

GŁÓWNY GEODETA KRAJU

ZASADY WYKONYWANIA ORTOFOTOMAP

W SKALI 1:10000

WYTYCZNE TECHNICZNE

Główny Urząd Geodezji i Kartografii
Warszawa 2000

ROZDZIAŁ I

POSTANOWIENIA OGÓLNE

§ 1

Ortofotomapy w skali 1 : 10 000 przekazywane do Państwowego Zasobu Geodezyjnego i Kartograficznego powinny być wykonywane zgodnie z zaleceniami zawartymi w niniejszych wytycznych.

Ortofotomapa jest to kartometryczny, tonalny obraz terenu powstały w wyniku przetworzenia zdjęcia lotniczego na obraz odpowiadający rzutowi ortogonalnemu na powierzchnię odniesienia, przedstawiony w odpowiednim odwzorowaniu i kroju arkusza, uzupełniony informacjami kreskowymi, nazwami, symbolami oraz siatką i opisem współrzędnych oraz informacjami pozaramkowymi.

§ 2

Niniejsze "Zasady wykonywania ortofotomap w skali 1 : 10 000" zawierają wytyczne techniczne, które powinny obowiązywać przy zawieraniu umów i odbiorze prac obejmujących wykonywanie ortofotomap.

§ 3

Niewielkie doświadczenia produkcyjne z zastosowaniem cyfrowej technologii powodują, że zawarte w tym opracowaniu wytyczne nie precyzują wszystkich szczegółów technologicznych. Przewiduje się, że szybki rozwój współczesnych technologii będzie wymagał dalszego rozwijania i uzupełniania wytycznych technicznych w zakresie cyfrowego opracowania ortofotomap.

ROZDZIAŁ II

ZDJĘCIA LOTNICZE

§ 4

Wymagania dotyczące zdjęć lotniczych

1. Ortofotomapa może być opracowywana ze zdjęć wykonanych jako:

- 1) diapozytywy barwne,
- 2) negatywy barwne,
- 3) diapozytywy czarno-białe,
- 4) negatywy czarno-białe.

W uzasadnionych przypadkach można wykorzystać dla tworzenia ortofotomapy zdjęcia barwne spektrostrefowe (w barwach nienaturalnych).

2. Ortofotomapa może być opracowywana ze zdjęć wykonanych specjalnie dla tego celu lub z innych zdjęć, których wykonanie planowano bez przewidywania opracowania w formie ortofotomapy.

Zaleca się opracowanie ortofotomapy ze zdjęć, których wykonanie zaplanowano dla tego celu. Opracowanie ortofotomapy ze zdjęć wykonanych dla innych celów, lub dla sporządzenia ortofotomapy w większej skali jest zwykle powodem większej pracochłonności. Wynika to z konieczności montażu w jeden arkusz ortoobrazów powstałych z wielu zdjęć tzw. mozaikowania.

3. W uzasadnionych przypadkach dopuszcza się wykorzystanie zdjęć pochodzących z różnych nalotów, wykonanych w różnych terminach, do tworzenia jednego arkusza ortofotomapy. Wykonywanie arkusza ortofotomapy ze zdjęć wykonanych w odległych terminach (np. w innej porze roku, po upływie okresu czasu, w którym nastąpiły znaczne zmiany sytuacji terenowej), dopuszcza się jedynie w szczególnych przypadkach a umowa na wykonanie takiego opracowania powinna zawierać klauzulę określającą ten przypadek wraz z przewidywanymi skutkami.

4. Zdjęcia projektowane dla opracowania ortofotomapy powinny spełniać następujące wymagania:

- 1) arkusz ortofotomapy powinien być objęty obrazem jednego lub dwóch zdjęć,
- 2) lokalizacja środków rzutów zdjęć, odległość obrazu stosowanej kamery oraz planowane pokrycie podłużne i poprzeczne powinno umożliwiać uzyskanie na ortofotomapie możliwie najmniejszych przesunięć radialnych elementów ukształtowania i pokrycia terenu.

5. Zdjęcia z których będzie wykonywana ortofotomapa powinny charakteryzować się:

- 1) dobrą ostrością obrazu,
- 2) brakiem chmur, dymów oraz ich cieni na obrazie,
- 3) brakiem uszkodzeń mechanicznych i chemicznych oraz efektów wyładowań elektrycznych.

6. Jakość zdjęć powinna posiadać ocenę bardzo dobrą lub dobrą według obowiązujących kryteriów oceny jakości zdjęć.

7. Obowiązujące kryteria oceny jakości zdjęć i szczegółowe wymagania dotyczące ich wykonania zawarte są w wytycznych technicznych K-2.7 "*Zasady wykonywania prac fotolotniczych*" wydane przez GUGiK w 1999 r.

ROZDZIAŁ III

FOTOGRAMETRYCZNA OSNOWA TERENOWA

§ 5

Wymagania dotyczące terenowej osnowy fotogrametrycznej

1. Wymagania dotyczące terenowej osnowy fotogrametrycznej nie różnią się w sposób istotny od wymagań jakie formułowane są dla innych opracowań fotogrametrycznych. Osnowa terenowa pozwala na wyznaczenie elementów orientacji zdjęć względem układu współrzędnych geodezyjnych i wpasowanie opracowania fotogrametrycznego w ten układ.
2. Liczba punktów terenowej osnowy fotogrametrycznej zależy od liczby zdjęć i kształtu bloku oraz od techniki wykonania zdjęć (a w szczególności od tego czy położenia środków rzutów i kątowne elementy orientacji zdjęć zostały określone techniką satelitarnego systemu określania położenia GPS i bezwładnościowego systemu orientacji INS oraz od dokładności tych danych).
3. W opracowaniach fotogrametrycznych zagęszczenie osnowy terenowej i wyznaczenie orientacji zdjęć następuje najczęściej w procesie aerotriangulacji. W cyfrowych technologiach opracowania zdjęć fotogrametrycznych aerotriangulacja może być wykonywana na podstawie zeskanowanych zapisanych cyfrowo zdjęć lub przy zastosowaniu innych procedur z zachowaniem zaleceń ujętych w wytycznych technicznych *G-1.8 "Aerotriangulacja analityczna"* (GUGiK - 1984). Niniejsze wytyczne nie obejmują procesu aerotriangulacji.
4. Wytyczne dotyczące polowej osnowy fotogrametrycznej i sygnalizacji punktów zawarto w wytycznych technicznych *K-2.7 „Zasady wykonywania prac fotolotniczych”*, GUGiK 1999. Poniżej podano tylko szczególne wymagania dotyczące sygnalizacji punktów osnowy terenowej i wyboru fotopunktów naturalnych, które są inne od wymagań stawianych dla opracowań tradycyjnych:
 - 1) wielkość znaku sygnalizującego punkt w terenie (średnica, bok) powinna być nie mniejsza niż 3-krotna terenowa wielkość wymiaru boku pojedynczego piksela,

- 2) jako fotopunkty naturalne należy wybierać punkty wyznaczone z przecięcia elementów liniowych wydłużonych (drogi, szlaki komunikacyjne) lub dobrze odfotografowane, pozwalające na jednoznaczną identyfikację punkty centralne elementów pokrycia terenowego w kształcie regularnej figury geometrycznej (koło, elipsa, wielokąt foremny) o wymiarach kilka, a nawet kilkanaście razy większych od terenowego wymiaru piksela,
 - 3) nie należy stosować jako fotopunktów naturalnych takich szczegółów jak: narożniki, okapy, wysokie ogrodzenia, małe choćby nawet ostro odfotografujące się szczegóły terenowe ze względu na występujące przesunięcia radialne (punkty takie były zalecane w warunkach technicznych dotyczących opracowań analogowych i analitycznych z obserwacją diapozytywów lub negatywów zdjęć),
 - 4) pomiar geodezyjny przeprowadzany dla wyznaczenia współrzędnych fotopunktów naturalnych należy poprzedzić jednoznacznym określeniem położenia w terenie punktu centralnego obiektu obranego jako fotopunkt i sporządzeniem dokładnego opisu topograficznego oraz zaznaczeniem położenia punktu pomiaru na powiększeniu tego fragmentu zdjęcia.
 - 5) zaleca się stosowanie metod opartych na technice GPS do pomiaru położenia punktów terenowej osnowy fotogrametrycznej (zarówno fotopunktów sygnalizowanych jak i fotopunktów naturalnych),
 - 6) dla opracowania ortofotomapy w skali 1:10 000 zaleca się wykorzystanie fotopunktów naturalnych jako punktów fotogrametrycznej osnowy terenowej, dla opracowania ortofotomapyw skalach większych częściej stosowane będą fotopunkty sygnalizowane.
5. Inne wytyczne dotyczące fotogrametrycznej osnowy terenowej powinny być zgodne z wymaganiami stawianymi w wytycznych technicznych G-1.8 lub w uzasadnionych przypadkach być sformułowane w warunkach technicznych wykonania opracowania stanowiących integralną część umowy.

ROZDZIAŁ IV

SKANOWANIE ZDJĘĆ

§ 6

Definicje i założenia

1. Skanowanie to proces zamiany obrazu analogowego w postaci diapozytywów lub negatywów zdjęć lotniczych na obraz cyfrowy (bitmapowy)
2. Skaner w trakcie skanowania próbkuje opracowywany obraz analizując kolor lub stopień szarości. Najmniejszy element dla którego odbywa się analiza nazywany jest pikselem. Ilość próbkowań a co za tym idzie ilość pikseli na odcinku jednego cala nazywana jest rozdzielczością. Często zamiast podawania rozdzielczości w formie ilości próbek na cal (dpi) spotyka się określenie rozdzielczości przez podanie wielkości piksela w mikrometrach (μm).
3. Piksel pierwotny to piksel z jakim próbkowane jest zdjęcie podczas skanowania.
4. Piksel wynikowy to piksel który powstaje podczas ortorektyfikacji i stanowi najmniejszy element geometryczny budowanej ortofotomapy
5. Histogram to wykres pokazujący jaka liczba pikseli ma określoną wartość poziomu szarości.
6. Głębina skanowania określa zdolność skanera do rozróżniania liczby poziomów szarości lub koloru. Obrazy zapisane z 24-bitową głębią charakteryzują się pikselami opisywanymi trzema wartościami 8-bitowymi: czerwieni, zieleni i niebieskiego. W praktyce oznacza to możliwość rozróżnienia 16.7 miliona kolorów.
7. Dynamika jest to zdolność skanera do rozróżnienia niewielkich różnic w poziomach szarości w całym zakresie tonalnym.

Wymagania dotyczące skanerów

1. Skanery fotogrametryczne, powinny spełniać następujące wymagania techniczne:

- a) zamiana zdjęcia z postaci filmu lotniczego do postaci cyfrowej powinna odbywać się z dokładnością geometryczną $\pm 1 - 2 \mu\text{m}$,
- b) skanowanie w systemie RGB z głębią 24bit/pixel,
- c) dokładność radiometryczna określona błędem średnim nie większym niż 5 stopni szarości w skali 0-255
- d) powinna istnieć możliwość usunięcia ewentualnej dominanty barwnej oraz skanowania materiałów przezroczystych zarówno negatywów jak i diapozytywów,
- e) rozdzielczość optyczna w zakresie 10 – 30 μm ,
- f) ogromną zaletą będzie możliwość regulacji czasu ekspozycji co pozwala osiągnąć lepszą dynamikę skanowanego obrazu,
- g) powinien posiadać możliwość wykonania kalibracji.

DODATEK do rozdziału IV „Skanowanie zdjęć”

Kalibracje dostępne dla jednego ze skanerów fotogrametrycznych

***Kalibracja nośnika** – polega na określeniu dokładności pozycjonowania nośnika na podstawie precyzyjnej siatki wzorcowej. Kalibracja powinna być wykonywana przed każdym większym projektem i nie rzadziej niż raz na trzy miesiące przy standardowej eksploatacji skanera oraz we wszystkich momentach kiedy mamy uzasadnione przypuszczenie, że parametry precyzji skanowania mogły ulec zmianie i nie zostanie utrzymana dokładność pozycjonowania z błędem $< 2\mu\text{m}$.*

***Kalibracja geometryczna** – przeprowadzana jest w celu ustalenia parametrów transformacji (powiększenia i obrotu) obrazu na sensorze w stosunku do skalibrowanych osi układu nośnika. Należy ją wykonać w przypadku, gdy na skanowanym obrazie dostrzeżemy powtarzające się przesunięcia lub nieciągłości najlepiej widoczne przy obiektach liniowych biegnących pod kątem do kierunku skanowania.*

Kalibracja radiometryczna – to ustalenie tablicy korekcji dla każdego elementu kamery CCD. Należy ją przeprowadzić po każdym wyłączeniu układu zasilającego sensor lub w przypadku, gdy na jednolitych tonalnie obrazach (np. powierzchnie wody) dostrzegamy regularne plamy o różnych poziomach jasności.

2. Skaner należy kontrolować co pewien ustalony czas a w przypadku gdy był przemieszczany, poddany jakimkolwiek wstrząsom albo gdy nastąpiło przerwanie zasilania w trakcie pracy, kontrolę i kalibrację należy przeprowadzić obowiązkowo, nawet jeżeli nie zauważamy oznak rozkalibrowania.

3. Na rynku jest dostępnych kilka skanerów, które spełniają powyższe warunki. Ze względu na budowę i użyte podzespoły można je podzielić następująco:

| Rodzaj sensora | Typ konstrukcji | Sposób transportu | System oświetlenia |
|--|--|---|-------------------------|
| 1. Matryca CCD Rozmiary matryc 1000x1000 do 2048x2048 | 1. Wszystkie liczące się na rynku skanery fotogrametryczne są skanerami płaskimi | 1. Sensor nieruchomy – skanowany materiał przesuwa się pomiędzy źródłem światła a sensorem. | 1. światło rozproszone |
| 2. Linia CCD Rozmiary linii Od 1000 do 2048 | | 2. Skanowany materiał nieruchomy przesuwa się układ sensor-źródło światła. | 2. światło bezpośrednie |
| 1. Macierz liniowa 3x8000 pikseli | | Obydwa rozwiązania pozwalają uzyskać praktycznie takie same dokładności geometryczne | |

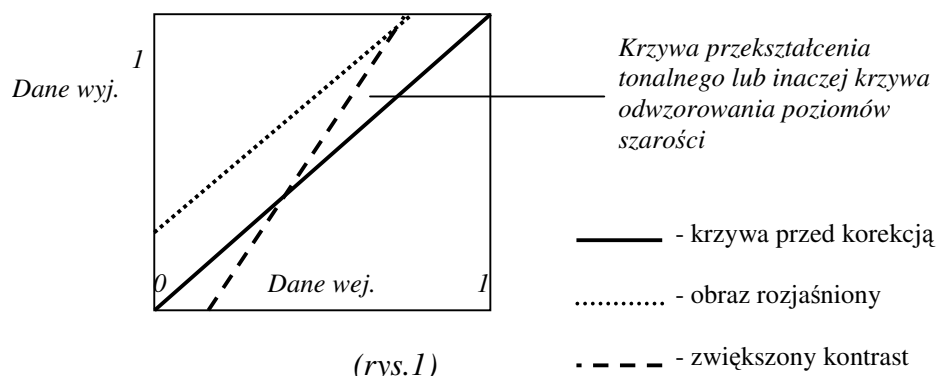
Skanowanie zdjęć

Aby zeskanowany obraz był prawidłowy (przy założeniu, że zdjęcia są wykonane poprawnie) należy przestrzegać poniższych warunków dotyczących jego geometrii i radiometrii oraz stosować wskazówki prowadzące do otrzymania poprawnego obrazu cyfrowego:

1. szczegóły w światłach i cieniach powinny być widoczne,
2. jeśli mamy możliwość wybrania przesłony i regulacji ilości światła parametry te powinno dobierać się stosując zasadę: mała przesłona duża ilość światła,
3. parametry skanowania należy dobierać tak aby histogram powstały po skanowaniu był regularny, ciągły, możliwie jak najszerszy jednak bez wartości bliskich 0 oraz 255. Wartości te mogą wystąpić jedynie przypadkowo (przy założeniu, że nie występują na oryginale).
4. przy doborze parametrów skanowania (przesłona, ilość światła, gęstość optyczna itp.) należy w minimalnym stopniu operować zmianami funkcji kontrastu, za pomocą której można rozciągnąć lub zwęzić zakres tonalny histogramu. Podnoszenie kontrastu powoduje wzrost różnicy pomiędzy sąsiednimi poziomami szarości – poprawiając czytelność detali w obszarze tonów średnich - lecz prowadzi do utraty szczegółów w obszarach światła i cieni. Obniżania kontrastu powoduje tzw. kompresję tonalną – cały zakres 256 poziomów szarości jest zawężany do mniejszej ich liczby.
5. podobnie niewskazane są zmiany funkcji jasności. Zmiany tej funkcji powodują przesunięcia histogramu w kierunku tonów jasnych lub ciemnych. Zmiana jasności powoduje jednakową zmianę wartości wszystkich poziomów co nie zwiększa liczby rozróżnialnych szczegółów, a przesunięcia powodują, że informacja zawarta w obszarach krańca histogramu znika.

Wady korekcji liniowych przedstawionych powyżej ilustruje rys.1

*Użycie **funkcji kontrastu** powoduje zmianę nachylenia krzywej natomiast użycie **funkcji jasności** powoduje ruch krzywej do góry lub do dołu.*



6. jeśli w procesie skanowania musimy korygować skanowane obrazu to najlepiej użyć korekcji nieliniowej zwanej korekcją „gamma”. Użyta ostrożnie spowoduje zwiększenie czytelności szczegółów w obszarach ciemnych bez jednoczesnego skasowania informacji w obszarach jasnych.
7. zeskanowane zdjęcie nie może zawierać obrazu smug, plam i kurzu,
8. wartości gęstości optycznej dla znaczków tłowych powinna w idealnym przypadku być reprezentowana tylko przez dwie wartości jasności pikseli,
9. nie można dopuścić do wystąpienia pierścieni związanych ze nieprawidłowym (zwykle zbyt dużym) dociskiem skanowanego materiału,
10. obraz powinien być pozbawiony dystorsji wynikających z optyki skanera oraz zniekształceń wynikających z nieprawidłowego (zbyt słabego) docisku skanowanego materiału.

§ 9

Zasady doboru piksela pierwotnego

1. Bardzo ważnym elementem procesu skanowania jest dobór wielkości piksela pierwotnego tzn. rozdzielczości skanowania. Przy doborze rozdzielczości należy brać pod uwagę:
 - skalę zdjęć,
 - przewidywaną skalę opracowania,
 - planowaną rozdzielczość terenową (*piksel wynikowy w jednostkach terenowych*),
 - zdolność rozdzielczą układu: film lotniczy – kamera lotnicza.

2. Przyjmuje się, że dla zdjęć czarno-białych wykonanych nowoczesnymi kamerami lotniczymi na wysokorozdzielczym filmie wymiar piksela pierwotnego powinien zawierać się w przedziale 12-25µm, natomiast dla zdjęć barwnych 20-30µm.

3. Ustalając rozdzielczość skanowania należy stosować zasadę, że wielkość terenowa piksela wynikowego powinna być około 10% - 20% większa od wielkości piksela pierwotnego, a wielkość piksela pierwotnego nie powinna być mniejsza niż wielkość obliczona na podstawie poniższego wzoru :

$$(320dpi) \times (skala\ zdjęcia) : (skala\ opracowania).$$

4. Dodatkowe informacje na temat doboru wielkości piksela pierwotnego i wynikowego przedstawione są w rozdziale V „Przetwarzanie Cyfrowe – Ortorektifikacja”.

5. Przytoczone wymagania odnoszą się do opracowań używanych jako produkty “softcopy” tzn. na ekranie komputera, w przypadku druku założenia te powinny wynikać z planowanego rodzaju druku. Na podstawie znanej skali zdjęć, oczekiwanej dokładności opracowania oraz podanych powyżej wartości określamy skalę opracowania, która jest możliwa do uzyskania z posiadanych przez materiałów.

6. Optymalne wielkości piksela pierwotnego dla przykładowych skal zdjęć i opracowań przedstawia poniższe zestawienie:

| Skala zdjęć | Skala opracowania | Wielkość piksela |
|--------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1:26000 | 1:10000 | 25µm |
| 1:5000 | 1:2000 | 20-25µm |

Tabela 4.1. Rozdzielczość terenowa w zależności od wielkości piksela pierwotnego i skali zdjęć.

| Wielkość piksela Pierwotnego (μm) | 5 | 10 | 12,5 | 20 | 25 | 30 | 40 |
|--|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Skala zdjęć | Rozdzielczość terenowa (m) | | | | | | |
| 1:1000 | 0,005 | 0,010 | 0,013 | 0,020 | 0,025 | 0,030 | 0,040 |
| 1:3600 | 0,018 | 0,036 | 0,045 | 0,072 | 0,090 | 0,108 | 0,144 |
| 1:5000 | 0,025 | 0,050 | 0,063 | 0,100 | 0,125 | 0,150 | 0,200 |
| 1:10000 | 0,050 | 0,100 | 0,125 | 0,200 | 0,250 | 0,300 | 0,400 |
| 1:26000 | 0,130 | 0,260 | 0,325 | 0,520 | 0,650 | 0,780 | 1,040 |
| 1:30000 | 0,150 | 0,300 | 0,375 | 0,600 | 0,750 | 0,900 | 1,200 |

7. Dobór wielkości piksela pierwotnego ma bezpośredni wpływ na rozmiary zbiorów z jakimi będziemy mieli do czynienia podczas całego procesu tworzenia ortofotomapy. Zmniejszanie rozmiaru piksela powinno być uwarunkowane tylko oczekiwaną dokładnością opracowania. Przykładowe rozmiary zbiorów dla różnych wielkości piksela pierwotnego podaje tabela 4.2.

Tabela 4.2. Wielkości zbiorów rastrowych zeskanowanych zdjęć lotniczych (230x230 mm)

| Rozmiar piksela [μm] | Wielkość zbioru w [Mb] (skala szarości) | Wielkość zbioru w [Mb] (kolor RGB) | Rozdzielczość [dpi] |
|--------------------------------------|---|---|---------------------|
| 5 | 2018 | 6054 | 5080 |
| 7.5 | 897 | 2691 | 3387 |
| 10 | 504 | 1513 | 2540 |
| 12.5 | 323 | 969 | 2032 |
| 15 | 224 | 673 | 1693 |
| 20 | 126 | 378 | 1270 |
| 22.5 | 100 | 299 | 1129 |
| 25 | 81 | 242 | 1016 |
| 30 | 56 | 168 | 847 |
| 35 | 41 | 124 | 726 |

ROZDZIAŁ V

PRZETWARZANIE CYFROWE - ORTOREKTYFIKACJA

§ 10

Definicje i założenia

1. Ortorektyfikacja to proces przetwarzania zdjęć lotniczych którego celem jest uzyskanie obrazu terenu jaki powstałby przy rzutowaniu ortogonalnym na wybraną powierzchnię odniesienia.
2. Ortoobraz to wynik ortorektyfikacji przeprowadzonej dla pojedynczego zdjęcia.
3. Ortofotomapa jest mapą opracowaną na podstawie ortoobrazu lub ortoobrazów, spełnia następujące kryteria: wykonana jest w określonym odwzorowaniu kartograficznym, gwarantuje odpowiednia dla skali dokładność sytuacyjną dobrze identyfikowanych elementów treści zachowuje ustalony krój arkuszowy, posiada siatkę kartograficzną i kilometrową, ramkę, opis pozaramkowy oraz inne opcjonalne elementy uzupełniające.
4. Ortofotomapa cyfrowa jest to plik rastrowy lub zbiór plików (rastrowych, wektorowych, tekstowych), w których są zapisane: treść obrazowa, ramka wraz z opisem, georeferencje oraz opcjonalne elementy uzupełniające w tym warstwie.
5. Georeferencje to zbiór informacji definiujących położenie ortofotomapy w przyjętym układzie współrzędnych. Georeferencje powinny być zapisane w pliku niosącym część obrazową ortofotomapy. Dopuszcza się jednak rozwiązanie, w którym georeferencje są zapisane w osobnym pliku zawierającym współrzędne orientujące czterech narożników ortofotomapy. Rolę takiego pliku może spełniać ramka wewnętrzna zapisana w jednym z formatów: DXF, DWG, DGN.
6. Przez standard zapisu części obrazowej ortofotomapy rozumie się format TIFF bez kompresji.
7. Podczas ortorektyfikacji następuje powtórne próbkowanie (ang. resampling), polegające na interpolacji jasności pikseli wynikowych na podstawie jasności pikseli pierwotnych

8. Do przeprowadzenia ortorektyfikacji są niezbędne:

- obrazy cyfrowe, najczęściej uzyskane poprzez skanowanie zdjęć lotniczych (mogą to być także obrazy rejestrowane przez skanery elektrooptyczne, układ kamer CCD oraz inne sensory stosowane aktualnie w rejestracji satelitarnej),
- dane z kalibracji kamery fotogrametrycznej (sensora),
- elementy orientacji zewnętrznej zdjęć lub osnowa fotogrametryczna pozwalająca na określenie tych elementów,
- numeryczny model rzeźby terenu (lub pokrycia terenu),

oraz dodatkowo dla potrzeb kontroli dokładności – punkty lub elementy kontrolne.

9. Stosuje się dwa zasadnicze warianty technologiczne ortorektyfikacji:

- cyfrowy, w którym po zeskanowaniu zdjęć następuje kompleksowe przetwarzanie obejmujące aerotriangulację, pozyskanie NMT i w ostatnim etapie samą ortorektyfikację (technologia ta wymaga cyfrowej stacji fotogrametrycznej),
- analogowo-cyfrowy, w którym do aerotriangulacji oraz pomiaru danych dla NMT wykorzystuje się zdjęcia w postaci fotograficznej, a tylko czynność ortorektyfikacji realizowana jest cyfrowo, przy użyciu zdjęć zeskanowanych (obrazów cyfrowych).

Ponadto można stosować rozwiązanie technologiczne, w którym wykorzystuje się istniejący NMT, opracowany uprzednio innymi metodami (patrz Aneks nr 2 „Tworzenie numerycznego modelu terenu”)

10. Skanowanie przeprowadza się według zasad omówionych w rozdziale IV „Skanowanie zdjęć”.

11. Pksel z jakim próbkowane jest zdjęcie podczas skanowania nazywany jest pikselem pierwotnym , pksel który powstaje podczas ortorektyfikacji a stanowi najmniejszy element geometryczny budowanej ortofotomapy. pikselem wynikowym. – do rozdz. „skanowanie”

§ 11

Zasady doboru rozmiaru piksela wynikowego

1. Rozmiar piksela wynikowego zależy od :
 - skali i rozdzielczości zdjęć,

- rozmiaru piksela pierwotnego (wynika z rozdzielczości skanowania),
- skali ortofotomapy,
- formy ortofotomapy (wydruk i/lub postać cyfrowa),
- charakteru rzeźby terenu.

2. Rozmiar piksela wynikowego jest istotnie zależny od relacji skali zdjęć do skali opracowywanej ortofotomapy, która jest wyrażona przez współczynnik przeskalowania K określony następująco:

$$K = M_z / M_o$$

gdzie: M_z – mianownik skali zdjęć
 M_o - mianownik skali ortofotomapy.

Zakłada się, że współczynnik przeskalowania K przyjmuje wartości z przedziału od 2 do 5 dla zdjęć fotogrametrycznych o rozdzielczości od ok. 20 do ok. 40 l/mm. W przypadku wykorzystywania zdjęć o wyższej rozdzielczości współczynnik ten może przyjmować wartości proporcjonalnie większe do przyrostu rozdzielczości.

3. Ustala się trzy poziomy wizualnej jakości ortofotomapy:

- A - wysoka – zalecana w szczególnych przypadkach, gdy przewidziane jest użytkowanie wyłącznie w postaci cyfrowej.
- B - średnia (optymalna) – zalecana dla ortofotomapy przewidzianej jednocześnie jako drukowana i cyfrowa,
- C - niska – zalecana dla celów kontrolnych lub poglądowych, dotyczy drukowania ortofotomapy przy użyciu drukarek/ploterów o niskiej rozdzielczości (np. atramentowych - 300 dpi).

Tab.5.1 Trzy poziomy wizualnej jakości ortofotomapy

| wielkość piksela wynikowego (rozdzielczość) | wizualna jakość ortofotomapy | | |
|--|------------------------------|----------------|----------------|
| | A - wysoka | B - średnia | C - niska |
| piksel w skali mapy – PX_o | 0.06 mm | 0.07 - 0.10 mm | 0.11 – 0.13 mm |
| rozdzielczość | min 400 dpi | 360 -250 dpi | 240-200 dpi |

Wyjaśnienie:

1. Przy druku offsetowym zalecana jest rozdzielczość powyżej 300 dpi.

2. Na podstawie podanej w tabeli 5.1 wielkości PX_0 można obliczyć wielkość piksela

wynikowego PX odniesioną do terenu: $PX = M_0 \cdot PX_0$,

(na przykład dla $M_0 = 10\ 000$, $PX_0 = 0.10\ mm$ otrzymamy $PX = 100\ cm$).

Na podstawie wielkości PX_0 planujemy odpowiednią wielkość piksela pierwotnego px odniesioną do zdjęcia:

$$px = PX_0 / K$$

ale wartość px nie może być mniejsza niż $0.030\ mm$ – przyjmuje się bowiem, że

skanowanie nie może być wykonane przy rozdzielczości niższej niż $846\ dpi$,

(na przykład: dla $PX_0 = 0.10\ mm$, $K=5$ otrzymamy $px = 0.02\ mm$ co odpowiada $1270\ dpi$).

4. Przy wyborze rozdzielczości ortofotomapy należy uwzględnić jakość skanowanego materiału fotograficznego. W tab.5.2 podano optymalne wielkości piksela wynikowego PX wraz z zalecanymi współczynnikami przeskalowania K , dobrane w zależności od rodzaju skanowanego materiału fotograficznego (rozdzielczości). Wielkości PX są odniesione do terenu a podane zostały w cm .

Tab. 5.2 Rozmiary piksela wynikowego PX

| Rodzaj zdjęć (materiał skanowany) | Skala ortofotomapy | | | | | Uzyskana rozdzielczość ortofotomapy |
|---|--------------------|--------|--------|---------|---------|---|
| | 1:1000 | 1:2000 | 1:5000 | 1:10000 | 1:25000 | |
| | K=5 | K=4 | K=3.5 | K=3 | K=2.5 | |
| czarno-białe I | 8.0 cm | 16 cm | 40 cm | 80 cm | 200 cm | 317 dpi |
| czarno-białe II | 10.0 cm | 20 cm | 50 cm | 100 cm | 250 cm | 254 dpi |
| barwne I | 10.0 cm | 20 cm | 50 cm | 100 cm | 250 cm | 254 dpi |
| barwne II | 12.5 cm | 25 cm | 60 cm | 125 cm | 300 cm | 203 dpi |

Uwagi:

I – zdjęcia wykonane kamerą z kompensacją rozmazu

ok. 40 l/mm dla czarno-białych (emulsja panchromatyczna),

ok. 30 l/mm dla barwnych (emulsja wielowarstwowa)

II – zdjęcia wykonane kamerą bez kompensacji rozmazu

ok. 30 l/mm dla czarno-białych (emulsja panchromatyczna),

ok. 25 l/mm dla barwnych (emulsja wielowarstwowa)

- podana rozdzielczość jest wyrażona w parach linii na milimetr (l/mm), dotyczy obiektów o niskim kontraście, należy ją rozumieć jako rozdzielczość finalną, uwzględniającą wszystkie czynniki wpływające na jakość zdjęć;
- przyjmuje się, że wtórники (kopie) oryginalnych zdjęć mają rozdzielczość niższą o około 10-20% ;
- należy zwrócić uwagę, że określenie finalnej rozdzielczości materiału fotograficznego jest procesem złożonym i musi być przedmiotem odrębnych analiz.

§ 12

Wybór metody interpolacji jasności

1. Większość programów do ortorektyfikacji udostępnia trzy metody powrónego próbkowania. Należy je stosować następująco:
 - metoda najbliższego sąsiada – tylko przetwarzanie próbné,
 - metoda interpolacji bilinearnej – przetwarzanie obszarów płaskich i pofalowanych (jest to metoda podstawowa),
 - metoda interpolacji bikubicznej (wielomian 3-go stopnia)– przetwarzanie obszarów górskich.
2. W przypadku terenów górskich, o silnie zmiennych spadkach, należy przyjmować rozmiar piksela wynikowego zmniejszony o około 20-30% (w stosunku do wartości z tab.5. 2) i zastosować interpolację bikubiczną. Skutkiem tej interpolacji jest z reguły obniżenie kontrastu obrazu i zaleca się poddanie obrazu transformacji podnoszącej kontrast.

§ 13

Postać NMT

1. Standardowymi postaciami NMT , z reguły zaimplementowanymi w oprogramowaniu stacji fotogrametrycznych, są:
 - regularna siatka prostokątna – model siatkowy (ang. GRID),
 - sieć trójkątów – model trójkątowy (ang. TIN).
2. Model siatkowy jest zalecany do opracowania ortofotomapy ze zdjęć w średnich i małych skalach. Dla terenów równinnych, łagodnie **falistych** z nieznacznym udziałem elementów antropogenicznych opisywanych przez NMT, dopuszcza się tą postać niezależnie od skali zdjęć.

Przyjmuje się dwie kategorie stopnia trudności terenu dla opisu rzeźby w siatce prostokątnej dla potrzeb ortorektyfikacji:

 - teren łatwy : płaski lub **falisty** z łagodnymi zmianami spadków, NMT opisuje samą rzeźbę, pomija wszystkie elementy pokrycia
 - teren trudny : teren o dużych, zmiennych spadkach (górski) ale także obszary płaskie lub pofalowane dla których NMT uwzględnia wybrane antropogeniczne elementy pokrycia (mosty, wiadukty, budowle hydrotechniczne).

Tab.5.3 Zalecany interwał siatki

| Stopień trudności terenu | Skala ortofotomapy | | | | |
|--------------------------|---------------------------------|-------------|---------------|---------------|---------------|
| | 1:1000 | 1:2000 | 1:5000 | 1:10000 | 1:25000 |
| | Mianownik skali zdjęć (M_z) | | | | |
| | 3000 - 5000 | 5000 - 8000 | 12000 - 18000 | 20000 - 30000 | 50000 - 60000 |
| łatwy | 5 – 10 m | 10 – 15 m | 15 – 20 m | 20 – 30 m | 30 – 50 m |
| trudny | 3 – 5 m | 5 – 10 m | 10 – 15 m | 15 – 20 m | 20 – 30 m |

Wyjaśnienia:

- należy odróżnić pomiar w regularnej, prostokątnej siatce od końcowego NMT zapisanego przy pomocy modelu siatkowego; siatka pomiarowa ma charakter danych pierwotnych z których na drodze interpolacji, po uzupełnieniu innymi danymi, powstaje wynikowa siatka NMT; nawet jeśli pomiar prowadzony był wyłącznie w siatce pomiarowej regularnej to i tak wynikowa siatka NMT różni się zwykle interwałem (gęstością) i orientacją (skręceniem).
 - kwalifikacja terenu ma w dużym stopniu charakter subiektywny toteż wybór interwału siatki należy każdorazowo poprzedzić przeprowadzeniem prób praktycznych.
 - Na podstawie opisu technicznego oprogramowania lub analizy opcji „ustawialnych” przez użytkownika należy ustalić, czy program dokonuje ortorektyfikacji dla każdego piksela czy też realizuje ją tylko dla wybranych pikseli (a dla pozostałych stosuje rozwiązanie przybliżone). W rozwiązaniach ścisłych z NMT interpolowana jest wysokość Z w miejscu położenia każdego piksela wynikowego. W przypadku rozwiązań uproszczonych, zamiast próbkowania NMT z krokiem $\Delta X = \Delta Y = PX$ odbywa się ono w interwałach będących całkowitą wielokrotnością piksela wynikowego, np. 4 x PX, 16 x PX, 32 x PX. Program z reguły umożliwia operatorowi wpływ na wielkości ΔX , ΔY . Wielkości te należy dobierać według zasady: im bardziej urozmaicona konfiguracja wysokościowa terenu, im więcej skokowych zmian wysokości (linie nieciągłości zwłaszcza na terenach zurbanizowanych), tym mniejsze rozmiary interwałów próbkowania NMT.
3. Model trójkątowy jest zalecany do przetwarzania zdjęć w dużych skalach oraz zawsze dla obszarów zurbanizowanych, gdzie występują liczne elementy antropogeniczne.

§ 14

Formaty zapisu

Jako standardowy format zapisu i wymiany obrazów cyfrowych, w tym ortofotomapy, uznaje się TIFF, przy czym zaleca się jego odmianę GeoTIFF (plik z zarejestrowanymi w nagłówku georeferencjami).

1. Ortofotomapy barwne powinny być zapisywane w trybie trójwarstwowym tj. 24 bit/piksel (tzw. tryb RGB). W szczególnych przypadkach dopuszcza się tzw. indeksowanie obrazu RGB, skutkujące ograniczeniem palety kolorów do 256 pozycji.
2. Dopuszczalne jest stosowanie innych niż TIFF formatów ale pod warunkiem zabezpieczenia możliwości konwersji na format standardowy.
3. Stosowanie kompresji o charakterze stratnym (np. JPEG) jest dopuszczalne tylko w szczególnych przypadkach i musi być zaakceptowane przez Zleceniodawcę. Powinien on wtedy określić parametry kompresji oraz zakres jej stosowalności w procesie technologicznym opracowania ortofotomapy.

§ 15

Łączenie obrazów - mozaikowanie

W przypadku gdy wykonanie arkusza ortofotomapy wymaga użycia więcej niż jednego zdjęcia istnieje konieczność wykonania procesu łączenia ortoobrazów nazwanego mozaikowaniem.

1. Konieczność wykonania mozaikowania zachodzi wtedy gdy:

- a) jedno zdjęcie nie obejmuje obszaru opracowywanego arkusza,
- b) zdjęcie jest niepoprawne radiometrycznie, występuje zjawisko winietowania lub
- c) skrajna część zdjęcia jest różna tonalnie od pozostałej części,
- d) zachodzi konieczność aby obiekt na sąsiednich arkuszach pochodził z tego samego
- e) zdjęcia, z powodu cieni, kierunku oświetlenia, kształtu i sposobu odfotografowania obiektu.

2. W procesie mozaikowania należy stosować następujące zasady umożliwiające uzyskanie poprawności geometrycznej:

- a) jedno ze zdjęć wchodzących do mozaikowania należy przyjąć jako zdjęcie bazowe,

- b) jako bazowe należy przyjąć zdjęcie poprawne radiometrycznie, tzn. jednolite kolorystycznie, bez wniebowania i dużych różnic jasności w różnych częściach zdjęcia,
- c) definiowania linii mozaikowania (często nazywanej „linią szycia”) dokonuje się poprzez wskazania punktów jej załamania przez operatora jedynie w terenie płaskim i bez zabudowy można użyć funkcji pozwalającej na mozaikowanie po linii prostej,
- d) linię mozaikowania należy wybierać tak aby biegła po obrazie terenu omijając obiekty wysokie, (budynki, drzewa) oraz cienie - najlepiej granicami konturów terenowych,
- e) podczas definiowania „linii szycia” należy brać pod uwagę stopień pokrycia zdjęć użytych do mozaikowania (przesunięcia radialne /pochylenia/ budynków, drzew, kierunki cieni),
- f) łączenie ortoobrazów ze zdjęć stanowiących pary stereoskopowe (z pokryciem 60% a w terenach zabudowanych nawet 80%) daje większą swobodę w definiowaniu linii łączenia i należy je stosować w przypadkach uzasadnionych technicznie (spełnienie wymagań dokładności i czytelności ortofotomapy) i ekonomicznie,
- g) łączenie co drugiego zdjęcia można stosować w przypadku kiedy pozwala na to jakość radiometryczna i geometryczna oraz treść zdjęć,
- h) numeryczny model terenu w miejscu przyszłego mozaikowania musi być starannie sprawdzony i zweryfikowany tak aby nie wystąpiły jakiegokolwiek zakłócenia pochodzące z błędnego pomiaru lub z łączenia modeli powstałych przy wykorzystaniu różnych stereoskopowych par zdjęć. Często konieczne jest zagęszczenia numerycznego modelu terenu dla tych miejsc przez pomiar dodatkowych punktów lub linii strukturalnych,
- i) do mozaikowania mogą być użyte ortoobrazy (które mają tą samą wielkość piksela wtórnego) lub nieprzetworzone jeszcze do postaci ortogonalnej obrazy cyfrowe,
- j) w procesie mozaikowania należy wykorzystywać oryginalne obrazy cyfrowe a nie już raz przetworzone ortoobrazy, jeżeli pozwala na to oprogramowanie. Używając oryginalnych zdjęć ograniczamy ilość przepróbkowań, którym poddany jest ostateczny produkt. Każde dodatkowe próbkowanie pogarsza ostateczną jakość oraz dokładność produktu.

3. Wymagane jest spełnienie następujących wymagań dla uzyskania poprawnych radiometrycznie rezultatów mozaikowania:
- linia mozaikowania powinna łączyć obszary o podobnej charakterystyce radiometrycznej,
 - korekcję radiometryczną należy wykonać jeśli to tylko jest możliwe ustalając korygowany obszar na podstawie treści znajdującej się na zdjęciu, oraz różnic tonalnych pomiędzy mozaikowanymi obszarami,
 - podstawę wykonania korekcji radiometrycznych stanowi obraz ustalony jako bazowy,
 - zakończeniem procesu tworzenia ortoobrazu powinno być użycie programu umożliwiającego przeprowadzenie korekcji radiometrycznych dla wybranych obszarów oraz retuszy koniecznych do otrzymania poprawnych obrazów – bez plam, kurzu, zarysowań, fragmentów odbiegających kolorystyką, kontrastem i nasyceniem od pozostałej części.

§ 16

Czynniki kształtujące dokładność ortofotomapy

1. Błędy geometryczne ortofotomapy są wynikiem wpływu następujących czynników:

- błędów numerycznego modelu terenu - NMT – m_{nmt} ,
- błędów elementów orientacji zewnętrznej – m_{ori} ,
- błędów wynikających z uproszczeń aplikacji realizującej przetworzenie – m_{apl} .

Teoretyczne oszacowanie średniego błędu położenia na ortoobrazie (ortofotomapie) dokonane zgodnie z prawem przenoszenia się błędów, przedstawia się następująco:

$$m_{orto}^2 = m_{nmt}^2 + m_{ori}^2 + m_{apl}^2$$

Błąd m_{apl} jest zależny od specyfiki zastosowanego oprogramowania i nie będzie dalej omawiany. W dalszej części ustosunkowano się do błędów: m_{nmt} i m_{ori} .

3. Tab.5.4 zawiera maksymalne błędy położenia z tytułu błędów NMT, jakie mogą wystąpić na ortofotomapie w miejscu odpowiadającym narożnikowi zdjęcia. Przyjęto, że to krytyczne miejsce jest oddalone od punktu głównego zdjęcia o 140 mm (na ortofotomapie ta odległość jest K-razy większa). W praktyce przetworzeniu nie podlega cała powierzchnia zdjęcia lecz jego określony fragment. Dane z tab.5.4 można wykorzystać do obliczenia

błędów w odległości R od punktu głównego zdjęcia poprzez pomnożenie przez współczynnik R/140.

Tab. 5.4 : Maksymalne błędy położenia (przesunięcia radialne) w mm na ortofotomapie w funkcji błędu wysokości określonej z NMT

| Błąd określenia wysokości dZ [m] | skala ortofotomapy 1: M ₀ | | | | | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|-----|--------|-----|--------|-----|---------|-----|---------|-----|
| | 1:1000 | | 1:2000 | | 1:5000 | | 1:10000 | | 1:25000 | |
| | stała kamery – c _k [cm] | | | | | | | | | |
| | 15 | 30 | 15 | 30 | 15 | 30 | 15 | 30 | 15 | 30 |
| 0.5 | 0.5 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 1.0 | 0.9 | 0.5 | 0.5 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 2.0 | 1.9 | 0.9 | 0.9 | 0.5 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.0 |
| 3.0 | 2.8 | 1.4 | 1.4 | 0.7 | 0.6 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 5.0 | 4.7 | 2.3 | 2.3 | 1.2 | 0.9 | 0.5 | 0.5 | 0.2 | 0.2 | 0.1 |
| 10.0 | 9.3 | 4.7 | 4.7 | 2.3 | 1.9 | 0.9 | 0.9 | 0.5 | 0.4 | 0.2 |

Uwaga : **Przesunięcia radialne** określono stosując **wzór**:

$$dr = r*dZ*K/W = r*dZ*K/(c*M_z) = r*dZ/(c*M_0); \text{ przyjęto } r= 140 \text{ mm (na zdjęciu).}$$

3. Tab.5.5 zawiera wartości błędów położenia jakie wystąpią na ortofotomapie z tytułu błędów orientacji zewnętrznej DX_o, DY_o (błędy wsp. X,Y środka rzutów). Wielkości tych błędów są praktycznie jednakowe na całej powierzchni uzyskanej z przetworzenia zdjęcia

4. Tab. 5.5 : Maksymalny błąd położenia (przesunięcie radialne) - dr w mm na ortofotomapie z tytułu błędów (o jednakowych wartościach) DX_o, DY_o

| Błąd określenia położenia [m] DX _o = DY _o | skala ortofotomapy 1: M ₀ | | | | |
|--|--------------------------------------|--------|--------|---------|---------|
| | 1:1000 | 1:2000 | 1:5000 | 1:10000 | 1:25000 |
| 0.2 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 |
| 0.5 | 0.7 | 0.4 | 0.1 | 0.1 | 0.0 |
| 1.0 | 1.4 | 0.7 | 0.3 | 0.1 | 0.1 |
| 2.0 | 2.8 | 1.4 | 0.6 | 0.3 | 0.1 |
| 5.0 | 7.1 | 3.5 | 1.4 | 0.7 | 0.3 |
| 10.0 | 14.1 | 7.1 | 2.8 | 1.4 | 0.6 |

Uwaga: $dr=(DX_o^2 + DY_o^2)^{1/2} / M_0$

błąd DR = $(DX_o^2 + DY_o^2)^{1/2}$ przenosi się na ortofotomapę proporcjonalnie do skali, czyli $dr=DR / M_0$

Wpływ błędu orientacji zewnętrznej DZ_o (błąd wsp. Z środka rzutów) jest w

przybliżeniu podobny do wpływu NMT i dla jego oszacowania można wykorzystać tab.4.

4. Maksymalne błędy jakie mogą wystąpić na ortofotomapie z tytułu błędów kątowych elementów orientacji zewnętrznej przedstawiono w tab.5.6 i w tab.5.7.

Tab. 5.6 : Maksymalny błąd położenia dr [mm] na ortofotomapie z tytułu błędu dφ (dω)

| Błąd orientacji dφ (dω) | Współczynnik przeskalowania | | | | | | | | | |
|----------------------------|------------------------------------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|
| | K=5 | | K=4 | | K=3.5 | | K=3 | | K=2.5 | |
| | stała kamery – c _k [cm] | | | | | | | | | |
| | 15 | 30 | 15 | 30 | 15 | 30 | 15 | 30 | 15 | 30 |
| 0.01° (36'') | 0.20 | 0.29 | 0.16 | 0.23 | 0.14 | 0.20 | 0.12 | 0.17 | 0.10 | 0.14 |
| 0.03° (108'') | 0.6 | 0.9 | 0.5 | 0.7 | 0.4 | 0.6 | 0.35 | 0.5 | 0.3 | 0.4 |
| 0.05° (3') | 1.0 | 1.4 | 0.8 | 1.2 | 0.7 | 1.0 | 0.6 | 0.9 | 0.5 | 0.7 |

Uwaga: $dr = c_k \cdot K \cdot (2a^4 + 2a^2 + 1)^{1/2} \cdot d\varphi$ (analogicznie dla dω)

gdzie $a = x_{max} / c$, przyjęto: $x_{max} = y_{max} = 100 \text{ mm}$

dla $c_k = 15$ jest: $a = 0.666$, $(2a^4 + 2a^2 + 1)^{1/2} = 1.5$

dla $c_k = 30$ jest: $a = 0.333$, $(2a^4 + 2a^2 + 1)^{1/2} = 1.1$

Tab. 5.7 : Maksymalny błąd położenia dr [mm] na ortofotomapie z tytułu błędu dκ

| Błąd orientacji dκ | Współczynnik przeskalowania | | | | | | | | | |
|-----------------------|------------------------------------|-----|------|------|-------|------|------|------|-------|------|
| | K=5 | | K=4 | | K=3.5 | | K=3 | | K=2.5 | |
| | stała kamery – c _k [cm] | | | | | | | | | |
| | 15 | 30 | 15 | 30 | 15 | 30 | 15 | 30 | 15 | 30 |
| 0.01° (36'') | 0.27 | 0.4 | 0.22 | 0.32 | 0.19 | 0.28 | 0.16 | 0.24 | 0.14 | 0.20 |
| 0.03° (108'') | 0.8 | 1.2 | 0.7 | 1.0 | 0.6 | 0.8 | 0.5 | 0.7 | 0.4 | 0.6 |

Uwaga: $dr = c_k \cdot K \cdot a \cdot 2^{1/2} \cdot d\kappa$

gdzie $a = x_{max} / c$, przyjęto $x_{max} = y_{max} = 100 \text{ mm}$.

ROZDZIAŁ VI

KONTROLA DOKŁADNOŚCI ORTOFOTOMAPY

§ 17

1. Kontroli muszą podlegać wszystkie etapy technologiczne. Na podstawie analiz dokładnościowych uzyskanych z wyrównania aerotriangulacji można wstępnie oszacować oczekiwaną dokładność produktu końcowego – ortofotomapy (wnioskowanie na tym etapie technologicznym pomija wpływ błędów NMT). Należy przyjąć, że błędy położenia na ortofotomapie będą około 2-krotnie większe od błędów uzyskiwanych dla fotopunktów a około 1.5-krotnie większe od błędów uzyskanych dla punktów kontrolnych, które nie zostały włączone do procesu obliczeniowego.
2. Kontrola dokładności ortofotomapy dotyczy sprawdzenia:
 - wewnętrznej zgodności łączy i styków,
 - dokładności bezwzględnej wyrażonej przez błąd średni - m_{orto} .
3. Wewnętrzna zgodność musi być zbadana na podstawie co najmniej dwóch obserwacji na każdej linii łączy (linii „szycia”) ortoobrazów oraz na każdym styku pomiędzy ortofotomapami. Odchyłki nie powinny przekraczać podwójnej wartości piksela wynikowego, sporadycznie odchyłka może osiągać wartość trzech pikseli. Obserwacje przeprowadza się na wyraźnych, liniowych elementach sytuacyjnych.
3. Dla potrzeb określenia bezwzględnych błędów geometrycznych ortofotomapy trzeba pozyskać dane kontrolne z wiarygodnego, niezależnego źródła. W tym celu należy wybrać na obrazie ortofotomapy elementy o charakterze punktowych szczegółów sytuacyjnych, dobrze identyfikowalne, jak np. załamania krawędzi dróg, narożniki parkingów, placów, niskie ogrodzenia, przyziemia słupów i przecięcia miedz dla małych skal oraz włazy kanałowe, studzienki kanalizacyjne, załamania krawężników, oznakowanie poziome dróg (dla dużych skal).
4. Sumaryczna liczba wybranych elementów kontrolnych powinna zabezpieczać obserwacje na co najmniej co dziesiątym ortoobrazie (1/10 liczby przetwarzanych zdjęć, ale nie mniej niż 10 a w przypadku opracowań złożonych tylko z kilku ortoobrazów - 5).

5. Do pomiaru kontrolnego należy stosować wszelkie techniki zapewniające dokładność na poziomie do 20% dopuszczalnego średniego błędu położenia szczegółów sytuacyjnych na ortofotomapie. Do przeprowadzenia pomiaru kontrolnego zaleca się stosowanie techniki GPS. Dla ortofotomap w średnich i małych skalach dla potrzeb kontrolnych można wykorzystać dostępne mapy zasadnicze (szczegóły sytuacyjne I grupy dokładnościowej). Natomiast porównanie dokładności z mapami topograficznymi nie jest podstawą obiektywnej oceny, może mieć tylko charakter pomocniczo-poglądowy .
6. Na podstawie stwierdzonych odchyłek ε - rozumianych jako odległość pomiędzy położeniem elementu kontrolnego zidentyfikowanego na ortofotomapie a położeniem uznanym za rzeczywiste, należy obliczyć średni błąd kwadratowy – m_{orto} :

$$m_{orto} = ([\varepsilon\varepsilon] / n)^{1/2}$$

Obliczone błędy średnie oraz wykryte błędy maksymalne nie mogą przekraczać wartości podanych w tab.6.1 .

Należy zwrócić uwagę na fakt, że podane w tab.6.1 błędy są mniejsze aniżeli stanowi Instrukcja Techniczna O-2 “Ogólne zasady opracowania map dla celów gospodarczych” (np. dla mapy w skali 1:10000 dopuszcza średnie błędy położenia punktów sytuacyjnych I grupy dokładnościowej o wielkości 0.5 mm w skali mapy).

tab. 6.1 : Dopuszczalne błędy położenia szczegółów sytuacyjnych na ortofotomapie

| Charakter błędu położenia | skala ortofotomapy 1: M_o | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|--------|--------|---------|---------|
| | 1:1000 | 1:2000 | 1:5000 | 1:10000 | 1:25000 |
| Średni na ortofotomapie | 0.3 mm | 0.3 mm | 0.3 mm | 0.3 mm | 0.3 mm |
| Średni w terenie | 0.3 m | 0.6 m | 1.5 m | 3.0 m | 7.5 m |
| Maksymalny na ortofotomapie | 0.6 mm | 0.6 mm | 0.6 mm | 0.6 mm | 0.6 mm |
| Maksymalny w terenie | 0.6 m | 1.2 m | 3.0 m | 6.0 m | 15.0 m |

Objaśnienie:

średni błąd kwadratowy – m_{orto} (ang. RMSE)

*błąd maksymalny ($2 * m_{orto}$) nie może być przekroczony przez 95% liczby punktów kontrolnych .*

7. Niezależnie od opisanej kontroli dokładności należy przeprowadzić kontrolę poprawności optycznej ortofotomapy zwracając uwagę na krytyczne dla przetworzenia miejsca jak: mosty, wiadukty, doliny rzek, wąwozy, rowy, wały przeciwpowodziowe, itp.
8. Przeprowadzona kontrola dokładności musi zostać wpisana do metryki ortofotomapy zgodnie z zasadami podanymi w rozdziale XII "Dokumentacja opracowania ortofotomapy".

DODATEK do rozdziału VI "Kontrola dokładności ortofotomapy"

Tablica przeliczeniowa jednostek dpi na rozmiar piksela w μm

wariant I -

| | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| dpi | 254 | 508 | 635 | 847 | 1016 | 1270 | 1451 | 1693 | 1814 | 2540 |
| μm | 100 | 50 | 40 | 30 | 25 | 20 | 17 | 15 | 14 | 10 |

wariant II

| | | | | | | | | | | |
|-----|-----|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|
| dpi | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 1200 | 1400 | 1600 | 1800 | 2000 |
| μm | 127 | 63,5 | 42,3 | 31,8 | 25,4 | 0,0212 | 18,1 | 15,9 | 14,1 | 12,7 |

1 μm = 0,001 mm

R O Z D Z I A Ł VII
PRZEDSTAWIENIE RZEŻBY NA ORTOFOTOMAPIE

§ 18

Ogólne zasady przedstawiania rzeźby na ortofotomapie

1. Na ortofotomapie w skali 1: 10 000 ukształtowanie pionowe terenu przedstawiane jest za pomocą warstwic i punktów wysokościowych oraz w treści pozaramkowej jako „karton” w postaci blokdiagramu przedstawiającego w zmniejszeniu obszar arkusza ortofotomapy w ujęciu perspektywicznym.
2. Dla każdej skali ortofotomapy rzeźba może być opracowana jako osobna „nakładka” stanowiąca arkusz rzeźby terenu w formie wydruku lub w formie zapisu komputerowego (mapy wirtualnej).
3. Ukształtowanie terenu zapisane jako pełnowartościowy numeryczny model terenu (NMT) stanowi jeden ze sposobów przedstawienia rzeźby i jako zbiór (zbiory) towarzyszący ortofotomapie w zapisie cyfrowym może być przekazywany i przechowywany oraz wykorzystywany łącznie z ortofotomapą.

§ 19

Opracowanie rzeźby terenu dla ortofotomapy

1. W zależności od charakteru terenu rzeźba przedstawiana jest na ortofotomapie w postaci:
 - warstwic i charakterystycznych punktów wysokościowych z opisami ich wysokości,
 - pewnej liczby punktów (pikiet) wysokościowych, dla terenów płaskich, dla których warstwice nie opisują poprawnie rzeźby terenu. Liczba punktów wysokościowych nie powinna przekraczać 5 na 1 dm² powierzchni ortofotomapy.
2. Wysokości (punktów charakterystycznych, pikiet, warstwic) podawane są w układzie wysokościowym “Kronsztad 86”. Nazwa systemu (układu odniesienia wysokościowego) powinna być podana w treści opisu pozaramkowego.
3. Rzeźba na ortofotomapie przedstawiana jest w taki sposób aby nie zakłócać czytelności i wartości informacyjnych obrazu tonalnego ortofotomapy. Uzyskuje się to przez dobór odpowiednio rzadszego cięcia warstwiczowego, innego niż obowiązuje na mapie

topograficznej w tej skali (a także przez dobór odpowiedniej grubości linii warstwicowych i ich koloru).

4. W zależności od rodzaju terenu przyjmuje się następujące cięcie warstwicowe:
 - dla terenów równinnych i falistych (nachylenie do 6°) - 2,5 m,
 - dla terenów pagórkowatych i górzystych (nachylenie $> 6^{\circ}$) - 5 m,
 - dla terenów wysokogórskich - 10 -20 m..
5. Dokładność (nie szczegółowość) odpowiada wymaganiom przedstawiania rzeźby na mapie 1:10 000, zgodnie z instrukcją techniczną K2 § 21.

§ 20

Forma graficzna rzeźby na ortofotomapie

1. Warstvice na arkuszu ortofotomapy powinny być przedstawione linią grubości: 0.07mm i opisywane zgodnie z zasadą stosowaną w mapach topograficznych (patrz. , znak nr 163 Instrukcja techniczna. „Zasady redakcji mapy topograficznej w skali 1:10 000, Wzory znaków” , Warszawa 1994).
2. Barwa przedstawienia rzeźby (zwłaszcza na ortofotomapie barwnej) zależy od ogólnej kolorystyki ortofotomapy, która jest funkcją rodzaju pokrycia terenu czy pory roku wykonania zdjęć. Zaleca się przedstawiać warstvice liniami ciemnymi (np.czarne) lub jasnymi (np.białe, jasnożółte) tak aby dobrze widoczne na tle ortofotomapy. Na jednym arkuszu wszystkie warstvice powinny być w tym samym odcieniu. Na ortofotomapach czarno-białych warstvice mogą być przedstawiane jako linie białe lub czarne (jednolicie dla całego arkusza) w zależności od tonów dominujących na powierzchni arkusza.
3. Rzeźba zapisywana jest w postaci wektorowej zawierającej warstvice jako obiekty liniowe, oraz punkty wysokościowe (topograficzne) jako obiekty punktowe. Gęstość zapisu punktów na warstwicy opisujących jej przebieg powinna być tak dobrana aby przy wizualizacji warstwicy na ekranie lub wydruku, przy wykorzystaniu odpowiedniego programu wygładzającego, uzyskać linię ciągłą o płynnych zmianach krzywizny, odpowiadającą przebiegowi warstwicy na mapie 1:10 000.
4. Punkty wysokościowe (topograficzne), które zlokalizowane są na charakterystycznych elementach rzeźby (np. lokalne ekstrema tj. najwyższe punkty lokalnych wyniosłości,

najniższe punkty lokalnych obniżeń) oznacza się i opisuje znakiem 181 (patrz. Instrukcja techniczna: „Zasady redakcji mapy topograficznej w skali 1:10 000, Wzory znaków”, Warszawa 1994).

5. Nie należy przedstawiać na ortofotomapie (uczytelniać lub pokazywać w postaci znaków umownych) tych form terenowych, których nie da się przedstawić w postaci warstwicy (naturalne formy terenowe : grzbiety, doliny, wypłuczyska, wąwozy, skały itp. oraz formy sztuczne: nasypy, wykopy, wały, kopce itp. - patrz K2 § 85). Zakłada się, że będą one możliwe do zinterpretowania na ortofotomapie przez jej użytkownika.
6. Rysunek ukazujący ukształtowanie przestrzenne terenu w obszarze arkusza ortofotomapy utworzony w perspektywie równoległej (rzut aksonometryczny) umieszcza się jako „karton” w treści pozaramkowej ortofotomapy. Rysunek wykonany jest jako siatka przestrzenna rozpięta na regularnej siatce X,Y, której węzłom nadano odpowiednie wysokości. Parametry rysunku powinny być tak dobrane aby dobrze można było ocenić charakter terenu, jego zmienność i główne formy morfologiczne. Jako typowe przyjmuje się następujące parametry orientacji: kierunek oglądania - azymut 45 stopni, kąt oglądania - 45 stopni. Skala wysokości powinna być skazona w zależności od zróżnicowania wysokościowego terenu. Współczynnik skażenia skali wysokościowej powinien mieścić się w granicach od 1 (dla terenów wysokogórskich) do 5 dla terenów płaskich. Dane potrzebne do utworzenia takiego rysunku powinny być pozyskane z numerycznego modelu terenu. Rysunek powinien być uzupełniony wartościami głównych parametrów charakteryzujących rzeźbę terenu na danym arkuszu np.: H_{\min} , H_{\max} , $H_{\text{śr}}$.
7. Dopuszcza się alternatywnie (zamiast rysunku perspektywicznego), zamieszczanie w treści pozaramkowej rastrowej mapy ukształtowania terenu, na której wysokości punktu odpowiada jasność piksela. Tu należy również stosować skale przewiększone w zależności od charakteru terenu.

ROZDZIAŁ VIII

KARTOGRAFICZNE OPRACOWANIE ORTOFOTOMAPY

§ 21

Podstawy konstrukcji matematycznej ortofotomapy

1. Matematyczna konstrukcja ortofotomapy jest realizowana przez dobór powierzchni odniesienia i określenie zasad jej odwzorowania w płaszczyznę w przyjętej skali. Pozwala ona na zapewnienie ortofotomapie własności metrycznych, co umożliwia dokonywanie na niej pomiarów z określoną dokładnością.

Powierzchnią odniesienia jest przyjęta (identycznie jak dla mapy topograficznej) elipsoida GRS 80 (Geodetic Reference System 1980). Jest to elipsoida Europejskiego Systemu Odniesienia - European Terrestrial Reference System 89 (ETRS-89), zwanego także European Reference Frame (EUREF-89) opartego na teorii geocentrycznej elipsoidy ekwipotencjalnej. Definiują ją m.in. następujące parametry:

- duża półoś elipsoidy ziemskiej $a = 6\,378\,137$ m,
- mała półoś elipsoidy ziemskiej $b = 6\,356\,752$ m,
- geocentryczna stała grawitacyjna (łącznie z atmosferą) $GM = 3\,986\,000 \times 10^8$ m³s⁻²,
- dynamiczny współczynnik kształtu Ziemi $J_2 = 108\,263 \times 10^{-8}$
- prędkość wirowania Ziemi $\omega = 7\,292\,115 \times 10^{-11}$ rad/s,
- spłaszczenie geometryczne $f = 1/298,257222101$,
- długość ćwiartki południka $Q = 10\,001\,965,7293$ m.

2. Poziomem odniesienia jest poziom „Kronsztadt-86” czyli średni poziom Morza Bałtyckiego wyznaczony dla mareografu w Kronsztadcie (miasto na wyspie Kotlin w Zatoce Fińskiej w pobliżu St. Petersburga).

3. Odwzorowaniem kartograficznym dla ortofotomapy powinno być odwzorowanie Gaussa – Krügera (takie samo odwzorowanie jakie obowiązuje dla mapy topograficznej w tej samej skali). Odwzorowanie to spełnia dwa warunki:

- południk środkowy pasa odwzorowuje się na odcinek linii prostej (bez zniekształceń),
- lokalna skala długości na południku środkowym pasa jest stała.

Pozostałe południki i równoleżniki odwzorowują się w linii krzywe, symetryczne względem obrazu południka środkowego i równika. W miarę oddalania się od południka środkowego zniekształcenia długości i pól powierzchni wzrastają i w związku z tym należy ograniczyć szerokość odwzorowywanej strefy południkowej. W Polsce przy opracowaniu map topograficznych od 1992 r. stosuje się odwzorowanie Gaussa – Krügera w pasie 10° .

4. Układami współrzędnych dla ortofotomap są geodezyjne współrzędne elipsoidalne w układzie EUREF-89 oraz współrzędne prostokątne płaskie w Państwowym Układzie Współrzędnych Geodezyjnych 92 (PUWG-92).

Układ PUWG-92 oparty jest na współrzędnych elipsoidalnych B, L w układzie ETRF-89 (European Terrestrial Reference Frame 1989), które posiadają kilkusekundowe przesunięcia współrzędnych względem współrzędnych w układzie „1942” (na obszarze Polski nie przekraczają one 2” szerokości B i 7” długości L).

Współrzędne prostokątne płaskie x, y dla obszaru Polski są obliczane w odwzorowaniu Gaussa-Krügera, w pasie dziesięciostopniowym z południkiem osiowym $L_0 = 19^\circ$ i ze współczynnikiem skali na południku osiowym $m = 0,9993$. Początkiem układu „1992” jest punkt przecięcia się obrazu południka osiowego $L_0 = 19^\circ$ (oś X) z osią Y przesuniętą równoległe o 5300 km na północ od obrazu równika. W początku układu obowiązują współrzędne: $x_0 = 0$ km, $y_0 = + 500$ km. Stąd siatka kilometrowa jest opisywana w postaci trzech cyfr.

§ 22

Siatki współrzędnych

1. Siatka kartograficzna na ortofomapie jest obrazem linii siatki południków i równoleżników w danym odwzorowaniu. Linie siatki kartograficznej tworzą ramkę wewnętrzną ortofotomapy.

2. Siatka kilometrowa jest zbiorem linii prostych równoległych do osi przyjętego układu współrzędnych prostokątnych płaskich (PUWG-92). Układ ten jest związany z przyjętym odwzorowaniem kartograficznym (Gausa-Krügera), w którym południk przebiegający przez środek odwzorowywanego obszaru (10-stopniowego pasa) odwzorowuje się jako linia prosta. Taka linia południka osiowego stanowi oś X układu prostokątnego płaskiego, natomiast linia równika odwzorowana jako prosta prostopadła do południka osiowego stanowi oś Y. W przyjętym układzie odstęp między liniami siatki kilometrowej wynoszą 10 cm (co stanowi 1 km w terenie dla skali 1:10 000).

§ 23

Arkusze ortofotomapy

1. Krój arkuszy ortofotomapy w skali 1 : 10 000 jest taki sam jak krój stosowany dla mapy topograficznej, natomiast dla skal większych wynika z dalszego (logicznego) południkowo-równoleżnikowego podziału Międzynarodowej Mapy Świata 1 : 1 000 000 na kolejne arkusze.

Każdy arkusz Międzynarodowej Mapy Świata 1:1 000 000 dzieli się na:

- 4 arkusze mapy w skali 1:500 000 oznaczane literami A, B, C, D;
- na 36 arkuszy mapy w skali 1:200 000 oznaczonych liczbami rzymskimi od I do XXXVI;
- na 144 arkusze mapy w skali 1:100 000 oznaczane liczbami od 1 do 144.

Dalszy podział polega na czwórkowym dzieleniu arkuszy mapy w kolejnych skalach.

I tak:

- arkusz mapy w skali 1:100 000 dzieli się na 4 arkusze mapy w skali 1:50 000, oznaczone literami A, B, C, D;
- arkusz mapy w skali 1:50 000 dzieli się na 4 arkusze mapy 1:25 000, oznaczone literami a, b, c, d;
- arkusz mapy w skali 1:25 000 dzieli się na 4 arkusze mapy 1:10 000 oznaczane liczbami 1, 2, 3, 4;
- dla map w skalach większych przyjmuje się dalszy podział arkusza mapy w skali 1:10 000.

Dopuszcza się opracowania arkuszy ortofotomapy w skalach większych w układzie i podziale lokalnym.

2. Rozmiar arkuszy ortofotomapy w skali 1:10 000 wynika z podziału Międzynarodowej Mapy Świata 1: 1 000 000 i wynosi :

$$\Delta B = 2'30'' \quad \Delta L = 3'45''$$

Rozmiar arkuszy ortofotomap w skalach większych wynika z podziału ortofotomapy 1:10000 .

3. Godła arkusza ortofotomapy składa się z oznaczenia literowo-cyfrowego i nazwy arkusza (nazwa największej miejscowości lub wybranego obiektu geograficznego na danym arkuszu).

Dla ortofotomapy w skali 1:10 000 powinno być identyczne jak na mapie topograficznej 1:10 000 (np. N – 34 - 144 – D – d – 4), natomiast dla ortofotomapy w skali 1:2 000 powinno wynikać z podziału ortofotomapy 1 : 10 000 na 25 arkuszy 1:2 000

- np. N – 34 - 144 – D – d – 4 – (25).

Dla ortofotomap w skalach większych wynika z podziału ortofotomapy 1 :10 000 na kolejne arkusze.

4. Elementami zasadniczymi arkusza ortofotomapy są:

- część obrazowa (fotomozaika), którą stanowi wielotonalny (achromatyczny, monochromatyczny lub multichromatyczny) obraz ortofoto,
- ramka ortofotomapy z treścią ramki,
- obszar pozaramkowy.

5. Treść ramki obejmuje ramkę wewnętrzną, zewnętrzną oraz wszystkie elementy między nimi (pole wewnątrzramkowe). Wymiary, rozmieszczenie elementów treści ramki oraz atrybuty tekstu opisów przedstawia załączony wzór ramki i opisu pozaramkowego.

5.1. Ramka wewnętrzna jest trapezem, będącym obrazem skrajnych południków i równoleżników arkusza mapy, stanowiącym cienką linię ograniczającą bezpośrednio treść tonalną.

5.2. Ramka zewnętrzna jest trapezem równoległym do ramki wewnętrznej, wykonanym pogrubioną linią. Zawiera ona „wąsy” z etykietami i godła arkuszy sąsiednich umieszczone centralnie na każdym boku trapezu.

6. Pole wewnątrzramkowe stanowi pas między ramką wewnętrzną i zewnętrzną. W polu tym znajduje się ramka podziałowa współrzędnych geograficznych, wyloty siatki kilometrowej oraz informacje wewnątrzramkowe.

Ramkę podziałową współrzędnych geograficznych tworzą dwie linie równoległe, z podziałem na odcinki:

- 1-minutowe dla ortofotomapy w skali 1:10 000 (odcinki powstałe w wyniku podziału powinny być na przemian zaczernione - dla minut nieparzystych i niezaczernione - dla minut parzystych);
- 30 lub 15 sekundowe dla skal większych (w zależności od skali).

7. Wyloty siatki kilometrowej stanowią przedłużenia linii siatki kilometrowej na pole wewnątrzramkowe do ramki podziałowej.

8. Informacje wewnątrzramkowe tworzą opisy:

- współrzędnych geograficznych narożników arkusza ortofotomapy,
- współrzędnych prostokątnych płaskich,
- nazw jednostek administracyjnych przy wylotach ich granic,
- nazw państw przy wylotach granic państwowych – w wersji polskiej,
- wylotów kolei z podaniem nazwy najbliższego węzła lub stacji końcowej,
- wylotów dróg międzynarodowych, krajowych, międzyregionalnych, regionalnych oraz innych ważniejszych, o nawierzchni twardej z podaniem nazwy najbliższej miejscowości i odległości do niej,

9. Treść pozaramkowa obejmuje następujące elementy:

- godło arkusza - według oznaczeń map topograficznych w danej skali,
- nazwa arkusza (nazwa największej miejscowości znajdującej się na arkuszu, lub jej części, a w przypadku jej braku nazwa obiektu niezamieszkałego lub znaku granicy państwowej),
- typ mapy (ortofotomapa),
- elementy matematycznej konstrukcji ortofotomapy (układ współrzędnych prostokątnych płaskich, układ współrzędnych geograficznych geodezyjnych, elipsoida odniesienia i poziom odniesienia),
- skalę i podziałkę mapy,
- „karton” rzeźby (prezentacja graficzna NMT w rzucie aksonometrycznym lub

- perspektywicznym),
- schemat podziału administracyjnego,
- aktualność zdjęć lotniczych (data wykonania nalotu),
- wykonawcę ortofotomapy i rok opracowania,
- wydawcę, rok wydania, numer (kolejnego) wydania,
- kod kreskowy i kod ISBN,
- zastrzeżenia dotyczące reprodukowania i kopiowania mapy,
- wykaz sporządzonych „nakładek” dla danego arkusza.

Wymiary, rozmieszczenie wymienionych elementów oraz atrybuty tekstu przedstawia załączony wzór ramki i opisu pozaramkowego.

§ 24

Grafika kreskowa ortofotomapy

1. Grafikę kreskową powinny tworzyć elementy w treści obrazowej ortofoto związane z matematyczną konstrukcją ortofotomapy takie jak:

- znaki punktowe podstawowej osnowy geodezyjnej,
- linie siatki współrzędnych prostokątnych,
- opisy punktów osnowy geodezyjnej
- niezbędne nazewnictwo,
- elementy rzeźby terenu
- oraz elementy uzupełniające – symbolika (opcjonalnie).

2. Elementami uzupełniającymi ortofotomapę są wszystkie dodatkowe elementy graficzne wprowadzone do treści obrazowej ortofoto wynikające ze skali mapy oraz elementy rzeźby terenu (punkty wysokościowe, warstvice).

Elementy uzupełniające powinny stanowić uczytelnienie treści obrazowej. Będą to:

- granice administracyjne,
- linie kolejowe,
- autostrady,
- wybrane drogi i ulice,
- wybrane budynki (przemysłowe, użyteczności publicznej, mieszkalne itp.),

- nazewnictwo,

lub także elementy wzbogacające treść turystyczną (opcjonalnie):

- koleje linowe,
- szlaki turystyczne,
- parki narodowe, krajobrazowe, rezerваты,
- obiekty turystyczne (usługowe, zabytkowe i baza noclegowa),
- nazewnictwo objaśniające.

4. Obiekty liniowe powinny być uczytelnione barwną transparentną linią lub symbolem liniowym.

Obiekty powierzchniowe zaleca się pokazać w formie barwnego obrysu liniowego, lub barwną transparentną plamą.

Elementy tekstowe można ukazać w postaci barwnych napisów.

Dla niektórych celów (np. projektowych lub ewidencji gruntów i budynków) należy wykorzystywać wariant achromatyczny obrazu ortofotomapy, dla lepszego wyeksponowania treści tematycznej (klasyfikacji obiektów) w postaci wielobarwnej. Dotyczy to zwłaszcza obiektów powierzchniowych (wody, pokrycie roślinne czy zabudowa).

§ 25

Cyfrowa postać ortofotomapy

1. Część obrazowa ortofotomapy jest obrazem wielotonalnym barwnym (opcjonalnie wielotonalnym szarym) i w postaci cyfrowej powinna być zapisywana jako dane rastrowe 24-bitowe (w trybie True Color RGB) lub 32-bitowe (w trybie CMYK) z rozdzielczością powyżej 300 dpi, najczęściej w formacie TIFF (Jako plik rastrowy może być otwierana i modyfikowana w programach rastrowych).
2. Część kreskowa ortofotomapy (marginalia oraz elementy kreskowe uzupełniające treść obrazową ortofotomapy) powinna być tworzona w postaci wektorowej w edytorach wektorowych i zapisywana jako plik postscriptowy w formacie *.EPS (Encapsuled Postscript File).
3. Do celów wizualizacji lub do procesu wydawniczego arkusza ortofotomapy należy dokonać połączenia części tonalnej i kreskowej w jeden plik zbiorczy postscriptowy w programach DTP (Desktop Publishing)..

4. Przygotowanie takiego pliku do celów wydawniczych wymaga dokonania rozdzielenia barwnych (separacji) CMYK, ustawienia odpowiednich parametrów naświetlania diapozytywów i zapisania go jako plik na konkretne urządzenie naświetlające.

§ 26

Przygotowanie postaci finalnej ortofotomapy

1. Ostateczne opracowanie ortofotomapy może posiadać postać zapisu komputerowego, postać wydruku na ploterze małonakładowym, oraz postać arkusza drukowanego w technice offsetowej lub też wynikiem opracowania mogą być dwie lub wszystkie trzy wymienione postaci.
2. Wizualizacja arkusza ortofotomapy polega na udostępnieniu cyfrowej postaci mapy dla percepcji wzrokowej.
 - 2.1. W celu dokonania kontroli merytorycznej treści i formy graficznej ortofotomapy, wizualizuje się postać numeryczną ortofotomapy na monitorze komputera.
 - 2.2. W celu kontroli (przed drukiem nakładu), celach poznawczych lub projektowych (jako podkład) postać cyfrową ortofotomapy należy przedstawić w postaci analogowej (papierowej) wykonując wydruk próbny na drukarce (ploterze) w liczbie kilku (jeśli to potrzebne – kilkunastu) egzemplarzy.
 - 2.3. Urządzenie do wydruku próbnego powinno:
 - umożliwiać drukowanie pełnego arkusza ortofotomapy (ok. 60 x 60 cm),
 - charakteryzować się rozdzielczością drukowania powyżej 300 dpi,
 - posiadać zdolność odtworzenia jak najszerszej gamy barw i tonów (druk o jakości fotograficznej),
 - umożliwiać drukowanie plików w formacie postscriptowym.
3. Kontroli obrazu należy dokonać poprzez ocenę wizualną wydruku ortofotomapy pod względem geometrycznym, graficznym i merytorycznym treści i w miarę potrzeby wprowadzić odpowiednie poprawki merytoryczne i graficzne do pliku.
4. Diapozytywy wydawnicze odpowiadające czterem barwom podstawowych (CMYK) dla druku nakładu ortofotomapy uzyskuje się poprzez naświetlenie pliku w naświetlarce postscriptowej.
5. W pliku postscriptowym powinny być zawarte następujące parametry wydawnicze :

- zdefiniowanie separacji CMYK i określenie kąta skręcenia siatki rastrowej dla każdego wyciągu barwnego (Cyan - 15°, Magenta - 75°, Yellow - 0° i black - 45°),
- określenie liniatury siatki rastrowej i wynikającej z tego rozdzielczości naświetlania diapozytywów (dla liniatury 150 lpi - rozdzielczość naświetlania co najmniej 2500 dpi),
- typ rastrowania (kształt kropki rastrowej – „round”)
- opcje nadrukowywania barw („overprint”) dla każdej barwy farby, zarówno grafiki, jak i elementów tekstowych,
- ustawienie czytelności naświetlenia obrazu (lewoczytelny),
- określenie systemu punktur i paserów („crop marks” i „registration marks”),
- wybór pasków (pasemek) kalibracyjnych oraz skali densytometrycznej.

6. W wyniku naświetlania uzyskuje się cztery diapozytywy wydawnicze, które służą do wykonania offsetowych form drukowych.

7. Prawidłowo naświetlone diapozytywy powinny cechować się:

- gęstością optyczną punktu rastrowego większą niż 2,0,
- wartościami pozostałych parametrów zgodnie z punktem 5.

8. Dla kontroli jakości graficznej odbitki ortofotomapy i jej akceptacji do druku należy przed drukiem nakładu ortofotomapy wykonać z takich diapozytywów wielobarwną kopię próbną („copyproof”).

ROZDZIAŁ IX

OPRACOWANIE BARW ORTOFOTOMAPY

Przedstawione w tym rozdziale wytyczne pochodzą z obszerniejszego opracowania dotyczącego barw ortofotomap, które jako Aneks nr 1 zostało zamieszczone na końcu niniejszych wytycznych.

§ 27

Komponowanie kolorytu ortofotomapy

1. Komponowanie kolorytu ortofotomapy powinno brać pod uwagę następujące wskazania ogólne:

- 1) koloryt ortofotomapy powinien być wypadkową przyjętej koncepcji jej opracowania (czyli określenia celu poznania i funkcji jej przeznaczenia),
- 2) koloryt powinien uwydatniać jednoznacznie poznawczą funkcję ortofotomapy,
- 3) komponowanie kolorytu powinno uwzględniać zarówno zasady czytelności wynikające z hierarchizacji form postrzeganych na tle, jak i percepcyjnie zgodne relacje przestrzenne barw,
- 4) prowadzenie jakichkolwiek modyfikacji pogładowej postaci ortofotomapy wymaga zawsze uwzględniania zjawiska kontrastu., zawartego w tonalnej rozpiętości obrazu (kontrast lokalny, całkowity kontrast obrazu zachowujący właściwą hierarchię form postrzeganych na tle) i zachowującego tonalną (chromatyczną lub achromatyczną) równowagę całości obrazu.

2. Przy komponowaniu kolorytu ortofotomapy należy stosować się do następujących zaleceń:

- 1).Realizacja projektu kolorytu ortofotomapy dokonywana jest na takich urządzeniach jak: monitor, drukarka, ploter lub poligraficzna maszyna offsetowa,
- 2).Praca nad komponowaniem kolorytu ortofotomapy powinna być wykonywana na monitorze skalibrowanym tzn. składowe RGB monitora powinny być odniesione do układu przestrzennego barw przyjętego za układ odniesienia CIE XYZ. Podstawowym

odniesieniem jest wyznaczenie tzw. punktu bieli monitora wyznaczonego ze skorygowanych wartości składowych RGB ,

3).Wyniesienie kolorystycznego projektu ortofotomapy poza przestrzeń RGB skalibrowanego monitora na urządzenia rysujące (plotery) czy drukujące (drukarki i maszyny offsetowe) wymaga ustalenia przestrzennych relacji barw RGB względem barw definiowanych w przestrzeni CMYK, wyznaczanych za pomocą przestrzeni XYZ. Baza kolorystyczna CMYK niekoniecznie pokrywa się ze skalibrowaną przestrzenią RGB.

3. Do kalibracji monitorów, urządzeń rysujących i urządzeń drukujących stosuje się urządzenia pomiarowe takie jak: spektrofotometr, kolorymetr trójbodźcowy oraz wzorce barw (w postaci cyfrowej i analogowej) i stosowne oprogramowania rozszerzone o tzw. system zarządzania barwami (Colour Management System - CMS).

4. Najbardziej rozpowszechnionymi wzorcami są opracowane przez ANSI (American National Standards Institute) w szczególności przez Komitet ANSI IT8.7, którego odpowiednikiem jest Komitet ISO TC 130 (International Organization for Standardization - Technical Committee 130).

Wzorzec do kalibracji monitorów jest oznaczony : ANSI IT8.7-7/1.

Wzorzec do kalibracji urządzeń rysujących i drukujących jest oznaczony: ANSI IT8.7-7/3.

§ 28

Inne wskazania dotyczące opracowania barw ortofotomapy

Podstawy teoretyczne i wskazania techniczne opracowania barw ortofotomapy zawarte są w Aneksie nr 1 do niniejszych wytycznych pt.: „Opracowanie barw ortofotomapy”.

ROZDZIAŁ X

DRUK ORTOFOTOMAPY

§ 29

Druk nakładu ortofotomapy (powyżej 1000 odbitek)

1. Jako technikę druku zapewniającą wysokie walory techniczne obrazu ortofotomapy zaleca się technikę druku offsetowego.
2. Materiałem wyjściowym do druku offsetowego jest forma offsetowa prawoczytelna wykonana na płycie pozytywowej. Formę offsetową wykonuje się poprzez naświetlenie stykowe (w kopioramie) lewoczytelnego diapozytywu ortofotomapy na płytę offsetową.
3. W uzasadnionych przypadkach zaleca się wykonanie druku czarnobiałego. W tym celu należy dokonać konwersji obrazu wielobarwnego (w trzech kanałach R,G i B) na obraz czarnobiały (w jednym kanale – grey), naświetlenie jednego diapozytywu w naświetlarce, skopiowanie go na płytę offsetową oraz druk w wersji achromatycznej.
Kąt skrócenia rastra na diapozytywie w takim wypadku powinien wynosić 45°.
4. Standardowo wykonywany jest druk wielobarwny. Jest to druk czterobarwny: triada (purpura, niebieska zielonkawa, żółta) plus barwa czarna. Barwy triadowe stosuje się dla zobrazowania treści tonalnej, barwę czarną dla pozostałych elementów treści mapowej i pozamapowej.
5. Przy druku wielobarwnym zalecana jest maszyna czterobarwna (proces jednoprzebiegowy), co gwarantuje lepsze pasowanie treści.

§ 30

Parametry materiałów drukarskich

1. Przyjmuje się jednolity format arkusza ortofotomapy dla całego obszaru Polski 580 x 600 mm
2. Do druku offsetowego ortofotomap stosuje się papier: offsetowy - magnumatt , gramatura 115 g/m².
3. Stosuje się farby: triadowe (wg normy ISO 12647-2).

Kontrola jakości graficznej druku

1. Niezależnie od standardów materiałów poligraficznych stosowanych w druku ortofotomapy istotnym zagadnieniem jakości druku wielobarwnego jest pasowanie poszczególnych barw, występowanie zmian odtworzenia barwy, spowodowanych wahaniami w nałożeniu farby (grubości) i zmian wartości tonalnych, powodowanych zmianami wielkości punktów rastrowych.
2. Kontroli jakości druku dokonuje się po przez ocenę wizualną pasków (pasemek) pomiarowo-kontrolnych albo w drodze pomiarów kolorymetrycznych i densytopometrycznych.
3. . Pasemka kontrolno-pomiarowe zbudowane są z szeregu pól pokrytych deseniem punktowym, liniowym oraz pól pełnego pokrycia barwą (apla), lub z pól o wzrastającej gęstości procentowej rastra. Montowane one są na każdym diapozytywie wydawniczym (dla danej barwy) poza formatem obcięcia arkusza ortofotomapy – dla każdej barwy w innym narożniku diapozytywu.
4. Pasemka pomiarowo-kontrolne służą do:
 - wyregulowania maszyny drukującej i doboru warunków drukowania,
 - określenia w danych warunkach drukowania optymalnego nałożenia farby,
 - kontroli równomierności nadawania farby,
 - oceny zdolności przyjmowania farby przez farbę w drukowaniu wielobarwnym,
 - oceny parametrów kolorymetrycznych (patrz aneks).Ścisła kontrola parametrów drukowania zapewnia zachowanie właściwej jakości odbitki wielobarwnej ortofotomapy.
5. Rozmieszczenie paserów i pasemek kontrolnych poza formatem arkusza ortofotomapy uzyskane przy wykorzystaniu ustawień parametrowych naświetlarki postscriptowej:



ROZDZIAŁ XI

DOKUMENTACJA OPRACOWANIA ORTOFOTOMAPY

Rozdział ten opracowany został w oparciu o obowiązującą instrukcję techniczną O-3 "Zasady Kompletowania Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej". Wykorzystany został częściowo załącznik nr 9 dotyczący opracowania i aktualizacji map topograficznych.

§ 31

Zawartość zasobu bazowego

1. Zasób bazowy dokumentacji ortofotomap zawiera następujące dokumenty:

- 1). metryka ortofotomapy,
- 2). wykaz użytych zdjęć ze wszystkimi danymi : skala, data nalotu,
- 3). aktualna metryka kalibracji kamery,
- 4). informacje o procesie skanowania: skaner, materiał który podlegał skanowaniu, rozdzielczość, format zapisu, ewentualne uwagi o dominancie barwnej i jakości oryginału,
- 5). zeskanowane zdjęcia przed jakimkolwiek przetworzeniem,
- 6). wykaz punktów osnowy, wyniki aerotriangulacji zapisane numerycznie,
- 7). parametry orientacji: kąty, środki rzutów,
- 8). dane o numerycznym modelu terenu,
- 9). wydruki treści wektorowej,
- 10). próby drukarskie,
- 11). diapozytywy wydawnicze w formie numerycznej

§ 32

Zawartość zasobu użytkowego

1. Zasób użytkowy ortofotomapy zawiera:

- 1). arkusze ortofotomapy drukowanej,
- 2). wykazy współrzędnych i punktów osnowy w postaci wydruków i zbiorów ASCII
- 3). opisy topograficzne punktów osnowy,
- 4). arkusze ortofotomapy zapisane w formie cyfrowej
- 5). Treść obrazowa ortofotomapy zapisana w formie cyfrowej,

- 6). numeryczny model terenu w formie zbioru ASCII, siatki trójkątów TTN, oraz regularnej siatki GRD,
- 7). dane wektorowe zapisane w postaci cyfrowej,
- 8). zeskanowane zdjęcia,
- 9). diapozytywy wydawnicze w formacie Postscript w przypadku, gdy ortofotomapa będzie drukowana.

Wszystkie dane rastrowe powinny być zapisane w formie nieskompresowanych zbiorów TIFF, a dane wektorowe w formie zbiorów DXF, DGN lub DWG.

ROZDZIAŁ XII

ZASADY PRZECHOWYWANIA ORTOFOTOMAP

§ 33

Przechowywanie ortofotomap w postaci cyfrowej

1. Cyfrowy zapis ortofotomapy przechowywany jest na płytach CD. Nazwy i zapis muszą być zgodne z formatem ISO 9660.
2. Zapis na jednej płycie CD odpowiada jednemu godłu ortofotomapy i zawiera:
 - treść obrazową ortofotomapy – ograniczony współrzędnymi arkusza obraz rastrowy RGB lub GRAY,
 - ortofotomapa – ortoobraz z treścią wektorową tzn. ramka, opisy, rzeźba, itp. w trybie RGB
 - dane wektorowe – rzeźba, ramka w formie zbiorów wektorowych czytelnych w ogólnie dostępnych i stosowanych systemach,
 - dane o osnowie i orientacji (współrzędne punktów, parametry orientacji lub współrzędne środków rzutów użytych zdjęć),
 - wyniki aerotriangulacji w popularnym formacie np. PAT,
 - ortofotomapa w niskiej rozdzielczości np. 72 dpi jako materiał do szybkiego wglądu i orientacji.
3. Podstawowe dokumenty tzn. ortoobraz i ortofotomapa powinny być zapisane bez kompresji w ogólnie dostępnym i używanym formacie np. TIFF.

§ 34

Przechowywanie ortofotomap w postaci drukowanej

1. Ortofotomapa wykonana w postaci drukowanej wymaga przechowywania następujących materiałów:
 - diapozytywy wydawnicze (cztery wyciągi - C M Y K),
 - diapozytyw ewentualnej okładki,
 - próbne wydruki - z wysokorozdzielczego plotera (np. IRIS),
 - próby drukarskie – Cromalin, MatchPrint,
 - wydrukowane arkusze plano i ewentualnie falcowane.

ANEKS Nr 1

OPRACOWANIE BARW ORTOFOTOMAPY

1. Istota zagadnienia

Zgodnie z ogólną klasyfikacją map — ortofotomapę należy zaliczyć do typu map pogładowych. Oznacza to, że treść mapy jest przedstawiona graficznie za pomocą form (znaczących elementów treści) wyobraźniowo przestrzennych, modelowanych światłocieniem chromatycznym (bądź achromatycznym) i odpowiadających (przez podobieństwo) obiektom terenowym. Innymi słowy, ortofotomapa w postrzeganiu wzrokowym przedstawia się jako obraz graficzny stanowiący całość złożoną z form — obiektów terenowych odwzorowanych przez podobieństwo i zapisanych wielotonalnie — chromatycznie (bądź achromatycznie). Taka zatem całość formalna powinna być opracowana zgodnie z przyjętą koncepcją, tzn. zgodnie z wyznaczonym celem i określonym przeznaczeniem. Należy przy tym pamiętać, że każda odwzorowana forma obrazu (element treści) podlega interpretacji znaczeniowej i jest czytana jako znak. Musi więc być formą jednoznacznie wzrokowo postrzeganą, czyli musi być podporządkowaną semantyce obrazu.

Barwa jako postrzeżeniowo pierwsza i zarazem określająca właściwości przestrzenne prezentowanej formy (barwa jako właściwość obiektu, tzw. barwa powierzchniowa, barwa tekstur, barwa wegetacji pokrycia terenowego, itp.) powinna więc spełniać tę funkcję znakową. Ponadto barwa powinna oddziaływać dodatnio na powstawanie skojarzeń (asocjacji), zgodnych z utrwalonymi w pamięci schematami obiektów rzeczywistych i sytuacji w jakich były postrzegane. Barwa pozostająca w funkcji właściwości formy — obiektu odwzorowanego, pozostaje również w stosownych relacjach do barw — form sąsiedztwa. Taki zbiór barw sąsiedztwa tworzy, z kolei, koloryt (tonację) obrazu, czyli tę, już wspomnianą, swoistą całość formalną — postrzeżeniową.

W istocie rzeczy, koloryt ewentualnie tonacja ortofotomapy są pochodnymi od notacji graficznych, poprawnie wykonanych zdjęć lotniczych w czasie, tzn. notacji uzależnionych od wyboru sezonu fotolotniczego: pory roku, i związanej z nią pory dnia, w której występują znamienne i zarazem dogodne dla danego terenu warunki naturalnego oświetlenia, pozwalające na światłocieniowe utrwalenie obiektów terenowych w postaci tonalnych obrazów chromatycznych bądź achromatycznych. Dokonując tych notacji w sezonie fotolotniczym, który w Polsce trwa od drugiej połowy marca do października — listopada (zależnie od warunków pogodowych w danym roku i od typu krajobrazu) należy przy tym uwzględnić szereg wielkości fizycznych, tyjących samej natury promieniowania, warunków atmosferycznych a także wzięcia pod uwagę szeregu parametrów technicznych, charakterystycznych dla zastosowanych detektorów, samej detekcji (ekspozycji) i sposobów jej zmaterializowania^{*)}.

^{*)} Wytyczne techniczne K-2.7 „Zasady wykonywania prac fotolotniczych”, GUGiK, Warszawa 1999.

Związek kolorytu (tonacji) ortofotomapy z sezonem fotolotniczym i przyjętymi parametrami technicznymi wykonywanych zdjęć lotniczych jest więc oczywisty i ponadto bezpośrednio nam dany w postaci notacji barw: utrwalonych gam tonalnych chromatycznych, różnicowanych stosownie do zmian atrybutów tych barw: ich zmian jasności, kolorów i nasyceń (chromatów) lub gam achromatycznych: zmian różnicowanych tylko według atrybutu jasności. Wszelkie zatem zmiany naturalnego kolorytu krajobrazu, czy też zmiany wywołane odmiennymi od przyjętych parametrami technicznymi mają zawsze odniesienie do faktu zmienności atrybutów barw zarejestrowanych na zdjęciach lotniczych. Te zaś atrybuty w obszarze doznawanych wrażeń podlegają następującej interpretacji:

- atrybut jasności barwy jest utożsamiany z nasilającą się zmiennością światła, interpretowaną jako zmiany od ciemnego do jasnego, limitowane istnieniem czerni (lub brakiem bodźca świetlnego) i bieli (lub tak nasilonym bodźcem świetlnym, że wywołuje olśnienie), przy tym atrybut jasności jest właściwy każdej barwie chromatycznej (np.: żółta jest jaśniejsza niż fioletowa), natomiast każda barwa achromatyczna jest interpretowana jako określony stopień szeregu nasilających się zmian szarości, zawartych między czarną i białą, np.: czarna, bardzo ciemna szara, ciemna szara, szara, jasna szara, bardzo jasna szara, biała;
- atrybut koloru jest właściwy każdej barwie chromatycznej i stanowi jej główny wyróżnik, jako czerwona, żółta, zielona, niebieska, purpurowa, lub jako pośrednia, np.: czerwono-żółta (w znaczeniu tyleż czerwona co żółta) albo czerwona żółtawa (w znaczeniu czerwonej w odcieniu żółtawym), wskazując tym samym na istnienie zasady *continuum* doznawanych wrażeń kolorystycznych (przechodzenia od jednej barwy chromatycznej do następnej w sposób ciągły); zgodnie z tą zasadą barwy chromatyczne mogą być także zbielone (kolorowe blade), zszarzone (kolorowe złamane, czy wręcz zbrudzone) i zczernione (kolorowe czerniawe) oraz mogą odznaczać się cechami bardziej indywidualnymi, takimi jak: różowa, pomarańczowa, brązowa, oliwkowa, morska czy brunatna (jako swoiste kombinacje kolorystyczne pochodne, wytworzone na określonym poziomie jasności — nasilenia światła);
- atrybut nasycenia (chromatu) barwy jest właściwy każdej barwie chromatycznej i jest utożsamiany z nasilającą się zmiennością koloru w barwie, tworząc uporządkowany szereg typu: kolorowa zszarzona, szarawa, umiarkowanie kolorowa, mocna i żywa (osiągnięta pełna kolorowość w barwie na określonym poziomie jasności albo przy odpowiednim dla tej barwy chromatycznej nasileniu światła), przy tym dla tych barw mocnych, dla których pełna kolorowość ujawnia się przy mniejszym nasileniu światła, wówczas jego jeszcze pomniejszanie wywoła efekt barwy chromatycznej głębszej a przy znikomym nasileniu — barwę chromatyczną czerniawą, natomiast dla tych barw mocnych, dla których pełna kolorowość ujawnia się przy powiększonym nasileniu światła, wówczas jego jeszcze większe nasilenie wywoła efekt barwy chromatycznej jaśniejszej, bądź wręcz jaskrawej, by wreszcie — zanim nastąpi krańcowy efekt bieli a następnie olśnienia — doprowadzić do barwy chromatycznej bladej i bardzo bladej (niewielkie ślady chromatu w barwie).

Nietrudno spostrzec, że te trzy atrybuty jednoznacznie wyznaczają barwę, b(j,k,n), jak też i to, że atrybut jasności jest właściwy wszystkim barwom chromatycznym i achromatycznym. Skoro tak, to rozpoznanie relacji między tymi atrybutami, z pomocą których została dokonana czasoprzestrzenna notacja treści jest już wstępem do poprawnego komponowania kolorytu ortofotomapy.

Poprawne rozwiązanie kompozycji kolorytu jest z kolei uzależnione od przyjętego celu i przeznaczenia, jakie ma spełniać opracowywana ortofotomapa. Jakkolwiek funkcje celu i przeznaczenia z reguły oddziałują modyfikująco na pierwotnie pozyskaną notację treści, to

dla tego typu mapy nie może być w żadnym przypadku zaniedbana cecha pogładowości obrazu, czyli cecha światłocieniowego modelowania form — znaczących elementów treści, pozostających w relacjach chromatycznych bądź achromatycznych.

To modyfikowanie pierwotnej notacji treści może bowiem przebiegać na kilka sposobów:

- poprzez uznanie notacji pierwotnej za kolorystycznie poprawną, modyfikowaną jedynie parametrami przyjętego procesu technologicznego — reprodukcyjnego;
- poprzez doprowadzenie do jednoznaczności form — znaczących elementów treści i usunięcie szumu informacyjnego (np. wyodrębnienie znaczących treści z partii obrazu pokrytych zbyt głębokimi cieniami, wyrównywanie kontrastu, itp.) oraz dalsze modyfikowanie w przyjętym procesie reprodukcyjnym;
- poprzez świadomy dobór treści, zachowania form jednych przed innymi, poddawany retuszowi jako zbędnych na rzecz form bardziej ogólnych (np. dotyczących ukształtowania terenu, zaniechania notacji podziału terenu wywołanego zróżnicowanym stanem upraw rolnych, itp.) oraz dalsze modyfikowanie w przyjętym procesie reprodukcyjnym; znajdują tutaj zastosowania przypadki zachowania skali notacji pierwotnej oraz jej powiększania i pomniejszania;
- poprzez wprowadzenie dodatkowych elementów treści zadanych w postaci wektorowej jako niezbędnych uzupełnień orientacyjnych (np. siatka kartograficzna, kilometrowa, napisy, symbolika literowa, punktowa, liniowa, itp.) bez ujemnego wpływu na zachowanie pogładowości form — znaczących notacji treści, czyli poprzez pełne zharmonizowanie grafiki obrazu, polegające na percepcyjnym zhierarchizowaniu wszystkich znaczących elementów treści ortofotomapy, poddanych następnie niezbędnej modyfikacji technologicznej — reprodukcyjnej;
- poprzez konwersję notacji achromatycznej na chromatyczną i odwrotnie, z możliwościami uwzględniania powyżej opisanych przypadków;
- poprzez zachowanie cechy pogładowości obrazu, pomocnej w jednoznacznym sytuowaniu zjawisk (tematów) natury, np.: społeczno-gospodarczej, przyrodniczej, czy w ogóle kulturowej w postaci tzw. nakładek tematycznych (chromatycznych i transparentowych);
- poprzez notację trójwymiarową obrazowanego ortofotomapą terenu, ukazanego w postaci chromatycznych lub achromatycznych form przestrzennych, modelowanych światłocieniem wraz z alternatywą uwzględnienia powyżej podanych przypadków i dalszym modyfikowaniem, wynikłym z przyjętej technologii reprodukcji obrazu.

Wymienione przypadki modyfikowania pierwotnej notacji treści w istocie dotyczą zrealizowania trójdzielnej jedności ogólnego pojęcia mapy, zgodnie z którym definiując cel i przeznaczenie ortofotomapy należy jednoznacznie określić przedmiot poznania i jego prezentację za pomocą odpowiadającego im, trafnie dobranego formalizmu metodycznego. Wynika stąd, że poprawnie zrealizowana kompozycja kolorytu ortofotomapy przede wszystkim powinna być wyrażona poprzez osiągnięcie jedności funkcji (poznania) i formy (prezentacji), lub innymi słowy poprzez jednoznaczne postrzeganie tak przedstawionej treści. Wobec tego, opracowując koloryt ortofotomapy należy rozwiązać dwa praktyczne zadania. Jedno dotyczące opracowania projektu kompozycji kolorystycznej ortofotomapy i drugie zadanie, dotyczące zmaterializowania tego projektu. Rozwiązanie pierwszego zadania wymaga przede wszystkim znajomości zasad percepcji wzrokowej i wiedzy o przestrzennych relacjach barw, stanowiących razem stosowną podstawę do rozwinięcia własnej inwencji projektującego, by zachowując zasadę jedności funkcji i formy móc także pozyskać estetyczną wartość opracowania. Rozwiązanie drugiego zadania wymaga natomiast znajomości parametrów technicznych w postaci użytych do realizacji środków oraz zdolności do oceny realności wykonania projektu. Należy przy tym zaznaczyć, że oba zadania są sprzężone: przerost inwencji projektanta względem możliwości realizacyjnych nie prowadzi

do poprawnych rozstrzygnięć, jak też odwrotnie, niewykorzystywanie w pełni właściwości środków technicznych w opracowywanym projekcie nie może dać poprawnej postaci ortofotomapy.

2. Wskazania przydatne w komponowaniu kolorytu ortofotomapy

W ogólności koloryt ortofotomapy jest swoistą ekspresją odwzorowanych relacji czasoprzestrzennych, zachodzących między formami — znakami, który, zachowując jednoznaczność prezentacji treści jest przede wszystkim odbiciem pewnej składni formalnej obrazu dającej się percepcyjnie zorganizować. Zawsze bowiem w obrazie można wyróżnić figurę i tło: formę obiektu jako swoistą całość znaczącą dobitnie z tła wyodrębnioną, mimo postrzeganych zróżnicowań, występujących zarówno w strukturze figury, jak i w strukturze tła. Im tło jest bardziej jednolite, tzn. im elementy strukturalne tła (takie na przykład jak tekstury, naturalne rytmy i desenie, itp.) są słabiej rozróżnialne np.: na poziomie struktur ziarnistych wymiarowo odpowiadających wartościom granicznym rozdzielczości oka ludzkiego (0.07-0.10 mm), tym postrzeganie figury jest bardziej wyraziste a zatem bardziej jednoznaczne. Z kolei silniejsze zróżnicowania występujące między elementami strukturalnymi tła, czynią zeń strukturę bardziej agresywną, w postrzeganiu skutecznie konkurującą z elementami strukturalnymi figury, wywołując tym niekorzystny u postrzegającego efekt redundancji. Podobne rozważania można też odnieść do postrzegania figury jako formy całościowej rozwiniętej na tle, zazwyczaj złożonej ze zróżnicowanych części tę całość stanowiących, czyli części pozostających w ustalonych relacjach wzajemnych i w relacjach od całości (całości jako postrzeganej formy — znaczenia). Osłabienie tych relacji na przykład w postaci wyodrębnienia części od całości (a tym samym części od części) prowadzi wprost do zaistnienia formy niespójnej — figury swobodnej całościowo trudnej do postrzeżeniowego wyodrębnienia z tła i dlatego niejednoznacznie interpretowanej (o cesze rozmytego znaczenia). Rozwój form niespójnych na agresywnie uformowanym tle daje więc spotęgowany efekt redundancji. Natomiast figura jednoznaczna to przede wszystkim taka, której forma jest spójna, czyli taka, której części oddziałują w kierunku kojarzenia formy jako całości znaczeniowej. Przy czym to kojarzenie dokonuje się na ogół spontanicznie, według pewnych rozpoznanych już zasad grupowania, takich jak: podobieństwo, bliskość, symetria, domknięcie, współbieżność, współliniowość, kontynuacja, itp.

Zasady grupowania odniesione do figury jako formy całościowo zorganizowanej są również słuszne w odniesieniu do zbioru figur sytuowanych na tle. Figury spójne nie muszą być jednak równoważne. Na przykład figury odznaczające się symetrią będą postrzegane przed innymi jako dominanty formalne, a te spośród nich których, postaci są w kształtach zbliżone do prostych figur geometrycznych zróżnicują się dalej, tworząc formy zhierarchizowane; wtedy trójkąty są pierwsze przed kwadratami, kołami, czy prostokątami. Tak więc postrzegając dominanty formalne można je jeszcze hierarchizować. Tak też osiąga się percepcyjnie zorganizowaną składnię formalną obrazu: zhierarchizowanie dominant figur o różnym stopniu spójności, rozwiniętych na tle tak zaaranżowanym, by nie zakłócało porządku czytania i interpretowania treści — znaczących form obrazu. Należy przy tym uczynić następującą uwagę: organizując składnię formalną nie wolno pomijać zasady jedności funkcji i formy obrazu: formy zhierarchizowane postrzegane pierwszoplanowo powinny odpowiadać wadze znaczeń — interpretowania treści jako pierwszych przed innymi.

Dane w postrzeganiu wyróżnianie figury i tła w obrazie a także postrzeganie dalszych wyróżnień zarówno po stronie figury jak i tła ma niewątpliwy związek z pojęciem kontrastu, definiowanym w postaci względnej różnicy wartości nasileń bodźców, tzn. różnicy odniesionej do wartości jednego z tych nasileń, $k = (B_i - B_j)/B_i$.

Tak więc wykorzystywanie kontrastu w budowaniu składni formalnej ortofotomapy wiąże

się przede wszystkim z dążeniem do jednoznacznego określenia form obiektów (jako całości znaczących) i właściwego ich zhierarchizowania, — czyli działań zazwyczaj skutecznie wspomaganych korekcjami typu wzmacniania bądź osłabiania samego kontrastu, ewentualnie jego zachowania na poziomie notacji pierwotnej, jeśli obiekty zostały jednoznacznie upostaciowane.

W ogólności należy stwierdzić, że występowanie kontrastu w obrazie jest następstwem notacji terenowych warunków oświetlenia lub rezultatem światłocieniowej gry na obiektach pokrycia terenowego lub bezpośrednio na samych formach terenowych, nie zawsze jednak wolnej od efektów przypadkowych, niepożądanych, częstokroć zniekształcających rzeczywistą notację tych form. Notacje wykonane w warunkach oświetlenia silnie skierowanego mogą na przykład wywoływać u postrzegającego zaburzenia pseudoskopowe, ujawniane w postaci wklęsłości form wypukłych i odwrotnie. Potrzebne są zatem stosowne korekty radiometryczne na poziomie notacji pierwotnych, dzięki którym tego rodzaju efekty powinny być wyeliminowane bądź wyrażenie ograniczone, sprowadzając tym samym wartość kontrastu do poziomu odpowiadającego wartościom uzyskiwanym w notacjach pierwotnych, wykonywanych w warunkach oświetlenia silnie rozproszonego (osiąganego na przykład podczas wykonywania zdjęć lotniczych poniżej pułapu chmur).

Pomijając zatem skrajności, posługiwanie się kontrastem w hierarchizowaniu form obiektów znaczących powinno spełnić pozytywną rolę w kolorystycznym budowaniu składni formalnej całości obrazu jakim jest ortofotomapa.

Wobec notacji treści ortofotomapy a właściwie jej składni formalnej za pomocą atrybutów barw ważna jest zatem wiedza na temat reagowania postrzegającego na określone różnicowe zestawienia samych barw, jak i ich atrybutów. Pierwszeństwo w tym przypadku mają różnicowe zestawienia barw jasnych i ciemnych, obok różnicowych zestawień chromatycznych typu nasyconych barw przeciwstawnych, takich jak: czerwone—zielone, czy żółte—niebieskie. Tak więc achromatyczna składnia formalna (jasna—ciemna) jest rozwiązaniem poprawnym, gdyż jest zbudowana według porządkującego szeregu barw szarych, poczynając na przykład od jasnych szarych poprzez szare do ciemnych szarych wraz z możliwością wydobywania dominant formalnych za pomocą stosowania barw krańcowo kontrastowych: białej i czarnej. Poprawna jest także chromatyczna składnia formalna zbudowana według schematu: tło ciemne — figura jasna lub odwrotnie. Oczywiście przy założeniu, że zarówno po stronie chromatycznych barw jasnych jak i ciemnych może następować dalsze formalne różnicowanie, związane z uwydatnianiem drobniejszych form znaczących samej figury i tła.

Wprowadzenie chromatu do składni formalnej ma jednak ważne konsekwencje. Podobnie jak w zbiorze barw achromatycznych stanowiących pokrewieństwo do białej lub czarnej także wśród barw chromatycznych nietrudno jest odnaleźć gamy barw pokrewnych i przeciwstawnych zarazem. Rozpoznana percepcyjna zasada grupowania przez podobieństwo sprzyja bowiem tworzeniu gam pokrewnych, takich jak: czerwonych, które nie są zielonymi, czy zielonych, które nie są czerwonymi, albo żółtych, które nie są niebieskimi itd., ujawniając w ten sposób istnienie swoistych biegunów kolorystycznych (węzłów przekształceń jakościowych atrybutu koloru). Na przykład: czerwona grupuje wszystkie odcienie kolorystyczne tej barwy w kierunku żółtej aż do żółtej czerwonej czy czerwonożółtej, — niemal do czystej żółtej i podobnie w kierunku niebieskiej — aż do czystej niebieskiej; ponadto grupuje wszystkie czerwone zbielone, zszarzone i zczernione. Podobnie żółta grupuje wszystkie odcienie kolorystyczne w kierunku czerwonej aż do czerwonej żółtawej czy żółtoczerwonej — niemal do czystej czerwonej a w kierunku zielonej aż do zielonej żółtawej czy żółtozielonej — niemal do czystej zielonej.

Należy przy tym zaznaczyć, że grupowanie barw w gamy kolorystyczne i wyznaczanie im barw przeciwstawnych jest zgodne z zasadą *continuum* — przekształcania się barwy w barwę

w sposób ciągły. Tak więc jakakolwiek składnia formalna budowana na podstawie barw pokrewnych (np. jasnych — ciemnych) może być dopełniona barwą przeciwstawną, ewentualnie barwami z grupy barw przeciwstawnych w postaci silniejszych lub słabszych kontrastów. Takie zestawianie barw służy podkreśleniu dominant formalnych wyodrębnionych z dobranej grupy barw pokrewnych. Składnia formalna nabiera wówczas cech kolorystycznej harmonii zamkniętej w odróżnieniu od składni zbudowanej jedynie na podstawie barw pokrewnych, tworzących kolorystyczną harmonię otwartą. Trafne zdefiniowanie rodzaju harmonii dla przyjętej koncepcji opracowania ortofotomapy stwarza przesłanki do estetycznego odbioru jej treści.

By móc z kolei budować zharmonizowane składnie formalne niezbędna jest wiedza o relacjach przestrzennych barw, percepcyjnie zgodnych. Ujęcie modelowe tych relacji na zgeometryzowaną, trójwymiarową postać asymetrycznego wrzeciona jest bardzo pomocne w studiowaniu tych relacji. Za pomocą przekrojów pionowych przesuniętych przez oś wrzeciona (jako miejsca geometrycznego wszystkich barw achromatycznych) i wyznaczone punkty na płaszczyźnie tego wrzeciona (odpowiadające barwom chromatycznym) i przekrojów poziomych przesuwanych prostopadle do osi wrzeciona w różnych jej punktach (barwach achromatycznych jasnych lub ciemnych) można dokonywać świadomego doboru barw do składni formalnej, gdyż przekroje te ukazują gamy barw pokrewnych, barwy przeciwstawne, węzły przekształceń jakościowych atrybutu koloru, gamy barw jasnych, gamy barw ciemnych, gamy barw zszarzonych, barwy achromatyczne wraz z białą i czarną, czyli węzłami przekształceń ilościowych atrybutu jasności — słowem, pełna paleta możliwości pozwalających na opracowanie zharmonizowanych składni formalnych otwartych lub zamkniętych.

Wiedza o przestrzennych relacjach barw jest również potrzebna do przeprowadzania krytycznej oceny chromatycznych (achromatycznych) notacji pierwotnych, jak i do świadomego modyfikowania tych notacji. Modyfikacją szczególnie kłopotliwą jest wprowadzanie elementów grafiki kreskowej (chromatycznych bądź achromatycznych) do zastanej notacji tonalnej (chromatycznej lub achromatycznej). Wprowadzenie jakiegokolwiek elementu kreskowego (liniowego, punktowego, sygnatury, napisu, itp.) do tonalnej struktury obrazu powoduje jego pierwszoplanowe postrzeżenie, wywołane działaniem kontrastu, różnicującym ten element względem całej gamy tonalnej obrazu. Takie działania prowadzą z reguły do zaturbowania, czy wręcz zniweczenia cechy pogładowości form znaczących modelowanych światłocieniem i rozwijanych na tonalnym tle. By temu zapobiec należy przede wszystkim ustalić kolorystyczne jakości gam, w których zostały przedstawione tło i formy — znaki a następnie, wprowadzając elementy kreskowe (chromatyczne lub achromatyczne) należy przyjąć zasadę **jeszcze dostrzegalnej różnicy** z możliwością jej powiększenia, jednak bez spowodowania zaburzenia relacji już ustalonych, wynikających z podziału składni na tło i formy na nim rozwinięte. Gdyby jednak zachowanie pogładowości form uległo naruszeniu, należy wówczas dokonać krytycznej oceny gam kolorystycznych i poprzez ich skorygowanie doprowadzić ponownie do zharmonizowania tych dwu z natury przeciwstawnych grafik: tonu i kreski. Pomocne w tym względzie jest studiowanie przekrojów przestrzennych relacji barw.

Powierzchnia terenu jest często utożsamiana z pojęciem tła, na którym są postrzegane obiekty pokrycia terenowego. Modyfikowanie notacji tej powierzchni za pomocą wprowadzenia poziomic (elementów liniowych — kreskowych) prowadzi na ogół do przewagi tych ostatnich, danych w postrzeganiu jako pierwszych przed pogładową notacją form terenowych. Takie działanie przeczy więc przyjętej zasadzie zachowania pogładowości ortofotomapy. By zapobiec powstawaniu tego efektu należy przede wszystkim rozważyć sytuację postrzeżeniową jaka powstaje na skutek grupowania współbieżnego linii poziomicowych, stanowiących sobą określoną wartość formalną a następnie wykorzystać tę

wartość pozytywnie dla uwypuklenia pogładowości przedstawionych tonalnie form terenowych. Ten pozytywny efekt jest możliwy do osiągnięcia poprzez ustalenie dopuszczalnej wartości kontrastu, zachodzącego między atrybutami barw odpowiadających form terenowych a atrybutami barwy linii poziomowych oraz ich fizycznymi wartościami grubości.

Technologicznie tego rodzaju modyfikowanie, bądź ogólniej modyfikowanie elementami grafiki kreskowej (niekoniecznie ograniczonej tylko do przedstawiania poziomicy) może być rozwiązane na różne sposoby, spośród których można wymienić dwa najprostsze. Na przykład poprzez opracowanie nakładki kreskowej na obraz typowo pogładowy, ewentualnie poprzez umieszczenie treści kreskowej jako podkładu, na którym znajduje się pogładowo przedstawiona treść ortofotomapy w postaci nakładki wykonanej w barwach transparentowych.

Powyższe rozważania nasuwają kilka uwag ogólnych, dotyczących wskazań w komponowaniu kolorytu ortofotomapy:

- koloryt ortofotomapy powinien być wypadkową przyjętej koncepcji jej opracowania (czyli określenia celu poznania i funkcji jej przeznaczenia);
- koloryt powinien uwydatniać jednoznacznie poznawczą funkcję ortofotomapy;
- komponowanie kolorytu powinno uwzględniać zarówno zasady percepcji w postaci hierarchizacji form postrzeganych na tle, jak i percepcyjnie zgodne relacje przestrzenne barw;
- studiowanie percepcyjnie zgodnych relacji przestrzennych barw jest zawsze pomocne w komponowaniu kolorytu ortofotomapy;
- prowadzenie jakichkolwiek modyfikacji pogładowej postaci ortofotomapy wymaga zawsze uwzględniania zjawiska kontrastu.

3. Zalecenia dotyczące zmaterializowania projektu kolorytu ortofotomapy

Zmaterializowanie projektu kolorytu ortofotomapy dokonuje się na urządzeniach wyjścia (peryferyjnych), takich jak: monitor, drukarka, ploter czy poligraficzna maszyna offsetowa.

Praca nad projektem (komponowania kolorytu ortofotomapy) powinna być prowadzona na monitorze skalibrowanym tzn. składowe trójbodźcowe monitora RGB powinny być odniesione do składowych trójchromatycznych XYZ — układu przestrzennego barw, przyjętego za układ odniesienia. W układzie odniesienia należy więc wyznaczyć punkt *bieli* monitora, wyznaczony ze skorygowanych wartości składowych RGB, których addycja powinna tę właściwą *biel* uformować jako określoną o znanych wartościach XYZ. Wówczas każdy atrybut barwy wchodzący w skład kolorystycznego projektu ortofotomapy może być również wyznaczony w tym układzie odniesienia.

Z kolei wyniesienie kolorystycznego projektu ortofotomapy poza przestrzeń RGB tak skorygowanego monitora na urządzenia typu rysującego (plotery), czy drukującego (drukarki i maszyny offsetowe) wymaga przede wszystkim ustalenia przestrzennych relacji barw wyrażonych za pomocą RGB względem barw definiowanych w przestrzeni CMYK, których bazy kolorystyczne niekoniecznie się pokrywają z skalibrowaną przestrzenią RGB. Wyznaczenie własnych przestrzeni CMYK tych urządzeń w przestrzeni odniesienia XYZ jest podstawowym warunkiem utrzymania zgodności kolorystycznej projektu z jego kolorystyczną realizacją.

Do kalibracji monitorów, urządzeń rysujących (ploterów) i urządzeń drukujących stosuje się urządzenia pomiarowe, takie jak: spektrofotometr, czy kolorymetr trójbodźcowy oraz wzorce barw (w postaci cyfrowej i analogowej). Najbardziej rozpowszechnione wzorce są opracowywane przez ANSI (American National Standards Institute) w szczególności zaś przez Komitet ANSI IT8.7, którego odpowiednikiem jest Techniczny Komitet ISO TC 130

(International Organization for Standardization — Technical Committee 130). Wzorzec do kalibracji monitorów jest oznaczony jako ANSI IT8.7—7/1 a wzorzec dla urządzeń peryferyjnych rysujących i drukujących ANSI IT8.7—7/3.

3.1 Modele barw

W technice cyfrowej rozpowszechnione są uproszczone modele tej przestrzeni, np. typu: HLS i HSB. Model HLS ma reprezentację przestrzenną w postaci ostrosłupa odwróconego, u którego podstawy są rozmieszczone trzy barwy: RGB (czerwona, zielona, fioletowoniebieska) i trzy barwy dopełniające CMY (niebieska zielonkawa, purpurowa i żółta), tworząc razem sześciobok foremny (—R—Y—G—C—B—M—). Środek sześcioboku zajmuje barwa biała W (White) a na wierzchołku ostrosłupa jest umieszczona barwa czarna K (black). Wzdłuż wysokości ostrosłupa (K—W) zmienia się jasność (L), natomiast w płaszczyźnie sześcioboku foremnego zmienia się nasycenie (S), np.: w przedziale W—R, W—Y, itd., zaś po obwiedni sześcioboku następuje kierunkowa zmiana koloru (H), np.: $R \rightarrow Y \rightarrow G \rightarrow C$, lub $R \rightarrow M \rightarrow B \rightarrow C$.

Model HSB (B—brightness → jasność, jaskrawość) jest doskonalszą wersją poprzedniego, prezentuje bowiem przestrzeń barw ujętą w dwa ostrosłupy o wspólnej podstawie chromatycznej (—R—Y—G—C—B—M—) i osi jasności (W—K).

Oba uproszczone modele HLS i HSB są zanurzone w opisanej wyżej (rozdz. 2) przestrzeni barw percepcyjnie zgodnej (psychologicznej). Ponadto oba te modele wiążą podprzestrzenie barw RGB i CMYK, z tym zastrzeżeniem, że nie odpowiadają one modelom RGB lub CMYK konkretnych urządzeń, stosowanych w technologiach reprodukcji ortofotomapy.

Model barw RGB konkretnego urządzenia typu monitor komputerowy jest ograniczony właściwościami zastosowanych luminoforów w kineskopie. Wynika stąd zawężenie dostępnej gamy barw RGB. Z kolei model barw CMYK jest ograniczony udziałem pigmentów (barwników) decydujących o barwności farb (o ich chromacie, czyli czystości koloru i nasycenia). Zakresy spektralne tych barw wykazują zazwyczaj udział całości widma w barwie farby powodując tym efekt zszarzenia barwy (zbrudzenia, zanieczyszczenia wpływem odbić niepożądanych w całym zakresie widmowym farby). Gama barw możliwych do wydrukowania jest jeszcze węższa od gamy barw RGB.

Model barw CMYK ma swoją prezentację geometryczną w postaci sześcianu, w którego narożnikach są zlokalizowane barwy pełne: biała (W), żółta (Y), purpurowa (M), niebieska zielonkawa (C) oraz czarna (K), czerwona (R), zielona (G) i fioletowa (B). Przekątna sześcianu (WK) prostopadła do płaszczyzny (YMC lub RGB) może być interpretowana jako oś jasności (W—K), odpowiadająca miejscom geometrycznym barw szarych oraz białej i czarnej. Wnętrze sześcianu jest wypełnione barwami chromatycznymi zszarzonymi w różnym stopniu: im bliżej ścian sześcianu, tym barwy są bardziej czyste, mogą być też zczernione bądź zbielone. Sześcian barw nie zachowuje porządku percepcyjnego, gdyż barwa purpurowa jest tak samo jasna jak żółta i niebieska zielonkawa co nie jest zgodne ze wzrokowym doświadczeniem. Mimo to sześcian barw jest bardzo przydatny, gdyż ukazuje w prosty sposób zasady mieszania barw (zwłaszcza z wykorzystaniem rastrów, z pomocą których można uzyskać całą gamę odcieni pochodnych od Y, M i C).

3.2 Metryczna przestrzeń barw

Przestrzenią metryczną jest przestrzeń barw CIE XYZ 1931 i przestrzenie od niej pochodne. Przestrzeń ta została skonstruowana według wskazań teorii trójchromatyzmu widzenia barw. Wystarczą bowiem trzy barwy niezależne, wybrane z widma widzialnego, by

móc addytywnie odtworzyć wrażenie światła białego (a tym samym i wszystkich barw kolorowych zawartych w widmie widzialnym). Trzy barwy oznaczone odpowiednio X, Y, Z są składowymi przestrzeni barw XYZ (CIE 1931). Geometryczną prezentacją tej przestrzeni jest stożek nieforemny, skonstruowany na układzie trzech barw składowych X, Y, Z i punkcie początkowym 0 (stanowiącym wierzchołek stożka, interpretowanego zazwyczaj jako brak bodźca świetlnego). Płaszczyzna zewnętrzna tego stożka jest w zasadzie miejscem geometrycznym wszystkich barw widmowych i purpur. Przecięcie stożka płaszczyzną prostopadłą do jego wysokości (na poziomie energetycznym, odpowiadającym dobrej adaptacji oka do widzenia dziennego) wyznacza ślad w postaci krzywej wszystkich barw widmowych i purpur, które są opisane na trójkącie równobocznym o wierzchołkach odpowiadających punktom przecięcia składowych X, Y, Z z tą płaszczyzną.

Ślad krzywej barw widmowych i purpur jest więc miejscem geometrycznym tych barw. Oznacza to, że nie istnieją żadne wrażenia barwne (wzrokowe) poza wyznaczoną krzywą, czyli każda barwa niewidmowa znajduje się wewnątrz utworu ograniczonego tą krzywą. Środek ciężkości tego utworu — zwanego wykresem trójkromatycznym lub potocznie *podkową barw* — jest z kolei miejscem geometrycznym wszystkich barw achromatycznych. Czystość jakiegokolwiek wyznaczonej barwy zmienia się zatem od 0 do 1 (od barwy achromatycznej do barwy czystej, znajdującej się na krzywej barw widmowych).

W przestrzeni XYZ jakakolwiek barwa jest wyznaczona, jeśli są znane wartości jej trzech składowych X, Y, Z. W ten sposób wszystkie wyżej opisane modele barw mogą być wyznaczone w przestrzeni XYZ. Modele te są zawsze wpisane w tę przestrzeń.

Możliwość przejścia od składowych trójkromatycznych X, Y, Z do współrzędnych trójkromatycznych x, y, z ($x + y + z = 1$) pozwala wyznaczać jakąkolwiek barwę za pomocą tylko dwóch współrzędnych: x, y i składowej Y. Współrzędne x, y określają bowiem stopień chromatyzacji barwy (jej położenie wewnątrz wykresu trójkromatycznego i czystość koloru) a składowa Y — jej jasność.

3.2.1 Przestrzeń barw CIELAB 1976, CIELUV 1976 oraz model CMC 1988

Dla wielu celów technologicznych zachodzi potrzeba wyznaczania różnicy barwy Δ . Przestrzenią, w której można dobrze interpretować różnicę barw jako odpowiadającą różnicę przestrzeniowej są przestrzenie CIELAB i CIELUV, obie opracowane w 1976 roku.

Przestrzeń CIELAB jest ortogonalna, euklidesowa zbudowana na układzie współrzędnych prostokątnych (L^* , a^* , b^*), uzyskana na drodze nieliniowej transformacji przestrzeni XYZ. Współrzędna L^* odpowiada jasności barwy, natomiast współrzędne a^* i b^* określają chromaticzność i kolor barwy. Wobec tego różnica barwy ΔE^*_{ab} jest określona za pomocą następującej formuły:

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} ,$$

$$\Delta L^* = L^*_1 - L^*_2 ,$$

$$\Delta a^* = a^*_1 - a^*_2 ,$$

$$\Delta b^* = b^*_1 - b^*_2 ,$$

przy czym indeksy liczbowe wskazują na przestrzenie sytuowane dwie różne barwy bliskiego sąsiedztwa.

Przestrzeń CIELUV jest ortogonalna, zbudowana na układzie współrzędnych prostokątnych (L^* , u^* , v^*), uzyskana na drodze liniowej transformacji przestrzeni XYZ. Przestrzeń ta jest przydatna do wyznaczania barw, powstających na zasadzie addycji jest

stosowana do kalibracji monitorów. Współrzędna L^* odpowiada jasności barwy, natomiast współrzędne u^* v^* określają chromat i kolor barwy. Wobec tego różnica barwy ΔE^*_{uv} jest określona za pomocą następującej formuły:

$$\Delta E^*_{uv} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta u^*)^2 + (\Delta v^*)^2]^{1/2} .$$

Model CMC (The Colour Measurement Committee of Society of Dayers and Colourists) opracowany w 1988r. na podstawie doświadczeń, dotyczących akceptowalnej różnicy barw. Podstawą do opracowania modelu CMC stała się przestrzeń CIELAB, której formuła ΔE^*_{ab} różnicy dwu barw bliskiego sąsiedztwa jest w dużym przybliżeniu zgodna z oceną różnicy barw odbijających światło, daną w postrzeganiu.

Model CMC potwierdza rezultaty doświadczeń wcześniej znanych, mianowicie postrzegający bardziej reaguje na zmiany atrybutu koloru (zwłaszcza wśród barw chromatycznych o średniej i niższej wartości jasności) niż na zmiany atrybutu nasycenia.

3.3 Procedura korygowania barw

Możliwość wyznaczania modeli barwnych RGB i CMYK w przestrzeni XYZ(L^* a^* b^*), (L^* u^* v^*) uwydatnia rolę tej przestrzeni w funkcji korygowania barw,

Istniejące niezgodności barw między urządzeniami wejścia (pracującymi na ogół według modelu RGB) i wyjścia (zaopatrzonymi w model RGB lub CMYK) mogą być usunięte tylko poprzez procedurę, która uwzględnia wszystkie ograniczenia wynikające z zastosowanych urządzeń w technologicznym produkcji ortofotomapy.

Działanie takiej procedury w odniesieniu do barw polega na ich sprowadzeniu do wspólnej przestrzeni XYZ (L^* a^* b^*), (L^* u^* v^*) i określeniu tzw. profili urządzeń zastosowanych w określonej konfiguracji sprzętowej, przyjętej do realizacji technologii. Zdefiniowanie profilu sprowadza się do określenia charakterystyki barw skorygowanych, pozwalającej na uzyskanie barwy tożsamej lub najbliższej żądanej, zgodnie z nałożonym warunkiem różnicy barwy $\Delta E = \min$.

Budowanie profilu polega zatem na określeniu wzorca barwy i porównaniu wartości wprowadzonych. Wynikiem porównania jest zbiór poprawek opisujących wartości zmian, jakie muszą być dokonane by uzyskać barwę skorygowaną.

Korygowanie barw nosi też często nazwę systemu zarządzania barwami (od ang. Colour Management System - CMS). Obecnie istnieje międzynarodowe konsorcjum do spraw barwy ICC (International Colour Consortium), które współpracuje w zakresie opracowania programów z szeregiem firm takich jak: Adobe, Agfa, Apple, Kodak, Microsoft, Silicon Graphic itp. dążąc do wprowadzania standardów profili urządzeń stosowanych w grafice komputerowej.

4. Przybliżona ocena modelu barw CMYK urządzenia IRIS (Scitex)

Aktualnie, najbardziej dostępnym w Polsce urządzeniem do reprodukcji ortofotomapy (chromatycznych i achromatycznych) w małych nakładach jest ploter IRIS firmy Scitex, pracujący w konwencji kolorystycznej CMYK.

Reprodukcje wykonywane są na podłożach papierowych, na których nanoszone są rastrowe kombinacje kolorystyczne barw pierwszych C M. Y i barwy czarnej K, powodującej pogłębienie (zciemnianie przy zachowaniu nasycenia) tych kombinacji i nadanie swoistej ostrości szczegółom występującym zarówno po stronie tła jak i form - znaków całości ortofotomapy.

Stosowane podłoża charakteryzują się następującymi, przybliżonymi parametrami:

- papier powlekany z połyskiem (Gloss Coated Wood Free),

| | |
|---|------|
| białość(%) | 90 |
| połysk (geometria pomiaru 75° / 75°) | 65 |
| gładkość (wg. Bekka w s.) | 2800 |
| szorstkość (wg. Bendtsena) | 5 |
| gramatura (g/m ²) | 115 |
| • papier powlekany matowy (Matt Coated Wood Free) | |
| białość (%) | 90 |
| połysk (geometria pomiaru 75° / 75°) | 40 |
| gładkość (wg. Bekka w s.) | 70 |
| szorstkość (wg. Bendtsena) | 103 |
| gramatura (g/m ²) | 115 |

Parametry badanych podłoży porównywane z parametrami podłoży papierowych stosowanych do druku offsetowego potwierdzają ich wysoką jakość (norma ISO 12647-2).

Na tych podłożach na jednym z urządzeń typu IRIS wykonano paski kontrolne barw: K, C, M, Y, R, G, B, które następnie poddano pomiarom spektrofotometrycznym i interpretacji wyników tych pomiarów, odniesionych do przestrzeni CIELAB.

Tabela 1

| | papier z połyskiem | | | papier matowy | | | różnice | | | ΔE^*_{ab} |
|---|--------------------|--------|--------|---------------|--------|--------|--------------|--------------|--------------|-------------------|
| | L* | a* | b* | L* | a* | b* | ΔL^* | Δa^* | Δb^* | |
| K | 20,18 | -0,76 | -2,56 | 22,66 | -0,94 | -2,93 | -2,48 | 0,18 | 0,37 | 2,51 |
| C | 59,81 | -45,94 | -41,12 | 59,79 | -44,61 | -40,26 | 0,02 | -1,33 | -0,86 | 1,58 |
| M | 52,80 | 70,35 | -7,27 | 51,25 | 67,64 | -10,12 | 1,55 | 2,70 | 2,86 | 4,23 |
| Y | 91,54 | -3,84 | 96,63 | 89,37 | -3,89 | 87,29 | 2,17 | 0,06 | 9,33 | 9,58 |
| R | 53,19 | 66,51 | 59,25 | 51,77 | 63,55 | 53,20 | 1,42 | 3,16 | 6,05 | 6,97 |
| G | 25,84 | -71,11 | 36,60 | 53,06 | -66,61 | 34,02 | -0,23 | -4,49 | 2,57 | 5,18 |
| B | 21,96 | 29,40 | -53,66 | 23,85 | 28,47 | -51,00 | -1,89 | 0,93 | -2,66 | 3,39 |

Porównując uzyskane wyniki ΔE^*_{ab} z podobnymi wartościami ΔE^*_{ab} przewidzianymi normą ISO 12647-2 dla techniki druku offsetowego można przyjąć, że uzyskane różnice barw na papierze z połyskiem i papierze matowym stosowanymi do plotera IRIS mieszczą się w granicach dopuszczalnej tolerancji. Norma przewiduje następujące tolerancje dla barw:

K - 4 ± 2 , C - 5 ± 2 , M. - 8 ± 4 , Y - 6 ± 3 . Można zatem uznać, że koloryty próbnych pasków zarówno dla jednego jak i dla drugiego podłoża papierowego mieszczą się w granicach możliwych do zaakceptowania, sugerując zarazem możliwość uzyskania podobieństwa kolorytu projektowanych ortofotomap na obydwu podłożach. Ze względu na tonalność krajobrazu przedstawianego ortofotomapą należałoby preferować podłoże matowe. Ponadto porównując uzyskane współrzędne L* a* b* dla barw pierwszych CMYK i pierwszych pochodnych RGB z podobnymi, uzyskiwanymi w technice druku offsetowego (ISO 12647-2) można domniemywać o pewnej, niewielkiej rozbieżności tych przestrzeni.

4. Podsumowanie

W opracowaniu przedstawiono zarys problematyki aplikacji barw do graficznej prezentacji treści ortofotomapy, wskazując na związek znaczeń i składni formalnej z barwami oraz na potrzebę sterowania barwami (ustalenia profilów urządzeń wejścia i wyjścia) podczas realizacji procesu technologicznego produkcji ortofotomapy. Tego rodzaju działania powinny

gwarantować zachowanie jednoznaczności przekazu i zarazem oddziaływać na estetykę odbioru informacji z ortofotomapy.

Wyposażenie ortofotomapy w graficzne elementy kontrolne (pola barw pełnych, rastrowych, skale tonalne, wzorce rozdzielczości, itp.) poddawane ocenie kolorymetrycznej (transformacja modeli RGB i CMYK do przestrzeni XYZ (L^* a^* b^*), (L^* u^* v^*) poprzez spektrofotometr lub kolorymetr trójbodźcowy i określenie różnicy barwy ΔE) powinno także zagwarantować poprawność techniczną, tak skonfigurowanej produkcji ortofotomapy.

W opracowaniu przedstawiono zalecenia ogólne, słuszne jednak dla wszystkich przypadków technologicznych, w których uwzględnia się koncepcję (cel i przeznaczenie) opracowania ortofotomapy, jej postać jako poglądową formę przekazu informacji, uwzględniającą tym samym semantykę, składnię formalną i aspekty techniczne gwarantujące wysoką jakość graficzną obrazu.

Warszawa, 1999-12-20.

/ - / prof. A.Makowski

ANEKS Nr 2

TWORZENIE NUMERYCZNEGO MODELU

Podstawy tworzenia numerycznego modelu terenu

1. Numeryczny model terenu (zwany dalej NMT) jest to zbiór współrzędnych odpowiednio wybranych punktów (X,Y,Z) powierzchni terenu utworzony jako jej numeryczna reprezentacja oraz algorytmy umożliwiające odtworzenie jej kształtu w określonym obszarze.

Numeryczny model terenu tworzony jest najczęściej w postaci regularnej siatki kwadratów, prostokątów (ang. **GRID**) lub w postaci nieregularnej siatki trójkątów (ang. Triangular Irregular Network - **TIN**).

2. Model terenu w postaci regularnej siatki powinien być uzupełniony następującymi danymi:

- przebieg linii szkieletowych,
- linie nieciągłości (granice skarp, urwisk),
- granice wyłączeń obszarów poziomych (np. jeziora, stawy, osadniki),
- granice wyłączeń obszarów o jednolitym spadku (np. rzeki o szerokości > 5m),
- położenie punktów charakterystycznych rzeźby (lokalne ekstrema).

3. Przyjmuje się dwie kategorie stopnia trudności terenu dla opisu rzeźby w siatce prostokątnej:

- teren łatwy : płaski lub falisty z łagodnymi zmianami spadków, NMT opisuje samą rzeźbę, pomija wszystkie elementy pokrycia
- teren trudny : teren o dużych, zmiennych spadkach (górski) ale także obszary płaskie lub pofalowane dla których NMT uwzględnia wybrane antropogeniczne elementy pokrycia (mosty, wiadukty, budowle hydrotechniczne)

4. Numeryczny model terenu w postaci siatki trójkątów zalecany jest dla terenów o

skomplikowanej rzeźbie z dużą liczbą elementów antropogenicznych.

5. Numeryczny model terenu tworzony jest dla arkuszy mapy w układzie współrzędnych prostokątnych w obszarach odpowiadającym arkuszom mapy powiększonym o marginesy nie mniejszy niż 2 cm w skali mapy

6. Dokładność NMT scharakteryzowana jest przez średni błąd wysokości wyinterpolowanej z wynikowego NMT. Dokładność NMT zależy od:

- błędów danych źródłowych,
- wielkości oczka siatki,
- charakteru rzeźby terenu.

Czynniki te ujmują empiryczny wzór [Ackermann F., 1996], w którym drugi człon uwzględnia błędy związane z interpolacją wysokości w węzłach siatki wynikowej (wtórnej):

$$m_{\text{NMT}}^2 = m_z^2 + (\alpha d)^2$$

gdzie :

- m_{NMT} - średni błąd wyinterpolowanej wysokości z NMT,
- m_z - średni błąd określenia wysokości,
- α - współczynnik opisujący charakter rzeźby terenu,
- d - średnia odległość punktów pomiarowych.

Przyjmuje się: $\alpha = 0.004 \div 0.007$ dla terenów łatwych (o gładkiej powierzchni)
 $\alpha = 0.010 \div 0.020$ dla terenów o średniej trudności,
 $\alpha = 0.022 \div 0.044$ dla terenów trudnych (o nieregularnych i stromych powierzchniach).

Stąd wynika wartość oczekiwanego błędu średniego określenia wysokości:

$$m_z = \pm (m_{\text{NMT}}^2 - (\alpha d)^2)^{1/2},$$

która powinna być nie większa od wartości 1/3 cięcia warstwicowego przyjętego dla mapy topograficznej w danej skali.

7. Dane do tworzenia numerycznego modelu terenu mogą być pozyskiwane następującymi metodami:

- metodą pomiarów bezpośrednich,
 - metodą kartograficzną wykorzystującą istniejące mapy i inne materiały znajdujące się w zasobie geodezyjno-kartograficznym,
- metodą fotogrametryczną,
- innymi technicznie uzasadnionymi metodami (np. metodą skanowania laserowego z pułapu lotniczego),
- kombinacją wyżej wymienionych metod.

Pozyskiwanie danych do NMT metodą pomiarów bezpośrednich

1. Przyjmuje się, że metoda pomiarów bezpośrednich zapewnia najwyższą wiarygodność i dokładność pozyskanych danych.
2. Podstawowym instrumentem pomiarowym jest tachimetr elektroniczny z automatyczną rejestracją mierzonych wielkości.
3. Mierzone punkty stanowią:
 - zbiór punktów rozproszonych zlokalizowanych na charakterystycznych elementach rzeźby terenu (lokalne ekstrema, pikiety wysokościowe),
 - obiekty liniowe (linie szkieletowe, linie nieciągłości),
 - granice obiektów powierzchniowych (obszary wyłączeń).

W zależności od stosowanego systemu wspomagającego pomiar i obliczenie współrzędnych obiekty tworzone są bezpośrednio w terenie lub kameralnie.
4. Ze względów ekonomicznych metoda ta stosowana jest jako uzupełnienie innych metod w przypadkach gdy nie są one w stanie dostarczyć wiarygodnych danych dla określonych zastosowań (np. prewencja powodziowa, budowa autostrad itp.).

Pozyskiwanie danych do tworzenia NMT metodą fotogrametryczną

1. Dane pozyskiwane są przez pomiar na zestrojonym modelu stereoskopowym utworzonym - ze zdjęć lotniczych. Pomiar można przeprowadzać na:
 - autografie analogowym wyposażonym w urządzenia do automatycznej rejestracji współrzędnych,

- autografie analitycznym,
- autografie cyfrowym.

2. Pomiarowi podlegają punkty masowe (jako punkty rozproszone lub w regularnej siatce) oraz elementy strukturalne rzeźby (linie szkieletowe, linie nieciągłości, punkty lokalnych ekstremów, granice obszarów wyłączonych itp.).

3. W przypadku pomiaru punktów w regularnej siatce (tzw. siatka pierwotna) przyjmuje się, że wymiar jej oczka powinien wynosić :

dla terenu płaskiego $s = \beta * m_{NMT}$ gdzie: $\beta = 40 - 60$

dla terenu pofalowanego $s = \beta * m_{NMT}$ gdzie: $\beta = 20 - 30$

4. Należy przyjąć, że wymiar oczka siatki wtórnej (wyinterpolowanej) jest 2-3 mniejszy niż siatki pierwotnej (pomiarowej).

5. Na podstawie doświadczeń przyjmuje się, że dokładność wynikowego NMT wynosi:

dla terenu płaskiego i falistego $m_{NMT} = 0,2 \div 0,4 \text{ ‰ } W$

dla terenu górzystego $m_{NMT} = 1,0 \div 2,0 \text{ ‰ } W$

6. W przypadku pracy na autografie cyfrowym (fotogrametrycznej stacji roboczej) pomiar danych do tworzenia NMT może przebiegać w trzech trybach :

- manualnym,
- manualnym wspomaganym automatycznym korelatorem obrazu
- w pełni automatycznym

7. Pomiar manualny

1).Pomiarowi podlegają punkty rozproszone lub tworzące regularną siatkę uzupełnione o obserwacje form terenowych w tym lokalne maksima i minima, linie strukturalne, oraz granice obszarów wyłączeń. Interwał siatki mierzonej manualnie (pierwotnej) jest 2-4 krotnie większy od końcowej, interpolowanej siatki NMT.

2). Dokładność określenia wysokości zależy głównie od wysokości lotu. W tabeli X.X??? podano przykładowe, średnie błędy pomiaru wykonywanego w trybie manualnym (pomiar odbywa się w określonym miejscu modelu, po wykonaniu obserwacji następuje

przemieszczenie do kolejnego miejsca pomiaru).

3). Przyjęto dwie kategorie stopnia trudności terenu dla pomiaru fotogrametrycznego:

teren łatwy : płaski lub pofalowany z łagodnymi zmianami spadków, niewielki stopień pokrycia elementami naturalnymi lub antropogenicznymi (nieuciążliwy dla pomiaru)

teren trudny : teren o dużych, zmiennych spadkach (górski) ale także obszar płaski lub pofalowany z licznymi elementami pokrycia utrudniającymi obserwację stereoskopową (cienie, przesłonięcia, zmienne oświetlenie).

Tab.1.1 Średni błąd pomiaru fotogrametrycznego (m_z) w funkcji wysokości lotu

| Stopień trudności terenu dla pomiaru | Wysokość lotu | | | | | | |
|--------------------------------------|---------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | W [m] | | | | | | |
| | 500 | 750 | 1000 | 2000 | 4000 | 6000 | 8000 |
| Teren łatwy | 0.08 m | 0.11 m | 0.15 m | 0.3 m | 0.6 m | 0.9 m | 1.2 m |
| Teren trudny | 0.15 m | 0.22 m | 0.30 m | 0.6 m | 1.2 m | 1.8 m | 2.4 m |

Objaśnienia:

$$\text{Wysokość lotu } W = c_k * M_Z$$

(c_k - stała kamery, M_Z - mianownik skali zdjęcia)

Wzór definiujący błąd pomiaru wysokości (dla kamer normalno i szerokokątnych):

$$\text{teren łatwy } m_z = 0,15\% * W$$

$$\text{teren trudny } m_z = 0,30\% * W$$

8. Pomiar manualny wspomagany korelatorem

W tym trybie pomiaru obserwator wybiera położenie mierzonego punktu a znaczek pomiarowy osadzany jest na terenie automatycznie z wykorzystaniem procedury autokorelacji.

9. Pomiar automatyczny

1). System automatycznie wybiera zarówno miejsce pomiaru jak i dokonuje pomiaru wysokości z wykorzystaniem procedury autokorelacji. Pomiar realizowany jest w regularnej siatce. Może to być siatka w układzie modelu fotogrametrycznego (jedna z

osi równoległa do bazy zdjęć) lub w przyjętym układzie zewnętrznym.

Parametry, które należy uwzględnić przy uruchamianiu programów dotyczą:

- a) wielkości oczka siatki (interwał pomiędzy węzłami),
- b) współczynnika wygładzania powierzchni,
- c) typu terenu.

- ad a) Ze względu na pełną automatyzację pomiaru odbywa się on bardzo szybko (kilkadziesiąt punktów na sekundę). Pozwala to na pomiar bardzo gęstej siatki (rzędu 100 razy więcej punktów niż przy pomiarze manualnym). Na jedno oczko siatki wtórnej NMT przypada około 10-20 pomierzonych punktów.
- ad b) Współczynnik wygładzania zależy od stopnia pokrycia terenu elementami antropogenicznymi (budowle) lub przyrodniczymi (drzewa, lasy); wyższy stopień wygładzania powoduje odrzucenie pomiarów „odstających”, np. przypadających na pojedyncze budynki, drzewa.
- ad c) W większości programów deklaruje się jeden z trzech typów terenu: płaski (ang. flat), pofalowany (ang.- hilly), górzysty (ang.- mountainous), deklaracja typu wpływa także na sposób filtrowania pomiarów odbiegających od obserwacji sąsiednich.

2). Dokładność Numerycznego Modelu Terenu pozyskanego tą drogą jest porównywalna lub wyższa niż na autografie analitycznym i szacuje się ją następująco:

- dla zdjęć cyfrowych zeskanowanych pikselem o wymiarze równym 15 μm :

$$m_{\text{NMT}} = 0,10 \text{ ‰ } W \quad \text{dla terenu płaskiego i pofalowanego}$$

$$m_{\text{NMT}} = 0,25 \text{ ‰ } W \quad \text{dla terenu górzystego}$$

- dla zdjęć cyfrowych zeskanowanych pikselem o wymiarze równym 30 μm :

$$m_{\text{NMT}} = 0,10 \text{ ‰ } W \quad \text{dla terenu płaskiego i pofalowanego}$$

$$m_{\text{NMT}} = 0,20 \div 0,35 \text{ ‰ } W \quad \text{dla terenu górzystego}$$

3). Generowanie automatyczne mimo że jest efektywniejsze niż inne sposoby pozyskiwania danych do NMT może być jedyną metodą pozyskania danych do NMT tylko dla opracowania ze zdjęć średnio i małoskalowych terenów odkrytych. W innych przypadkach musi nastąpić uzupełnienie pomiaru automatycznego przez manualny. Dopuszcza się także wykonanie pomiaru w odwrotnej kolejności , tj.

najpierw wykonujemy pomiar manualny a później automatyczny (pod warunkiem że generowanie automatyczne respektuje zadane wstępnie informacje wysokościowe.

- 4). W żadnym przypadku nie można jednak odstąpić od dokonania weryfikacji wyników pomiaru automatycznego dokonanej przez obserwatora.
- 5). W pierwszym etapie tworzenia Numeryczny Model Terenu generowany jest na podstawie wszystkich zgromadzonych danych w postaci nieregularnej siatki trójkątów (TIN). Algorytm generujący model TIN powinien działać w taki sposób aby: uwzględnione były wszystkie pomierzone punkty, trójkąty były możliwie małe, bokami trójkątów były odcinki tworzące strukturalne obiekty liniowe lub definiujące obiekty powierzchniowe.
- 6). Z modelu w postaci TIN tworzony jest następnie metodą interpolacji liniowej model w postaci regularnej siatki, który stanowi docelową postać modelu. Zalecana wielkość oczka siatki zależy od typu terenu (łatwy, trudny) i jest podana w tabeli 1.2 (w rozdziale V „Przetwarzanie cyfrowe – ortorektyfikacja”).

Pozyskiwanie danych do NMT z materiałów kartograficznych

1. Metoda kartograficzna polega na pozyskaniu danych do tworzenia numerycznego modelu terenu z istniejących map w skali 1:10 000 (w razie potrzeby również z map w skalach większych) oraz z innych materiałów znajdujących się w użytkowym lub bazowym zasobie geodezyjno-kartograficznym.
2. Materiałami źródłowymi do pozyskiwania danych metodą kartograficzną są :
 - kalki pikiet, pierworysy map topograficznych a w przypadku ich braku diapozytywy wydawnicze rzeźby,
 - diapozytywy wydawnicze sytuacji,
 - diapozytywy wydawnicze elementów hydrograficznych i wód powierzchniowych,
 - metryka mapy,
 - wykazy współrzędnych punktów osnowy oraz narożników arkuszy.
3. Tworzenie numerycznego modelu terenu przebiega w następujących etapach :
 - zebranie materiałów źródłowych,

- - przeliczenie współrzędnych punktów osnowy, narożników arkuszy map do układu współrzędnych prostokątnych PUWG-92,
- - zeskanowanie kalek pikiet, pierworysów lub diapozytywów wydawniczych,
- - kalibracja zeskanowanych materiałów,
- - digitalizacja pikiet, warstwic i innych elementów rzeźby terenu,
- - kontrola poprawności wprowadzonych elementów,
- - generowanie numerycznego modelu terenu w postaci TIN,
- - generowanie numerycznego modelu w postaci regularnej siatki,
- - generowanie produktów pochodnych NMT (np. warstwic)
- - kontrola jakości utworzonego NMT i produktów pochodnych.

4. Skanowanie należy przeprowadzać z rozdzielczością min. 400 dpi na skanerach gwarantujących zachowanie dokładności geometrycznej oryginału mapy. Parametry skanowania należy tak dobrać aby poszczególne linie na zeskanowanej mapie były przedstawione grubością 2-3 pikseli.

5. Celem kalibracji jest:

- usunięcie deformacji geometrycznych mapy,
- - transformacja zeskanowanej mapy do układu arkusza mapy,
- - ewentualna zmiana rozdzielczości mapy rastrowej.

Kalibracja przeprowadzana jest na podstawie współrzędnych narożników arkusza mapy oraz punktów osnowy usytuowanych wewnątrz arkusza. Stosować można następujące rodzaje transformacji:

- - konforemną: $x_k = a_0 + a_1 x + a_2 y$
- $y_k = b_0 - a_2 x + a_1 y$
- - afiniczną: $x_k = a_0 + a_1 x + a_2 y$
- $y_k = b_0 + b_1 x + b_2 y$
- - bilinearną: $x_k = a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 xy$
- $y_k = b_0 + b_1 x + b_2 y + b_3 xy$

gdzie: x, y - pomierzone współrzędne punktów dostosowania w układzie skanera ,
 x_k, y_k - dane współrzędne punktów dostosowania w układzie arkusza (układ PUWG 92)

$a_0, a_1, a_2, a_3, b_0, b_1, b_2, b_3$ - obliczone współczynniki transformacji.

Współczynniki transformacji określone są metodą najmniejszych kwadratów.

Poprawność kalibracji określana jest na podstawie oceny dokładności transformacji. Ocenę dokładności transformacji przeprowadza się obliczając średnie błędy na punktach wpasowania określone według wzorów:

$$m_x = \pm(\sum(x_k - \underline{x}_k)^2 / n)^{1/2}$$

$$m_y = \pm(\sum(y_k - \underline{y}_k)^2 / n)^{1/2}$$

gdzie: $\underline{x}_k, \underline{y}_k$ - przetransformowane współrzędne punktów dostosowania,
n - ilość punktów dostosowania
- - suma

Kalibrację uznaje się za poprawną jeśli średnie odchyłki na punktach dostosowania nie przekraczają ± 0.3 mm.

Zaleca się stosować transformację możliwie najniższego stopnia.

Jeżeli nie uzyska się satysfakcjonujących rezultatów należy arkusz podzielić na mniejsze części przyjmując punkty siatki współrzędnych jako punkty dostosowania i dokonać kalibracji dla mniejszych fragmentów mapy.

6. Należy ponadto przeprowadzić niezależną kontrolą dokładności kalibracji: wrywkowy pomiar kilku punktów siatki wewnątrz kalibrowanego obszaru i porównanie ich współrzędnych na skalibrowanej mapie ze współrzędnymi teoretycznymi (danymi).
7. Wektoryzację warstwic przeprowadzić można metodą digitalizacji ekranowej (manualnej lub półautomatycznej) wspomagając się odpowiednim programem śledzenia linii. Należy uzupełnić przebieg linii warstwic w miejscach, w których została przerwana ich ciągłość na mapie (opisy, budynki itp.). Zdigitalizowanym warstwicom w postaci linii łamanych należy przypisać odpowiednią wysokość.
8. Do innych elementów rzeźby podlegających digitalizacji należą:
 - elementy punktowe: punkty osnowy, koty wysokościowe i wodne, pikiety z kalki (o ile są dostępne),
 - elementy liniowe: linie nieciągłości (urwiska, wały, groble, nasypy, wykopy - przedstawiane za pomocą górnej i dolnej krawędzi jako linie łamane przestrzenne), ciekі (o szerokości < 5m przedstawiane są na mapach w skali 1:10 000 jako linie przestrzenne, a o szerokości > 5m digitalizowane są oba brzegi jako linie przestrzenne), interpretowane linie szkieletowe (grzbietów, cieków, przedstawiane linią łamaną przestrzenną),

- - elementy powierzchniowe: zbiorniki wodne, tereny podmokłe i bagna (traktowane jako obiekty płaskie o stałej wysokości), lotniska, duże rzeki płynące w terenach równinnych, szerokie drogi (traktowane jako obiekty płaskie, wielokąty o stałym nachyleniu).

9. Kontrola poprawności wprowadzonych danych polega na kontroli:

- ilościowej - obejmującej sprawdzenie kompletności danych,
- - geometrycznej - polegającej na sprawdzeniu poprawności topologicznej,
- - merytorycznej - polegającej na sprawdzeniu poprawności interpretacji i redakcji elementów rzeźby.

10. NMT generowany jest w pierwszym etapie na podstawie wszystkich zgromadzonych danych w postaci nieregularnej siatki trójkątów (TIN). Algorytm generujący model TIN powinien działać w taki sposób aby spełnione były wymagania podane w § 28 punkcie 5. oraz nie powstawały trójkąty rozpięte na punktach należących do tej samej warstwy.

11. Na ogół tak utworzony model TIN charakteryzuje się dużym nadmierem danych. Niektóre programy tworzą tzw. zoptymalizowany TIN, z którego eliminowane są nie wnoszące do opisu rzeźby punkty (np. sąsiednie trójkąty tworzą jedną płaszczyznę).

12. Z modelu w postaci TIN tworzony jest następnie model w postaci regularnej siatki, który stanowi docelową postać modelu.

Kontrola jakości Numerycznego Modelu Terenu

1. Kontrolę jakości wygenerowanego modelu przeprowadza się przez:

- porównanie przebiegu wygenerowanych z NMT warstw z warstwami na mapie,
- porównanie przebiegu wygenerowanych z NMT warstw z modelem stereoskopowym terenu,
- porównanie wysokości wyinterpolowanych z modelu z wysokościami określonymi innymi dokładnymi metodami (np. niwelacji technicznej, tachimetrii elektronicznej),
- porównanie zgodności profili terenu wygenerowanych z modelu z pomierzonymi innymi dokładnymi metodami (np. pomiarów bezpośrednich lub metodą fotogrametryczną).

Średnie błędy w położeniu wysokościowym warstwic powinny spełniać wymagania dokładnościowe podane w § 21 Instrukcji K2.

2. W razie stwierdzenia niezgodności przekraczających założoną dokładność NMT należy określić powód ich powstania, dokonać weryfikacji procedury pozyskiwania NMT a następnie dokonać odpowiednich korekt.

Zakres stosowania poszczególnych metod

1. Metodę fotogrametryczną należy preferować w terenach odkrytych, dla terenów miast i obszarów, na których występuje duża liczba nieciągłych form terenowych zarówno naturalnych jak i antropogenicznych (wały przeciwpowodziowe, nasypy kolejowe i drogowe itp.).
2. Metodę kartograficzną należy preferować w terenach zalesionych, w sąsiedztwie koryt rzek, generalnie tam gdzie ze względu na znaczne pokrycie terenu roślinnością i dużą liczbę budynków pomiar fotogrametryczny jest niemożliwy lub znacznie utrudniony