

TECHNOLOGICZNE ASPEKTY
OPRACOWANIA
KARTOGRAFICZNYCH ZOBRAZOWAŃ
PANORAMICZNYCH

TECHNOLOGICAL ASPECTS
OF CREATING
CARTOGRAPHIC PANORAMIC VISUALIZATION

Paweł Pędzich, Henryk Gałach

Zakład Kartografii, Wydział Geodezji i Kartografii, Politechnika Warszawska

Słowa kluczowe: kartografia, zobrazowania panoramiczne, *panneau*, odwzorowania kartograficzne
Keywords: cartography, panoramic visualizations, *panneau*, map projections

Wstęp

Wraz z doskonaleniem wizualizacji map geograficznych rozwijają się nowe formy niekonwencjonalnych zobrazowań kartograficznych mapowanego terenu, jako przedstawienia trójwymiarowe (pseudotrójwymiarowe), perspektywiczne i panoramiczne. Przykładem takich form są opracowania panoramiczne typu *panneau*. Mapa panoramiczna typu *panneau* jest formą panoramy widokowej horyzontu 360° odwzorowanej na powierzchnię płaską w formie zamkniętego pierścienia kołowego. *Panneau* krajoznawcze wykonywane są dla charakterystycznych punktów widokowych, najczęściej w terenach górskich, ale także dla punktów widokowych w terenach miejskich.

Badania i eksperymenty nad tego typu zobrazowaniami panoramicznym prowadzone są w Zakładzie Kartografii Politechniki Warszawskiej od kilkunastu lat. Wykonane zostało wiele projektów (Kaczyński, Gałach, 2007; 2008) w tym zakresie, również prac dyplomowych przez studentów. Obecnie badana i rozwijana jest także technologia matematycznego przekształcania fotopanoram poziomych na kolistę. Stosując zasady odwzorowań kartograficznych możemy dokonać odpowiedniej transformacji geometrycznej tych panoram.

W niniejszym artykule zaprezentowane zostaną zasady, metodyka i technologia tworzenia zobrazowań panoramicznych typu *panneau* przy wykorzystaniu technik cyfrowych, ze szczególnym uwzględnieniem matematycznych metod transformacji.

Wizualizacje kartograficzne typu *panneau*

Jak już powiedziano we wstępie, obraz panoramowy typu *panneau* jest formą panoramy widokowej horyzontu 360°, odwzorowanej na powierzchnię płaską w formie zamkniętego okręgu.

Panneau krajoznawcze (nazywane także widokowym) według F. Piątkowskiego (1965) powinno odznaczać się następującymi cechami:

- w części środkowej, w małym kole, znajduje się fragment mapy turystycznej odpowiadający najbliższej okolicy punktu widokowego; fragment ten otoczony jest wąskim pierścieniem przeznaczonym na opis informacyjny; mapa musi być zorientowana nad punktem według kierunku północy;
- wewnętrzny pierścień o szerokości około 1,5 cm zawiera opis dotyczący ogólnej charakterystyki punktu widokowego: nazwę punktu, rzędną wysokości punktu, skalę mapy wewnętrznej, nazwę firmy wydającej, nazwisko autora opracowania i rok wykonania;
- trzecią częścią tarczy *panneau* jest szeroki pierścień zewnętrzny przylegający do wewnętrznego, w którym umieszczony jest rysunek (obraz) wiernie z natury odwzorowanej panoramy 360°, ze wszystkimi szczegółami;
- na zewnątrz tego pierścienia, jak gdyby na marginesie – brzegu tarczy *panneau*, umieszczone są opisy geograficzne widocznych na panoramie obiektów terenowych, odniesione do danego obiektu wskaźnikami kreskowymi; przy nazwach obiektów takich jak szczyty i przełęcze umieszczone są ich rzędne wysokości;
- stosowany bogaty opis na marginesie zewnętrznym tarczy powinien zaspokajać ciekawość turysty na informacje o danej okolicy;
- na zewnątrz marginesu jest zazwyczaj umieszczany krąg z ornamentacją ozdabiającą marginesy *panneau*.

Posługiwanie się takim *panneau* polega na wybraniu danego obiektu geograficznego w terenie i nacelowaniu na niego ze środka tarczy, uprzednio zorientowanej zgodnie z kierunkiem stron świata. Na linii celu rzutowanej na tarczę można odnaleźć obraz obiektu na *panneau* i wskaźnik odnoszący się do nazwy tego obiektu. Prowadzi to do łatwej identyfikacji nazw z widocznymi w terenie obiektami.

Metody rejestracji obrazów panoramowych

Punktem wyjścia do utworzenia *panneau* jest panorama prostokątna 360° danego horyzontu. W zależności od tego jakiego rodzaju obraz panoramowy chcemy uzyskać, stosuje się odpowiednią technologię rejestracji obrazu.

Przy rejestracji obrazów panoramowych standardowymi kamerami fotograficznymi, na ogół stosujemy metody: tzw. *pokrętną* lub *posuwową* albo rejestrację sprzężonym zestawem normalnych kamer.

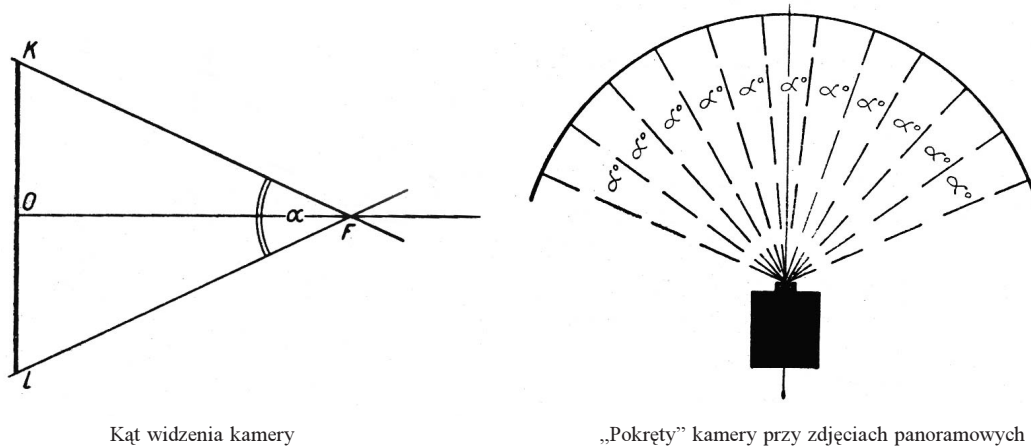
Zdjęcia panoramowe wykonane standardową kamerą (analogową bądź cyfrową) są fotomontażem poszczególnych zdjęć, stanowiących ciąg obrazów składających się na całość danej sceny.

Pojedyncze klatki muszą być ze sobą zestrojone geometrycznie i tonalnie, tak żeby trudno je było od siebie odróżnić. W technologii cyfrowej do montażu (zszywania) poszczególnych zdjęć używane są specjalne programy np. *Panorama Faktory* lub *Panorama Maker*. Dobre rezultaty w rejestracji obrazów panoramowych można uzyskać przy zastosowaniu kamery ze specjalnie skonstruowanym obiektywem typu „Torus”.

Zdjęcie panoramowe wykonane standardową kamerą jest fotomontażem poszczególnych scen, stanowiących ciąg obrazów składających się na całość pewnego tematu.

Rejestracja obrazów specjalną kamerą panoramową nie wymaga fotomontażu, ponieważ tworzy pojedynczy obraz fotopanoramyczny.

W metodzie *pokrętej* rejestracji obrazów panoramowych pojedynczą kamerą – oś obrotu kamery fotograficznej jest środkiem jej układu optycznego (rys. 1).



Kąt widzenia kamery

„Pokręty” kamery przy zdjęciach panoramowych

Rys. 1. Rejestracja obrazów metodą pokrętą (Boncler, 1963)

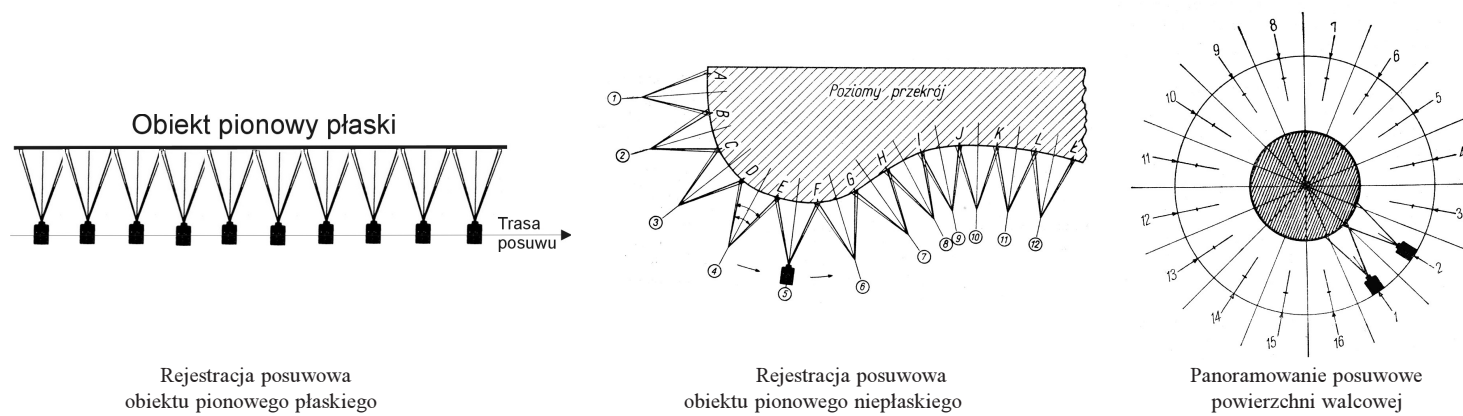
W metodzie *posuwowej* rejestracji obrazów panoramowych pojedynczą kamerą (rys. 2) można wyróżnić:

- zdjęcia panoramowe posuwowe po linii prostej –
 - plaszczyny poziomej
 - plaszczyny pionowej;
- zdjęcia panoramowe posuwowe po liniach krzywych.

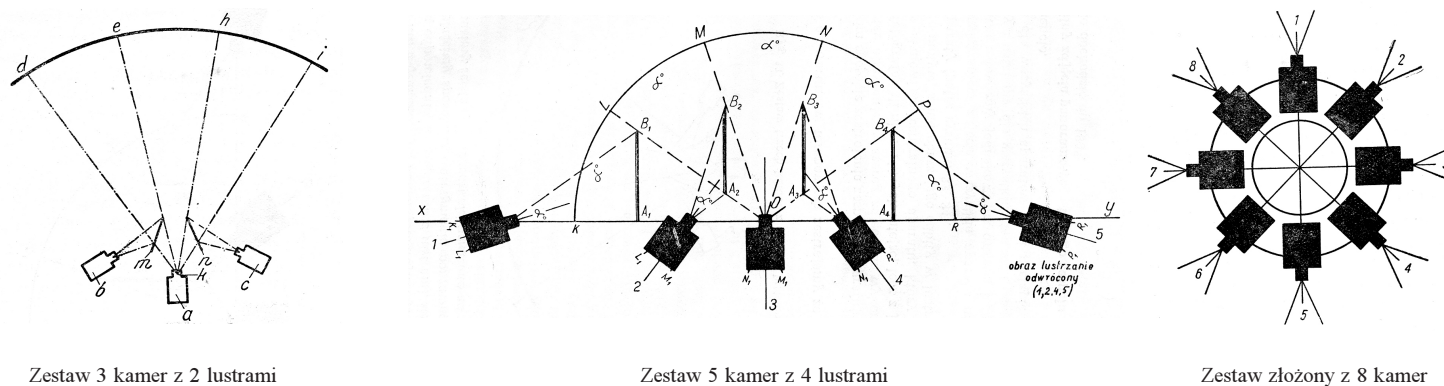
W przypadku zdjęć panoramowych wykonywanych za pomocą zespołu kamer fotograficznych (rys. 3) może to być:

- zestaw sprzężony z kilku kamer fotograficznych ze zwierciadłami płaskimi;
- zestaw kołowy kilku sprzężonych kamer fotograficznych.

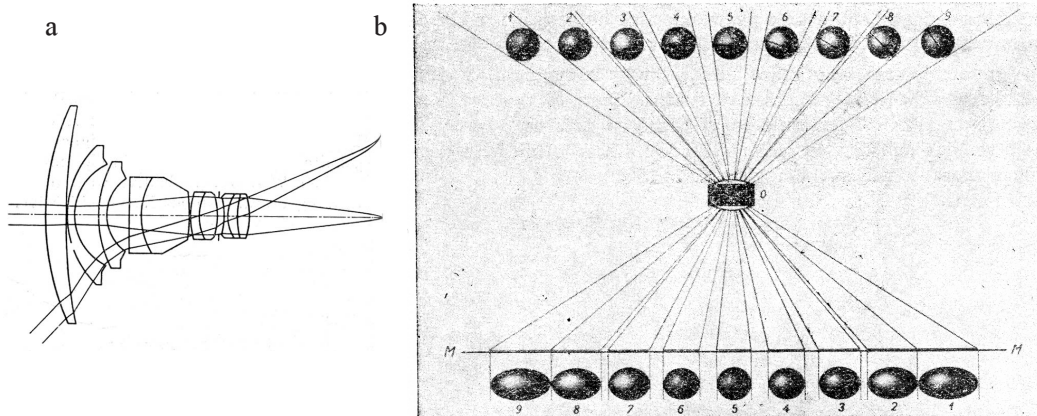
Obiektywy szerokokątne (rys. 4a) w wielu przypadkach mogłyby być stosowane do fotografii panoramowych, z wyjątkiem scen zawierających obiekty w kształcie brył przestrzennych. Obiektyw szerokokątny przy fotografowaniu brył przestrzennych powoduje tzw. *boczne przerysowanie perspektywiczne*, które nasila się ku brzegom obrazu (rys. 4b).



Rys. 2. Rejestracja obrazów metodą posuwową (Boncler, 1963)



Rys. 3. Rejestracja obrazów za pomocą zespołu kamer (Boncler, 1963)



Obiektyw szerokokątny

Boczne przerysowanie perspektywiczne obiektów 1, 2, 3, 7, 8, 9

Rys. 4. Rejestracja obrazów za pomocą obiektywu szerokokątnego (Boncler, 1963)

Technologia fotomechanicznego opracowania *panneau*

W pierwszym etapie, po wybraniu punktu widokowego dla *panneau*, wykonuje się serię zdjęć horyzontu (360°) z odpowiednim pokryciem procentowym kolejnych scen (co najmniej 30%), z wykorzystaniem specjalnego statywu z głowicą panoramiczną (z podziałem kątowym), dokładnie spoziomowanego. Z wykonanej serii zdjęć pełnego horyzontu wykonuje się fotopanoramę (rys. 5a), przez połączenie ich fotomechaniczne lub cyfrowe (np. z pomocą programu *Panorama Faktory* lub *Panorama Maker*).

Żeby przekształcić poziomą panoramę w zamknięty krąg 360° , należy podzielić ją na pionowe prostokątne segmenty, odpowiadające równym wycinkom kątowym horyzontu (rys. 5b), które po odpowiedniej transformacji na postać trapezów (rys. 5c) pozwolą po połączeniu uformować zamknięty, wieloboczny pierścień, wpisany lub opisany na okręgu o odpowiedniej średnicy. Minimalna liczba segmentów wynosi 12, co odpowiada wycinkom horyzontu 30° . Należy dodać, że istotną sprawą jest określenie właściwego promienia *panneau* i odpowiednich proporcji wysokości panoramy względem mapy wewnętrznej oraz związanej z tym liczby i wielkości segmentów panoramy i parametrów ich transformacji na trapezy. Po połączeniu trapezów uzyskujemy wieloboczny pierścień, który można przyciąć do formy pierścienia kołowego panoramy (rys. 5d).

Matematyczne opracowanie *panneau*

Opracowując *panneau* możemy stosować matematyczne przekształcenia oparte o odwzorowania o różnych własnościach metrycznych. Możemy, np. narzucić warunki równoodległościowości, równokątności lub równopolowości. Stosując stosowaną w kartografii matematycznej metodykę badania własności odwzorowań możemy także analizować zniekształcenia występujące na przetwarzanym obrazie.

Za powierzchnię oryginału przyjmujemy pobocznice walca o równaniu parametrycznym

$$\bar{r} = [r \cos \alpha, r \sin \alpha, h] \quad (1)$$

gdzie $r = \text{const}$ oznacza promień walca natomiast α i h parametry określające położenie punktu na poboczniczy walca.

Następnie obliczamy współczynniki I formy kwadratowej powierzchni (1)

$$\begin{aligned} \bar{r}_h &= [0, 0, 1] \\ \bar{r}_\alpha &= [-r \sin \alpha, r \cos \alpha, 0] \\ E &= |\bar{r}_h|^2 = 1 \\ F &= \bar{r}_h \circ \bar{r}_\alpha = 0 \\ G &= |\bar{r}_\alpha|^2 = r^2 \end{aligned} \quad (2)$$

Do przekształcenia zastosujemy następujące odwzorowanie

$$\bar{r}' = [\rho(h) \cos \alpha, \rho(h) \sin \alpha] \quad (3)$$

w którym funkcję $\rho(h)$ wyznaczamy w taki sposób aby zachować długości linii $\alpha = \text{const}$.

W tym celu obliczamy współczynniki I formy kwadratowej płaszczyzny obrazu (3)

$$\begin{aligned} \bar{r}'_h &= \left[\frac{d\rho(h)}{dh} \cos \alpha, \frac{d\rho(h)}{dh} \sin \alpha \right] \\ \bar{r}'_\alpha &= [-\rho(h) \sin \alpha, \rho(h) \cos \alpha] \\ E' &= |\bar{r}'_h|^2 = \left(\frac{d\rho}{dh} \right)^2 \\ F' &= \bar{r}'_h \circ \bar{r}'_\alpha = 0 \\ G' &= |\bar{r}'_\alpha|^2 = \rho^2 \end{aligned} \quad (4)$$

a następnie skalę długości w kierunku linii $\alpha = \text{const}$

$$\mu_h = \sqrt{\frac{E'}{E}} = \frac{d\rho}{dh} \quad (5)$$

oraz skalę długości w kierunku linii $h = \text{const}$

$$\mu_\alpha = \sqrt{\frac{G'}{G}} = \frac{\rho}{r} \quad (6)$$

Warunek równoodległościowości odwzorowania (3) jest spełniony wówczas, gdy

$$\mu_h = \frac{d\rho}{dh} = 1 \quad (7)$$

Na podstawie (7) otrzymujemy równanie różniczkowe

$$d\rho = dh \quad (8)$$

Z rozwiązania otrzymanego równania różniczkowego (8) otrzymujemy

$$\rho = h + C \quad (9)$$

Stałą C wyznaczamy w taki sposób aby wybrana linia parametryczna $h=h_0$ odwzorowała się bez zniekształceń. Obliczamy więc skalę długości w kierunku linii $h=\text{const}$

$$\mu_\alpha = \sqrt{\frac{G'}{G}} = \frac{\rho}{r} = 1 \quad (10)$$

W miejsce ρ podstawiamy

$$\rho = h_0 + C \quad (11)$$

stąd otrzymujemy

$$C = r - h_0 \quad (12)$$

Odwzorowanie będzie miało postać

$$\vec{r}' = [(h+r-h_0)\cos\alpha, (h+r-h_0)\sin\alpha] \quad (13)$$

skale zniekształceń długości przedstawiają następujące wzory

$$\mu_h = 1 \quad (14)$$

$$\mu_\alpha = \frac{h+r-h_0}{r} \quad (15)$$

Jeżeli przetwarzany obraz potraktujemy jako dwuwymiarową tablicę o wymiarach $lw \times lk$, gdzie lw oznacza liczbę wierszy a lk liczbę kolumn wówczas promień $r = \frac{lk}{2\pi}$.

Oznaczając przez i kolejne kolumny otrzymujemy $\alpha = 2\pi \frac{i}{lk}$. Oznaczając przez j kolejne wiersze otrzymujemy $h=j$.

Na rysunku 6 zaprezentowano przykładową panoramę opracowaną za pomocą opisanej metody. Przekształcenia wykonano w programie Matlab. Jako materiał źródłowy wykorzystano panoramę z Kasprowego Wierchu w postaci rozwiniętej prostokątnej poboczniczy walca.

Warunek równokątności odwzorowania (3) jest zachowany wówczas, gdy spełnione jest równanie

$$\frac{E'}{E} = \frac{G'}{G} \quad (16)$$

po podstawieniu współczynników (2) i (4) otrzymujemy równanie różniczkowe

$$\frac{d\rho}{dh} = \frac{\rho}{r} \quad (17)$$

Po rozwiązaniu równania mamy

$$\rho = e^{\frac{h}{r} + C} \quad (18)$$

Stałą C wyznaczamy, podobnie jak poprzednio, aby wybrana linia parametryczna $h=h_0$ odwzorowała się bez zniekształceń. Obliczamy więc skalę długości w kierunku linii $h=\text{const}$

$$\mu_\alpha = \frac{\rho_0}{r} = 1 \quad (19)$$

po przekształceniu otrzymujemy równanie

$$\rho_0 = e^{\frac{h_0}{r} + C} = r \quad (20)$$

z którego wyznaczamy stałą C

$$C = \ln r - \frac{h_0}{r} \quad (21)$$

Odwzorowanie będzie miało postać

$$\vec{r}' = \left[re^{\frac{h}{r} - \frac{h_0}{r}} \cos \alpha, re^{\frac{h}{r} - \frac{h_0}{r}} \sin \alpha \right] \quad (22)$$

Skale długości wynoszą odpowiednio

$$\mu_h = \mu_\alpha = e^{\frac{h-h_0}{r}} \quad (23)$$

Na rysunku 7 zaprezentowano wynik przekształcenia panoramy prostokątnej w kolistą za pomocą odwzorowania równokątnego. Zastosowano ten sam materiał źródłowy co w poprzednim przykładzie.

Warunek równopolowości jest zachowany wówczas, gdy skala pól jest równa jedności

$$p = \frac{\sqrt{E'G' - F'^2}}{\sqrt{EG - F^2}} = 1 \quad (24)$$

po podstawieniu współczynników (2) i (4) otrzymujemy wzór

$$p = \frac{\rho}{r} \frac{d\rho}{dh} = 1 \quad (25)$$

oraz po przekształceniu równanie różniczkowe

$$\rho d\rho = r dh \quad (26)$$

Po rozwiązaniu równania otrzymujemy

$$\frac{\rho^2}{2} = rh + C \quad (27)$$

a następnie

$$\rho = \sqrt{2rh + C} \quad (28)$$

Stałą C wyznaczamy z warunku, aby wybrana linia parametryczna $h=h_0$ odwzorowała się bez zniekształceń. Obliczamy więc skalę długości w kierunku linii $h=\text{const}$

$$\mu_\alpha = \frac{\rho_0}{r} = 1 \quad (29)$$

po przekształceniu otrzymujemy równanie

$$\rho_0 = \sqrt{2rh_0 + C} = r \quad (30)$$

z którego wyznaczamy stałą C

$$C = r^2 - 2rh_0 \quad (31)$$

$$\vec{r}' = \left[\sqrt{2rh + r^2 - 2rh_0} \sin \alpha, \sqrt{2rh + r^2 - 2rh_0} \cos \alpha \right] \quad (32)$$

Skale zniekształceń długości mają postać

$$\mu_h = \frac{\sqrt{2rh + r^2 - 2rh_0}}{r} \quad (33)$$

$$\mu_\alpha = \frac{r}{\sqrt{2rh + r^2 - 2rh_0}} \quad (34)$$

Na rysunku 8 zaprezentowano wynik zastosowania odwzorowania równopoleowego.

Oceniając wizualnie uzyskany efekt możemy zauważyć, że najbardziej zniekształcony obraz występuje w przypadku odwzorowania równopoleowego. Na obrazie widać wydłużone sylwetki osób. W przypadku odwzorowania równokątnego występuje znaczne rozciąganie obrazu w okolicach zewnętrznej krawędzi pierścienia. Wywołuje to niekorzystny efekt powiększenia mniej istotnej części obrazu, tzn. tej w której zobrazowano fragment zachmurzonego nieba. Najlepszy obraz uzyskano w wyniku zastosowania odwzorowania równoodległościowego.

Powyższe wnioski potwierdzają przeprowadzone analizy zniekształceń. Zniekształcenia zilustrowano na dwóch wykresach przedstawiających zależność skali zniekształceń długości μ_α oraz μ_h od parametru h (rys. 9, 10).

Na wykresie (rys. 10) widać duże różnice pomiędzy skalami zniekształceń μ_h w okolicach krawędzi obrazów. W przypadku odwzorowania równopoleowego w okolicach zewnętrznej krawędzi występuje znaczne kuczenie obrazu, natomiast przy krawędzi wewnętrznej jego rozciąganie. W przypadku odwzorowania równokątnego mamy odwrotną sytuację. Najmniejsze zniekształcenia występują w odwzorowaniu równoodległościowym. Wartości skal zniekształceń długości μ_α różnią się niewiele.

Redakcja kartograficzna *panneau* widokowego

W kolejnej fazie opracowania *panneau* redaguje się wewnętrzną mapę kreskową w formie koła (rys. 11). Następnie opracowuje elementy kreskowe *panneau* – nazwy obiektów geograficznych z odpowiednimi wskaźnikami odniesionymi do tych obiektów i obszar pozaramkowy z legendą (rys. 12). Po połączeniu wszystkich elementów powstaje ostateczna forma mapy *panneau* (rys. 13)

Podsumowanie

W artykule przedstawiono zasady tworzenia zobrazowań typu *panneau*. Obraz panoramowy typu *panneau* jest formą panoramy widokowej horyzontu 360° odwzorowanej na powierzchni płaską w formie zamkniętego pierścienia kołowego. Opisana została technologia fotomechanicznego tworzenia *panneau* oraz metoda matematyczna oparta o odwzorowania kartograficzne pozwalająca na automatyczne przetworzenie panoramy prostokątnej do postaci kolistej. Pokazano, że stosując metody matematyczne mamy także możliwość badania zniekształceń obrazu.

Literatura

- Boncler T., 1963: Zasady fotografii panoramowej. PZWS Warszawa.
Piątkowski F., 1965: *Panneau* krajoznawcze. *Przegląd Geodezyjny* 3/1965.
Kaczyński Z., Gałach H., 2007: Opracowanie metodyki kartograficznych zobrazowań panoramicznych. Badania własne w Politechnice Warszawskiej.
Kaczyński Z., Gałach H., 2008: Opracowanie metodyki kartograficznych zobrazowań typu *panneau*. Badania własne w Politechnice Warszawskiej.

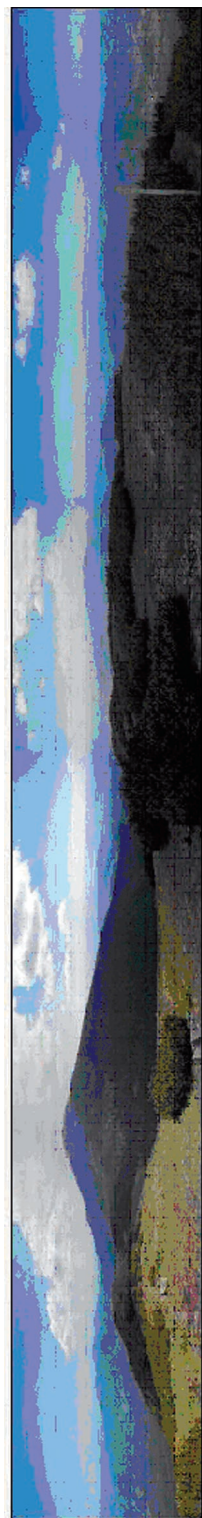
Abstract

In the paper, rules, methods and technology of creating "panneau" type panoramic visualizations are presented with application of digital technologies and mathematical methods of transformations. Basic stages of creating "panneau" are shown. Methods of registration of panorama pictures are described. Moreover two methods of creating such type of visualization are explained. First of them is a photomechanical method. And the second one is an automatic method based on mathematical transformation. Possibilities of application of projections with various metric properties are presented. In the end, rules of cartographic edition of the final form of "panneau" are described.

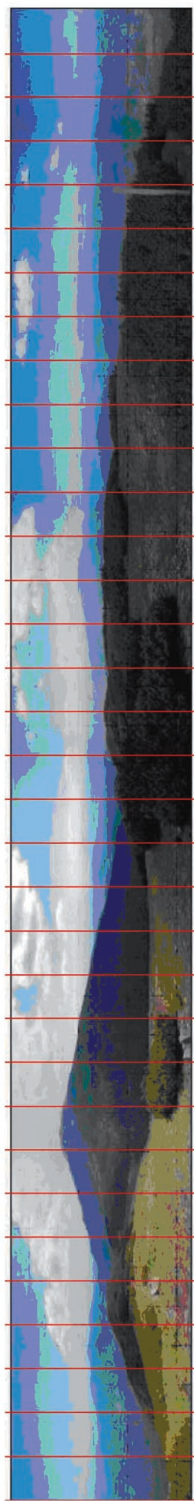
dr hab. inż. Paweł Pędzich, prof. PW
p.pedzich@gik.pw.edu.pl

dr inż. Henryk Gałach
h.galach@gik.pw.edu.pl

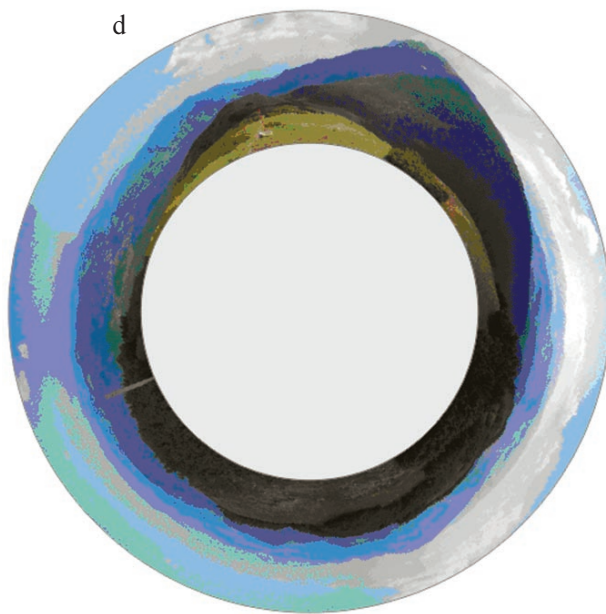
Rys. 5. Fotomechaniczne opracowanie *panneau*



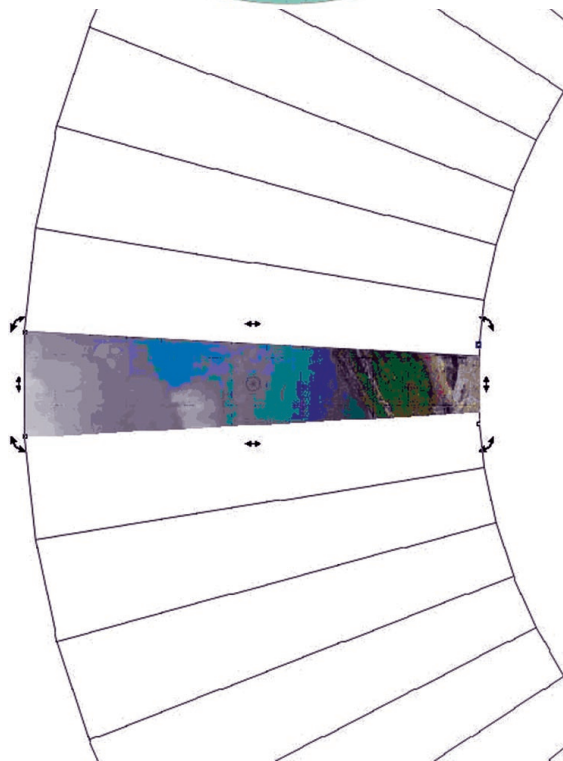
a



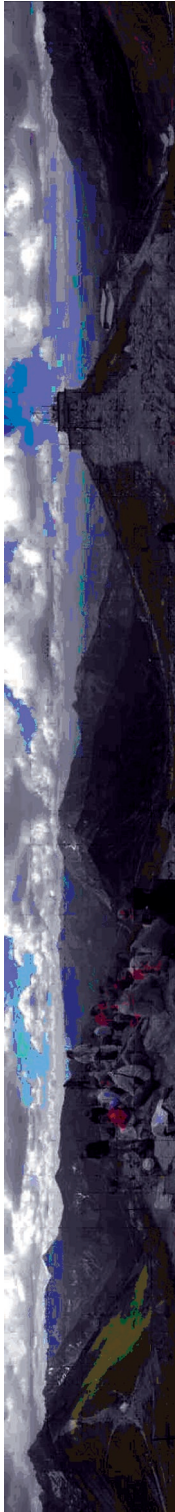
b



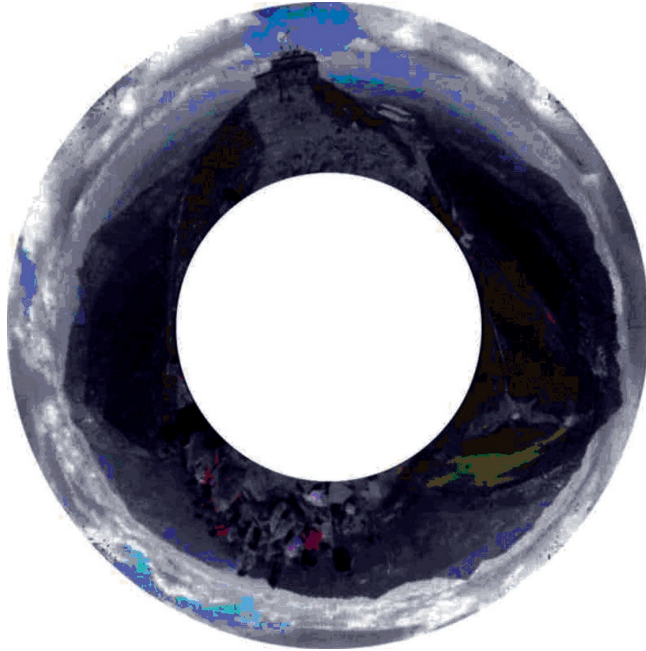
d



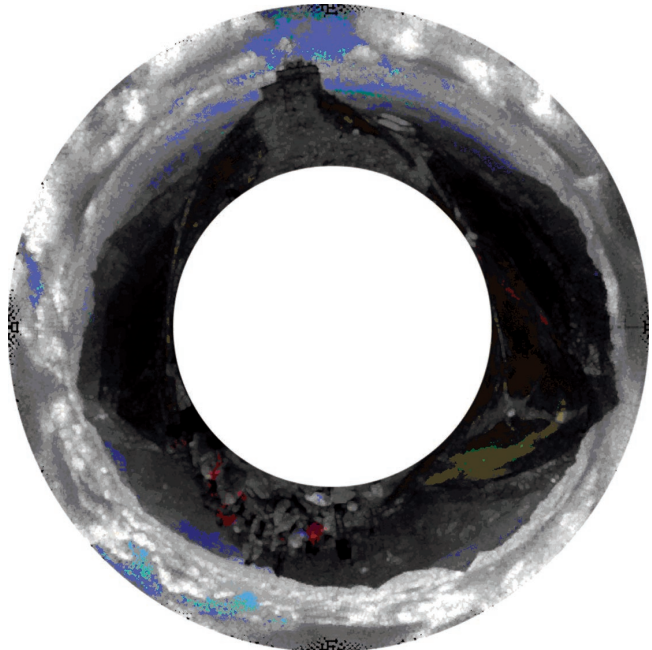
c

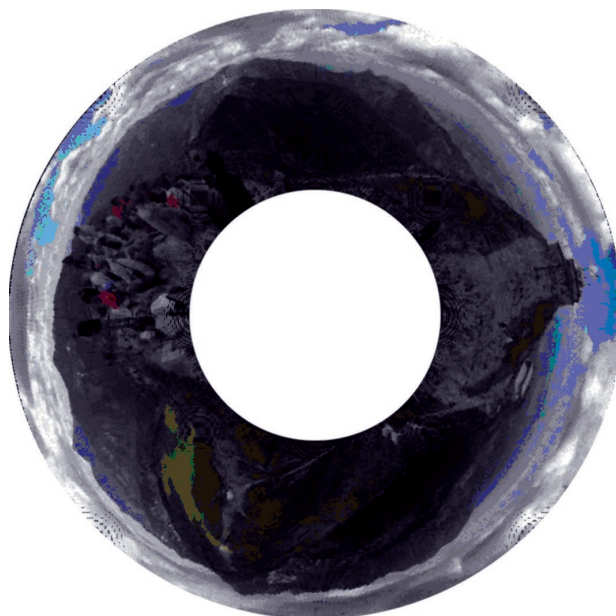


Rys. 6. Panorama w postaci prostokątnej i kolistej opracowana z zastosowaniem odwzorowania równoodległościowego

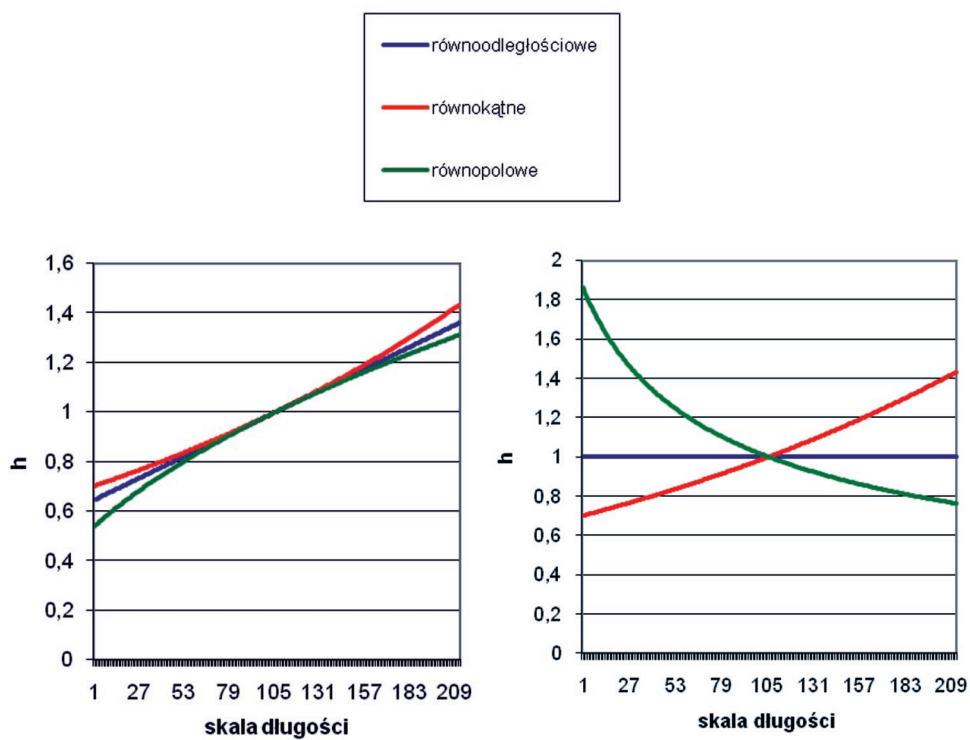


Rys. 7. Panorama w postaci kolistej opracowana z zastosowaniem odwzorowania równokątnego



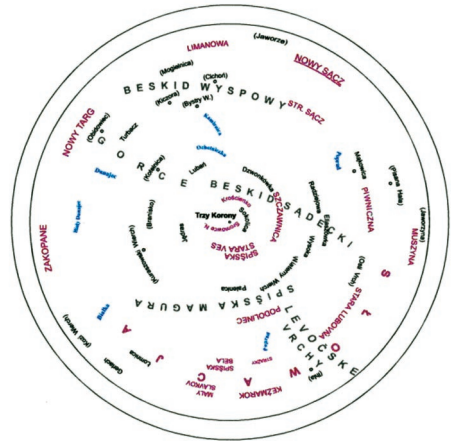


Rys. 8. Panorama w postaci kolistej opracowana z zastosowaniem odwzorowania równokątnego

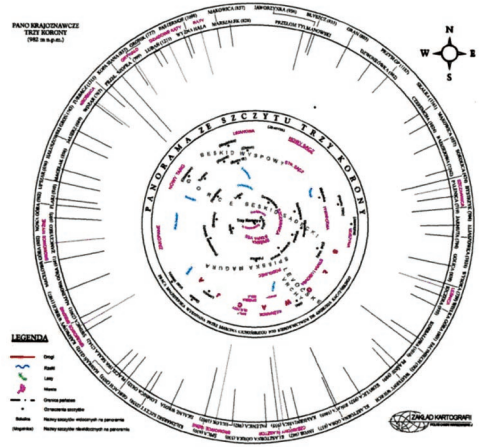
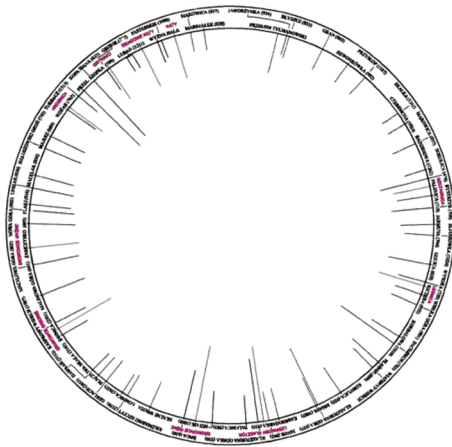


Rys. 9. Wykres skali zniekształceń długości μ_α

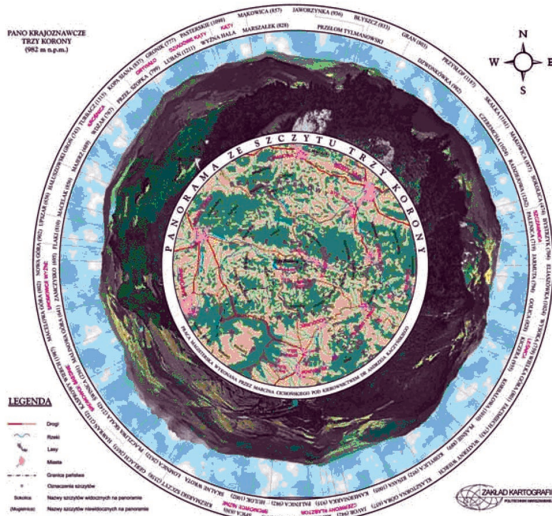
Rys. 10. Wykres skali zniekształceń długości μ_h



Rys. 11. Wewnętrzna mapa kreskowa *panneau*



Rys. 12. Opracowanie nazw obiektów geograficznych i obszaru pozaramkowego



Rys. 13. *Panneau* dla szczytu Trzy Korony w Pieninach opracowana w Zakładzie Kartografii Politechniki Warszawskiej