

CZASOPRZESTRZENNA ANALIZA ZŁAMANEGO DRZEWA PRZY UŻYCIU ZDJĘĆ SATELITARNYCH

Chris J. Cieszewski

Abstract

This satellite image analysis demonstrates that the 18-meter birch tree reported by the Polish and Russian governments to brake on April 10, 2010, while tearing off part of the Tu-154M Polish Air Force One airplane left wing, causing the plain to crash, had actually been already broken on April 5, 2010 -- five days prior to the crash. Accordingly, this tree could not have collided with the airplane on April 10; and therefore, it could not have caused the airplane crash. The analysis was conducted on satellite imagery recorded on January 26, 2010, and April 5, 11 and 12, 2010.

Keywords - high-resolution satellite images, Smolensk tragedy, 2010 Polish Air Force One crash.

Streszczenie

Przedstawiona tutaj analiza zdjęć satelitarnych wykazuje, że około osiemnastometrowe drzewo, które jakoby spowodowało utratę 10 kwietnia 2010 r. przez Tu-154M nr boczny 101 części skrzydła samolotu, było złamane już 5 kwietnia 2010 r. Polski samolot nie mógł więc uderzyć w to drzewo łamiąc je i – tym samym – nie mogło ono spowodować katastrofy. W niniejszym prezentowane są wyniki badań, mających na celu identyfikację czasu złamania tego drzewa na zdjęciach satelitarnych wysokiej rozdzielczości, zrobionych 26 stycznia oraz 5, 11 i 12 kwietnia 2010 r.

Słowa kluczowe – zdjęcia satelitarne wysokiej rozdzielczości, katastrofa smoleńska, rozbite polskiego samolotu rządowego 10 kwietnia 2010 r.

1. WSTĘP

W dniu 10 kwietnia 2010 r. samolot rządowy z 96 osobami na pokładzie, w tym Prezydentem Rzeczypospolitej Polskiej Lechem Kaczyńskim i wojskowymi najwyższej rangi, rozbił się pod Smoleńskiem. Wszyscy pasażerowie zginęli. Oficjalne raporty – Międzypaństwowej Komisji Lotniczej (*Interstate Aviation Committee*) - tzw. Raport MAK [1, 2, 3] i Komisji Badania Wypadków Lotniczych Lotnictwa Państwowego - tzw. Raport komisji Millera [4] jako przyczynę katastrofy podały błąd pilota, mający polegać na sprowadzeniu maszyny na zbyt niską wysokość, oraz uderzenie w brzozę (o średnicy około 40 cm), która oderwała jakoby część skrzydła, powodując obrót maszyny do góry kołami i rozbitcie w zderzeniu z ziemią. Takiej teorii przeczą wyniki badań naukowych: aerodynamicznych, odporności materiałów, parametrów samolotów, modeli terenu i zniszczeń roślinności np. Biniendy [5], Cieszewskiego i innych [6, 7,], Czachora [8], Gierasa [9], Nowaczyka [10], Zhanga i innych [11]. Mimo to MAK i

KBWLLP podtrzymują ogłoszoną przez siebie wersję przebiegu wydarzeń.

Dotychczas zdjęcia satelitarne miejsca zdarzenia poddawane były analizie pod kątem charakterystyki fragmentacji Tu-154M [12, 13] (kompletna dezintegracja i bardzo dużo drobnych fragmentów) i ich przestrzennego rozrzutu [6]. Analizy lokalizacji brzozy na zdjęciach satelitarnych albo w ogóle nie podejmowano, albo robiono ją nieprofesjonalnie. Wszystkie trzy pary podanych współrzędnych położenia tego drzewa – mowa o danych opublikowanych w Raporcie MAK i Raporcie komisji Millera oraz przez Wikipedię – przeczą sobie nawzajem, odnosząc się do różnych miejsc lokalizacji.

Do monitorowania pojedynczych drzew używano już w przeszłości zdjęć satelitarnych, np. Daliakopoulos i inni [14], ale nie jest to typowy sposób ich wykorzystania. Powodzenie zależy w dużym stopniu od znajomości dokładnej charakterystyki spektralnej danego gatunku drzew i charakterystycznego kształtu koron (tj. charakterystyka badanego obiektu) lub dokładnej lokalizacji poszczególnych drzew.

Należy zauważyć, że rozmieszczenie na zdjęciach satelitarnych obiektów o nieregularnych kształtach i znajdujących się znacznie powyżej powierzchni ziemi, a do takich należą korony drzew (w przeciwieństwie do pni – na poziomie ziemi), jest zmienne w czasie i przestrzeni, co zależy częściowo od ukształtowania terenu. Przyczyną różnego położenia tego typu obiektów na zdjęciach satelitarnych są różne kąty wykonania tych zdjęć przez sensory satelitarne podczas indywidualnych przelotów satelitów oraz właściwości analizowanych elementów (tj. koron drzew).

Za pomocą ortorektyfikacji zdjęć satelitarnych można skorygować zniekształcenia wywołane zmiennym profilem terenu gdy elewacje profilu są dokładnie znane, ale nie da się zrektyfikować przesunięć spowodowanych rzutami skośnymi obiektów umiejscowionych znacząco powyżej powierzchni ziemi. Dlatego też najskuteczniejsze metody lokalizacji pojedynczych drzew na zdjęciach satelitarnych opierają się na analizie obiektowej. Polega ona na identyfikowaniu obiektów poprzez zbiór zasad i cech charakterystycznych dla danego typu obiektów. Istnieją również liczne publikacje poświęcone zwiększaniu rozdzielczości obrazu, np. [15, 16, 17, 18, 19], które czasami są pomocne w analizowaniu cech obiektowych.

Brzoza, która jakoby przyczyniła się do katastrofy Tu-154M, była już badana m.in. pod kątem jakości drewna i jego parametrów wytrzymałościowych [7]. Do podjęcia niniejszych badań zainspirowały naukowców obserwacje

Prof. dr inż. Chris. J. Cieszewski, Warnell School of Forestry and Natural Resources, University of Georgia, Athens GA 30602 USA (e-mail: biomat@uga.edu).

dotyczące charakterystyki przełomu drzewa i fizjologii drzew brzożowych. Przełom drzewa (Rys. 1a) jest typowy dla wiatrolomów [20]: długie szczapy (Rys. 1b) odłupane wzdłuż zmurszałej części pnia (Rys. 1c), które nie mogły powstać w wyniku dynamicznego ścięcia drzewa, brak odgałęzienia¹ i okorowania pnia na wysokości rzekomej kolizji, charakterystyczne dla wiatrolomów wyrwania sęków (Rys. 1c), nie horyzontalne nacięcia pod różnymi kątami (Rys. 2a), wykluczające możliwość uszkodzenia pnia poprzez kontakt z obiektem poruszającym się w przybliżeniu poziomo z dużą szybkością.

Z punktu widzenia fizjologii drzew brzożowych niezwykle charakterystyczne są jej właściwości, związane z wydzielaniem w miejscach uszkodzeń dużych ilości soków [21] zwanych wodą brzożową [22, 23, 24, 25, 26, 27]. Brzoza smołeńska nie miała żadnych śladów (Rys. 2a), które świadczyłyby o wydzielaniu przez nią po złamaniu jakichkolwiek soków. W tym czasie inne uszkodzone brzozy z tego samego terenu wydzielały takie soki, co jest udokumentowane na odpowiednich zdjęciach (np. Rys. 2b, Rys. 2c), jak również w publikacjach Gazety Smoleńskiej i blogów lokalnych zbieraczy wody brzożowej (zobacz Aneks A). Zatem nie ma wątpliwości że w czasie katastrofy trwał okres wegetacyjny i każda – a w szczególności duża – złamana brzoza powinna była wydzielać znaczne ilości soków. Brak wydzielania soków można wyjaśnić na dwa sposoby: Albo wcześniejszym obumarciem rzeźzonej brzozy, które spowodowałyby wstrzymanie produkcji soków, a co za tym idzie, wydzielania ich z uszkodzonego pnia, albo wcześniejszym złamaniem, które nastąpiło przed rozpoczęciem okresu wegetacyjnego. Musiałoby ono nastąpić na tyle wcześniej, aby było wystarczająco dużo czasu na naprawę otwartych poprzez złamanie komórek, wyschnięcie drewna w miejscu złamania i zamknięcie się naczyń kapilarnych, zanim korzenie zaczęły pompować soki. Jak wiadomo omawiana brzoza nie mogła być martwa wcześniej, bo jej główny pień pozostaje żywy aż do dzisiaj. W związku z tym istnieje tylko ta możliwość, że została ona złamana wcześniej. Skłoniło to naukowców do poddania analizie dostępnych zdjęć satelitarnych wysokiej rozdzielczości obejmujących ten obszar.

Celem niniejszych badań (były one wcześniej opisane w prezentacjach [28] i [13]) było sprawdzenie, czy zdjęcia satelitarne mogą potwierdzić to, że brzoza smołeńska była złamana już przed 10 kwietnia 2010 r., co pozwoliłoby wyjaśnić brak wydzielania soków z przełomu brzozy na skutek samodzielnej naprawy komórek i zamknięcia naczyń kapilarnych przed 10 kwietnia 2010 r., kiedy to już na tym obszarze trwał okres wegetacyjny. Cel ten został zrealizowany poprzez dokonanie analiz zdjęć satelitarnych wysokiej rozdzielczości, wykonanych w dniach 26 stycznia oraz 5, 11 i 12 kwietnia 2010 r.

2. MATERIAŁY I DANE

Materiały i dane użyte w badaniach.

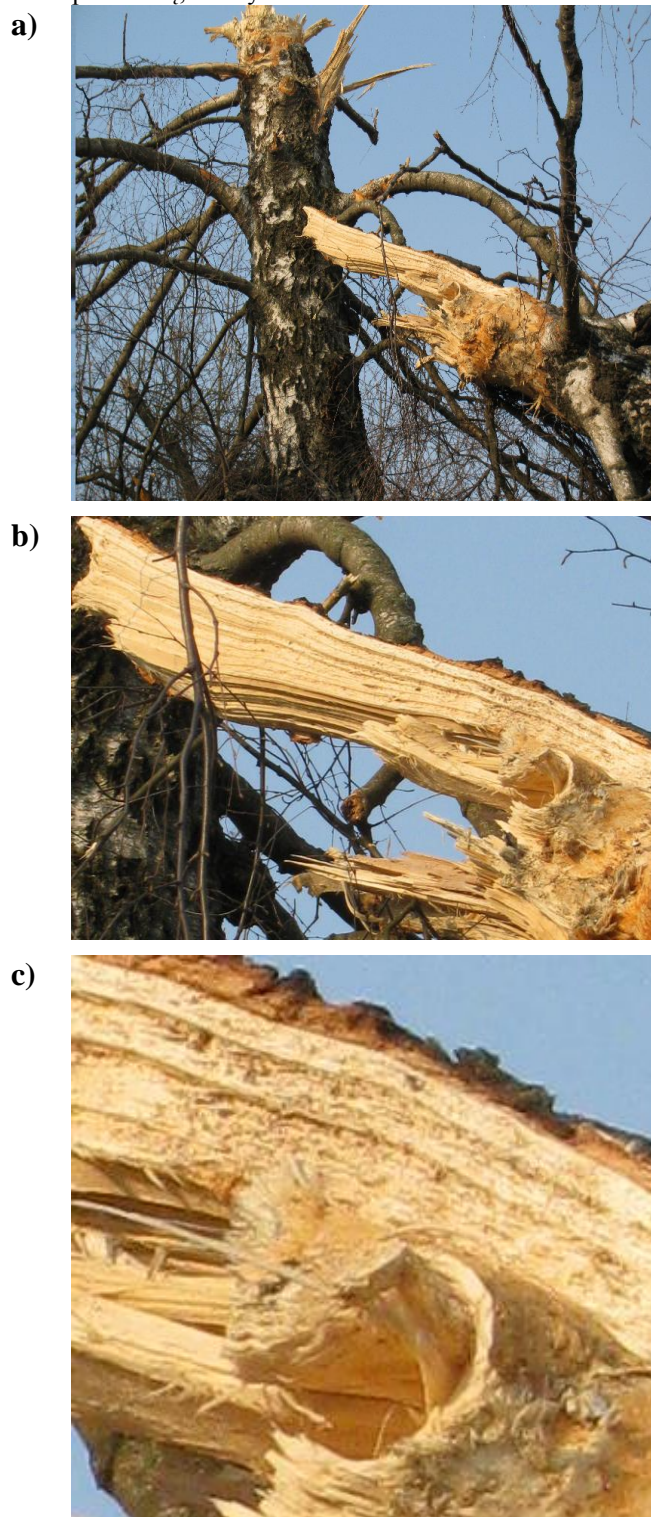
1. Udostępnione do niniejszych badań zdjęcia niezależnego emerytowanego dziennikarza dra Jana Gruszyńskiego, zrobione w czasie pobytu w Smoleńsku 13 i 14 kwietnia 2010 r. Zostały one wykorzystane do dokonania pomiarów brzozy, opisanych w [7] i – w zestawieniu z innymi zdjęciami opublikowanymi w Internecie – pomiarów

¹ „oprunowania” -- od angielskiego “pruning”, co oznacza obcinanie gałęzi przy pniu.

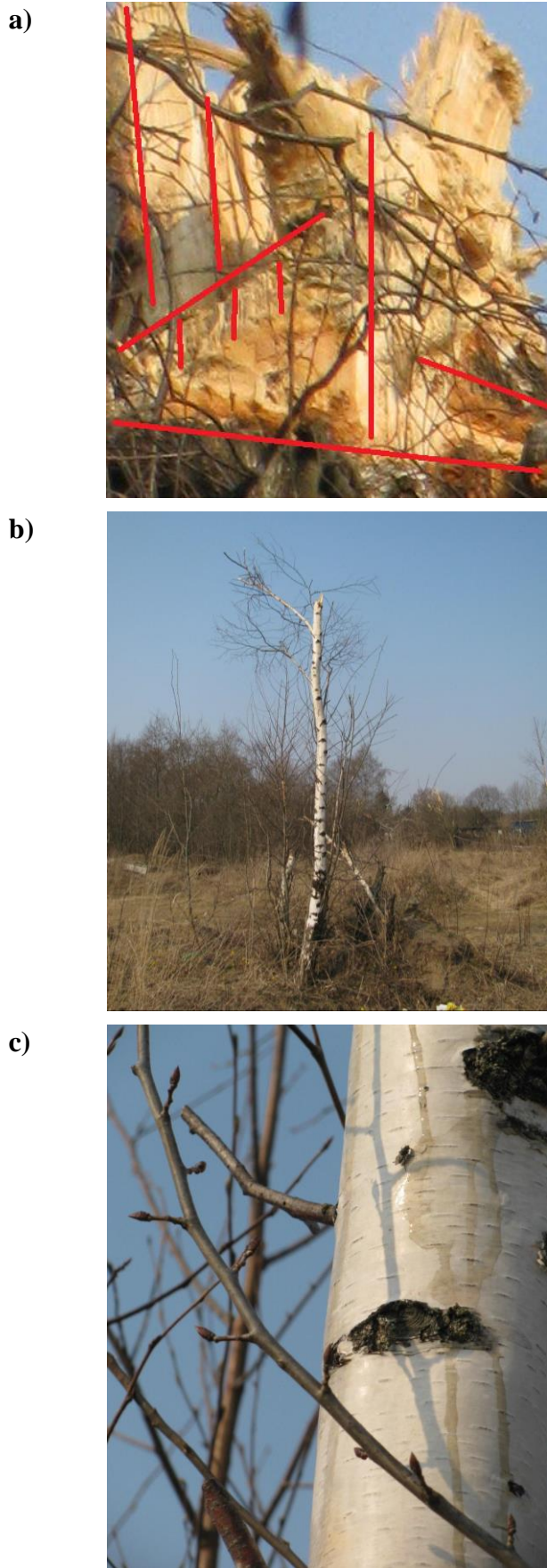
odległości między brzożą a pobliskim barakiem („barakiem Bodina”).

2. Pomiary drzew, w tym wysokości, pierśnic na różnych wysokościach i właściwości mechanicznych drewna, wykonane w toku wcześniejszych badań [7].

3. Kadry z filmu nakręconego kamerą filmową podczas lotu paralotnią, otrzymane ze zrzutów ekranu z filmu



Rys. 1. a) Zdjęcie przełomu brzozy smołeńskiej wykonane przez Jana Gruszyńskiego 13 kwietnia 2010 r.; b) Zbliżenie szczap przełomu brzozy, które są typowe dla wiatrolomów i nie mogły powstać w wyniku dynamicznego ścięcia drzewa przez skrzydło samolotu; c) Zbliżenie przełomu drzewa ze znakami sinizny i wyrwanym sękiem (u dołu), typowym dla statycznych złamań, i dobrze widoczną zmurszałą strukturą drewna (u góry).



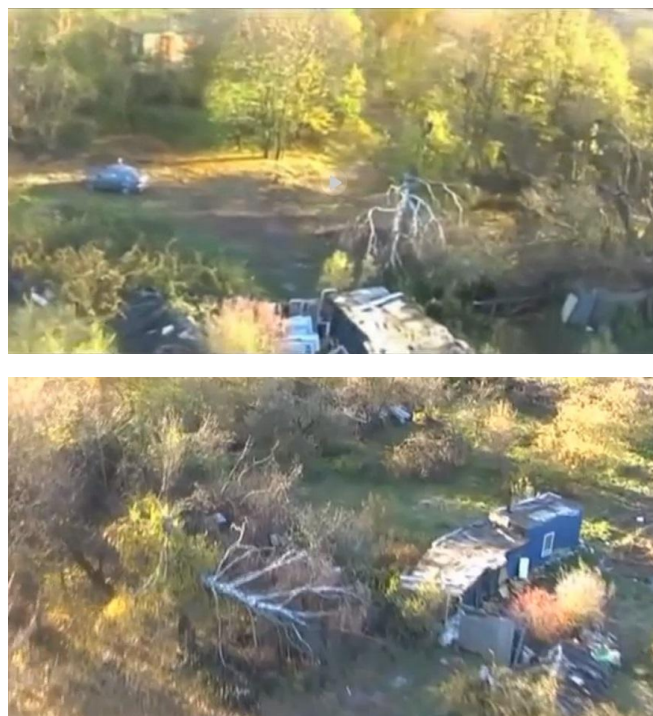
Rys. 2. Zdjęcia ze Smoleńska zrobione przez Jana Gruszyńskiego 13 kwietnia 2010 r. a) Czubek części stojącej – suche przelamanie badanej brzozy z różnymi kierunkami cięć i łupania drewna; b) Przykładowa uszkodzona brzoza w identycznym jak badana okresie wegetacji; c) Zbliżenie na cieknące po pniu uszkodzonej brzozy (rys. 2b) soki wody brzozowej.

„Anatomia Upadku” Anity Gargas („kadry filmu paralotniarza”). Autorka udzieliła zgody na ich wykorzystanie do przeprowadzenia analiz.

4. Wysokiej rozdzielczości zdjęcia satelitarne pobrane 26 stycznia oraz 5, 11 i 12 kwietnia 2010 r. przez WorldView-1 i -2 i Geo-1 satelity i zakupione w celu przeprowadzenia analiz.

3. METODY

Prace nad przygotowaniem zdjęć satelitarnych i proces ich podstawowej obróbki oraz metody inspekcji i elementarne zasady analizy takich zdjęć zostały opisane w pracy [6]. W trakcie badań naukowcy testowali różne metody identyfikowania złamanej brzozy. Metody oparte o projekcje poziomo-podobne okazały się zawodne i dawały niespójne rezultaty. Lokalizacja drzewa była zmienna w zależności od założeń projekcji horyzontalnej i niepewna z powodu braku znajomości profilu terenu. Rys. 3 ilustruje przykładowe skrajne projekcje przesądzające o położeniu drzewa w stosunku do „baraku Bodina”.



Rys. 3. Ekstremalne przypadki sprzecznych wzajemnie położenia złamanej wierzchołka brzozy, sugerowane przez różne poziome projekcje zdjęć --- u dołu drzewo jest pod kątem prostym do budynku, a u góry pod kątem rozwartym.

Próba zidentyfikowania złamanej brzozy bez dogłębnej znajomości wyglądu uszkodzonych brzozy na zdjęciach satelitarnych, opartej na doświadczeniu płynącym z analizy podobnych przypadków, jest możliwa, ale – oczywiście – daje małe gwarancje otrzymania niezawodnych rezultatów. Naukowcy zastosowali do lokalizacji brzozy smoleńskiej metodę identyfikacji opartą na koncepcji analiz obiektowych. Polegają one na formułowaniu zasad i algorytmów definiujących charakterystyki poszukiwanych obiektów i – następnie – na stosowaniu tych zasad do identyfikacji szukanych obiektów w celu przeprowadzenia ostatecznej analizy porównawczej wszystkich zdjęć pod względem lokalizacji i charakterystyk analizowanych obiektów. Wymagało to w pierwszej kolejności ustalenia następujących regionów i charakterystyk:

1. regionu relatywnego odniesienia do obiektu i regionu poszukiwania;
2. regionów wykluczenia obecności obiektu;
3. regionu prawdopodobnego zaistnienia obiektu;
4. charakterystyki szukanego obiektu.

Podstawą ustalania regionu relatywnego odniesienia była identyfikacja wielu stałych punktów referencyjnych, których można by używać jednocześnie. Zwiększało to dokładność ustalania pozycji w oparciu o relatywne relacje pomiędzy wszystkimi tymi punktami a szukanym obiektem. Korzyści z tworzenia regionu relatywnego odniesienia są następujące. Po pierwsze, można dokonać identyfikacji tego samego regionu na różnych zdjęciach satelitarnych, nawet jeśli z jakiegoś powodu część punktów odniesienia nie jest widoczna na poszczególnych zdjęciach. Po drugie, poprzez jednoczesne wykorzystanie wszystkich punktów do definicji odniesienia błędy w pomiarach poszczególnych punktów są uśredniane. Za obiekt wystarczająco stały naukowcy uznali stojący na analizowanym obszarze „barak Bodina”. Wraz ze zdjęciami satelitarnymi, zdjęciami naziemnymi i kadrami z „filmu paralotniarza” użyli go do zdefiniowania regionu relatywnego odniesienia. Założyli, że między styczniem a kwietniem 2010 r. miał on niezmienną pozycję (nie ma pewności, czy nie zmieniła się ona po tym okresie).

Ustalanie regionów wykluczenia sprowadzało się przede wszystkim do identyfikacji obszaru, gdzie nie rosły żadne drzewa albo były one zbyt oddalone od prawdopodobnego miejsca występowania poszukiwanej brzozy. Ustalenie to zostało przeprowadzone w oparciu o przestrzenno-czasowe analizy różnych lokalizacji i ich historii w kontekście innych raportów i opracowań dotyczących tego zagadnienia.

Ustalanie regionu prawdopodobnego zaistnienia szukanego obiektu opierało się na analizie opisanych powyżej ustaleń regionów relatywnego odniesienia i wykluczenia, kadru z filmu paralotniarza, zdjęć satelitarnych i pomiaru odległości brzozy od południowo-zachodniego narożnika „baraku Bodina”.

Ustalanie charakterystyki szukanego obiektu polegało na symulowaniu jego „numerycznego fotografowania panchromatycznego” z rozdzielczością analizowanych zdjęć satelitarnych. Naukowcy użyli do symulacji zdjęcia lotniczego wykonanego podczas lotu paralotnią.

4. ANALIZA REGIONÓW I CHARAKTERYSTYK

4.1. Region relatywnego odniesienia do obiektu i region poszukiwania

Naukowcy uznali „barak Bodina” za wystarczająco stabilny w czasie i przestrzeni zbiór punktów i – w związku z tym – za stosowny obiekt referencyjny do ustalenia regionu relatywnego odniesienia. Został on zaznaczony geometrycznie za pomocą konturu i użyty jako region odniesienia do lokalizacji poszukiwanego obiektu brzozy.

Celem definiowania kształtu tego regionu nie było odtworzenie dokładnego kształtu baraku łącznie z detalami, ale raczej przybliżenie go i wyznaczenie średniej dla zdjęć satelitarnych z różnych dat. Definicja „baraku Bodina” na zdjęciach satelitarnych nie jest jednoznaczna. Obarcza ją wiele błędów – spowodowanych rozdzielczością zdjęć, różnymi kątami pobierania zdjęć przez sensory satelitarne, jak i błędów projekcyjnej rejestracji zdjęć, które wynikają z różnic wysokości między częścią południową a północną tego baraku (Rys. 4b i Rys. 4d).

Najważniejszymi definicjami „baraku Bodina” były jego orientacja i pozycja, oparte na południowych i północnych krawędziach baraku. Naukowcy testowali kilka wariantów geometrycznych definicji tego baraku odznaczających się różnym stopniem skomplikowania i wierności odtworzenia prawdziwego kształtu. Nie przywiązywali jednak szczególnej uwagi na przykład do tego, jaką orientację mają zachodnie i wschodnie ściany północnej części baraku.

Zgodnie z powyższym, region relatywnego odniesienia został zdefiniowany poprzez połączenie pomiarów odległości brzozy od południowo-zachodniego narożnika „baraku Bodina”, dokonanych na zdjęciach naziemnych (Rys. 4a), i analizy najbardziej zbliżonego do pionowego rzutu kadru „zdjęcia paralotniarza” (Rys. 4c) z analizą zdjęć satelitarnych z 26 stycznia oraz 5, 11 i 12 stycznia 2010 r. z uśrednionym przybliżonym kształtem baraku (Rys. 4d). Jego kształt wykorzystany do zdefiniowania szablonu był uproszczonym uśrednieniem zdjęć satelitarnych i dlatego nie powinien służyć do analizowania aspektów takich jak na przykład projekcje orientacji ścian baraku.

Odniesiony do baraku region poszukiwania naukowcy zdefiniowali z dużym marginesem tolerancji, ± 3 m w kierunku północ-południe i $\pm 1,5$ m w kierunku wschód-zachód, od centralnego punktu głównej części złamanego drzewa znajdującej się mniej więcej na tej samej wysokości, co południowa część dachu baraku, stanowiącego region odniesienia. Tolerancja błędu w stosunku do lokalizacji pnia drzewa wynosiła ± 3 m w kierunku północ-południe, który nie był bezpośrednio mierzony na zdjęciach naziemnych wykonanych przez Jana Gruszyńskiego oraz zdjęciach pochodzących z Internetu, i $\pm 1,5$ m w kierunku wschód-zachód, który był bezpośrednio mierzony na tych zdjęciach i oszacowany na ok. 10,5 m. Regiony relatywnego odniesienia i identyfikacji szukanego obiektu zostały zdefiniowane w formie szablonu, który sprawdzał się spójnymi rezultatami – w postaci identyfikowania tych samych obiektów w tych samych regionach – na wszystkich zdjęciach satelitarnych.

4.2. Regiony wykluczenia

Rys. 5 ilustruje dwa rejonny zakreślone okręgami. Zachodni rejon zawiera koronę drzewa wypełniającego większość okręgu aż do jego wschodniej granicy. Wschodni rejon wskazuje grunt pokryty śniegiem przecinany ścieżkami. Rys. 6b przedstawia dwa przykłady wizerunków brokuł mogących sugerować złamane drzewa, znajdujące się w odległości 10,5 m od południowo-zachodniego narożnika „baraku Bodina”, co odpowiada odległości brzozy od tego narożnika mierzonej na zdjęciach naziemnych. Jednakże zdjęcie z 26 stycznia 2010 r. (Rys. 5) sugeruje, że wizerunek wschodni nie jest obrazem drzewa leżącego na ziemi w kwietniu 2010 r., bowiem na zdjęciu z 26 stycznia widać w tym miejscu grunt pokryty śniegiem i ścieżkę bez śniegu (Rys. 5). Na lokalizacji wizerunku zachodniego widać natomiast: na zdjęciu ze stycznia – dużą koronę stojącego drzewa (Rys. 5), a z 12 kwietnia – wizerunek brokuły (Rys. 6b). Jednocześnie wydaje się, że ani wizerunek zachodni, ani wschodni nie jest drzewem leżącym na ziemi w kwietniu, ponieważ wizerunek zachodni jest za bardzo oddalony na zachód od „baraku Bodina”, a wizerunek wschodni znajduje się w miejscu, które w styczniu pokryte było widocznym na zdjęciu satelitarnym śniegiem. Śnieg ten



Rys. 4. Definiowanie lokalizacji regionu poszukiwania obiektu złamanej brzozy w oparciu o lokalizację baraku i brzozy (a), zdjęcia satelitarne terenu (b i d) oraz pionowy rzut kadru z filmu paralotniarza (c) ze zmierzoną – na podstawie zdjęć Jana Gruszyńskiego i zdjęć opublikowanych w Internecie – odległością brzozy od narożnika „baraku Bodina”.

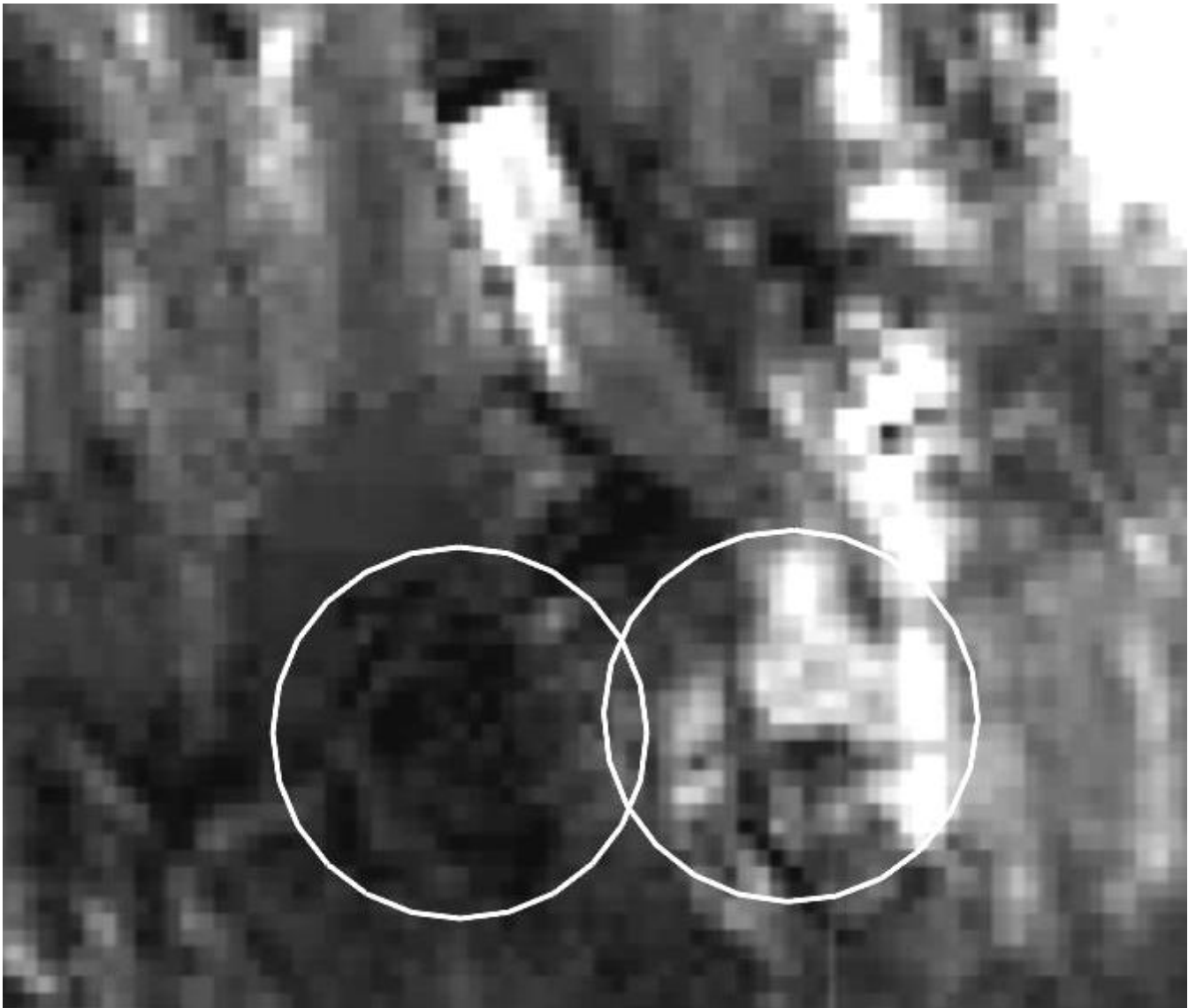
byłby zasłonięty przez koronę drzewa, gdyby tam takowe stało. Duży kąt (29 stopni w kierunku południowym) pobrania zdjęcia teoretycznie mógłby spowodować znaczące odsłonięcie tego miejsca, gdyby korona drzewa była osadzona wysoko nad ziemią. Nie wydaje się to jednak w tym przypadku możliwe, gdyż stojący kikut ma długie gałęzie - w zależności, od której strony mierzyć, już na trzech do czterech metrach wysokości.

Porównując wizerunki na zdjęciach satelitarnych z 5 i 12 kwietnia 2010 r. (Rys. 6) teoretycznie każdy z nich można by uznać za brzozę złamaną już 5 kwietnia 2010 r., mimo że zdjęcie z 5 kwietnia (Rys. 6a) jest mniej wyraźne niż zdjęcie

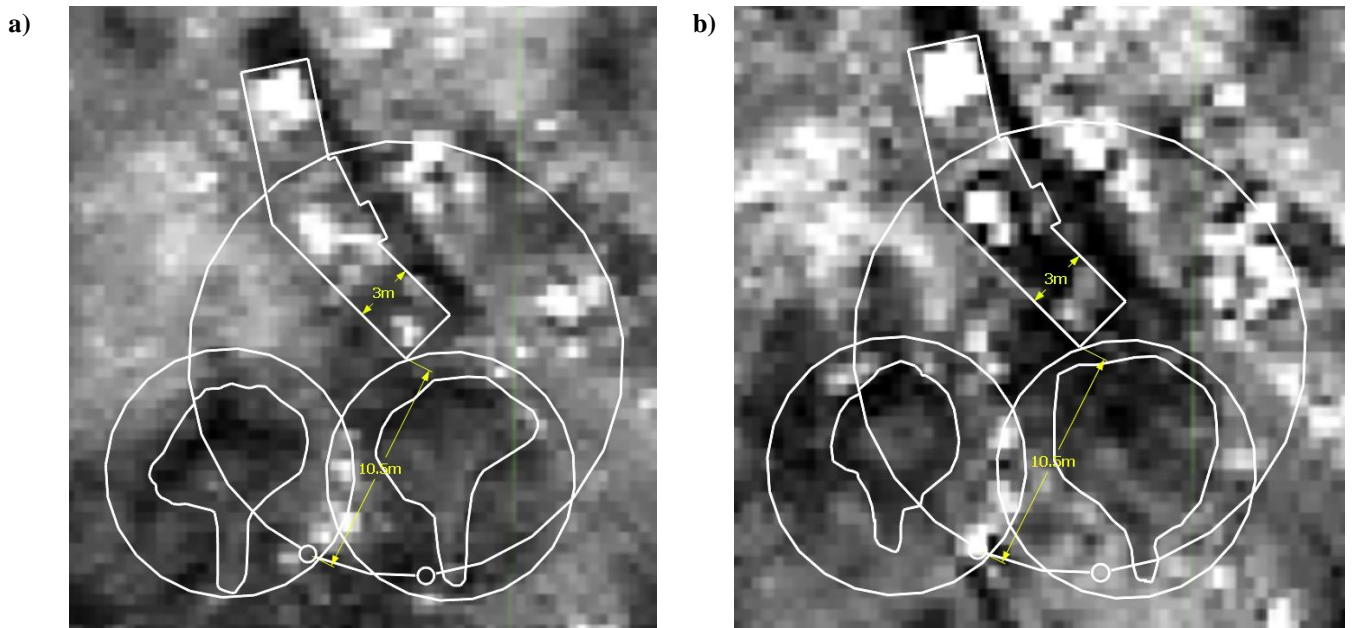
z 12 kwietnia (Rys. 6b). Podobny kształt brokuła jest widoczny na zdjęciu z 26 stycznia, mimo że większość gruntu w tej lokalizacji jest wtedy pokryta śniegiem. Powyższe ustalenia sugerują, że żaden z tych dwóch wizerunków brokuła nie jest wizerunkiem leżącej brzozy. Identyfikacja powyższych anomalii została wykorzystana w dalszych badaniach do wykluczenia regionów niemożliwego położenia poszukiwanej smoleńskiej brzozy.

4.3. Region prawdopodobnego położenia obiektu

Region ten został zdefiniowany na podstawie powyżej ustalonych regionów odniesienia i wykluczenia i najbardziej pionowego z dostępnych materiałów “kadru filmu



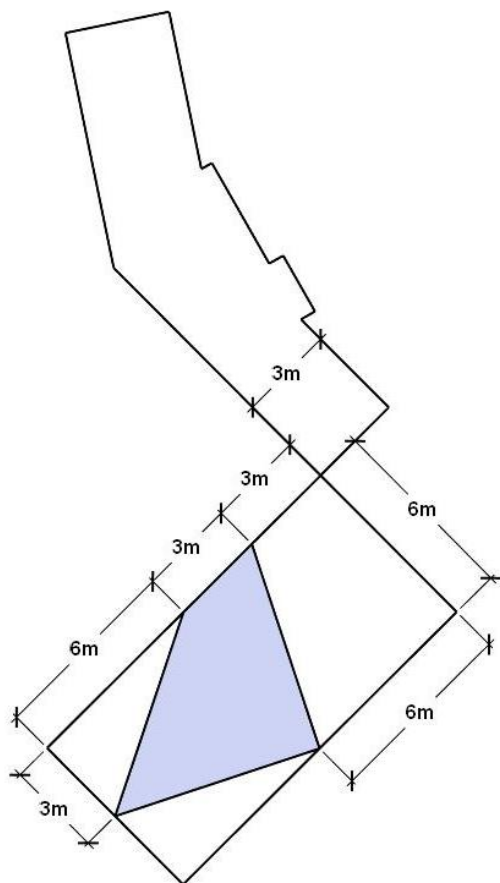
Rys. 5. Zdjęcie z 26 stycznia 2010 r. przedstawia dwie lokalizacje - rejony zakreślone okręgami o promieniu 6 m. Tylko zachodnia lokalizacja - na lewo, zawiera koronę drzewa i jest uznana za rejon prawdopodobnego położenia brzozy. Wschodnia lokalizacja (wschodni rejon), na prawo, jest pokryta śniegiem, i w związku z tym jest uznana za rejon wykluczenia.



Rys. 6. Dwa bukieto-podobne wizerunki imitujące brokuly, których części oddalone są o 10,5 m od południowo-zachodniego narożnika „baraku Bodina”. a) Po lewej zdjęcie z 5 kwietnia 2010 r.; b) po prawej – z 12 kwietnia 2010 r.

spowodowanych odchyleniami od rzutu pionowego tego zdjęcia, kątami pobrania zdjęć satelitarnych, jak również ograniczoną rozdzielczością zdjęć satelitarnych. Region prawdopodobnego zaistnienia szukanego obiektu omijał wcześniej zidentyfikowane regiony wykluczenia i jego definicja opierała się na założeniu, że odległość drzewa od południowo-zachodniego narożnika „baraku Bodina” jest mniejsza niż 12 metrów (mierzone wcześniej 10,5 m plus 1,5 m tolerancji potencjalnego błędu).

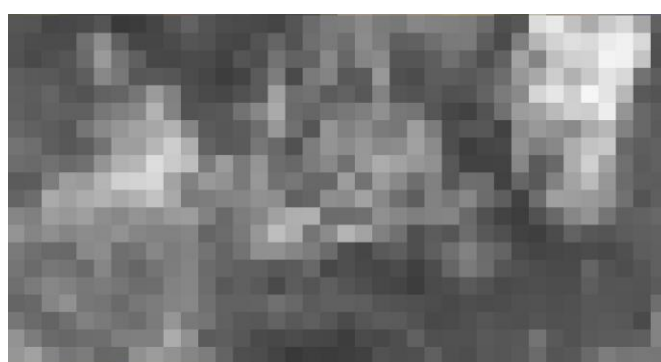
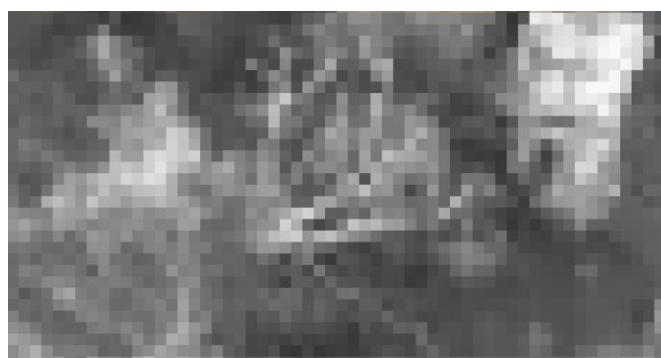
Region ten musiał znajdować się mniej więcej pomiędzy lokalizacją pokrywającą się z miejscem występowania korony drzewa na zdjęciu z 26 stycznia 2010 r. i być skierowany ku południowo-zachodniemu narożnikowi baraku. Lokalizacje bliskie baraku wykluczono ze względu na to, że końcówka korony brzozy z cienkimi gałązkami i wieloma kwiatami brzozowymi, które są brązowego koloru i zlewają się z podłożem, nie mogła być wyraźnie widoczna na zdjęciu satelitarnym. Na podstawie analizy „kadru z filmu paralotniarza” naukowcy zdefiniowali orientację szukanego obiektu jako przebiegającą z południa na północno-północny-wschód (PPW). Region prawdopodobnego zaistnienia obiektu wyznaczyli według schematu przedstawionego na Rys. 7.



Rys. 7. Schemat regionu relatywnego odniesienia do regionu poszukiwania z zaznaczonym regionem prawdopodobnego zaistnienia poszukiwanego obiektu.

4.4. Charakterystyka szukanego obiektu

Rys. 8 ilustruje wyniki poszczególnych etapów symulowanej pikselizacji zdjęcia leżącej brzozy. Kadr z filmu paralotniarza przedstawiający brzozę (Rys. 8) został najpierw zredukowany numerycznie z kolorowego do czarno-białego (Rys. 8), a następnie – skompresowany do rozdzielczości 50 cm na piksel (Rys. 8c). Na podstawie



Rys. 8. Oryginalne zdjęcie złamanej brzozy z filmu nakręconego podczas lotu paralotnią, otrzymane ze zrzutów ekranu z filmu „Anatomia upadku”; zredukowana czarno-biała wersja tego zdjęcia i skompresowane do rozdzielczości 50 cm/p jego symulowane pikselizacje.

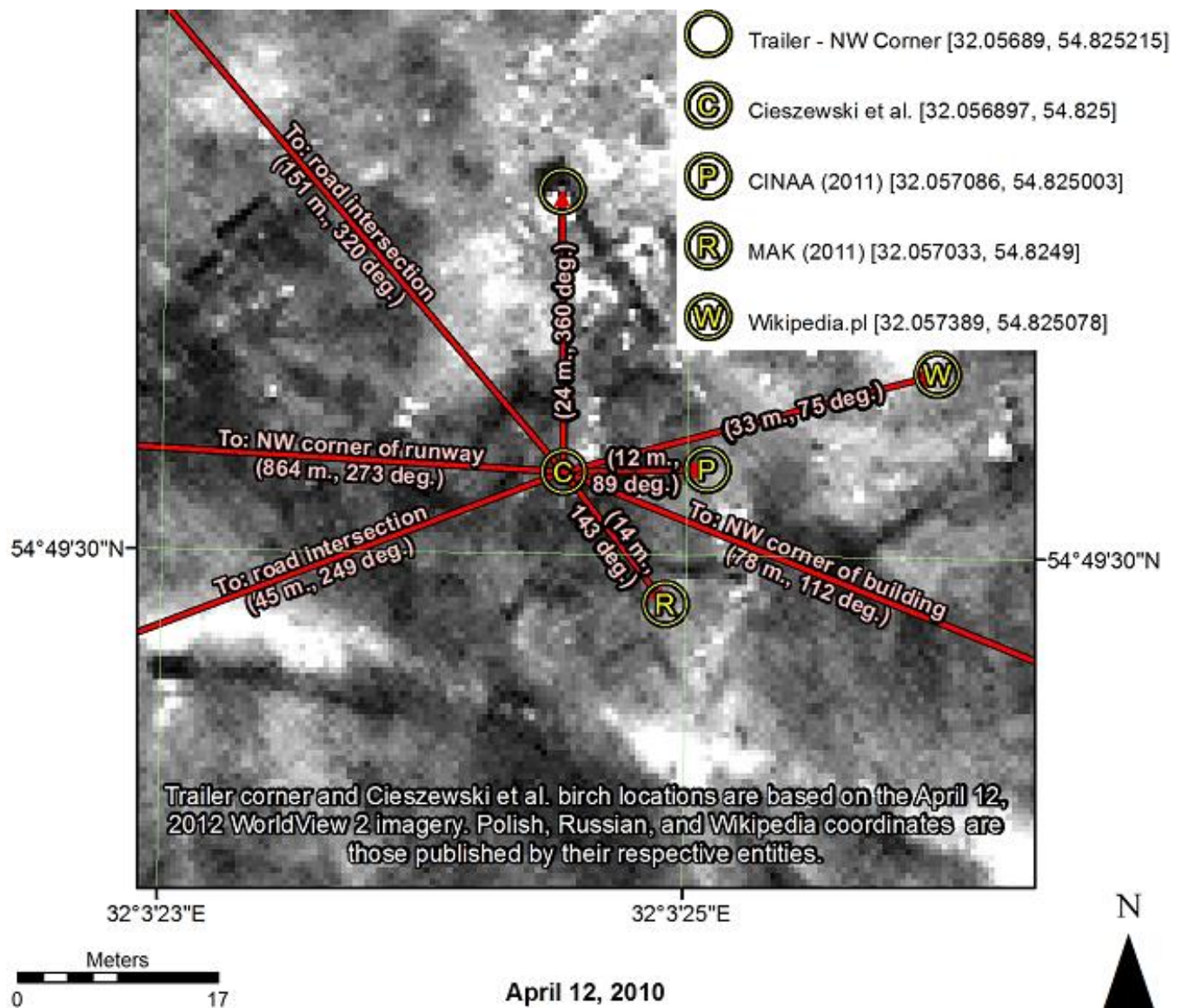
obszaru określonego przez szablon oparty o analizę pionowego rzutu "kadru filmu paralotniarza" (Rys. 8a) naukowcy zdefiniowali obiekt poszukiwania.

Poszukiwany obiekt został zdefiniowany jako klastery pikseli o kontrastującym jasnym tonie, o szerokości od jednego do trzech pikseli i długości około kilkunastu pikseli, z przewagą masy na południu i potencjalnym zapoczątkowaniu rozgałęzienia na północy. Pomimo zakłóceń powodowanych tłem listowia zawierającego dużą ilość chlorofilu, który ma wysoki współczynnik odbicia, pikselowany obiekt odcinał się dość wyraźnie od otoczenia i można go było w miarę jednoznacznie zdefiniować. Zakres identyfikacji ograniczał się do głównej części (na wysokości dachu) powalonej korony i nie obejmował gałęzi ani elementów zewnętrznej sfery korony. Podejście to można uzasadnić częściowo tym, że brzozy mają na końcach gałęzi i na nowych pędach wiele brązowych kwiatów, i na panchromatycznym zdjęciu korona może być ciemniejsza od innej roślinności pomimo białej kory brzozy, która na zdjęciu satelitarnym drzewa stojącego nie jest widoczna.

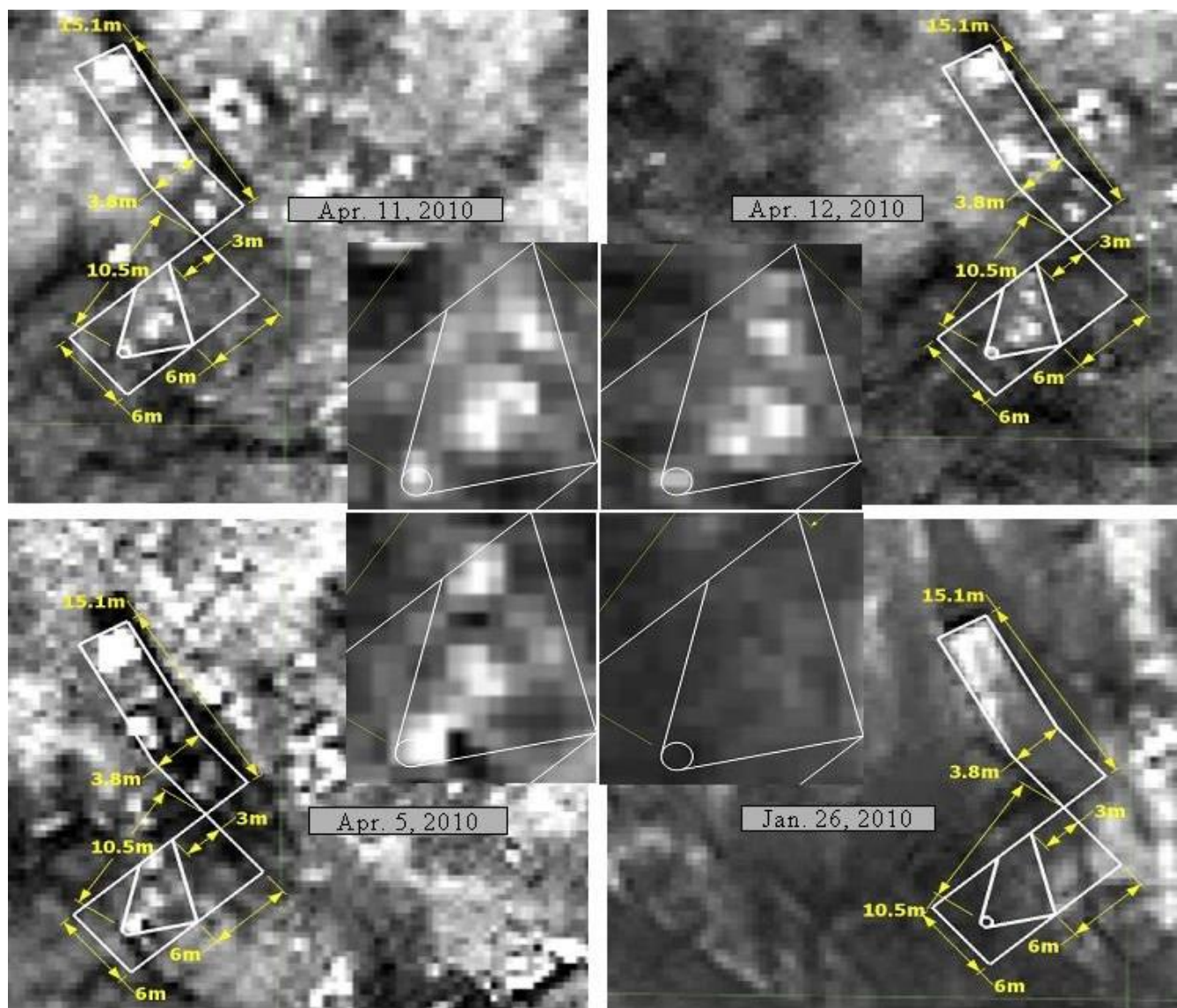
5. PODSUMOWANIE ANALIZ I WYNIKÓW

Po ustaleniu wszystkich wyżej przedstawionych regionów badawczych i charakterystyki szukanego obiektu regiony zostały porównane na zdjęciach wykonanych w różnych dniach. Wszystkie wyniki ustalania szukanego obiektów okazywały się takie same niezależnie od tego, czy „barak Bodina” jako region odniesienia był zdefiniowany jako kombinacja dwóch czy pięciu prostokątów o różnych wymiarach. Nie miało także znaczenia, czy szerokość baraku była zdefiniowana jako trzy lub czterometrowa, a długość baraku – jako czternasto- czy piętnastometrowa. Generalnie rzecz biorąc, jakkolwiek nie byłby kształt zdefiniowanego regionu odniesienia, to nawet jeśli tylko trochę przypominał rzeczywisty kształt baraku, wówczas wyniki wpasowania w kontur obiektu na zdjęciach satelitarnych z poszczególnych dni przez różnych naukowców okazywały się podczas wielu powtórzeń praktycznie identyczne w ramach przyjętej tolerancji błędu +/- 3 m.

Powyższe dotyczy również identyfikacji szukanego obiektu w regionie prawdopodobnego zaistnienia. Na



Rys. 9. Ustalone w niniejszych badaniach relatywne położenie brzozy w stosunku do trzech innych pozycji określonych przez MAK, KBWLL i przez Wikipedię.



Rys. 10. Zestawienie wyników analiz czterech zdjęć satelitarnych. U góry po lewej zdjęcie z 11 kwietnia 2010 r., u góry po prawej – z 12 kwietnia 2010 r., na dole po lewej – z 5 kwietnia 2010 r., na dole po prawej – z 26 stycznia 2010 r.

podstawie tychże ustaleń i danych z wcześniej opisanej charakterystyki szukanego obiektu, miejsce występowania złamanej brzozy zostało ustalone (Rys. 9) na: 12 m od miejsca podanego w Raporcie komisji Millera [1, 4], na 14 od miejsca podanego w Raporcie MAK [1] i na 33 m – od miejsca podanego przez Wikipedię. Odległości te są przybliżone jako że w niniejszych badaniach wyznaczenie pnia opierało się na identyfikacji obiektowej przełomu drzewa w oparciu o identyfikację obiektowa centralnej części złamanego konaru na wysokości dachu budynku, podczas gdy inne identyfikacje mogły się opierać, co nie jest całkiem jasne, na naziemnych pomiarach podstawy drzewa. Zależnie od kąta pobierania zdjęcia satelitarnego i profilu terenu, rozbieżność pomiędzy odległościami między tymi dwoma obiektami może teoretycznie wynosić do ok. 5 m (tj., np., $\tan(29 \text{ deg}) * 7,5 + 1,4$, gdzie 29 deg. to przykładowy kąt satelitarnego sensora pobierającego zdjęcie; 7,5 m to przykładowa różnica w pionie pomiędzy przełomem, a miejscem jego optycznego rzutu; i 1,4 m to różnica w poziomie pomiędzy rzutem pionowym przełomu a podstawa drzewa). Analogicznie, przesunięcie czubka stojącego tego drzewa może być do ok. 11 m.

Celem opisanych powyżej badań, polegających na analizie czterech zdjęć satelitarnych – z 26 stycznia 2010 r. oraz z 5, 11 i 12 kwietnia 2010 r. – było odtworzenie historii brzozy, oddalonej o 10–11 m od południowo-zachodniego narożnika „baraku Bodina”. Wyniki badań (Rys. 10) prowadzą do wniosku, że tylko na zdjęciu z 26 stycznia 2010 r. jednoznacznie widać koronę dużego drzewa, znajdującego się po południowo-zachodniej stronie „baraku Bodina”, w odległości ok. 10,5 m od południowo-zachodniego narożnika tego baraku (Rys. 5 i Rys. 6a). To zdjęcie (26 stycznia 2010) takowoż sugeruje region wykluczenia bezpośrednio na południe od rzeczonygo braku (Rys. 5). Region ten w styczniu 2010 r. jest pokryty śniegiem (Rys. 5), co sugeruje, że nie stoi tam w tym czasie całe drzewo z korona wielkości korony brzozy smoleńskiej, która miała, zależnie od kierunku, ok. 13-14 m rozpiętości zaczynającej się ok. 3-4 m nad ziemią.

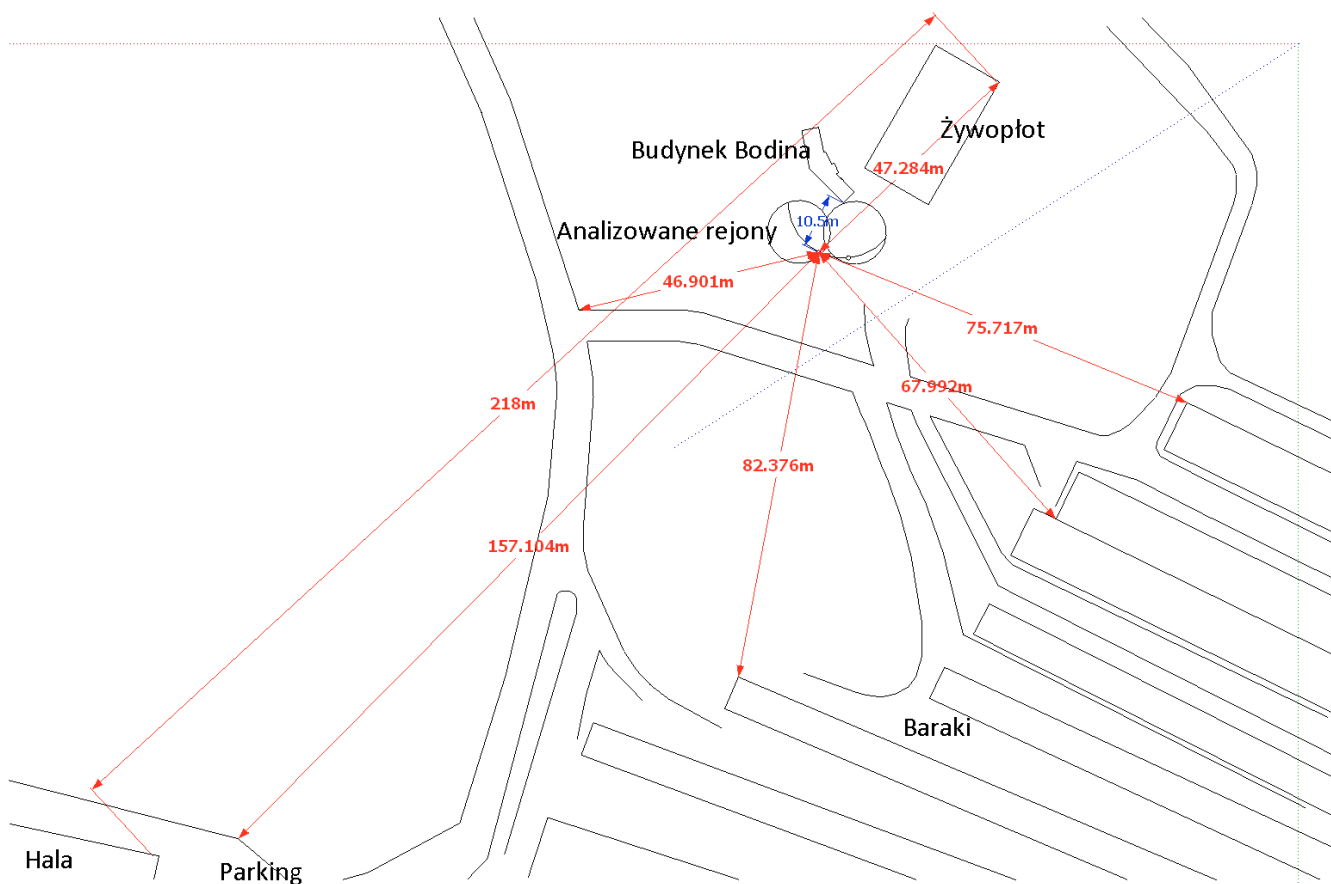
Powyższe sugeruje wniosek że smoleńska brzoza została złamana między 26 stycznia a 5 kwietnia 2010 r. jeśli lokalizacja jej korony była w rozpatrywanym zachodnim rejonie (lewym), albo i przed 26 stycznia, jeśli była ona w rejonie wschodnim (prawym). Widoczny na zdjęciu z 26 stycznia 2010 r. leżący na ziemi śnieg wskazuje

jednoznacznie, że w innych miejscach – wskazanych przez oficjalne raporty – nie mogło być tego drzewa.

6. WERYFIKACJA WYNIKÓW

Aby do weryfikacji umiejscowienia koron z niniejszych badań można było wykorzystać pomiary naziemne musiałyby one uwzględniać nie tylko odległości poziome pomiędzy poszczególnymi obiektami, ale również spadki i wzniesienia gruntu we wszystkich kierunkach tak, aby można było opisać dokładnie profil terenu. Jak wspomniano powyżej, proste pomiary naziemne nie dają gwarancji jednoznacznej identyfikacji położenia drzewa na zdjęciach satelitarnych i nie są praktyczną alternatywą do weryfikacji badań opartych na analizach zdjęć satelitarnych. Analizy przesunięć rzutów koron drzew z uwzględnieniem profilu terenu i poprawek ortorektyfikacyjnych zdjęć satelitarnych są pracochłonne i niejednoznaczne ze względu na arbitralne selekcje punktów referencyjnych używanych do ortorektyfikacji zdjęć satelitarnych.

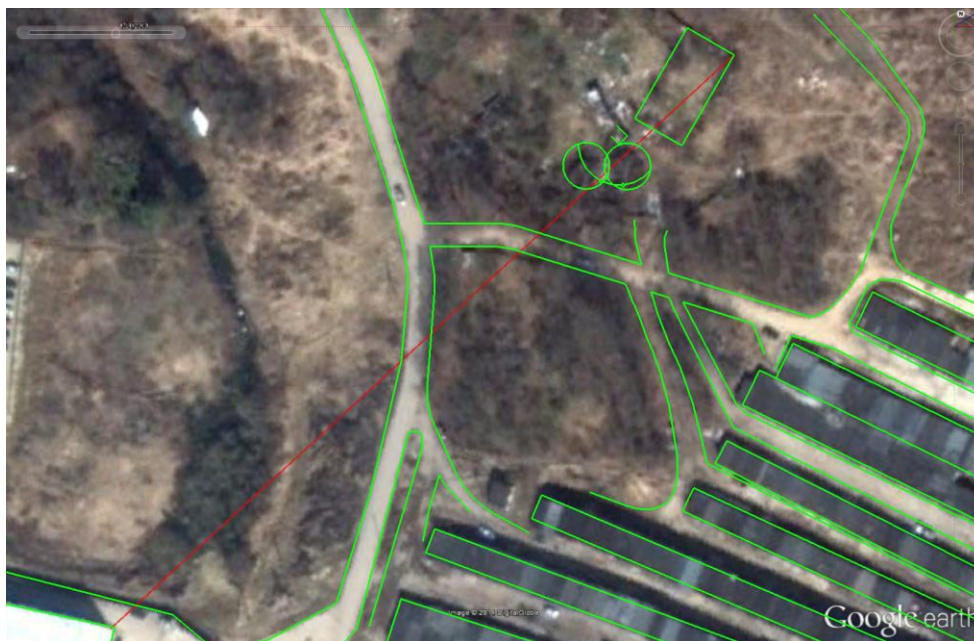
W przypadku zdjęć satelitarnych wysokiej rozdzielczości generalnie najbardziej efektywne są metody obiektowe, polegające na lokalizacji i identyfikacji analizowanych obiektów w oparciu o ich właściwości i algorytmy ich identyfikacji, oparte częściowo, na przykład, o wyznaczanie rejonów prawdopodobieństwa i wykluczenia. Jedną z metod weryfikacji prawidłowej lokalizacji rejonu rosnącego drzewa, którą można stosować przy małej gęstości zadrzewienia, jest sprawdzenie stanu tego rejonu na wcześniejszych zdjęciach satelitarnych. Pozwala to na zdefiniowanie zarówno rejonów prawdopodobnego zaistnienia poszukiwanego obiektu, jak i identyfikację rejonu wykluczenia jego lokalizacji. Przykład takiej weryfikacji został podany powyżej na podstawie zdjęcia satelitarnego z 26 stycznia 2010 r. (Rys. 5) i analizowanych rejonów w odniesieniu do odległości od „baraku Bodina”. Poniżej podaje się niezależną weryfikację dyskutowanych rejonów bez używania „baraku Bodina” jako punktu odniesienia, w oparciu o niezależne od tych badań zdjęcia satelitarne pochodzące z Google Earth z lat 2005, 2007 i 2010 r. (Rys. 11).



Rys. 11. Szablony weryfikacyjne opracowane w oparciu o zdjęcia satelitarne z lat 2005, 2007 i 2010 (12.4.2010). „Barak Bodina”. Pomiary i powyższe napisy nie stanowią części szablonu i są tu umieszczone tylko dla lepszego opisu tego rysunku. Używany szablon zawiera tylko dwa południowe narożniki „baraku Bodina” i łuk o promieniu 10,5 m od tego narożnika, przy którym powinna się znajdować brzoza.

Do celów poniższej weryfikacji naukowcy stworzyli szablon nawiązujący do lokalnej osnowy w oparciu o mapę dróg, parkingów, budynków i granic gruntowych w postaci zagajników czy też rowów (Rys. 12). Zdjęcia do tej weryfikacji były najpierw analizowane i częściowo obrabiane w Google Earth Pro i ArcGIS, a potem – w celach ilustracyjnych – zostały stamtąd importowane do Sketchup Pro. Przy użyciu tego programu zostały poddane

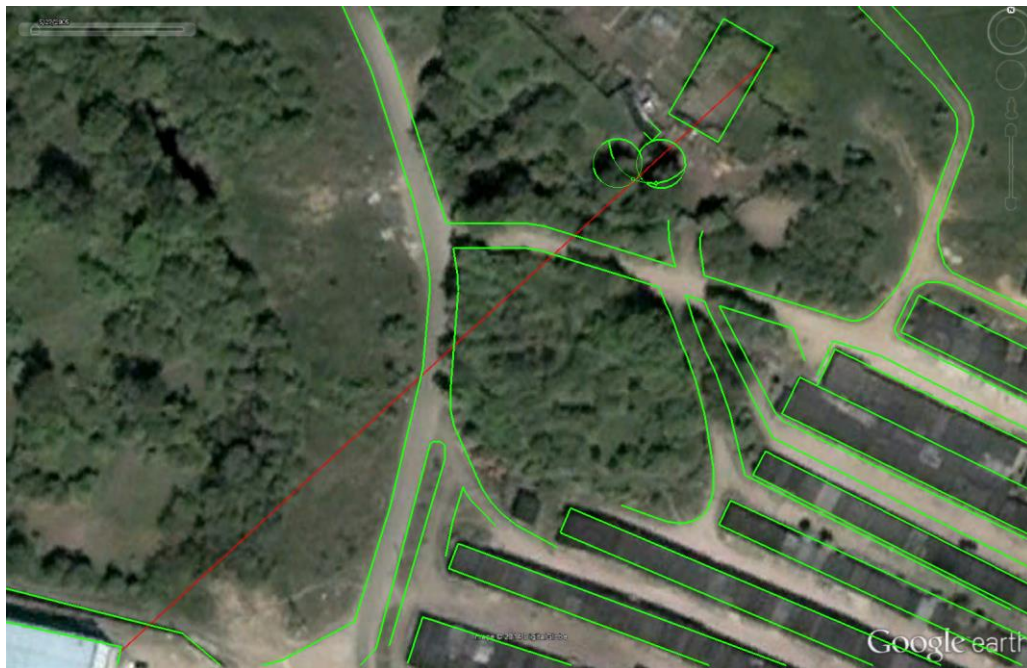
odpowiedniemu skalowaniu, uzupełnieniu szablonem, obrysowaniu zidentyfikowanych drzew i wpisem odpowiednich pomiarów i oznaczeń. Szablon weryfikacyjny został uśredniony pomiędzy wszystkimi zdjęciami, aby mógł być nakładany na różne zdjęcia jako stały schemat referencyjny bez żadnych zmian czy poprawek. Metoda polegająca na używaniu tak skonstruowanego szablonu, podobnie jak w przypadku głównej metodologii niniejszych



Rys. 12. Szablon weryfikacyjny z dwoma rejonami zawierającymi wizerunki brokul, wpasowany w zdjęcie satelitarne z 12.4.2010. Rejon zachodni jest miejscem lokalizacji drzewa na zdjęciu z 26.1.2010 (rys. 5). Rejon wschodni jest miejscem wykluczenia możliwej lokalizacji brzozy na podstawie tegoż samego zdjęcia (Rys. 5).



Rys. 13. Szablon weryfikacyjny wpasowany do obiektów na zdjęciu satelitarzym z 2007 r. (u góry). Na dole zbliżenia rejonów weryfikacyjnych bez obrysowania (po lewej) i z obrysowaniem (po prawej) korony brzozy z przedziałkiem i jej cienia..



Rys. 14. Szablon weryfikacyjny przypasowany do obiektów na zdjęciu satelitarnym z 2005 r. (u góry). Zbliżenia na rejon poszukiwania drzewa (po lewej), i nałożone kontury tych drzew w postaci czarnych kół (po prawej).

badania, jest bardzo wydajną i dokładną alternatywą do metod triangulacyjnych. Przewyższa ona tradycyjne metody triangulacyjne, bo używa się przy niej dużo większej liczby uśrednianych punktów referencyjnych w postaci obiektów, które są połączone w jedną spójną całość i dużo mniejszej liczby etapów mierzenia zastąpionych pojedynczym dopasowaniem szkicu mapy do zdjęcia terenu. Kosztem powyższej metody jest większy początkowy nakład pracy niezbędnej do zaprojektowania i przygotowania szablonu, co wymaga uwzględnienia wszystkich analizowanych zdjęć. Jednakże kompensuje go wielokrotnie większa wydajność i efektywność. Metoda szablonoowa góruje również nad metodami tradycyjnymi wysoką powtarzalnością rezultatów, dużą stabilnością numeryczną opartą na wielkiej liczbie punktów referencyjnych i dużą dokładnością dzięki uśrednianiu błędów wynikających z ograniczonej rozdzielczości zdjęć satelitarnych.

Główna część przeprowadzonej weryfikacji polegała na zidentyfikowaniu przy użyciu ww. szablonu weryfikacyjnego (Rys. 11) lokalizacji korony poszukiwanego stojącego drzewa brzozy na zdjęciach satelitarnych wykonanych w czasach poprzedzających

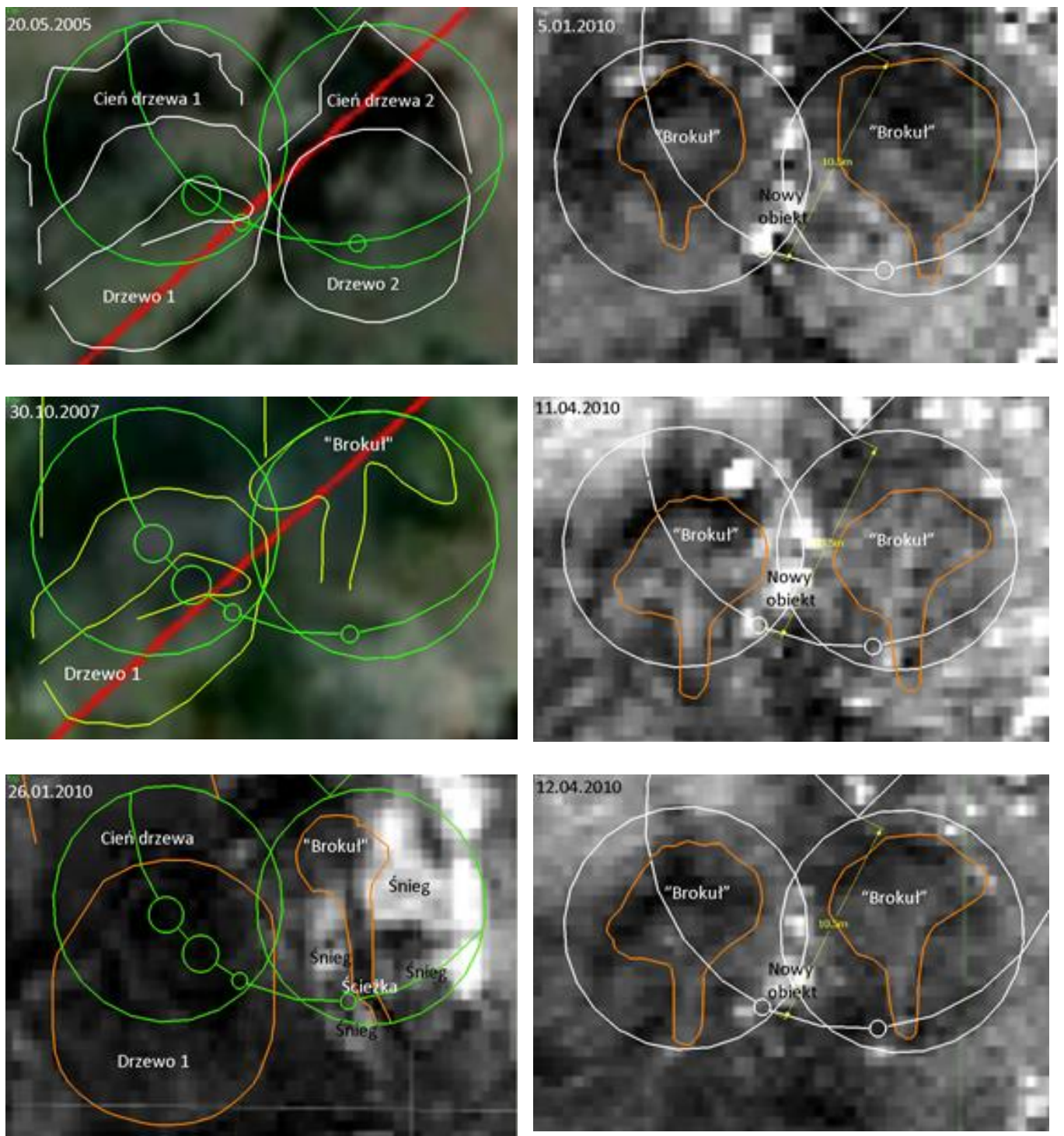
katastrofę samolotu. Przedstawiona tutaj inspekcja zdjęcia w celu określenia tej lokalizacji skupia się na opisanych wyżej dwóch rejonach, które na zdjęciu z 12 kwietnia 2010 r. zawierały dwa wizerunki „brokułów” (Rys. 6b). W tym przypadku najbliższe w czasie wcześniejsze zdjęcie pochodzi z 2007 r. (Rys. 13). Korona brzozy na tym zdjęciu wydaje się być dobrze zdefiniowana - nie ma zauważalnych przesunięć. (paralaksa dla tego zdjęcia to tylko ok. 1 m w kierunku wschodnim), choć jest prawdopodobne dodatkowe przesunięcie z powodu pochylenia pnia drzewa. Jest jednoznacznie identyfikowalna na Rys. 13 jako rosnąca w zachodnim rejonie weryfikacji (Rys. 5, Rys. 6b). Na zdjęciu (rys. 13) nie widać żadnego dużego drzewa rosnącego w lokalizacji wschodniego rejonu weryfikacji, co pozostaje spójne z wynikiem analizy zdjęcia z 26 stycznia 2010 r. (Rys. 5), na którym znajdował się w tym rejonie niezakłócony obraz gruntu pokrytego śniegiem i przecinanego ścieżkami. Na tym zdjęciu widoczny jest długi, smukły i ostro zakończony, cień drzewa typu świerk, którego czubek znajduje się ok. 43 m na północ od rejonu wschodniego. Cień ten jest dobrze widoczny tylko jakieś 20 m na południe od swojego czubka,



Rys. 15. Zbliżenie na dwa drzewa i obrzysowaniu kształtów ich rzutów i ich cieni, na zdjęciu satelitarnym z 2005 r. Po lewej, brzoza z jej typowym rozcięciem w koronie uwarunkowanym rozwidleniem pnia. Po prawej, świerk z typową okółkową i paraboloidalno trójkątną formą kształtu korony.



Rys. 16. Różne lokalizacje brzozy zależne od analizowanego zdjęcia satelitarnego i od przyjętych założeń.



Rys. 17. Chronologiczna sekwencja zdjęć satelitarnych w rozpatrywanych rejonach.

pozostała część to cień rzucany przez mniejsze drzewa na północ od wschodniego rejonu. Gdyby w roku 2007 w tym rejonie znajdowało się drzewo rzucające cień, to musiało by ono rosnać ok. 10 m na południe od wschodniego rejonu, jednak analiza zdjęcia sugeruje że we wskazanym rejonie i w tym okresie czasu nie ma drzewa, choć wartość tej oceny jest marginalna. Możliwe jest, że kilka metrów na południe od tego rejonu, gdzie jest widoczna „kępa” roślinności, mogła znajdować się korona drzewa. Przy założeniu poziomego profilu terenu, osiemnastometrowe drzewo mogłoby tworzyć podobny cień (gdyby nie to, że nie ma

kontynuacji pomiędzy podstawą i czubkiem tego cienia, choć nawet to byłoby możliwe przy wysokim osadzeniu korony lub dużej nierówności terenu). Cień drzewa w rejonie zachodnim ma ok. 32 m, to jest kilka metrów mniej niż można spodziewać się w związku z warunkami wykonania zdjęcia satelitarnego (wysokość słońca wynosiła $21,6^\circ$), lecz długość cienia zależy również od innych czynników, takich jak ukształtowanie terenu, ortorektyfikacja zdjęcia, i kształt i umiejscowienie korony jak również jej struktura wewnętrzna (przejrzystość w różnych kierunkach).

Ustalenie lokalizacji brzozy w tej części analiz opiera się na wyznaczeniu punktu na łuku szablonu, który zaznacza mierzoną odległość 10,5 m od południowo-zachodniego narożnika „baraku Bodina”. Wyznaczony punkt powinien być umiejscowiony tak, aby był dopasowany do pnia drzewa, którego korona jest widoczna na analizowanym zdjęciu satelitarnym.

Analiza zdjęcia satelitarnego z 2005 r. wykazuje obecność dwóch dużych sąsiadujących drzew -- jedno w zachodnim rejonie i jedno we wschodnim rejonie (Rys. 14).

Drzewo w rejonie zachodnim jest wyraźnie liściaste (zaokrąglony kształt bocznego rzutu korony) o owalnej koronie z widocznym rozdzieleniem korony (przedziałkiem), co wydaje się charakterystyczne dla brzozy analizowanej w niniejszych badaniach, mającej rozgałęzioną, podwójną koronę (Rys. 15).

Drugie drzewo, umiejscowione we wschodnim rejonie, wygląda jak drzewo iglaste (ostro zakończony kształt bocznego rzutu korony) o spiczastej koronie, najprawdopodobniej świerk. Charakteryzuje się ono typowym dla drzew iglastych, a szczególnie świerków (np. Fig. 1.3” [29] i Fig. 3, Fig. 4 [30]), spiczastym czubkiem z widocznym pojedynczym liderem i regularnymi okółkowymi pędami przy czubku drzewa przez co rzuca cień w kształcie trójkąta na tym zdjęciu satelitarnym odpowiadający trójkątnie zakończonemu kształtowi korony. Zachowuje ona jednak paraboloidalnie dość smukły kształt o zredukowanej krzywiźnie w dolnej części drzewa. Jako że w tym rejonie w 2007 r. najprawdopodobniej nie było drzewa, sugeruje to, że rzucone drzewo mogło być usunięte pomiędzy rokiem 2005 i 2007. Jednakże na tym samym zdjęciu (2007) istnieje ostry zarys przypominający cień świerka jakieś 40 m na północ od wschodniego rejonu, co może oznaczać, że jednak tam było jakieś drzewo. Jednakże może to być również cień roślinności umiejscowionej na północ od rzuconego rejonu wschodniego, choć to drzewo we wschodnim rejonie mogło być usunięte po 2007 (przyjmując za prawdę, że w kwietniu 2010 tylko jedno drzewo było złamane przy baraku Bodina -- choć dwa złamane drzewa by tu wyjaśniały dużo niespójności).

Wyniki powyższych analiz weryfikacyjnych, przeprowadzonych na zdjęciach satelitarnych z lat 2010, 2007 i 2005, potwierdzają założenia badań opisanych w niniejszym artykule, że na zdjęciach satelitarnych z tych lat wizerunek szukanej korony brzozy znajdował się w zachodnim, a nie we wschodnim rejonie poszukiwania (Rys. 5 i Rys. 6). Analizy te wykazują również, że gdy ta brzoza jeszcze nie była złamana – pomimo że rzut jej korony na różnych zdjęciach widoczny może być w różnych miejscach (Rys. 14 i Rys. 17)– generalnie była ona możliwa do znalezienia i zidentyfikowania jej na zdjęciach satelitarnych, w zachodnim rejonie poszukiwania (Rys. 17), czego nie można powiedzieć o zdjęciu z 5.4.2010. Wskazuje to na fakt, że rzucona brzoza była złamana już przed pobraniem zdjęcia satelitarnego 5 kwietnia 2010 r., gdzie jest ona nieobecna w żadnym z tych dwóch rejonów poszukiwania. Dokładna lokalizacja miejsca pnia pod koroną drzewa jest niemożliwa do przeprowadzenia wyłącznie przy użyciu zdjęć satelitarnych, podobnie jak nie jest możliwe ustalenie tylko przy pomocy pomiarów pnia dokładnego wizerunku korony drzewa na zdjęciach satelitarnych. Jest natomiast możliwe śledzenie zmian wizerunku obiektu zidentyfikowanego na zdjęciach satelitarnych, takiego jak korona drzewa i ukryte pod nią

niewidoczne obiekty, na kolejnych zdjęciach wykonanych w różnym czasie.

7. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Raporty MAK i komisji Millera ukazują przebieg Katastrofy Smoleńskiej oparty ma hipotezie, że w dniu 10.04.2010 samolot Tu-154M uderzył lewym skrzydłem w brzozę na działce Bodina, w wyniku czego stracił część skrzydła i w konsekwencji doznał autorotacji, a następnie rozbił się o ziemię. Z punktu widzenia nauki o drewnie, typu złamania tego drzewa, ewidentnych charakterystyk uszkodzeń drewna na przełomie tego drzewa, i fizjologii drzew brzozowych, hipoteza ta jest ewidentnie fałszywa, i drzewo to musiało być złamane w sposób statyczny (np., przez wiatr) przed kwietniem 2010. Istotą przedstawionych powyżej badań jest dodatkowy dowód, że zdjęcia satelitarne podtrzymują tą powyższą anty-hipotezę. Tu-154M nie mógł uderzyć w brzozę, gdyż była ona złamana już 5.04.2010. Wnioski z przedstawionych w referacie wyników są zgodne z licznymi analizami przeprowadzonymi przez innych autorów, innymi metodami i w oparciu o inne przesłanki – wynikające z praw fizyki. Identyczne wnioski wynikają z prac Biniendy, Szuladzińskiego, Jorgensena, Nowaczyka i innych. Nawet zeznania tak zwanych naocznych świadków zaprzeczają możliwości ścięcia tej brzozy przez samolot jako że sam dr Bodin w niektórych ze swoich zeznań przyznał, że skrzydło samolotu nie oderwało się bezpośrednio na drzewie, tylko dopiero później za drzewem, co w połączeniu ze statycznym typem tego przełomu (pozostała szczapa i kierunek upadku nie zgodny z kierunkiem ścinania) ewidentnie zaprzecza możliwości dynamicznego ścięcia tego drzewa przez samolot.

Warto na koniec zwrócić uwagę na jeden jeszcze istotny fakt. Widoczne na działce Bodina tuż obok złamanej brzozy drewniany barak i sterty śmieci były nieporuszone od 5.04.2010 do 12.04.2010. Gdyby kilka metrów nad nimi miały miejsce takie podmuchy z silników, które pchały samolot ważący 80 ton z prędkością 75 m/s, to nie tylko śmieci, lecz również prawdopodobnie i barak musiały by zmienić swoje pozycje. Nieporuszone obiekty na działce Bodina, będące śmieciami i plastikowymi reklamówkami, wskazują na przelot tupolewa na wysokości dużo większej niż 5,1 do 6,6 m, jak podano w oficjalnych raportach, albo jego przelot na ścieżce lotu oddalonej od tego miejsca.

Główny wniosek, do jakiego prowadzą niniejsze badania, sprowadza się do stwierdzenia, że brzoza smoleńska była już złamana 5 kwietnia 2010, czyli pięć dni przed katastrofą polskiego samolotu rządowego. Nie zmienia to w żadnej mierze wiedzy na temat możliwego przebiegu wydarzeń, ponieważ – niezależnie od przedstawionych tutaj ustaleń – już wcześniej zostało bezspornie udowodnione, że nie mogło dojść do uderzenia skrzydła tupolewa w to drzewo.

8. OŚWIADCZENIA I PODZIĘKOWANIA

Niniejsza praca stanowi mój opis metodologii i wyników badań zespołu naukowców, jaki przedstawiłem w ustnym wystąpieniu w dniu 22.10.2013 r. w Warszawie podczas obrad II KS (<http://www.konferencja.home.pl/przebieg2/15.flv>). Artykuł ten w języku polskim powstał bez współpracy ani udziału uniwersytetu w Georgii i bez współpracy czy też bezpośredniego udziału oryginalnych współautorów nie znających języka polskiego. Odrębny

artykuł w języku angielskim może zostać opublikowany pod rozszerzonym autorstwem.

Szczególne podziękowania związane z niniejszymi badaniami i przygotowaniem referatu należą się: dr Janowi Gruszyńskiemu za udostępnienie materiałów ewidencyjnych z katastrofy smoleńskiej; Anicie Gargas za udostępnienie filmu "Anatomia upadku"; prof. Piotrowi Witakowskiemu za pracę włożoną w organizację Konferencji Smoleńskiej i w wydanie materiałów konferencyjnych i niniejszego artykułu; dr hab. Ziółkowskiemu; Markowi Dąbrowskiemu; osobie biorącej udział w pracach redakcyjnych nad tekstem; internautom (alfabetycznie): 3zet, bbudowniczy, doradcaR305 [31], eska, geoal, koshik, peemka, tiger65 i innym, za techniczne uwagi i wkład do tych badań oraz wkład w redakcję i tłumaczenie tego artykułu.

Wyrazy wdzięczności należą się profesorom Markowi Czachorowi i Andrzejowi Wiśniewskiemu i geodecie mgr inż. Dariuszowi Szymanowskiemu jak i również ministrowi Antoniemu Macierewiczowi i jego współpracownikom, którzy to, jako dwie niezależne grupy, pojechali w trybie społecznym do Smoleńska, aby zweryfikować ustalone w niniejszych badaniach położenie pnia brzozy. Wyniki pomiarów tych dwóch powyższych grup sugerują inne położenie pnia brzozy niż to ustalone w niniejszej pracy, ale nie kolidują one z głównym wnioskiem zasadniczego celu niniejszych badań, że brzoza i jej otoczenie nie różnią się istotnie na zdjęciach satelitarnych z 5-go, 11-go, i 12-go kwietnia, 2010 r. Powyższe pomiary są dyskutowane bardziej szczegółowo w Aneksie poniżej tego tekstu.

ANEKSY

A. SOKI BRZOWE W SMOLEŃSKU W OKRESIE KATASTROFY

Właściwości brzozy do produkcji soku w okresie wegetacyjnym zostały obszernie opisane w literaturze przedmiotu [32, 33, 34, 35, 36, 37]. Przyjmuje się, że ten okres wegetacyjny w rejonie Europy Wschodniej przypada na przełom marca i kwietnia. W okresie tym następuje intensywne wydzielanie soku brzożowego, który stanowi cenny surowiec w przemyśle spożywczym i kosmetycznym, a także jest w powszechnym spożyciu wśród miejscowej ludności.

Jak co roku zjawisko to miało miejsce również wiosną 2010 roku w rejonie Smoleńska. Intensywne wydzielanie soków brzożowych w okresie katastrofy samolotu zostało udokumentowane m.in. na zdjęciach dra Jana Gruszyńskiego. Niektóre z tych zdjęć zostały zamieszczone powyżej w niniejszym artykule. Informacje na temat zjawiska wydzielania soku przez brzozy na początku kwietnia 2010 r w rejonie Smoleńska można znaleźć na stronie internetowej "Smoleńskiej Gazety" [38]. Liczne są też źródła mniej formalne, tj. prywatne publikacje internetowe. Składają się na nie relacje spisane na blogu rosyjskich zbieraczy soku brzożowego z rejonu Smoleńska, jak również szereg zdjęć innych autorów niż dr Gruszyński pokazujące zdjęcia złamanej brzozy z ciekącymi sokami (np. zdjęcia wskazane przez blogera tiger65).

Reportaż "Smoleńskiej Gazety" to artykuł pod tytułem "Poległych Polaków oplakują Smoleńskie brzozy" z dnia 16 kwietnia 2010, napisany przez Elenę Niedbajłową, specjalnego korespondenta "SG" (oryginalny tytuł: "Погибших поляков оплакивают смоленские берёзы", ciągle jeszcze, w trakcie pisania niniejszego referatu, dostępnego w Internecie [39]). Artykuł ten zawiera w szczególności zdjęcie wykonane w okresie między 10, a 16 kwietnia 2010 pokazujące butelkę na wpół napełnioną sokiem brzożowym przywiązaną do dużej brzozy z lekkim nacięciem w korze z którego kapie sok brzożowy (Rys. 18). Zdjęcie to potwierdza że w okresie katastrofy Smoleńskiej sezon wegetacyjny już był w pełni i soki brzożowe były

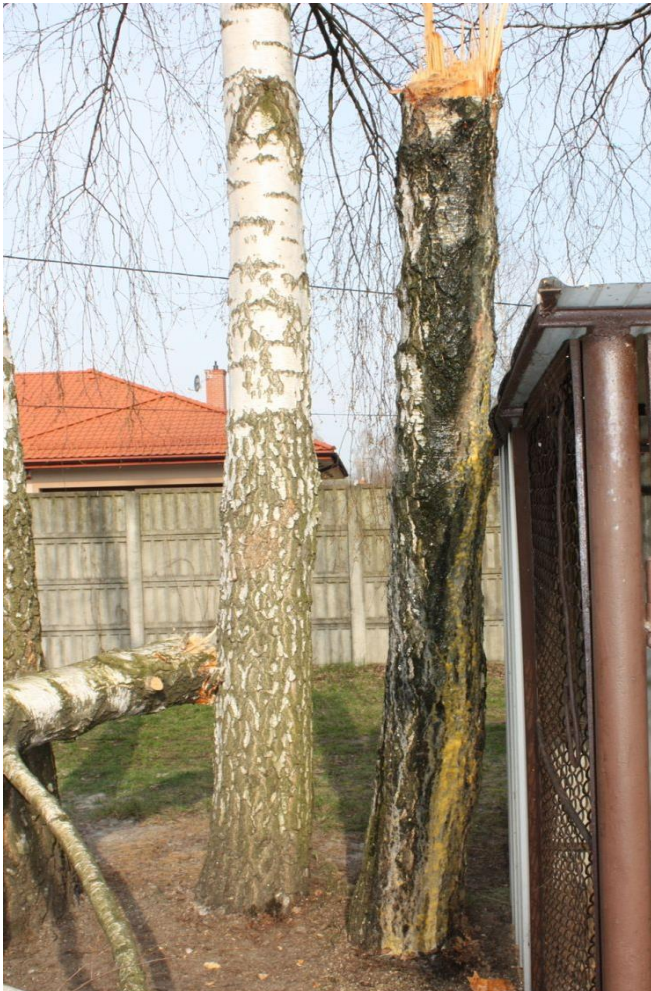
aktywne. Co ważniejsze, wykazuje ono że okres ten musiał trwać przez jakiś czas, ponieważ okoliczna ludność już zbierała sok brzożowy. Niewątpliwie, trudno o bardziej kompetentnych świadków na temat kiedy zaczyna się okres wydzielania soku przez brzozy niż okoliczni mieszkańcy tradycyjnie trudniący się zbieraniem tego soku.



Rys. 18: Zdjęcie z okolicy Smoleńska sprzed 16 kwietnia 2010, pokazujące pień brzozy z butelką napełnioną sokiem brzożowym, opublikowane przez "Gazetę Smoleńską" [39, 40].

Strona internetowa zbieraczy soków brzożowych z okolicy Smoleńska zawiera artykuł [41] o zbieraniu soku

brzozowego w tym regionie z wieloma zdjęciami butelek napelniających się sokiem. Artykuł ten został opublikowany 12 kwietnia 2010. Zawiera też szereg komentarzy na ten temat dopisanych w okresie między 12, a 16 kwietnia. Autor tego artykułu pisze, że sezon zbierania soku w tym regionie zaczął się w 2010 roku już w marcu, choć regularny sezon zbierania soku brzozowego normalnie zaczynał się dopiero z początkiem kwietnia. W prywatnej korespondencji blogerzy z Polski uzyskali od rosyjskiego zbieracza soku brzozowego potwierdzenie faktu pozyskiwania tego soku w dniu katastrofy samolotu, co aż nadto potwierdza zaprezentowane wcześniej informacje.



Rvs. 19. Złamana brzoza (u gór) i jej zbliżenie pokazujące cieknące z tego przelomu i pieniające się soki brzozowe.

Innym aspektem, na który warto zwrócić uwagę, jest to jak powinno wyglądać złamane drzewo brzozowe wydzielające soki ze świeżego przelomu na początku okresu wegetacyjnego. Ilustruje to Rys. 19, ale dla pełnego wyjaśnienia zjawiska wymaga on uzupełnienia dodatkowymi informacjami. Całkowita ilość soków pompowanych przez drzewo jest w przybliżeniu proporcjonalna do wielkości korony drzewa i ilości jej aparatu asymilującego i regeneracyjnego (tj. do masy liści i kwiatów), które są z tych soków budowane. Zbieranie soku z indywidualnych nacięć kory jest najwydatniejsze na młodych brzozach, jednakże całkowita ilość soków pompowanych przez cały pień drzewa jest proporcjonalna do wielkości tego drzewa korony i korzeni, a za tym idzie, jest tym większa, im większe jest drzewo.



Rvs. 20. Świeży pień ściętej brzozy z pieniającymi się sokami brzozowymi [42].



Rvs. 21. Obfite soki brzozowe po obcięciu galezi są widoczne nawet z dużych odległości (na lewo) i nie do pominięcia z bliska (na prawo) [43].

Niektórzy polscy internauci (np. 3zet, geoal, tiger65, pico) opublikowali różne materiały ilustrujące, jak wyglądają złamane brzozy pod względem wydzielania soków (Rys. 19). Internauta geoal opublikował różne materiały na ten temat w poście "Rowerem do Smoleńska" [44]. Jego też autorstwa jest zdjęcie ukazujące pień ściętej brzozy (Rys. 20). Wyjątkowo bogate empiryczne eksperymenty i materiały o efektach wywołanych uszkodzeniem brzoźowych gałęzi, pni i kory, opublikował bloger 3zet demonstrując obfite i niemożliwe do przeoczenia nawet z daleka wycieki soku z miejsca po gałęzi obciętej 13 marca 2014 (w Polsce) (Rys. 21), złamanego pnia brzozy na porównywalnej wysokości do złamania brzozy Bodina (Rys. 19), uszkodzenia kory na niższej wysokości pnia (Rys. 22) [45].



Rys. 22. Wyciekające obficie soki brzoźowe z lekkiego uszkodzenia kory brzozy w eksperymencie – zdjęcie górne [46]. Dla kontrastu, brak śladów soków brzoźowych poniżej pęknięcia pnia u brzozy Bodina – zdjęcie dolne [47].

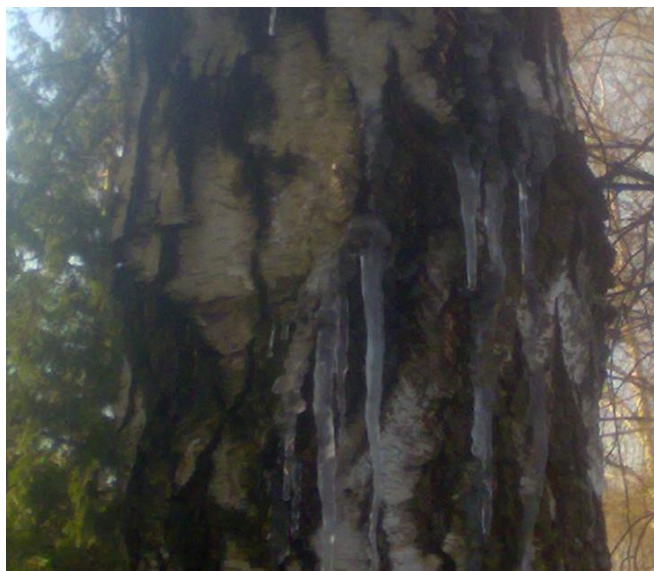
Bloger 3zet przeprowadził również eksperymenty demonstrujące, że gdy gałąź brzozy zostanie odcięta w okresie blisko wegetacyjnym, to kwiaty na niej pomimo odcięcia od pnia kontynuują rozwój (Rys. 23). Potwierdza to tezę innego internauty (doradcaR305), według której gdyby brzoza Bodina była złamana 10-go kwietnia, to odłamana korona brzozy kontynuowałaby rozwój kwiatostanów i listowia [48].



Rys. 23. Korona brzozy odłamana przed rozwojem kwiatów i liści (u góry) pomimo odcięcia od pnia rozwija kwiaty i liście (u dołu) [49].

W innym eksperymencie 3zet demonstruje, że wydzielania soku brzoźowego nie powstrzymują nawet przymrozki. Brzoza kontynuują wydzielanie soku, nawet gdy następuje zamarzanie wyciekających soków w sople lodu (Rys. 24).

Na zakończenie warto zaprezentować zdjęcie z Gazety Smoleńskiej [39] ze strzałkami dodanymi przez Tiger65 por. Rys. 25. Rysunek przedstawia złamaną brzozę z okresu Katastrofy Smoleńskiej (inną niż brzoza na działce Bodina), na której również widać wyraźnie soki brzoźowe spływające po pniu złamanego drzewa.



Rvs. 24. Soki brzozowe wydzielane nawet pomimo przymrozków i zamarzania sopli soków na drzewie [50].



Rvs. 25. Wnólwvaiacv sok na iednei ze złamanvch brzóv w okolicach katastrofv onublikowane przez Smoleńska Gazete [39] ze strzałkami dodanymi przez blogera tiger65 na salon24.pl.

Reasumując powyższe informacje można stwierdzić, co następuje.

1. Wyciek soku ze złamanej brzozy nie jest zjawiskiem subtelnym i możliwym do przeoczenia. Ilustrują to dobitnie zdjęcia blogerów 3zet i geoal.
2. Wszystkie doniesienia dotyczące wegetacji brzozy w Smoleńsku takie jak:
 - zdjęcia dra Jana Gruszyńskiego,
 - zdjęcie Tigera65,
 - artykuł Gazety Smoleńskiej,
 - blog zbieraczy soków brzozowych z regionu Smoleńska
 - obfita prywatna korespondencja blogerów z Polski i z Rosji,
 układają się w jeden spójny obraz – w dniu 10 kwietnia 2010 r. w Smoleńsku trwał w pełni okres wegetacyjny i złamanie lub zranienie brzozy musiało powodować obfite wypływanie soku.
3. Fakt, że z brzozy złamanej na działce Bodina nie wypływały soki dowodzi, że złamanie to nastąpiło jeszcze przed rozpoczęciem okresu wegetacyjnego, a więc znacznie wcześniej niż dzień Katastrofy Smoleńskiej.

B. DODATKOWE DANE WSKAZUJĄCE NA POZYCJE DRZEWA W REGIONIE WYKLUCZENIA

Od czasu zakończenia opisanych tutaj badań dwa zespoły ochotników dokonały społecznie dodatkowych pomiarów terenowych w celu uściślenia położenia pnia brzozy Bodina. Jeden z tych zespołów pod kierunkiem prof. Czachora wykonał pomiary w dniach 8 i 9 marca 2014. Jako że zespół ten nie podał pomiarów terenowych analogicznych do związanych z opisanymi tutaj badaniami opartymi na geometrii budynku Bodina i odległości brzozy od tego budynku, autor niniejszych badań poprosił o pomoc w uzyskaniu takowych danych min. Macierewicza. W wyniku tego przedsięwzięcia anonimowy zespół, dalej zwany „drugi zespół” przeprowadził w Smoleńsku amatorskie pomiary w zbliżonym czasie.

Podkreślić trzeba, że pomiary naziemne mogą być wykonane metodami geodezyjnymi z wysoką dokładnością zupełnie nieosiągalną przy zdjęciach satelitarnych. Jeśli jednak mają posłużyć do analizy wykonanej na podstawie zdjęć satelitarnych, wyniki tych pomiarów muszą być przeniesione właśnie na zdjęcie satelitarne. Tymczasem na zdjęciu satelitarnym już sam pojedynczy piksel ma wymiar 0,5 m. Ponadto całe zdjęcie jest wykonane pod kątem i nawet po ortorektyfikacji widać na nim obiekty pod kątem – z boku, co określa się mianem paralaksy - mimo że zdjęcie sugeruje rzut z góry. W efekcie obiekty wyniesione ponad teren na zdjęciu satelitarnym są przesunięte w planie. Przeniesienie wyników pomiarów naziemnych na zdjęcie satelitarne sprawia, że ich dokładność radykalnie spada. Dokładność ta nie może być lepsza niż ta, jaką narzuca dokładność zdjęcia satelitarnego, a podstawową rolę przy ustaleniu położenia w planie zaczyna odgrywać wysokość obiektu ponad terenem, i paralaksa.

Celem przedstawionych tutaj badań nie jest dokładne ustalanie lokalizacji pnia brzozy, lecz analiza zmian pomiędzy zdjęciami z 5, 11 i 12 kwietnia i odpowiedź na pytanie, czy zdjęcia te mogą potwierdzić hipotezę, że brzoza Bodina była złamana już 5 kwietnia. Wprawdzie z analizy przełomu tej brzozy w oparciu o podstawy fizjologiczne drzew brzozowych i właściwości drewna już to wiemy,

jednakże ustalenie położenia pnia brzozy jest tematem pokrewnym do domeny niniejszych badań i w związku z tym warto się ustosunkować do tych nowych pomiarów i interpretacji ich danych.

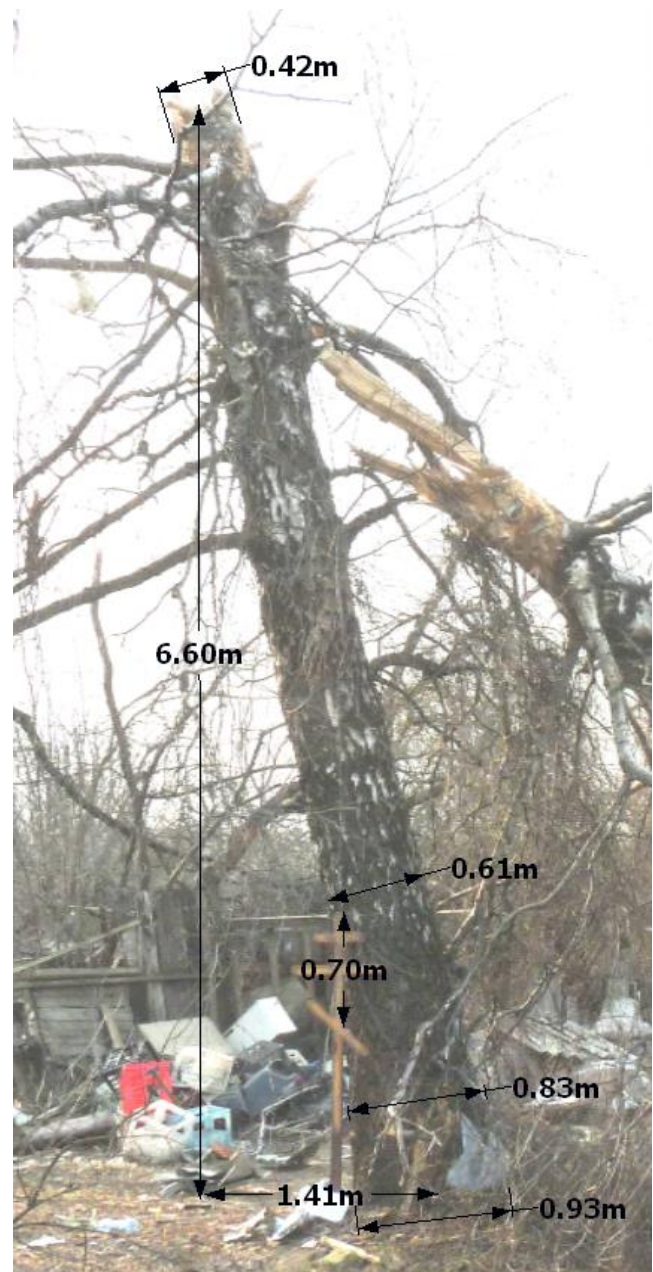
Zespół prof. Czachora dokonał pomiarów odległości pnia brzozy od okolicznych budynków oddalonych o kilkadziesiąt metrów. Drugi zespół dokonał natomiast pomiarów położenia pnia brzozy względem trzech narożników baraku Bodina. Raport z pomiarów i lokalizacja brzozy ustalone przez zespół prof. Czachora, opublikowane zostały na stronie internetowej [51]. Dane z raportu tego zespołu wykorzystano w niniejszym opracowaniu. Na Rys. 26 przedstawiono rysunek „4c” zaczerpnięty z raportu prof. Czachora. Na rysunku tym na fragmencie zdjęcia satelitarnego zaznaczono czerwoną linią obszar zajęty przez odłamaną górną część korony brzozy. Poniżej zaś lokalizację rzeźzonego pnia brzozy u podstawy i projekcję jego przełomu. Lokalizacja podstawy pnia jest poniżej wschodniego brokuła. Na Rys. 26 dodałem swoje pomiary pomocnicze (na żółto) odległości od narożników budynku Bodina, których nie ma w raporcie prof. Czachora.



Rys. 26. Lokalizacja pnia brzozy Bodina wg prof. Czachora na podstawie pomiarów terenowych. Ilustracja z raportu zamieszczonego w Naszym Dzienniku (zdjęcie satelitarne z 12 kwietnia 2010) z narysowanym na czerwono zarysem korony i kikuta brzozy wg raportu, z dodanymi tutaj na żółto odległościami pomierzonymi na tym zdjęciu.

Wyznaczone przez prof. Czachora miejsce pnia brzozy na tym rysunku wydaje się sprzeczne z innymi danymi, które mogą być mierzone na zdjęciach naziemnych, takich jak na przykład pochylenie kikuta (Rys. 27) i odległość kikuta od budynku Bodina, które były ustalone wcześniej w niniejszej pracy. Położenie to jest również niezgodne z pomiarami

drugiego zespołu, które wydają się bardziej zgodne z pomiarami dokonanyymi na zdjęciach naziemnych.



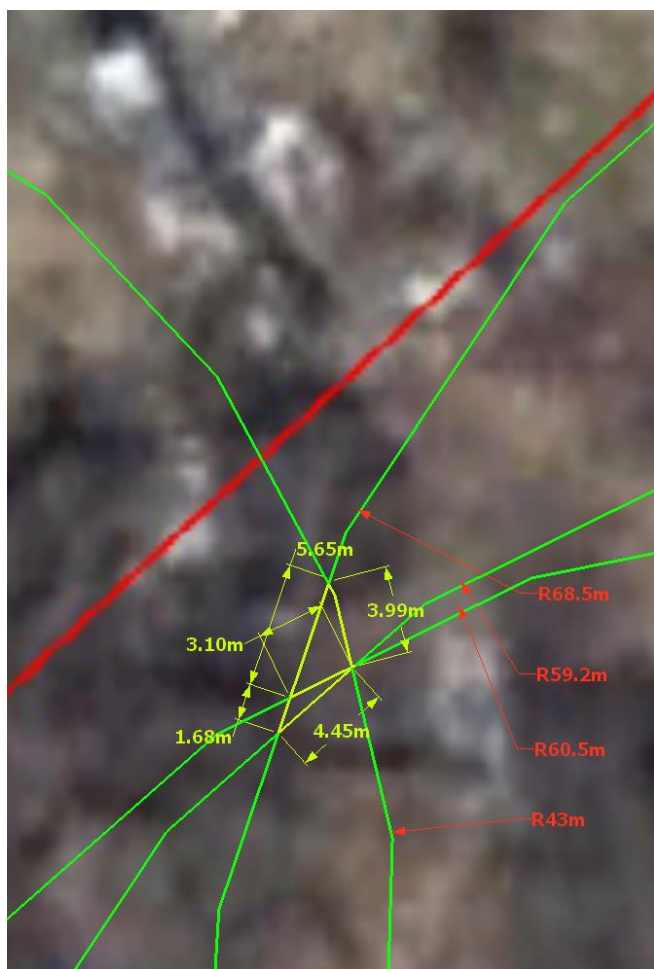
Rys. 27. Pomiary pochylenia kikuta brzozy i jego średnic do obliczeń rzutu paralaksy [52].

Błąd ustalenia miejsca pnia brzozy na zdjęciu satelitarnym w raporcie prof. Czachora wydaje się być w tym przypadku rzędu ok. 2 m w kierunku południowym, co jest mniej więcej jednym odchyleniem standardowym odchylen mojego naniesienia na zdjęcie satelitarne odległości pomiarów triangulacyjnych (tj. odległości pomiędzy przecięciami) użytych tutaj przeze mnie na podstawie tychże opublikowanych danych. Nanosząc te pomiary za raportem (Rys. 28) otrzymałem odchylenie standardowe około 1,49 m. Prawdopodobnie można przeprowadzić tę triangulację dokładniej (nanosiłem te pomiary kilkakrotnie uzyskując różne rezultaty i aby uniknąć błędu uprzedzenia, wybrałem losowo jeden z przeprowadzonych przypadków), ale błąd standardowy 1,5 m w przypadku pomiarów terenowych na potrzeby zdjęć satelitarnych z niedostępnym profilem terenu jest w pełni akceptowalny. Jest to zrozumiałe, że każdy pomiar

obarczony jest pewnym błędem. Nie podważa to jego wartości w sytuacjach, gdy zasadnicze wnioski sugerują istotne różnice w stosunku do poprzednich wyników.

Jednocześnie będę starał się poprawiać ewidentne pomyłki, tak jak np. ok. 50% zaniżone oszacowanie średnicy podstawy pnia (Rys. 27), brak poprawki na różnice elewacji pomiędzy analizowanymi obiektami, czy też niewłaściwe porównywanie lokalizacji hipotetycznego wierzchołka pnia w jednym miejscu z lokalizacją podstawy pnia w drugim miejscu (należny porównywać albo lokalizacje dwóch wierzchołków, albo lokalizacje dwóch podstaw). Powyższe niedociągnięcia nie powinny mieć większego wpływu na główne wnioski zespołu prof. Czachora, a mianowicie że:

- pień brzozy Bodina znajduje się ok. 6 m (Rys. 26) na wschód od implikowanej wcześniej w moich badaniach lokalizacji pnia, a
- główna część powalonej korony, która była obiektem przedmiotem identyfikacji obiektowej i analiz (Rys. 26) wydaje się znajdować ok. 4 m na wschód od obiektu, który przyjąłem za powalony konar korony – był on podstawą dla mojej identyfikacji obiektowej zpikselowanego wizerunku powalonej korony brzozy.



Rys. 28. Pomiary terenowe zespołu prof. Czachora z zaznaczeniem rozrzutu odchyień pomiarowych.

Do budowy modelu kikuta brzozy przyjmuję następujące parametry z metadanych zdjęcia i z foto-pomiarów na zdjęciach naziemnych:

- kierunek i kąt pobierania zdjęcia w miejscu brzozy $286,1^\circ$ i $14,1^\circ$ (średni kąt dla całej klatki jest 13°);
- średnica podstawy 0,9 m, a przełomu 0,44 m;

- wysokość pionowa kikuta 6,6 m (za 3zet) i
- przechył i kierunek przechyłu pnia 1,44 m i 196° .

Modelowanie to opiera się na połączeniu wyznaczonego odchylenia pnia od pionu, który był oszacowany ze zdjęć naziemnych z wyliczoną paralaksą jako produkt wysokości obiektu i tangensa kąta pobierania zdjęcia od pionu. Redukcja (zelipsowanie) przekrojów pnia jest cosinusem tegoż samego kąta, a długość cienia jest tangensem odchyłki promieni słonecznych od pionu. Długość modelu pnia widzianego na zdjęciu jest więc sumą pochylenia pnia i paralaksy w ich odpowiednich kierunkach powiększoną o sumę zredukowanych promieni podstawy pnia i jego przełomu. Obliczenia powyższe są przybliżone z powodu braku danych opisujących profil terenu.

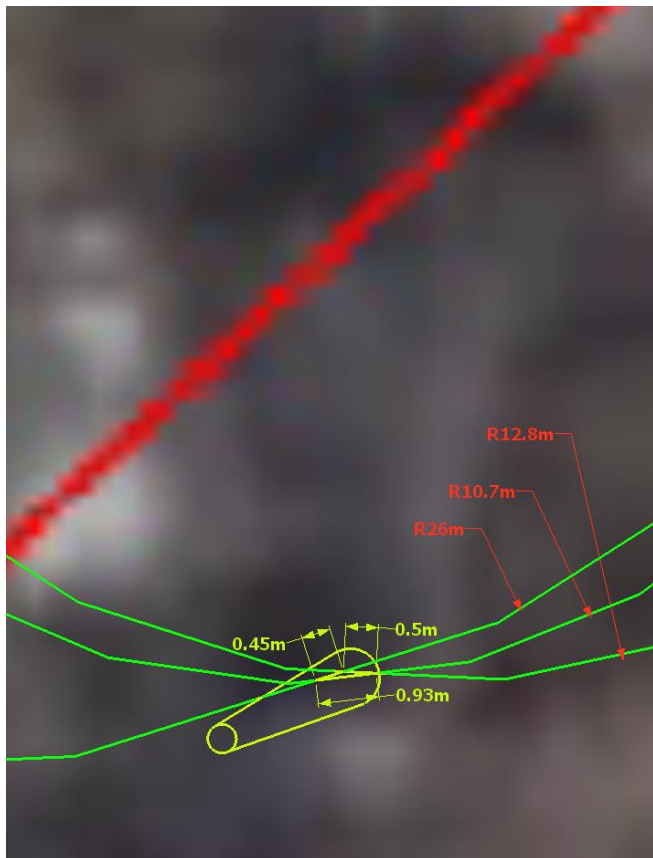


Rys. 29. Alternatywne lokalizacje kikuta brzozy wg autora na podstawie (od góry do dołu): a) przedstawionych badań; b) pomiarów anonimowego zespołu; i c) raportu prof. Czachora i analizy obiektowej zawartych w tym raporcie danych.

Z punktu widzenia obiektowej identyfikacji zakładam tutaj, że raport prof. Czachora identyfikuje poprawnie przełom kikuta brzozy (a nie podstawę pnia) i w związku z tym zawiera błąd tylko w identyfikacji podstawy pnia. Wynik takiego podejścia jest zilustrowany na Rys. 29 z niedużym przesunięciem modelu kikuta tak, aby wpaść w białą plamę uznaną przez prof. Czachora za przełom brzozy i podstawę pnia w brunatną plamę. Ma to zapewnić również zgodność z odległościami pomierzonymi przez drugi zespół. Alternatywnym podejściem jest założenie, że ustalenie lokalizacji pnia brzozy prof. Czachora jest poprawne, a błąd jest w lokalizacji przełomu drzewa, co ilustruje Rys. 32.

Model powyższy może wymagać przedłużenia wysokości kikuta drzewa zależnie od kierunku wykonywania zdjęcia i profilu terenu. Ponieważ pień brzozy Bodina jest na wzniesieniu, więc jeśli jego rzut jest w kierunku depresji, to

jego efektywna wysokość musi być przedłożona o różnicę poziomów pomiędzy podstawą a miejscem rzutu przełomu. Ponieważ nie mam danych dotyczących szczegółowego profilu terenu z tego miejsca, więc tutaj ignoruję ten parametr.



Rys. 30. Lokalizacja pnia brzozy Bodina wg autora na podstawie pomiarów anonimowego zespołu z zaznaczeniem wartości rozrzutu odchyłań pomiarowych.

Dane pomierzone przez drugi zespół wskazują na podobną lokalizację do tej, którą wcześniej rozważałem jako hipotetyczną możliwość dla rejonu wschodniego brokuła. Rys. 32 pokazuje umiejscowienie tego samego modelu kikuta brzozy co powyżej, dopasowanego do koordynat pomierzonych przez drugi zespół. W tym przypadku dopasowanie obiektowe jest również akceptowalne i na dodatek od podstawy pnia na północ jest ciemna smuga, która może być cieniem kikuta. W takim przypadku biała plama diagnozowana przez prof. Czachora jako przełom brzozy, byłaby prawdopodobnie jakimś przedmiotami określanymi ogólnie jako śmieci na działce Bodina, które licznie występowały wokół tej brzozy. Generalnie biorąc rozróżnienie różnych przypadkowych obiektów na zdjęciach satelitarnych jest praktycznie niemożliwe bez dodatkowych specyficznych danych. Najistotniejszym w czasoprzestrzennych analizach zdjęć satelitarnych jest odnalezienie spójności w interpretacji obrazów tego samego miejsca w różnych okresach czasowych.

Reasumując powyższe analizy, można stwierdzić że pomiary obu zespołów sugerują podobne lokalizacje z tylko kilkometrowymi różnicami. Rozrzut odchyłań pomiaru drugiego zespołu wprawdzie jest tylko ok. 0,3 m (Rys. 30) co jest raczej nierealistyczne, ale z powodu małej ilości pomiarów i niewielkich odległości mierzenia można założyć, że jest to zwykły przypadek i że realistycznie pomiary obu zespołów są mniej więcej tej samej

dokładności (chyba że budynek Bodina został przesunięty po roku 2010).

Na podstawie tych nowych pomiarów wydaje się że wcześniejsze przypuszczenia, że na zdjęciu z 5-go kwietnia 2010 można było zobaczyć soki przełomu brzozy, były raczej chybione. W związku z powyższym z punktu widzenia fizjologii drzew i właściwości drewna, ten suchy przełom brzozy Bodina udokumentowany na wielu zdjęciach naziemnych wydaje się być rezultatem jeszcze wcześniejszego złamania, niż czas poprzednio szacowany na kilka tygodni przed katastrofą. Analogiczny wniosek był postulowany wcześniej przez internautę doradcaR305 na podstawie braku rozwoju kwiatostanów brzozowych, ocenianego ze zdjęć komisji rządowych, a znajdujących się w Internecie. W związku z powyższym wydaje się możliwe, że jak sugeruje doradcaR305, złamanie tej brzozy mogło rzeczywiście nastąpić parę miesięcy wcześniej, choć prawdopodobnie po 26 stycznia 2010, co by lepiej wyjaśniało zarówno brak jakichkolwiek soków jak i brak rozwoju kwiatostanów i listowia na złamanej części korony.

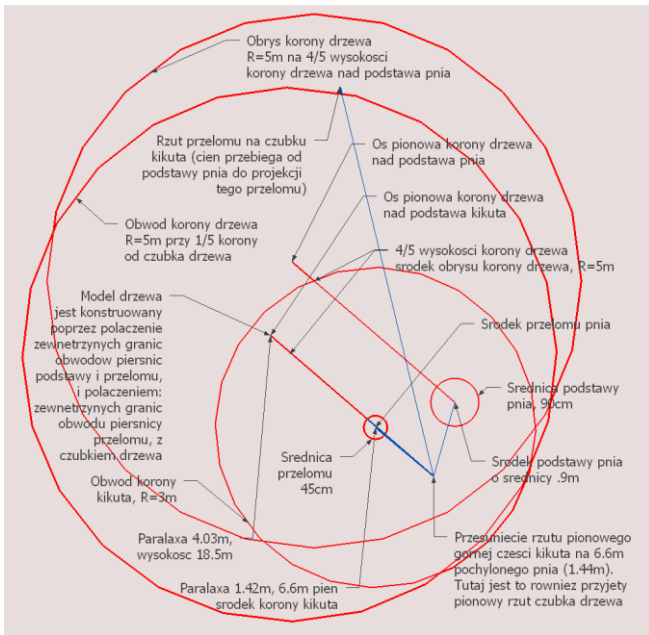
W następnym etapie rozważań dotyczących tych nowych pomiarów lokalizacji brzozy zakładam, że są one rzetelne i przechodzę do sprawdzenia wyglądu modeli brzozy złamanej i nie złamanej na zdjęciu satelitarnym z 5 kwietnia 2010 w miejscach, które wskazują te nowe dane. Do tego celu przyjmuję następujące parametry:

- kierunek i kąt pobierania zdjęcia w miejscu brzozy $310,8^\circ$ i $12,3^\circ$ (średni kąt dla całej klatki jest 10°);
- średnica podstawy 0,9 m, a przełomu 0,44 m;
- wysokość pionowa drzewa 18,5 m (za 3zet) i
- przechył i kierunek przechyłu dolnej części pnia (kikut) $1,44$ m i 196° ; nie zakładam dodatkowego przechyłu powyżej obecnego kikuta.

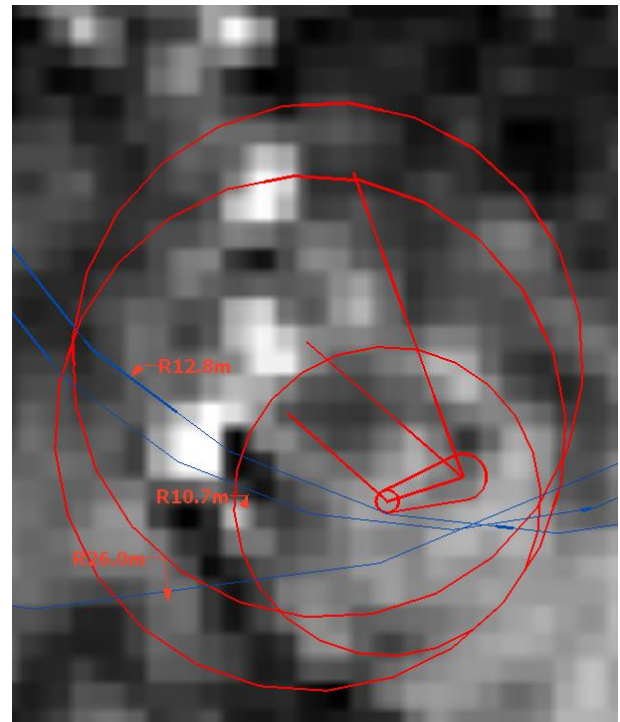
Zasady budowy modelu są takie same dla wszystkich zdjęć satelitarnych, ale różnią się one kątami odchyłań i długościami projekcji w zależności od parametrów indywidualnych zdjęć. Elementy składowe budowanego modelu dla zdjęcia z 5 kwietnia 2010 są zilustrowane na Rys. 31. Model wynikający z powyższych parametrów jest pokazany na Rys. 32. Model ten należy następnie umiejscowić tak, aby odpowiadał on założeniom pomiarów i charakterystyk obiektowych takich jak ciemny pień na ciemnych pikselach, a jasny przełom na jasnych pikselach. Ponadto powinny być uwzględnione obiektowe charakterystyki takie jak obecność cienia i możliwości interpretacji innych stowarzyszonych obiektów w zakresie umiejscowienia modelu.

W przypadku pomiarów drugiego zespołu wydaje się konieczne umiejscowienie modelu ok. metra od pomiaru (Rys. 33) po to, aby spełnić powyższe warunki charakterystyk obiektowych. Teoretycznie można rozważać, że gdyby brzoza nie była już złamana 5 kwietnia 2010, to prawdopodobnie pień drzewa nie byłby widoczny i mógłby być umiejscowiony na jasnych pikselach. W takim przypadku natomiast białe obiekty pod koroną nie złamanego drzewa również nie byłyby widoczne. Umiejscowienie obiektu na zdjęciu satelitarnym w promieniu jednego czy dwóch metrów od teoretycznego miejsca pomiaru może być uważane za dokładne, jako że przesunięcia pikseli, w szczególności w falistym terenie, mogą z łatwością przekraczać takie wartości.

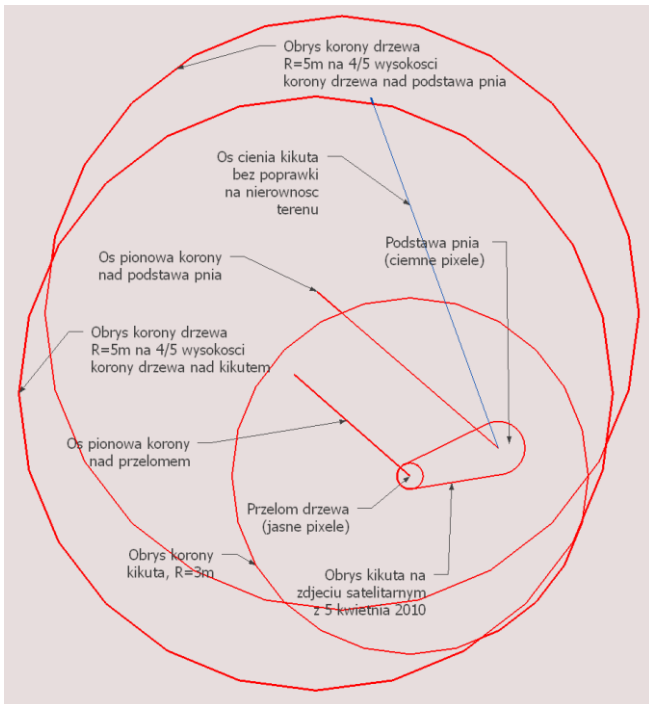
W przypadku danych zespołu prof. Czachora rozrzut możliwych lokalizacji jest nieco większy i w promieniu 1,5 m od centrum triangulacji nie ma żadnego miejsca, które



Rys. 31. Elementy budowy modelu wizerunku kikuta i drzewa na zdjęciu satelitarzym z 5 kwietnia 2010.



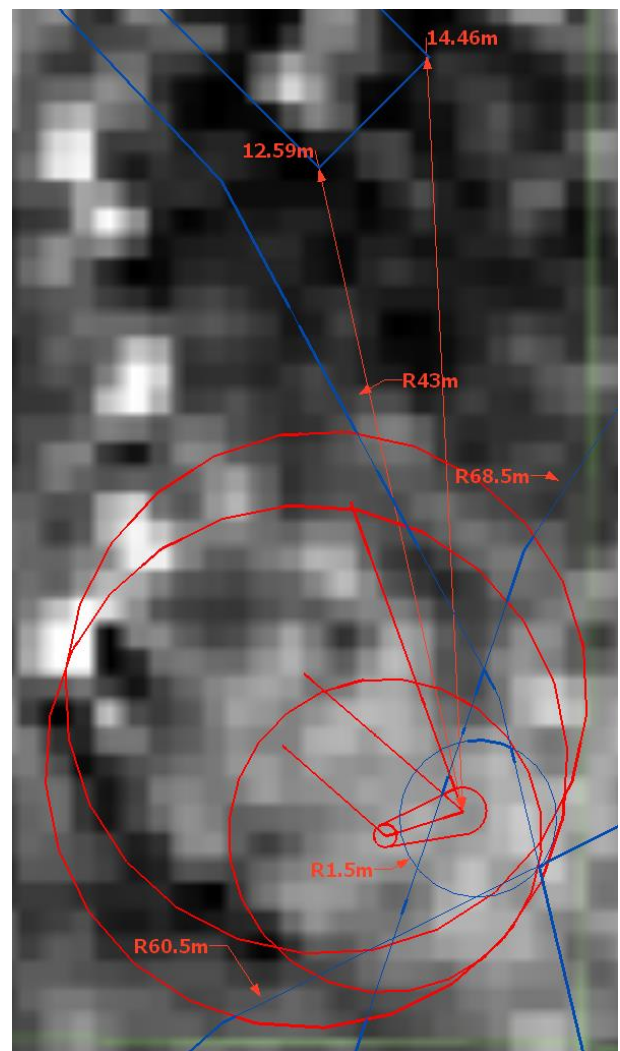
Rys. 33. Model brzozy Bodina dla zdjęcia satelitarznego z 5 kwietnia 2010 umiejscowiony według pomiarów anonimowego zespołu.



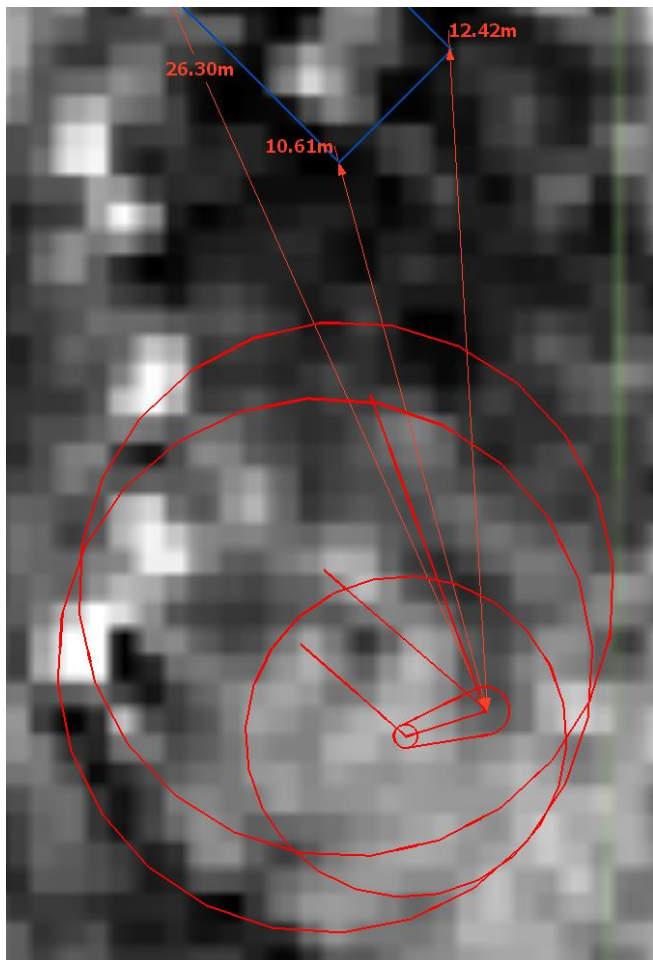
Rys. 32. Model kikuta brzozy i jego cienia, pionowej osi korony powyżej kikuta równej wysokości drzewa i korony drzewa, dla parametrów zdjęcia satelitarznego z 5 kwietnia 2010.

było by w akceptowalnej odległości od baraku Bodina i miało zlepek ciemnych pikseli charakteryzujących podstawę pnia drzewa. Jednakże nawet umiejscowienie modelu brzozy w tym dokładnie miejscu ilustruje fakt zasłaniania przez koronę drzewa różnych obiektów, które nie mogłyby być widziane pod nią i przynajmniej częściowo zasłaniałaby inne obiekty, które są widoczne na wszystkich zdjęciach z 5, 11 i 12 kwietnia jako stabilne białe plamy (prawdopodobnie śmiecie) i ciemne rzędy pikseli (prawdopodobnie plot) umiejscowione pod (lub częściowo pod) rzekomą koroną drzewa.

Powyższa ilustracja jest wystarczająca, aby wnioskować, że pełnej korony brzozy nie było już 5 kwietnia 2010, ale nie jest zadawalająca dla ustalenia lokalizacji pnia brzozy



Rys. 34. Model brzozy Bodina dla zdjęcia satelitarznego z 5 kwietnia 2010 umiejscowiony według pomiarów zespołu prof. Czachora.



Rys. 35. Model brzozy Bodina dla zdjęcia satelitarnego z 5 kwietnia 2010 umiejscowiony według pomiarów obu grup i dodatkowych analiz obiektowych.

wg pomiarów obydwóch zespołów bo brzoza jest za bardzo oddalona od budynku Bodina. W związku z tym, przyjmując założenie, że wszystkie pomiary terenowe są rzetelne i wskazują właściwą pozycję drzewa w tym rejonie, używam dodatkowych informacji, takich jak odległości od budynku Bodina mierzonych według tych samych danych na zdjęciu z 12 kwietnia, i analizy obiektowej najbliższej okolicy tych pomiarów i identyfikuję najbliższe akceptowalne położenie modelu które znajduje się ok. dwa metry na północ od ostatniej ustalonej lokalizacji. Relatywnie odnosząc pozycje drzewa do budynku Bodina jest to mniej więcej ta sama lokalizacja co na zdjęciu z 12 kwietnia (Rys. 35), która odznacza się ciemnym zgrupowaniem pikseli u podstawy drzewa, jasnym zgrupowaniem pikseli w okolicach przelomu drzewa jak i idącym w kierunku północnym rzędem jasnych pikseli i rzędowym ugrupowaniem ciemnych pikseli w kierunku północno-zachodnim w przybliżeniu pokrywającym się z kierunkiem cienia kikuta. Ta lokalizacja (Rys. 35) wydaje się z punktu widzenia wszystkich pomiarów terenowych i charakterystyk szukanego obiektu najbardziej prawdopodobna przy założeniu, że rozpatrywane pomiary terenowe są wiarygodne.

Przedstawiony na Rys. 35 model brzozy umiejscowiony został w lokalizacji, którą autor tych badań uważał za najbardziej prawdopodobną i która najbardziej pasowała zarówno do danych z pomiarów obu grup terenowych i do analiz obiektowych szukanego obiektu. Analizy obiektowe wymagały usatysfakcjonowania charakterystyk obiektowych

rzeczony brzozy i jej otoczenia, takich jak ciemne piksele u podstawy pnia i jasne piksele na wysokości 6 metrów. W tej lokalizacji uwzględnione zostały również pomiary dokonane na zdjęciu satelitarnym z 12 kwietnia 2010, które były opisane powyżej. Analiza obrazu oparta o tą lokalizację przedstawia najbardziej przekonującą ilustrację tego, że brzoza ta musiała być złamana już 5 kwietnia 2010, ponieważ widoczne obiekty nie mogły być widoczne pod nieuszkodzoną koroną stojącego drzewa.

Należy jednakże pamiętać, że ilustracja ta sama w sobie nie jest przyczyną, dla której teza o złamaniu tej brzozy przed 5 kwietnia 2010 została wysunięta, czy też podtrzymywana. Jak już wcześniej postulowałem, dowody na to że brzoza ta była złamana przed 10 kwietnia 2010, są zawarte w podstawach fizjologii drzew brzozowych i mechanice drewna, a przedstawione powyżej badania miały na celu tylko zbadanie, czy zdjęcia satelitarne z 5, 11, i 12, kwietnia mogą być użyte do potwierdzenia tej tezy, co zostało powyżej pozytywnie wykazane.

Oba zespoły na podstawie niezależnych pomiarów terenowych wskazały na dwie różne lokalizacje pnia brzozy, obie niezgodne z zarówno z raportami MAK i KBWLLP jak i z lokalizacją implikowaną przez wcześniejsze badania, niniejszego autora, które były oparte wyłącznie o analizy zdjęć. Lokalizacje wskazane przez obie grupy różnią się również od lokalizacji oszacowanej w niniejszych badaniach w oparciu o te same dane obu grup i analizę obiektową zdjęć satelitarnych.

Weryfikacja ta nie zmienia natomiast głównych wniosków poprzednich badań, które dotyczyły analiz potwierdzających złamanie brzozy przed 5 kwietnia 2010. Wniosek taki wynika z każdej rozpatrywanej tutaj lokalizacji brzozy włączając te oparte o rozważane tutaj pomiary terenowe i wynikające z nich lokalizacje postulowane przez zarówno prof. Czachora w jego raporcie opublikowanym przez Nasz Dziennik jak i powyżej przez autora niniejszych badań.

Literatura cytowana

- [1] CINAA (Committee for Investigation of National Aviation Accidents) KBWLLP. 2011. Final Report on the examination of the aviation accident no 192/2010/11 involving the Tu-154M airplane, tail number 101, which occurred on April 10th, 2010 in the area of the Smoleńsk North airfield. Warsaw (In English). Available online at: <http://mswia.datacenter-poland.pl/FinalReportTu-154M.pdf>. Last accessed on Feb. 12, 2013.
- [2] Interstate Aviation Committee (MAK). 2011a. Final Report on results of investigation of aviation accident involving the Tu-154B-2, tail number RA-85588, airport Surgut, on January 1, 2011. (In Russian).
- [3] Interstate Aviation Committee (MAK). 2011b. Final Report on the investigation of air accident of Tu154M registration number 101 of the Republic of Poland. Moscow, 2011. www.mak.ru/english/english.html.
- [4] KBWLLP (Komisja Badania Wypadków Lotniczych Lotnictwa Państwowego). 2011. Raport końcowy z badania zdarzenia lotniczego nr 192/2010/11 samolotu Tu-154M nr 101 zaistniałego dnia 10 kwietnia 2010 r. W rejonie lotniska Smoleńsk północny. Warszawa (po polsku). Available at: <http://mswia.datacenter-poland.pl/FinalReportTu-154M.pdf>.

- poland.pl/RaportKoncowyTu-154M.pdf. Last accessed on Feb. 22, 2014.
- [5] Binienda, W.K. 2011. Analysis of the Polish governmental plane crash in Smoleńsk, Russia, on April 10, 2010. University of Akron, last updated November 25, 2011, <http://www.ecgf.uakron.edu/civil/people/binienda/Parlament%20November%202011%20%20English.pdf>
- [6] Cieszewski, C., Lowe, R., Bettinger, P., & Kumar, A. (2013a). Micro-detail comparative forest site analysis using high-resolution satellite imagery. *Mathematical And Computational Forestry & Natural-Resource Sciences (MCFNS)*, 5(1), 16-37 (22). Retrieved from <http://mcfns.com/index.php/Journal/article/view/154>.
- [7] Cieszewski, C., Strub, M., Antony, F., Bettinger, P., Dahlen, J., & Lowe, R. (2013b). Wood quality assessment of tree trunk from the tree branch sample and auxiliary data based on NIR Spectroscopy and SilviScan. *Mathematical And Computational Forestry & Natural-Resource Sciences (MCFNS)*, 5(1), 86-111 (26). Retrieved from <http://mcfns.com/index.php/Journal/article/view/155>.
- [8] Czachor, M. 2012. *Crash tests on Douglas DC-7 and Lockheed Constellation versus Tu-154M Smoleńsk crash*. Presentation at the Smoleńsk Conference, Warsaw, 2012.
- [9] Gieras, J. (2013). Selected Technical Aspects of Tu-154M Smoleńsk Air Crash on April 10, 2010. *Mathematical And Computational Forestry & Natural-Resource Sciences (MCFNS)*, 5(1), 38-70 (32). Retrieved from <http://mcfns.com/index.php/Journal/article/view/147>.
- [10] Nowaczyk K. *Analiza zapisów urządzeń TAWS i FMS firmy Universal Avionics zainstalowanych w rządowym samolocie Tu-154M 101*, Konferencja Smoleńska 22.10.2012. Materiały Konferencyjne, Warszawa 2013.
- [11] Zhang, C., Binienda, W., Horvat, F., & Wang, W. (2013). Application of Numerical Methods for Crashworthiness Investigation of a Large Aircraft Wing Impact with a Tree. *Mathematical And Computational Forestry & Natural-Resource Sciences (MCFNS)*, 5(1), 71-85 (14). Retrieved from <http://mcfns.com/index.php/Journal/article/view/153>.
- [12] Cieszewski, C. *Micro-detail comparative forest site analysis using high-resolution satellite imagery*. Prezentacja przedstawiona po angielsku na I Konferencji Smoleńskiej on Oct. 21, 2012, w Warszawie, Poland. Available online at: <http://www.konferencja.home.pl/przebieg/10.mp4>.
- [13] Cieszewski, Lowe, R., Kumar, A., & Bettinger, P. *Spatiotemporal analysis of high-resolution satellite imagery*. Prezentacja przedstawiona po angielsku i po polsku na II Konferencji Smoleńskiej on Oct. 22-23, 2013, w Warszawie, Poland. Available online at: <http://www.konferencja.home.pl/przebieg2/14.flv>.
- [14] Daliakopoulos, IN, Grillakis, EG, Koutroulis, AG, Tsanis, IK. 2009. Tree crown detection on multispectral VHR satellite imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 75(10):1201-1211.
- [15] Demirel, H, Anbarjafari, G. 2010. Satellite image resolution enhancement using complex wavelet transform. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. 7(1):123-126.
- [16] Demirel, H, Anbarjafari, G. 2011. Discrete wavelet transform-based satellite image resolution enhancement. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 49(6):1997-2004.
- [17] Hu, MG, Wang, JF, Ge, Y. 2009. Super-resolution reconstruction of remote sensing images using multifractal analysis. *Sensors*. 9(11): 8669-8683.
- [18] Iqbal, MZ, Ghafoor, A, Siddiqui, AM. 2013. Satellite image resolution enhancement using dual-tree complex wavelet transform and nonlocal means. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. 10(3): 451-455.
- [19] Moller, M, Wittman, T, Bertozzi, AL, Burger, M. 2012. A variational approach for sharpening high dimensional images. *Siam Journal on Imaging Sciences*. 5(1): 150-178.
- [20] Cieszewski, C. Assessment of wood properties for the birch samples from Poland, USA, and Smoleńsk using NIR spectroscopy and SilviScan. Prezentacja przedstawiona po angielsku na I Konferencji Smoleńskiej on Oct. 21, 2012, w Warszawie, Poland. Available online at: <http://www.konferencja.home.pl/przebieg/10.mp4>.
- [21] 3zet.minus.com/mv10mVieTXvx8
- [22] F. Clausnitzer, B. Koestner, K. Schwaerzel and C. Bernhofer. 2011. Relationships between canopy transpiration, atmospheric conditions and soil water availability-Analyses of long-term sap-flow measurements in an old Norway spruce forest at the Ore Mountains/Germany. *Agricultural and Forest Meteorology*. 151(8):1023-1034.
- [23] N. A. Galibina, L. L. Novitskaya and I. N. Sofronova. 2012. Dynamics of sugars in trunk tissues of betula pendula (betulaceae) during the breaking of dormancy. *Rastitel'nye Resursy*. 48(4):554-564.
- [24] L. Luczaj, M. Bilek and K. Stawarczyk. 2014. Sugar content in the sap of birches, hornbeams and maples in southeastern Poland. *Central European Journal of Biology*. 9(4):410-416.
- [25] E. Ounapuu and A. Sellin. 2013. Daily dynamics of leaf and soil-to-branch hydraulic conductance in silver birch (Betula pendula) measured in situ. *Plant Physiology and Biochemistry*. 68:104-110.
- [26] A. Sellin, A. Tullus, A. Niglas, E. Ounapuu, A. Karusion and K. Lohmus. 2013. Humidity-driven changes in growth rate, photosynthetic capacity, hydraulic properties and other functional traits in silver birch (Betula pendula). *Ecological Research*. 28(3):523-535.
- [27] A. Yamamoto, A. Rohumaa, E. Kontturi, M. Hughes, P. Saranpaa, M. Andberg and T. Vuorinen. 2013. Colorimetric Behavior and Seasonal Characteristic of Xylem Sap Obtained by Mechanical Compression from Silver Birch (Betula pendula). *Acs Sustainable Chemistry & Engineering*. 1(9):1075-1082.
- [28] Cieszewski, C., Jordan, T.R., Madden, M., Lowe, R., Kumar, A., & Bettinger, P. (2013c). Spatiotemporal analysis of high-resolution satellite imagery. Prezentacja przedstawiona po angielsku na 2nd IUFRO International Conference on Complex Forest ecosystems & the 2013 Southern Mensurationists Meeting on Oct. 7-9, 2013, in New Orleans, LA, USA. Available online at

- https://podcasting.usg.edu/4dcgi/podcasting/episode.html?episode_str=7311396.
- [29] Yeatts, D. (2012). Tree Shape and Branch Structure: Mathematical Models. *Mathematical And Computational Forestry & Natural-Resource Sciences (MCFNS)*, 4(1), Pages: 2-15 (14). Retrieved from http://mcfns.com/index.php/Journal/article/view/MCFN_S.4%3A2.
- [30] Sabor J. 2009. Genetic verification of forest reproductive material examples of implementation. *EJPAU* 12(4), #25. Available Online: at <http://www.ejpau.media.pl/volume12/issue4/art-25.html>
- [31] Obserwacje na temat: kwiatostanów brzozy (<http://blogdoradcy.salon24.pl/550572.co-widac-na-zdjeciach-dr-laska-cz-1-kwiatostany>), widocznego zmurszenia na przełomie brzozy, niewspółmiernego z innymi częściami samolotu zardzewienia szczątek metalu wbitych w brzozę, i trocin z piły motorowej posypanych na części skrzydła, są bardzo trafne.
- [32] F. Clausnitzer, B. Koestner, K. Schwaerzel and C. Bernhofer. 2011. Relationships between canopy transpiration, atmospheric conditions and soil water availability-Analyses of long-term sap-flow measurements in an old Norway spruce forest at the Ore Mountains/Germany. *Agricultural and Forest Meteorology*. 151(8):1023-1034.
- [33] N. A. Galibina, L. L. Novitskaya and I. N. Sofronova. 2012. Dynamics of sugars in trunk tissues of betula pendula (betulaceae) during the breaking of dormancy. *Rastitel'nye Resursy*. 48(4):554-564.
- [34] L. Luczaj, M. Bilek and K. Stawarczyk. 2014. Sugar content in the sap of birches, hornbeams and maples in southeastern Poland. *Central European Journal of Biology*. 9(4):410-416.
- [35] E. Ounapuu and A. Sellin. 2013. Daily dynamics of leaf and soil-to-branch hydraulic conductance in silver birch (*Betula pendula*) measured in situ. *Plant Physiology and Biochemistry*. 68:104-110.
- [36] A. Sellin, A. Tullus, A. Niglas, E. Ounapuu, A. Karusion and K. Lohmus. 2013. Humidity-driven changes in growth rate, photosynthetic capacity, hydraulic properties and other functional traits in silver birch (*Betula pendula*). *Ecological Research*. 28(3):523-535.
- [37] A. Yamamoto, A. Rohumaa, E. Kontturi, M. Hughes, P. Saranpaa, M. Andberg and T. Vuorinen. 2013. Colorimetric Behavior and Seasonal Characteristic of Xylem Sap Obtained by Mechanical Compression from Silver Birch (*Betula pendula*). *Acs Sustainable Chemistry & Engineering*. 1(9):1075-1082.
- [38] <http://www.smolgazeta.ru>
- [39] <http://www.smolgazeta.ru/urgent/3178-po-pogibshim-polyakam-plachut-smolenskie-beryozy.html>).
- [40] http://www.smolgazeta.ru/uploads/posts/2010-04/1271428092_dsc03211.jpg
- [41] <http://www.tourblogger.ru/blog/berezovoe-obozrenie.html>
- [42] <http://oi60.tinypic.com/2iqeljl.jpg>.
- [43] <http://3zet.salon24.pl/573823.smolenskie-zdjecia-brzozowy-eksperyment-2014>.
- [44] <http://geoal.salon24.pl/577896.rowerem-do-smolenska>
- [45] <http://3zet.salon24.pl/576864.smolenskie-zdjecia-czy-lataja-w-polsce-drony> i <http://3zet.salon24.pl/573823.smolenskie-zdjecia-brzozowy-eksperyment-2014>.
- [46] <http://i5.minus.com/jv0TuCWmC5FD0.jpg>
- [47] <http://i1.minus.com/iIa3bnd0KqEQ2.jpg>.
- [48] <http://blogdoradcy.salon24.pl/550572.co-widac-na-zdjeciach-dr-laska-cz-1-kwiatostany>),
- [49] <http://3zet.salon24.pl/576864.smolenskie-zdjecia-czy-lataja-w-polsce-drony>
- [50] <http://i7.minus.com/iJiEUuqWDDsfH.jpg>.
- [51] <http://naszdzienik.pl/uploads/raport-cieszewski-smolensk.pdf>,
- [52] <http://3zet.salon24.pl/573837.smolenskie-zdjecia-jak-fordp-obalil-opinie-sww-a-sww-brzoze>.