

Georeferencja i ortorektyfikacja zdjęć lotniczych

Cele:

1. Poznanie zasad wykonywania zdjęć lotniczych
2. Poznanie metod nieliniowej transformacji obrazu rastrowego
3. Wykonanie georeferencji archiwalnego zdjęcia lotniczego i jej ocena.

1. Wprowadzenie

Słowo **teledetekcja** zostało utworzone w wyniku połączenia greckiego tele - daleko i łacińskiego detectio - wykrywać, ujawniać. Obecnie pojęciem teledetekcja określa się metody pozyskiwania danych o obiektach, zjawiskach i procesach zachodzących na powierzchni Ziemi za pomocą urządzeń niebędących w bezpośrednim (fizycznym) kontakcie z badanym obiektem, a także metody przetwarzania pozyskanych danych na użyteczne informacje, charakteryzujące te obiekty, zjawiska oraz procesy.

Początki teledetekcji sięgają **XIX wieku** i są bezpośrednio związane z rozwojem dwóch dziedzin techniki: fotografii i lotnictwa. Pierwsze "lotnicze" zdjęcie powierzchni Ziemi zostało wykonane w 1858 roku przez Gasparda Felixa Tournachon podczas lotu balonem ponad Paryżem. Najstarszym zachowanym do dziś zdjęciem lotniczym jest kadr Bostonu wykonany 13 października 1860 r. z wysokości ok. 630 m - autorstwa Jamesa W. Blacka i Samuela A. Kinga. W 1882 roku brytyjski meteorolog E. D. Archibald wykonał pierwsze zdjęcie lotnicze wykorzystując latawiec i opóźniany samowyzwalacz migawki. W tymże roku Cecil Shaboldt opracował metodę wykonywania pionowych zdjęć lotniczych z aparatu umieszczonego w dnie kosza balonowego - zdjęcie Stamford Hill (północny Londyn) wykonane 29 maja 1882 na wysokości 610 m zapoczątkowało dynamiczny rozwój fotografii lotniczej.



Fot. 1. Felix Tournachon ps. "Nadar" wykonuje pierwsze zdjęcie podczas lotu balonem. *Le Boulevard*, 25 maja 1862.



Fot. 2. *Boston, as the Eagle and the Wild Goose See It* - najstarsze zachowane zdjęcie lotnicze. James W. Black, 630 m, 13 października 1860.



Fot. 3. *Stamford Hill, Stonebridge Road & Tottenham and Hampsted Junction Railway* - pierwsze pionowe zdjęcie lotnicze, Cecil Shaboldt, 610 m, 29 maja 1882.

2. Cechy rozpoznawcze zdjęć lotniczych i satelitarnych

Interpretacja zdjęć lotniczych i satelitarnych jest procesem poznawczym wynikającym z odczytywania treści zarejestrowanej na obrazach oraz konfrontacji cech zdjęcia z materiałem porównawczym (legenda, klucz fotointerpretacyjny), danymi referencyjnymi (mapy, dane przestrzenne, inne zdjęcia) oraz własną wiedzą. Proces interpretacji obejmuje wykrycie obiektów, rozpoznanie na podstawie **cech rozpoznawczych** oraz ostateczną identyfikację. Cechy rozpoznawcze można podzielić na bezpośrednie i pośrednie:

1. Bezpośrednie cechy rozpoznawcze:
 - a. kształt (punktowy, liniowy, powierzchniowy, regularny, nieregularny);
 - b. wielkość (rzeczywiste wymiary obiektu, skala zdjęcia, kontekst);
 - c. kolor (charakter powierzchni, pora dnia, pogoda);

- d. ton (jasność obiektu, kąt padania promieni słonecznych, charakter powierzchni, pogoda);
 - e. struktura (gładka, drobnoziarnista, gruboziarnista);
 - f. tekstura (bezlądna, uporządkowana, smugowa, plamista, liniowa, kratowa, etc);
2. Pośrednie cechy rozpoznawcze:
- a. cień rzucany (na inne obiekty)
 - b. cień własny (na siebie samego, ciemniejszy niż rzucany)
 - c. kontekst topograficzny, asocjacje

Metody postępowania fotointerpretacyjnego są oparte na modelu psychologicznym (Haas, Hempenius, Vink):

Postrzeganie wstępne → przypuszczenia → selekcja → obserwacja szczegółowa → kontrola → postrzeganie ostateczne (identyfikacja) → ocena i interpretacja informacji

Zgodnie z metodyką fotointerpretacji identyfikację obiektów terenowych powinno rozpoczynać się w kolejności od obiektów najbardziej charakterystycznych i znanych, do mniej znanych i coraz trudniejszych. Kolejność fotointerpretacji wg. Stone'a: 1) sieć drożna, 2) sieć hydrograficzna, 3) rzeźba powierzchni terenu, 4) szata roślinna naturalna, 5) uprawy, 6) osadnictwo wiejskie, 7) osadnictwo miejskie, 8) przemysł, 9) obiekty wojskowe, 10) ...

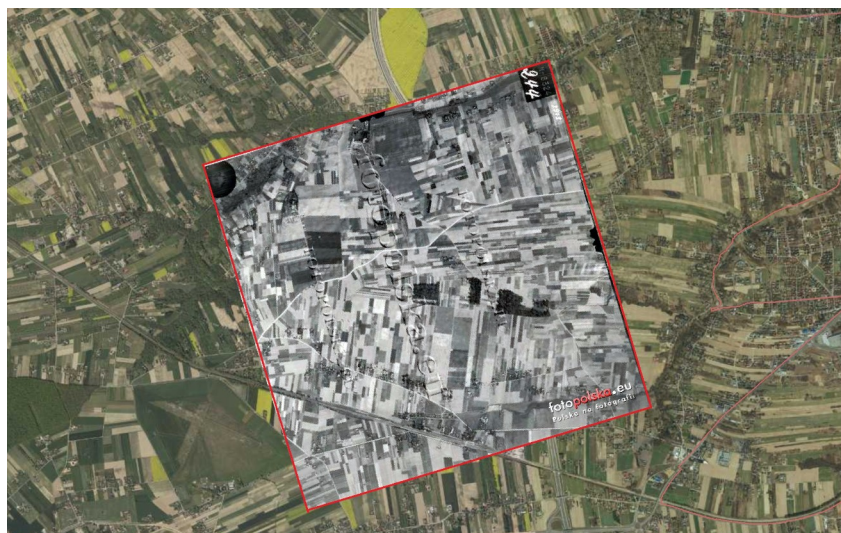
3. Metody geometrycznej korekty zdjęć

Z punktu widzenia geometrii zdjęcie lotnicze (jak każde) jest rodzajem **rzutu środkowego** odwzorowującego zarejestrowane obiekty na płaszczyźnie (kliszy fotograficznej, matrycy cyfrowej). Z uwagi na charakter rzutu zdjęcia cechuje zespół zniekształceń liniowych i kierunkowych spowodowanych **nachyleniem zdjęcia i deniwelacją terenu**.

W przypadku zdjęć pionowych punktu główny jest jednocześnie punktem centralnym zdjęcia (bezpośrednio pod kamerą), rzutowanego w sposób prostopadły do powierzchni kliszy (rzut ortogonalny). Zdjęcie pokrywa teren w formie regularnej (bliskiej kwadratowi) i ma ograniczony zasięg. Linie jednakowej odległości układają się w sposób kolisty wokół punktu głównego, przesunięcia wynikające z deniwelacji terenu są nieznaczne. Skala zdjęcia lotniczego może być określona wzdłuż dowolnej prostej i jest stosunkowo łatwa do policzenia. Kalibracja zdjęcia może być wykonana z zastosowaniem transformacji liniowej (afinicznej) i 4-5 punktów kontrolnych.



Fot. 4a. Niemieckie zdjęcie lotnicze z 1944, Kozubszczyzna k. Lublina



Fot. 4b. Zdjęcie po kalibracji. Regularny, niemal kwadratowy obszar zasięgu zdjęcia sugeruje, że nachylenie kamery w trakcie wykonania zdjęcia było bardzo małe.

W przypadku zdjęć ukośnych będzie zmienna na powierzchni całego zdjęcia. Punkt główny zdjęcia jest przesunięty w stosunku do punktu rzutu położenia kamery na powierzchni Ziemi, a zasięg terenu objętego zdjęciem ma charakter trapezu (zdjęcie nachylone w jednej osi) lub nieregularnego czworokąta (zdjęcie nachylone w dwóch osiach). W przypadku zdjęć o bardzo dużym nachyleniu, punkt rzutu położenia kamery znajduje się **poza kadrem**, a zasięg zdjęcia może mieć charakter otwarty (gdy na zdjęciu widoczny jest horyzont, krawędź zdjęcia ucieka do nieskończoności). Obliczenie skali zdjęcia i usunięcie deformacji jest znacząco utrudnione. Kalibracja zdjęć nachylonych wymaga zastosowania **nieliniowych metod transformacji**, takich jak przekształcenia perspektywiczne, transformacje wielomianami 2 i 3 stopnia lub przekształceniami składanymi. W zależności od rodzaju transformacji minimalna liczba punktów kontrolnych niezbędnych do transformacji waha się w granicach 6-16. Większa liczba

punktów powoduje większe uśrednienie lokalnych zniekształceń i umożliwia lepszą indywidualną ocenę położenia poszczególnych punktów.



Fot. 5a. Zdjęcie lotnicze z lat 1930-1935, Fabryka Samolotów "E. Plage i T. Laśkiewicz" w Lublinie i sąsiadujące pole lotnicze.



Fot. 5b. Zdjęcie po kalibracji. Nieregularny, trapezowaty obszar zasięgu zdjęcia jest spowodowany dużym nachyleniem kamery w trakcie wykonania zdjęcia.

Oprócz czynników wynikających z charakteru terenu i kąta nachylenia kamery, do deformacji zdjęć przyczyniają się także **parametry techniczne sprzętu**: rodzaj zastosowanego obiektywu, ogniskowa soczewki, wielkość matrycy. Jednym z efektów wynikających z niedoskonałości sprzętowych są tzw. zniekształcenia soczewkowe, tj. deformacje i zanik ostrości obiektów znajdujących się w części peryferyjnej, blisko krawędzi zdjęcia.

Ostatnimi elementami wpływającymi na użyteczność zdjęć i możliwość ich zastosowania jako materiału podkładowego są **czynniki atmosferyczne** podczas jego wykonania (występowanie chmur, wietrzna pogoda powodująca poruszanie się roślinności, falowanie wody) oraz **upływ czasu** (blaknięcie kliszy, zarysowania, kurz).

4. Ocena kalibracji zdjęć lotniczych

Ortorektyfikacja i mozaikowanie zdjęć lotniczych do postaci profesjonalnej ortofotomapy jest dosyć złożonym procesem zwracającym uwagę na wiele czynników technicznych. W prostym użytkowaniu GIS-owym należy zwrócić uwagę przede wszystkim na wielkość zdjęcia (rozmiar pokrytej powierzchni), poziom szczegółowości detali (w odniesieniu do skali standardowej mapy referencyjnej) oraz jakość i rozdzielczość skanu.

Jakość skanowania odbitki fotograficznej można ocenić zgodnie z zastosowaniem **standardów drukarskich**: skan 300 dpi oddaje wszystkie detale zdjęcia w umiarkowanej jakości, skan 600 dpi oddaje wszystkie detale zdjęcia w wysokiej jakości. Skany wykonane **bezpośrednio na kliszy** fotograficznej wymagają zdecydowanie lepszych parametrów skanowania. W zależności od rodzaju urządzenia skanującego i wielkości kliszy najczęściej spotyka się skany zdjęć w rozdzielczości 1200 i 2400 dpi. Rozdzielczość skanu wpływa na wielkość piksela, która po wykonaniu kalibracji może zostać obliczona i wyrażona w metrach rzeczywistych, jako **rozdzielczość przestrzenna** np., $0,1 \times 0,1$ m (rozmiar piksela ortofotomapy wysokiej rozdzielczości GUGiK) lub 100×100 m (rozmiar piksela zdjęć satelity w serii LANDSAT).

Poprawność kalibracji zdjęć lotniczych można także ocenić zgodnie z kryteriami stawianymi kalibracji map referencyjnych w zbliżonej skali. Rzeczywiste przesunięcie przestrzenne wyrażone w jednostkach układu współrzędnych należy przeliczyć zgodnie ze skalą mapy referencyjnej i porównać z wartościami percepcji oka:

$$k = \frac{\text{błąd oszacowania [m]} * 1000 [\text{zamiana m na mm}]}{\text{mianownik skali mapy}}$$

Interpretacja błędu oszacowania względem wartości przesunięcia na materiale analogowym:

Wielkość błędu w skali mapy referencyjnej [mm]	Ocena dopasowania punktu (materiały sprzed 1950)	Ocena dopasowania punktu (materiały po 1950)
< 0,1	Znakomity	Bardzo dobry
0,1-0,25	Bardzo dobry	Dobry
0,25-0,5	Dobry	Średni
0,5-1	Średni	Zły (do sprawdzenia i poprawy)
1-2	Zły (do sprawdzenia)	Bardzo zły (do usunięcia)
> 2	Bardzo zły (do usunięcia)	

Podsumowując:

Duży obszar → wysoki pułap nalotu → mała skala referencyjna (skale topograficzne) → niski poziom detali → wysoki błąd kalibracji w metrach rzeczywistych (od kilkunastu do kilkudziesięciu metrów)

Mały obszar → niski pułap nalotu → duża skala referencyjna (skale geodezyjne) → wysoki poziom detali → niski błąd kalibracji w metrach rzeczywistych (od kilkunastu centymetrów do kilku metrów)

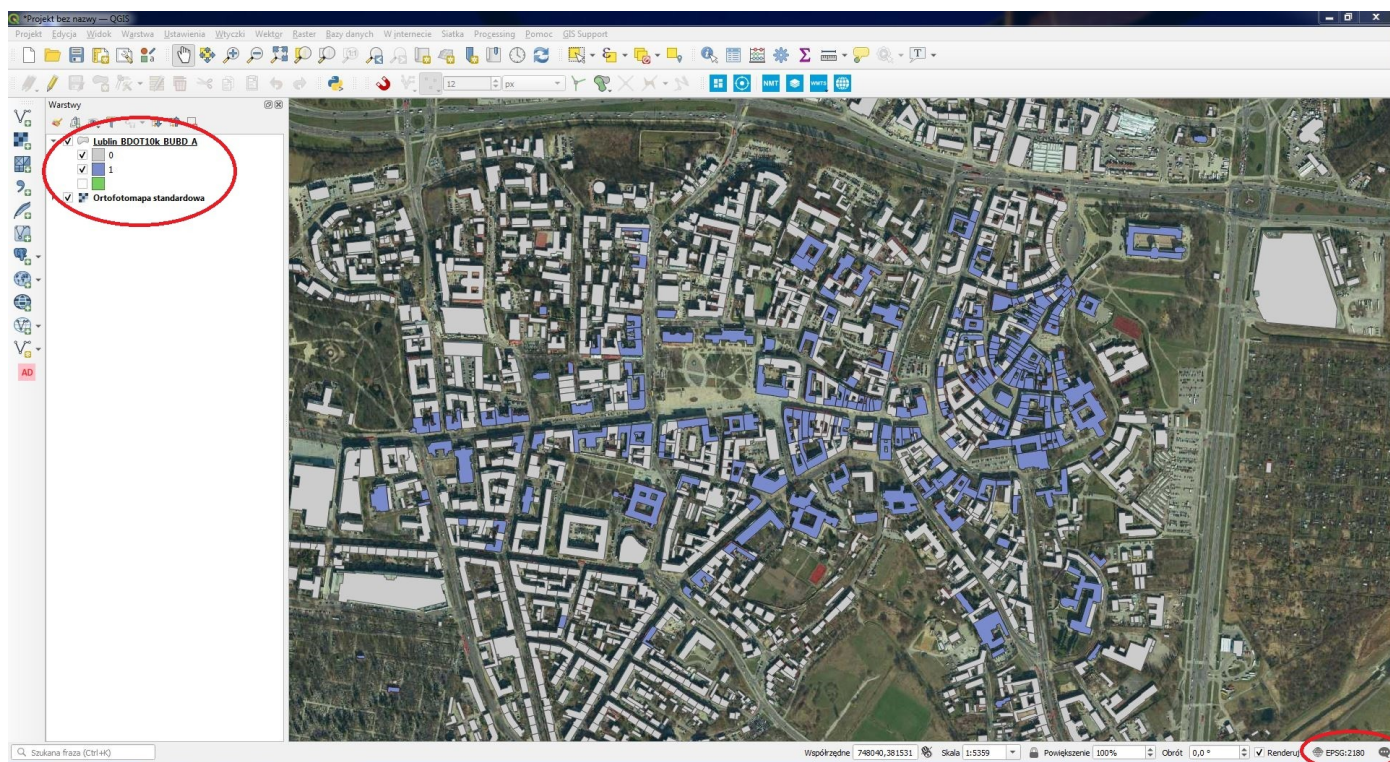
5. Kryteria wyboru obiektów do kalibracji - kolejność wyboru GCP - ground control points

Lp	Rodzaj obiektu	Uzasadnienie
1.	Elementy osnowy geodezyjnej i wysokościowej	Ustabilizowane w terenie punkty o określonym położeniu i wysokości n.p.m. Chronione prawem, dobrze udokumentowane i posiadające najwyższą dokładność lokalizacji. Niestety na zdjęciach lotniczych trudne są trudne do zidentyfikowania.
2.	Budynki zabytkowe UNESCO	Najwyższy stopień ochrony. Tylko unikatowe obiekty o szczególnej wartości i ścisłym statusie ochrony.
3.	Budynki zabytkowe w rejestrze "A" województwa	Podstawowy stopień ochrony na poziomie krajowym. Ważne obiekty zabytkowe wykazane w BDOT10k. Należy zwrócić uwagę na datę budowy obiektu, większość zabytków pochodzi sprzed II WŚ, ale czasami są to szczególnie ważne obiekty późniejsze. Wykazy obiektów wraz z adresami są dostępne na stronach Wojewódzkich Urzędów Ochrony Zabytków oraz w geoportalu Narodowego Instytutu Dziedzictwa (www.mapy.zabytek.pl). Budynki w rejestrze "A" od momentu wpisania na listę nie mogą być przebudowywane, niestety nie zawsze można dojść do informacji kiedy zostały na tę listę wpisane.
4.	Budynki wykazane w Gminnych Ewidencjach Zabytków	Niższy stopień ochrony, pełni rolę uzupełniającą do GEZ. Wykazy są prowadzone przez poszczególne gminy. Często można znaleźć oznaczenia obiektów w Miejscowych Planach Zagospodarowania Przestrzennego (MPZP) dostępnych w SIP gmin i powiatów. Obiekty mogą być przebudowywane w nieznacznym stopniu.
5.	Zachowane budynki nie objęte formami ochrony.	Wiele obiektów pospolitych. Należy zwracać uwagę na kształt obiektu, do kalibracji wykorzystujemy widoczne miejsca styku ścian budynku z podłożem . Wysokie budynki będą pochylone przez co położenie dachu na zdjęciu może odbiegać od położenia fundamentów nawet o kilkanaście metrów. Obrys dachu często jest szerszy niż obrys ścian (okap).
6.	Mosty i wiadukty	Bardzo trwałe obiekty o wyraźnych elementach konstrukcyjnych. Zdecydowanie lepsze są mosty kolejowe, które są rzadziej przebudowywane. Uwaga, często nowe mosty są stawiane obok starych, przesunięcie może nie być wyraźne na pierwszy rzut oka, ale psuje wynik kalibracji. Najważniejsze stare mosty są oznaczone w geoportalu NID.
7.	Tory kolejowe	Elementy o dużej trwałości w terenie, wiele torów istnieje w tej samej formie od XIX wieku. Niestety określenie lokalizacji wzdłuż toru bywa trudne. Warto szukać miejsc przecięcia linii kolejowej z drogami lub innych elementów infrastruktury kolejowej.
8.	Słupy linii wysokiego napięcia, maszty radiowe, wieże obserwacyjne.	Duża trwałość i solidna konstrukcja. Raz zbudowane rzadko są przebudowywane. Możliwe do interpretacji na podstawie cienia. Uwaga, lokalizujemy podstawę słupa a nie jego szczyt.
9.	Kapliczki i krzyże przydrożne	Są to obiekty o dużej trwałości, zazwyczaj zachowane w tym samym miejscu i formie od 50-, 100- i więcej lat. Uwaga - podczas dużych prac drogowych zdarza się, że kapliczki i krzyże są przenoszone w całości poza pas drogowy. Trudno rozpoznać takie obiekty na zdjęciach w skalach mniejszych niż 1:10 000. W skalach większych widoczne ze względu na cień.
10.	Skrzyżowania dróg utwardzonych	Umiarkowanie duża trwałość w terenie, dobre do kalibracji materiałów w skalach mniejszych niż 1:10 000, gdzie nieznaczne przesunięcia w terenie (1-2m) nie będą wpływały na jakość kalibracji.
11.	Skrzyżowania dróg wiejskich i polnych	Umiarkowana lub niska trwałość. Wiele dróg i traktów pieszych w miastach nawiązuje do wcześniejszych układów dróg wiejskich. Na obszarach wiejskich często brak alternatywy.
12.	Miedze i układy pól o	Granice działek, przebieg miedz i układy pól o jednakowym kierunku orki są bardzo

	jednakowym kierunku orki.	mocno związane z ukształtowaniem terenu. Podziały te bardzo często sięgają daleko w przeszłość i umożliwiają odtworzenie rozgraniczenia własności sięgającego nawet średniowiecza. Ważne momenty w historii związane z podziałami własności gruntów to 1944 (dekret o reformie rolnej PKWN) oraz 1869 (ukaz carski o uwłaszczeniu wsi i miast prywatnych Królestwa Polskiego). Prawo własności ziemi na wsi jest święte - https://www.youtube.com/watch?v=3yypjrw3H30
13.	Inne elementy topografii: rzeki, starorzecza, samotne drzewa, granice lasu, dukty leśne, charakterystyczne formacje skalne.	Jeśli nie ma nic innego to można, ale z rozsądkiem.

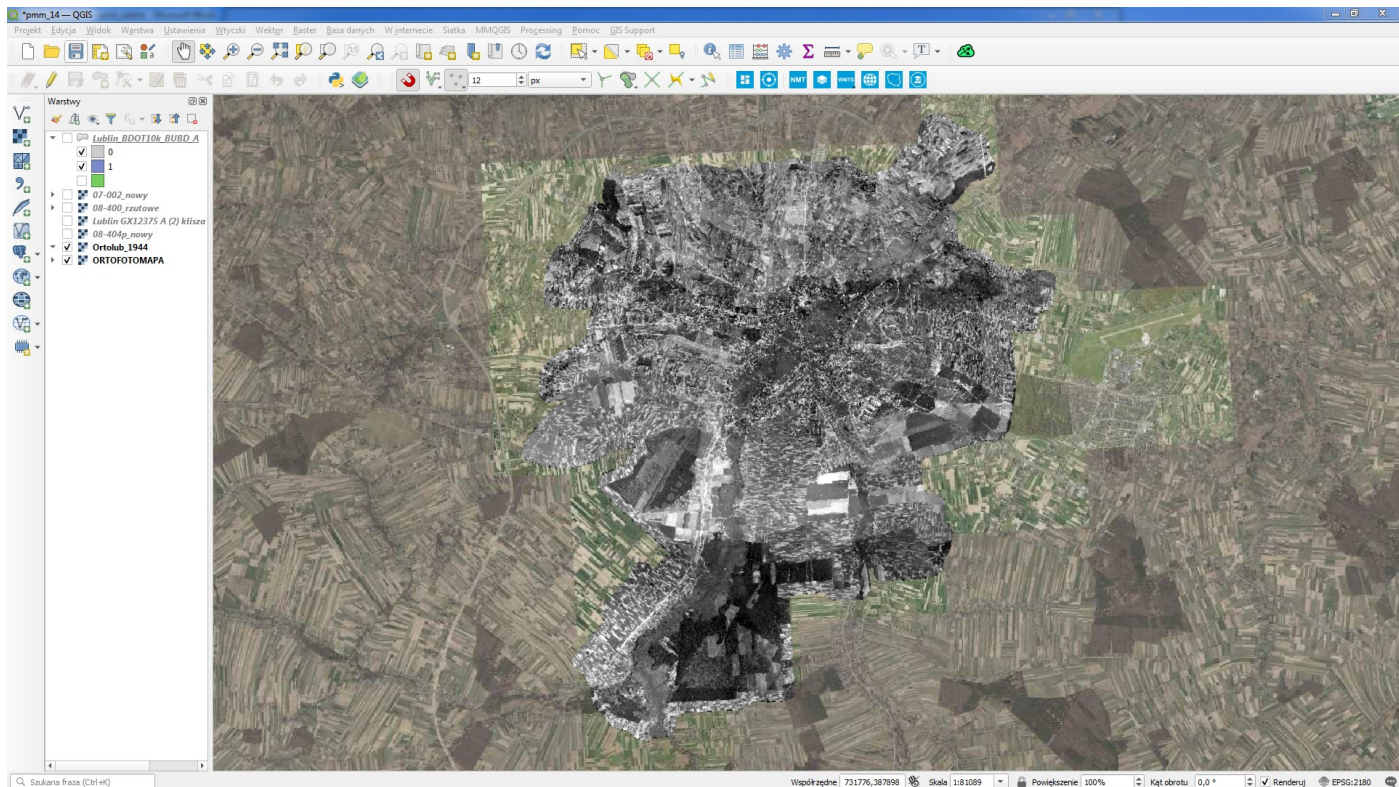
6. Zadania:

- Utwórz nowy projekt w QGIS, EPSG projektu to 2180 (układ 1992). Dodaj do niego warstwę budynków BDOT 10k dla miasta Lublin (paczka Lublin_Budynki_BDOT10k.rar z ćwiczenia 13) oraz ortofotomapę współczesną w formie usługi WMTS (<https://mapy.geoportal.gov.pl/wss/service/PZGIK/ORTO/WMTS/StandardResolution?request=getCapabilities&service=WMTS>) Wykonaj rozkolorowanie budynków na podstawie atrybutu "zabytek".

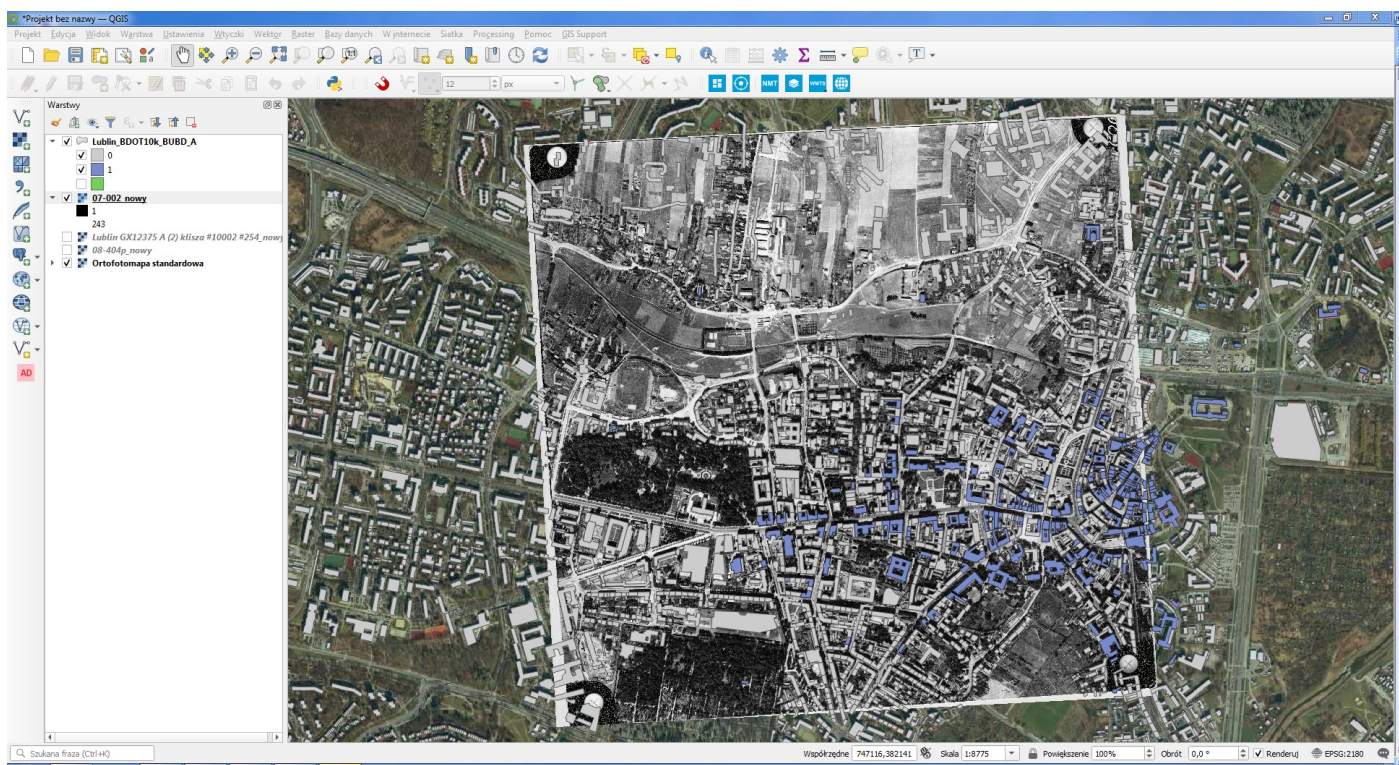


- Do projektu dodaj oraz historyczną ortofotomapę Lublina ze strony ortolub.umcs.pl i dodaj ją do projektu jako **Warstwa** -> **Dodaj warstwę** -> **dodaj warstwę XYZ** w panelu skonfiguruj nowe połączenie w wprowadź adres URL https://ortolub.umcs.pl/data/tiles_3857/{z}/{x}/{y}.png
- Na Wirtualnym Kampusie odszukaj folder ze zdjęciami lotniczymi Lublina z 1954 roku. Pobierz pliki **klucz_fotointerpetacyjny.jpg** oraz plik zdjęcia o numerze odpowiadającym Twojemu numerowi na liście roku. Pobierz pliki na dysk swojego komputera i przejrzyj zawartość.
- Wykonaj kalibrację zdjęcia wybierając jako punkty kontrolne: a) geometrię zachowanych budynków zabytkowych, b) geometrię innych budynków, c) elementy infrastruktury kolejowej i drogowej widoczne na zdjęciach i ortofotomapie współczesnej wysokiej szczegółowości, d) budynki, elementy infrastruktury kolejowej i drogowej, układ pól widoczny w EGiB i starszych ortofotomapach referencyjnych. Wybierz od 6 do 16 punktów kontrolnych.
- Wprowadź ustawienia transformacji (typ przekształcenia: **wielomian 1 stopnia**) i oceń poprawność punktów kontrolnych w odniesieniu do skali mapy referencyjnej. Zapisz punkty kontrolne i wykonaj zrzut ekranowy. **Zinterpretuj wyniki kalibracji**

- f. Wykonaj proces georeferencji i wprowadź zdjęcia lotnicze do projektu. Manipulując kolejnością warstw i ich przezroczystością porównaj treść zdjęć i współczesnych danych referencyjnych.
- g. Jeśli kalibracja wielomianem 1 stopnia nie zapewnia właściwej jakości danych wynikowych zmień ustawienia transformacji na typ przekształcenia: **odzworowanie rzutowe (perspektywa)** lub **funkcja sklejana TLS (adjust)**. **UWAGA, TLS tylko dla punktów o wysokiej pewności.**



Materiał pomocniczy - Historyczna ortofotomapa Lublina wykonana w formie mozaiki kilkudziesięciu zdjęć lotniczych z 1944 roku. Źródło: <https://ortolub.umcs.pl>

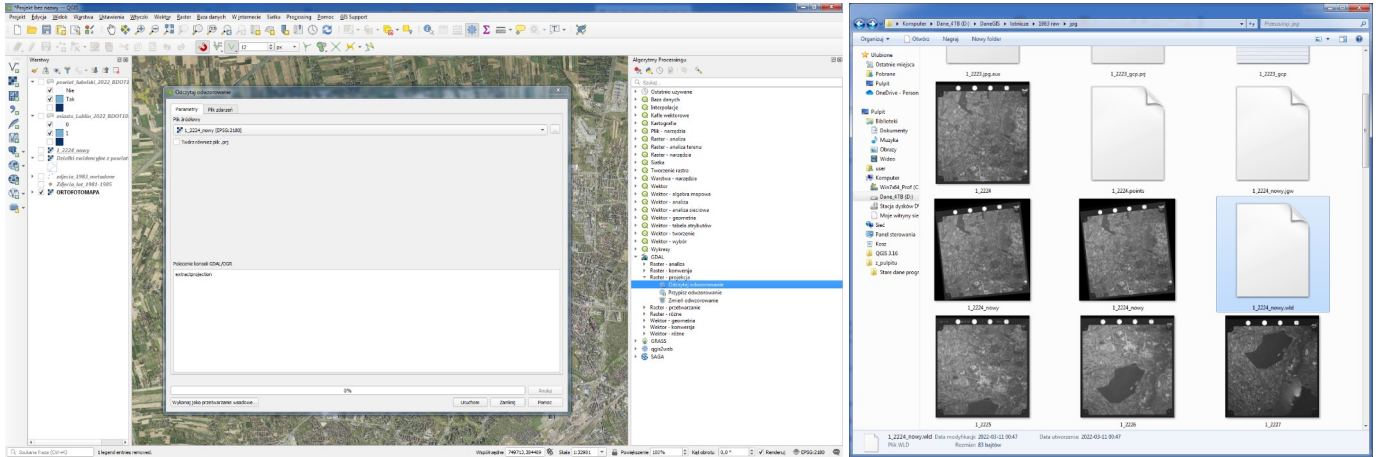


Efekt końcowy - zdjęcie z 1954 Lublin - Śródmieście dopasowane do danych referencyjnych.

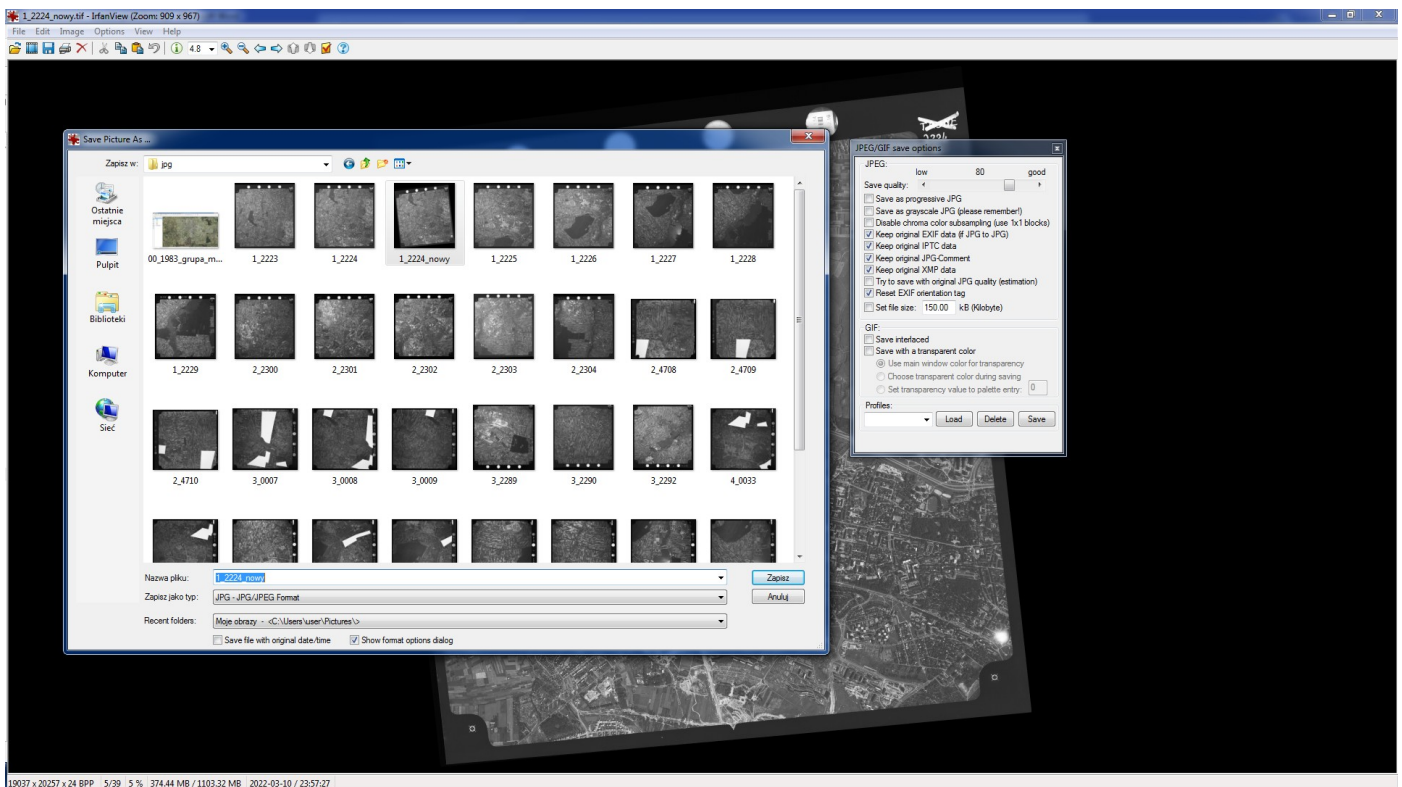
7. UŻYTKOWNICY QGIS - UWAGA, ze względu na dużą objętość potrzebna optymalizacja zasobów, tj. zamiana pliku tif na jpg. Działanie można wykonać jako przetwarzanie wsadowe na całym folderze

Kroki:

Po ukończeniu i sprawdzeniu georeferencji wejdź w narzędzie Raster -> Odwzorowania -> Odczytaj odwzorowanie i wykonaj polecenie GDAL extractprojection. W ten sposób w folderze zapisu pojawi się plik z rozszerzeniem **.wld** Zmień rozszerzenie pliku na **.jgw**



Otwórz wygenerowany plik tif przy pomocy IrfanView i zapisz plik o nazwie takiej samej jako format **.jpg**

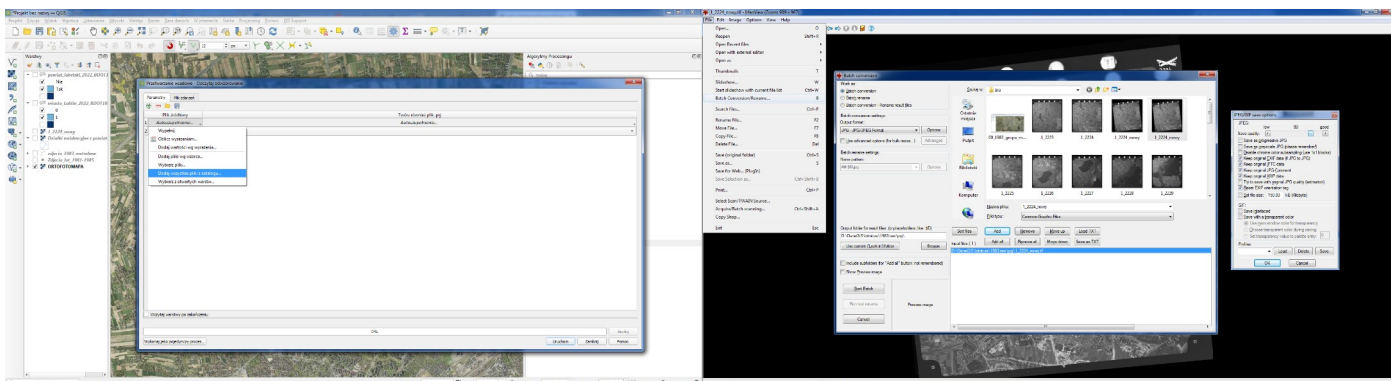


Dodaj plik jpg do QGISa i sprawdź czy jego położenie nie zmieniło się względem pliku tif.
Jeżeli położenie pliku .jpg jest prawidłowe, spakuj pliki .jpg i .jgw do paczki 7z.

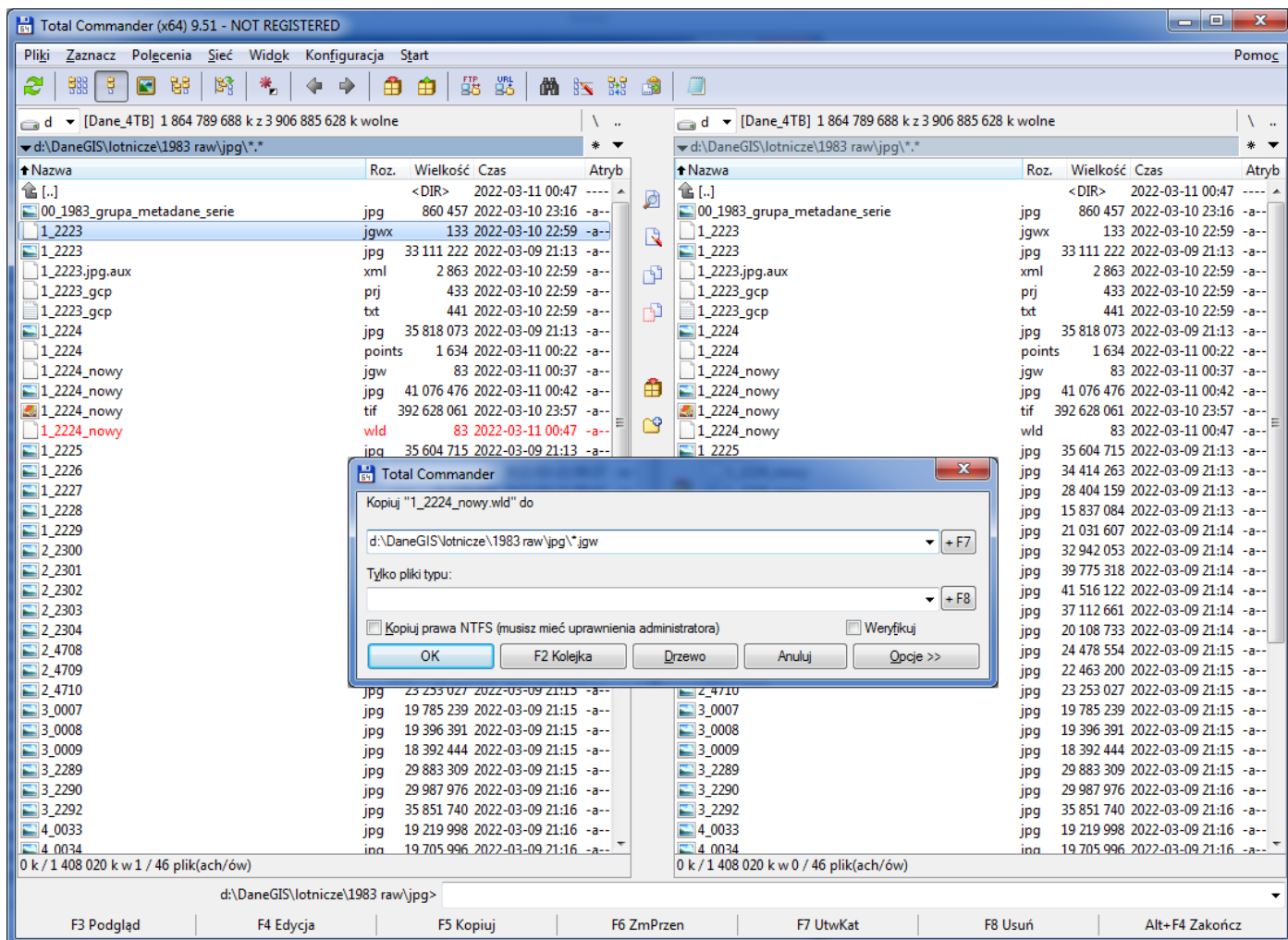
Działanie można wykonać jako przetwarzanie wsadowe na całym folderze:

Do wykonania przetwarzania wsadowego w QGIS służy zakładka **wykonaj przetwarzanie wsadowe** na dole okna dialogowego. W przypadku ekstrakcji odwzorowania wystarczy wskazać folder ze skalibrowanymi plikami tif i kliknąć uruchom. Po chwili do każdego pliku pojawia się jego położenie **.wld**

Do wykonania przetwarzania wsadowego w IfranView należy wybrać funkcję **Batch Conversion/Rename** (skrót klawiszowy B), dalej trzeba wskazać folder źródłowy, pliki wejściowe (input files), format wynikowy (output format) i lokalizację docelową, a następnie kliknąć Start Batch. Konwersja większej liczby plików zajmuje dłuższą chwilę.



Hurtową zmianę plików wld na jgw można wykonać np w Total Commander. Należy wskazać taki sam folder źródłowy i docelowy, zaznaczyć wszystkie pożądane pliki .wld, a następnie użyć funkcji Kopiuj (skrót F5) i w ścieżce docelowej wpisać na końcu ***.jgw**. (gwiazdka zachowuje nazwę pliku wejściowego)



Wygenerowane pliki dodaj do QGISa i sprawdź czy georeferencja jest prawidłowa. Jeżeli położenie pliku .jpg jest prawidłowe, spakuj pliki .jpg i .jgw do paczki 7z i oddaj przez Wirtualny Kampus.

POWODZENIA!

Literatura uzupełniająca (dla ciekawskich):

- A. Ciołkosz, A. Kęsik: Podstawy geograficznej interpretacji zdjęć lotniczych, UMCS, 1969, Lublin.

- A. Ciołkosz, J. Miszański: Wykorzystanie zdjęć lotniczych w geografii stosowanej. Prace Geograficzne nr 91, IG PAN 1972. - https://rcin.org.pl/Content/13866/Wa51_21868_r1972_nr91_Prace-Geogr.pdf
- Mularz 1997: Kompleksowe wykorzystanie informacji ze zdjęć lotniczych. Kraków. - http://home.agh.edu.pl/~zfiit/publikacje_pliki/Mularz_1997b.pdf
- A. Ciołkosz "Krótki wykład - teledetekcja" na geoforum.pl - <https://geoforum.pl/teledetekcja/teledetekcja> oraz https://geoforum.pl/teledetekcja/chronologia#page_top
- R. Tokarczyk "Krótki wykład - fotogrametria" na geoforum.pl - <https://geoforum.pl/teledetekcja/fotogrametria>
- J. Kozak, K. Pyka: Zdjęcia lotnicze. Atlas fotointerpretacyjny. MGGPAero, 2011, Tarnów. - <http://atlas.mggpaero.com/?g=0>
- <https://historicengland.org.uk/images-books/archive/collections/photographs/shadbolt-collection/>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Aerial_photography
- <https://www.smithsonianmag.com/smart-news/this-picture-of-boston-circa-1860-is-the-worlds-oldest-surviving-aerial-photo-14756301/>