuje ona formy terenu na dziewięć klas: *peak*, *ridge*, *saddle*, *flat*, *ravine*, *pit*, *convex hillside*, *saddle hillside*, *slope hillside*, *concave hillside*, *inflection hillside*.

Wyrostek kolczysty C7 daje na powierzchni pleców mniej lub bardziej wyraźną wypukłość, która może być zaklasyfikowana jako *convex* lub *convex hillside* natomiast kolce biodrowe to delikatne bliźniacze wgłębienia (*concave* lub *concave hillside*), będące wierzchołkami tzw. romboïdu Michaelisa (Rys.1).

Klasyfikacja form powierzchni przeprowadzona na modelu niewygładzonym (Rys.3) daje duże rozdrobienie form i dość chaotyczny ich rozkład. Próby wygładzania modelu za pomocą różnych filtracji dały najlepsze rezultaty dla filtra uśredniającego 5x5 (Rys.4a,b) oraz dodatkowo przefiltrowanego filtrem medianowym wyniku klasyfikacji (Rys.4c,d).

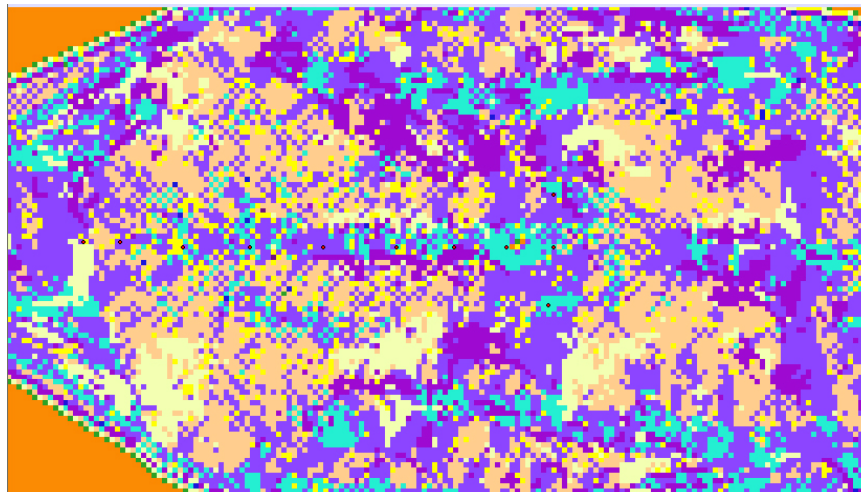


Rys.2. a) Grawitacyjny przebieg splywu wyznaczony na powierzchni pleców o prawidłowej plastyce, b) na modelu o odwróconej plastyce powierzchni, c) nałożenie na siebie obrazów a) i b) oraz zaznaczenie wektorem przebiegu linii kręgosłupa, d) porównanie linii kręgosłupa z położenie markerów poszczególnych kręgów.

Odczytanie środków ciężkości utworzonych obszarów pozwoliło na wyznaczenie różnic między palpacyjnym a bezdotykowym wykryciem punktów anatomicznych (Tab.5).

Otrzymane wyniki są zachęcające do dalszych badań. Różnice między określeniem dotykowym elementów a „zdalnym” nie są większe, niż graniczna dokładność palpacyjnej identyfikacji określona jako 1 cm (Mrozkowiak, 2007).

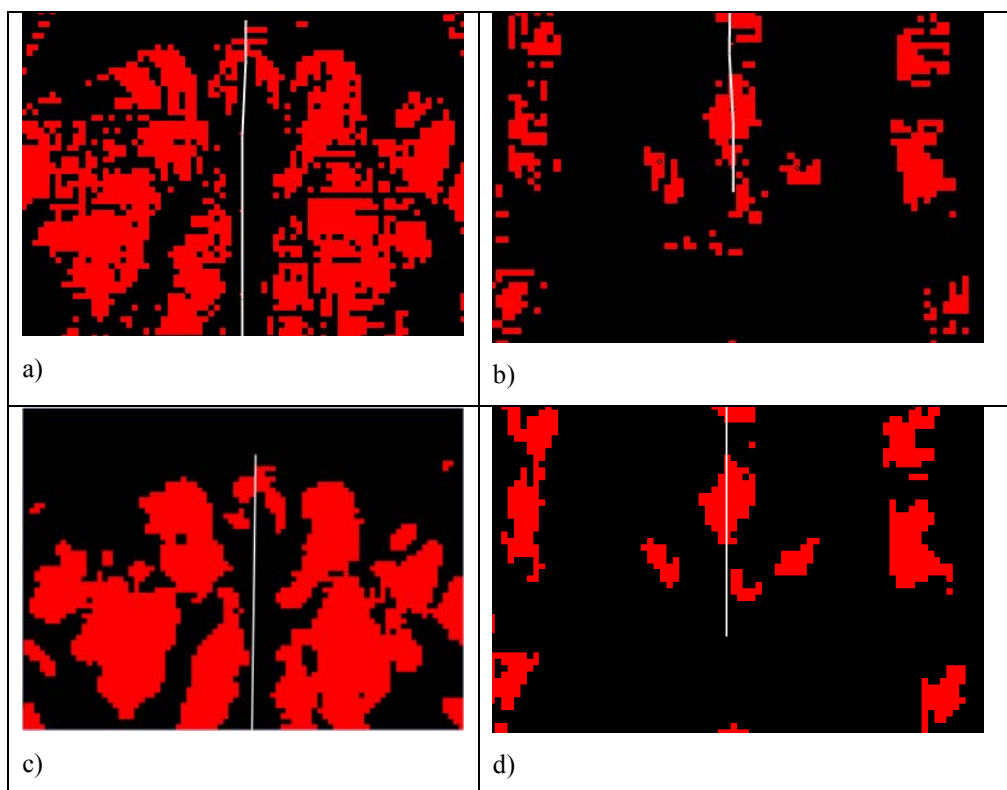
Wyrostek kolczysty C7 dla osób tęgich i starszych wiekiem „kryje” się pod fałdą tłuszczu na karku, zatem forma powierzchni ciała zmienia swój charakter i rozmiar, a maksimum wypukłości niekoniecznie musi wypadać na tym kostnym elemencie anatomicznym.



Rys. 3. Wynik klasyfikacji form powierzchni dokonany na modelu niewygładzonym. Kropkami zaznaczono wzorcowe położenie wyrostków kolczystych kręgosłupa i kołców biodrowych.

Tabela 5. Różnice między współrzędnymi elementów anatomicznych wykrytych metodą palpacji, a wykrytymi za pomocą funkcji *TOPOSHAPE* w Idrisi-Andes. Osie X i Y znajdują się w płaszczyźnie czołowej (Y – oś pionowa).

Nazwa elementu anatomicznego	Model uśredniony filtrem <i>mean</i>		Model uśredniony filtrem <i>mean</i> oraz przefiltrowany filtrem <i>median</i> wynik klasyfikacji	
	ΔX [mm]	ΔY [mm]	ΔX [mm]	ΔY [mm]
Wyrostek kolczysty C7	0	-8	2	0
Kolec biodrowy tylni górny lewy	4	-3	5	-1
Kolec biodrowy tylni górny prawy	4	-13	4	-3



Rys. 4. Wykryte elementy anatomiczne: wyrostek kolczysty C7 na modelu wygładzonym filtrem *mean* - a), na modelu wygładzonym filtrem *mean* oraz przefiltrowanym filtrem *median* wynikiem klasyfikacji - c), kolce biodrowe górne tylnie odpowiednio b) i d). Na obrazach wniesiono linię kręgosłupa wykrytą w GeoMedia.

Zauważono również pewne „niedoskonałości” modelu uzyskanego z mierzonych automatycznie zdjęć zbieżnych. Są spowodowane zapewne błędami *matchingu*, niedającymi się zweryfikować na modelu stereoskopowym.

6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Genezą podjętych badań jest rozbieżność między dokładnością pomiaru oferowaną przez metody fotogrametryczne a dokładnością sygnalizacji mierzonych punktów anatomicznych dla potrzeb oceny wad postawy, przenoszonych na powierzchnię skóry sposobem palpacyjnym. W opracowaniu przedstawiono metodę zdalnej detekcji wybranych elementów anatomicznych, co umożliwiłoby podniesienie dokładności i skrócenie czasu pomiaru skoliozy kręgosłupa z uczestnictwem pacjenta.

Przedstawione badania pozwalają na sformułowanie następujących spostrzeżeń i wniosków:

1. Krzywizna powierzchni jest cechą pozwalającą na detekcję wybranych elementów anatomicznych, z powodzeniem została wykorzystana w funkcji *TOPOSHAPE* w programie Idrisi-Andes
2. Rejon detekcji należy ograniczyć przez wstępne wykrycie linii kręgosłupa, co można dokonać przez funkcję wyznaczenia kierunku spływu wody na podstawie spadku powierzchni w programie GeoMedia
3. Analizy powierzchniowe powinny być dokonywane na modelu wygładzonym, do tego celu wystarczyło użycie filtra uśredniającego
4. Lepsze rezultaty dał pomiar centrów wykrytych rejonów na przefiltrowanym wyniku klasyfikacji
5. Do sporządzenia wirtualnego modelu powierzchni pleców można wykorzystać zdjęcia zbierane pozyskane za pomocą systemu PBE, pod warunkiem narzucenia na tą powierzchnię tekstury o charakterze przypadkowym i użycia do automatycznego pomiaru *matchingu* uwzględniającego deformacje geometryczne dopasowywanych obrazów.

Zaprezentowane wyniki powinny być zweryfikowane na próbie statystycznej, ponieważ może się okazać, że użyta metoda sprawdza się tylko dla ograniczonej grupy osób.

7. LITERATURA

- Buxton B., Dekker L., Douros I., Treleven P., 1999. Building Symbolic Information for 3D Human Body Modeling from Range Data. *Proceedings of the Second International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling*, IEEE Computer Society, Ottawa
- Buxton B., Douros I., 2002. Three-Dimensional Surface Curvature Estimation using Quadric Surface Patches. *Proceedings of Scanning*, Paris.
http://www.somavision.co.uk/i.douros/publications/douros_buxton_scanning2002.pdf
- Buxton B., Dekker L., Douros I., Vassilev T., 2002. Reconstruction and Interpretation of 3D Whole Body surface images. *Proceedings of scanning*, Paris
- Chen D., Faragi A., Falk R., Dryden G., 2008. Gaussian curvature flowmodel for colonic polyp detection in CT colonography. T. Smolinski et al., Editors, *Computational Intelligence in Biomedicine and Bioinformatics*, Chapter 8, pp. 201-222, Springer-Verlag, Berlin
http://mecca.louisville.edu/wwwcvip/research/publications/Pub_Pdf/2008/chen_ICIP08.pdf
- Colombo A., Cusano C., Schettini R., 2006. 3D face detection using curvature analysis. *Pattern Recognition*, Vol. 39. <http://www.ivl.disco.unimib.it/papers2003/PR-3D%20Face%20Detection%20using%20Curvature%20Analysis%20.pdf>
- Drerup B., Hierholtzer E., 1985. Objective determination of anatomical landmarks on the body surface: measurement of the vertebra prominents from surface curvature. *Journal of Biomechanics*, Vol. 18, No 6
- Drerup B., Hierholtzer E., 1987. Automatic localization of anatomical landmarks on the back surface and construction of e body coordinate system. *Journal of Biomechanics*, Vol. 20, No 10
- Gatzke T., Grimm C., 2006. Estimating curvature on triangular meshes. *International Journal of Shape Modeling*, Vol. 12
- Herrington L., Pellegrini G., 2000. An advanced Shape-Of-Country classifier: extraction of surface features from DEM. 4th International Conference on Integrating GIS and

- Environmental Modeling (GIS/EM4): Problems, Prospects and Research Needs. Banff, Alberta, Canada. <http://www.colorado.edu/research/cires/banff/pubpapers/198/>
- Liu X., Kim W.D., Drerup B., 2002. Objective Determination of Anatomical Landmarks on the Foot Surface from Surface Curvature. *Proceedings of International Congress on Biological and Medical Engineering*, Singapore
<http://www3.ntu.edu.sg/mae/research/researchnews/foot-surface.pdf>
- Mrozowiak M., 2007. Uwarunkowania wybranych parametrów postawy ciała dzieci i młodzieży oraz ich zmienność w świetle metody projekcyjnej. Sonar Sp z o. o. Gorzów Wielkopolski.
- Tokarczyk R., Mikrut S., 1999. Fotogrametryczny system cyfrowy bliskiego zasięgu do pomiarów ciała ludzkiego dla potrzeb rehabilitacji leczniczej. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol.9
- Tokarczyk R., Mikrut S., 2000. Close Range Photogrammetry System for Medicine and Railways. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. B-5, Amsterdam.
- Tokarczyk R., Mitka M., 2002. Badanie fotogrametrycznego systemu trójwymiarowego pozycjonowania ciała dla celów rehabilitacji leczniczej. *Zeszyty Naukowe AGH, Geodezja*, T.8 Zeszyt 1
- Tokarczyk R., Huppert M., Koprowski R., Mazur T., Mierzwa W., Mikrut S., Wróbel Z., 2007. *Automatyzacja pomiaru na obrazach cyfrowych w systemie fotogrametrycznym do badania wad postawy*. Praca zbiorowa pod redakcją Reginy Tokarczyk, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Techniczne AGH, Kraków
- Tokarczyk R., Szczygieł M., 2008. Analiza topografii ciała ludzkiego w zastosowaniu do badania wad postawy. Materiały na CD Ogólnopolskiego Symposium Naukowego „Geoinformacja obrazowa w świetle aktualnych potrzeb”, Międzyzdroje, 15 – 17 października 2008 r. Oddane do druku do *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 2008
- Tokarczyk R., 2009. Fotogrametryczny system pomiarowy do badania wad postawy. <http://home.agh.edu.pl/~tokarcz/>

Prace wykonano w ramach badań statutowych nr AGH 11.11.150.949

THE APPLICATION OF GIS ANALYSIS FOR THE DETECTION OF SELECTED ANATOMICAL PARTS OF HUMAN BODY FOR THE POSTURE DEFECTS EXAMINATION

KEY WORDS: posture defects, close-range photogrammetry, surface curvature, GIS analysis

SUMMARY: Parameters defining posture defects are computed based on the spatial location of selected anatomical points of the human body, which include the elements of the osseous system transferred on the body surface using the palpation method. Thus, the very nature of measured points deteriorates the accuracy of posture rating parameters. Meanwhile, present measurement methods, including photogrammetric ones, allow obtaining the measurement accuracy highly exceeding that of measurement points marking. The research method described in this paper is based on an assumption that the shape of the body surface reflects the position of the osseous elements, which are significant for the posture disorder analysis. Therefore, one can find the necessary points by analysing the said surface.

The model of the human body surface was acquired using PI3000 close-range photogrammetry system by Topcon, with the accuracy of measured points of 1mm. Images used as an input for the PI3000 system were acquired by two digital cameras as convergent pairs. Afterwards, the model was analysed using GeoMedia Professional with Grid extension and Idrisi Andes software. The trace of the spine was determined using DEM analysis used for water flow detection, assuming the comparability of back surface near the spine to the river valley.

When determining the posture disorders, the anatomical points which are most often used for the determination of the anthropometrical coordinate system are as follows: the C7 spinous process and the posterior superior iliac spine. Attempts at detecting them were performed initially by determining the spine line (GeoMedia), then by using the surface curvature (Idrisi Andes). During the second phase of detection it turned out that it was necessary to smooth the surface model, and that it was an indispensable condition for the correct classification of height forms.

Dr inż. Regina Tokarczyk
e-mail: tokarcz@agh.edu.pl
tel. +12 6172288

Mgr inż. Piotr Tokarczyk
e-mail: ptokarczyk@wmgalicja.krakow.pl
tel. +48 502872717