

**ANALIZA UBYTKU DRZEWOSTANÓW Z WYKORZYSTANIEM
LOTNICZYCH DANYCH FOTOGRAMETRYCZNYCH DLA
WARSZAWSKIEJ DZIELNICY WILANÓW**

**ANALYSIS OF TREE STAND LOSS BASED ON PHOTOGRAMMETRIC
DATA FOR THE WILANÓW DISTRICT IN WARSAW**

Mariusz Urbański, Krzysztof Bakula

Zakład Fotogrametrii, Teledetekcji i Systemów Informacji Przestrzennej,
Wydział Geodezji i Kartografii, Politechnika Warszawska

SŁOWA KLUCZOWE: zdjęcia cyfrowe, wskaźniki roślinności, ALS, NMT, analiza zmian, drzewostany

STRESZCZENIE: Niniejsza publikacja przedstawia analizę zmian drzewostanów dla obszaru warszawskiej dzielnicy Wilanów, opracowaną na podstawie danych fotogrametrycznych. Wykorzystując różne technologie fotogrametryczne: dopasowanie obrazów cyfrowych i archiwalne lotnicze skanowanie laserowe dokonano wieloczasowej analizy zmian, która pozwoliła na otrzymanie informacji o zasięgu i występowaniu drzew w dwóch badanych okresach. Nadrzędnym problemem postawionym w badaniu było uzyskanie odpowiedzi na pytanie, jak duże zmiany w zasięgu i wysokościach drzewostanów zaszły na przestrzeni lat 2012 - 2017 oraz gdzie nie występują drzewa w 2017 roku. Wytworzone numeryczne modele pokrycia terenu zostały wykorzystane do analizy zmian występowania drzewostanów dla obszaru całej dzielnicy, w tym do detekcji miejsc ubytku koron drzew. Przeprowadzona analiza zmian wykazała ubytek biomasy dla 18.2% pojedynczych drzew, w tym, zniknięcie 11.7% drzew oraz zmniejszenie wysokości (zapewne poprzez przycięcie) dla 6.5%.

1. WPROWADZENIE

Powszechnie coraz częściej duże miasta decydują się na tworzenie systemów monitoringu zieleni miejskiej (Isa *et al.*, 2010), które wspomagają administrację publiczną w podejmowaniu właściwych decyzji dotyczących utrzymania, pielęgnowania, a także przeznaczania wybranych drzewostanów do wycinki. Powyższe działania należy uznać za ważny kierunek w celu zapewnienia bieżącej informacji o stanie i zmianach w zieleni miejskiej. Ów system pozwala na lepsze gospodarowanie zielenią oraz wycinkę spróchniałych i chorych drzewostanów, co przyczynia się do poprawy bezpieczeństwa mieszkańców, a także chroni ich dobra i mienie. Szczególną uwagę należy zwrócić na fakt,

że wraz ze zwiększoną częstotliwością pojawiania się nawałnic i gwałtownych zjawisk atmosferycznych w Polsce, ważne jest monitorowanie stanu roślinności wysokiej, co pozwala na podejmowanie działań prewencyjnych w tym obszarze (ProGea 4D, 2016).

Kolejną zaletą detekcji roślinności jest możliwość określania zmian ilości biomasy, obejmującej monitorowanie ubytków, wykrywanie nowo posadzonych drzew czy wskazywanie drzewostanów do wycinki. Ostatni przypadek jest szczególnie istotnym aspektem w kontekście ciągle zmieniających się przepisów prawnych, regulujących możliwość wycinki drzew na terenach prywatnych posesji (Kasprzak, 2017). Zmiany przepisów prawa na przełomie roku 2016 i 2017 były dodatkową motywacją podjęcia tego rodzaju badań. Niekontrolowana wycinka, która miała miejsce po 1 stycznia 2017 roku przyczyniła się w niektórych miejscach do wyrębu drzew na szeroką skalę. W swojej analizie nie skupiono się jednak na wycince drzew spowodowanych wejściem w życie zmian w ustawie o ochronie przyrody (ISAP, Dz.U. poz. 2249, 2016), które zniosły wymóg występowania o zgodę na wyręb. Eksperymentowi zostaje poddany okres pięciu lat, co związane jest z dostępnością danych, które można wykorzystywać do detekcji i analiz roślinności.

Obszar objęty opracowaniem to warszawska dzielnica Wilanów, która położona jest w południowej części miasta. Wschodnia granica obszaru pokrywa się z brzegiem rzeki Wisły, natomiast południowa granica Wilanowa to jednocześnie granica Warszawy. Powierzchnia dzielnicy zajmuje blisko 36.7 km² i w praktyce obszar ten został pokryty przez 224 zdjęcia lotnicze oraz 165 plików chmur punktów ALS (ang. *airborne laser scanning*).

Dzielnica ma zróżnicowaną strukturę przestrzenną. Wynika to z faktu, że jest jedną z najszybciej rozwijających się dzielnic Warszawy. Północno-zachodnia część Wilanowa, to obszar bardzo mocno zurbanizowany - dominuje tam wielokondygnacyjna zabudowa mieszkaniowa, biurowa i usługowa. Dobrze rozwinięta jest również sieć komunikacyjna. Im dalej na południe i wschód dzielnicy, tym bardziej krajobraz jest urozmaicony. Zabudowa miejska stopniowo ustępuje zwartej zabudowie jednorodzinnej. W południowych sołectwach dzielnicy występuje już rozproszona zabudowa, pola uprawne oraz łąki – krajobraz stopniowo zmienia się w obszar rolniczy. Na południowym zachodzie zarysowuje się fragment obszaru leśnego, natomiast na północ od centralnej części dzielnicy położony jest zespół parkowo-pałacowy, w którym mieści się Muzeum Pałacu Króla Jana III Sobieskiego w Wilanowie. Rezydencja jest jednym z najcenniejszych zabytków polskiej architektury narodowej. Ważną część zespołu parkowo-pałacowego stanowi rozległy na 45 ha ogród, dla którego przeprowadzono szczegółową inwentaryzację taksonometryczną (Markiewicz *et al.*, 2014). Wymienione obszary stanowią największe skupiska roślinności drzewiastej na terenie dzielnicy. Ponadto, występuje tutaj szereg dużo mniejszych skupisk drzew iglastych i liściastych. Jeszcze liczniejszą grupę stanowią pojedyncze drzewa przydrożne, a także te, które rosną na prywatnych posesjach. W części eksperymentalnej to właśnie wśród takich grup drzewostanów nastąpiły największe zmiany.

2. METODYKA OPRACOWANIA DANYCH

Obszar objęty opracowaniem nie został dobrany losowo. Głównym z czynników decydującym o wyborze Wilanowa jako obszaru testowego była dostępność danych źródłowych i ich aktualność na rok 2017, jak również przez wzgląd na dynamiczny rozwój dzielnicy istniało podejrzenie, że występujące zmiany w drzewostanach mogą być bardzo

duże. W eksperymencie dokonano analizy zmian drzewostanów dla lat 2012-2017, toteż posiadanie danych z roku 2017 było warunkiem koniecznym. W części eksperymentalnej wykorzystano dwa różne rodzaje danych:

- dla roku 2012 pozyskano 165 plików chmur punktów lotniczego skanowania laserowego przetworzonych następnie do numerycznego modelu pokrycia terenu (NMPT). Chmury punktów odpowiadają standardowi drugiemu, o gęstość chmury na poziomie 12 pkt/m²,
- dla roku 2017 pozyskano 224 cyfrowe zdjęcia lotnicze, z których wygenerowano chmury punktów, a później NMPT. Zdjęcia cechują się terenowym rozmiarem piksela (GSD) na poziomie 8 cm.

Oba źródła danych, wykorzystanych w części eksperymentalnej różnią się przede wszystkim dokładnością – zarówno sytuacyjną jak i wysokościową. Chmura punktów pozyskana ze zdjęć lotniczych ma dokładność sytuacyjną na poziomie 1.5 rozmiaru piksela zdjęcia, czyli w tym przypadku ok. 12 cm. Z kolei dokładność wysokościowa dla zdjęć kształtuje się na poziomie 0.10-0.15‰ wysokości lotu samolotu, a zatem przy średnim locie na wysokości ok. 1500-1600 m dokładność określenia wysokości będzie się wahać w granicach 15-25 cm (Kurczyński, 2014). Dane ALS standardu II w projekcie ISOK charakteryzują się dokładnością sytuacyjną poniżej 40 cm, a wysokościową poniżej 10 cm (Kurczyński i Bakula, 2013).

Inną cechą różniącą oba źródła danych jest możliwość pozyskiwania informacji o roślinności. Chmura punktów ALS poddana klasyfikacji daje informacje o roślinności niskiej, średniej i wysokiej. Do tej ostatniej zalicza się drzewostany i wysokie krzewy, które osiągają wysokość powyżej 2 m. Inaczej wygląda sytuacja w przypadku pozyskiwania informacji o zasięgu i występowaniu drzew na zdjęciach lotniczych. W przypadku tych danych, drzewa są odfotografowane na zdjęciach prawie pionowych, stąd występują radialne przesunięcia koron drzew na zdjęciu, w stosunku do ich rzeczywistego położenia w terenie. Ponadto, pozyskanie informacji o zasięgu drzewostanów na zdjęciach odbywa się dzięki wygenerowaniu produktów pochodnych. Po wykonaniu aerotriangulacji dzięki dopasowaniu obrazów została wygenerowana gęsta chmura punktów, która zawiera informację o wszystkich charakterystycznych punktach na obrazowanej powierzchni terenu i jego pokryciu – załamania, krawędzie, charakterystyczne punkty tekstury obiektów, itd. Tutaj pojawić się może kolejny problem, który związany jest z brakiem możliwości znalezienia odpowiadających sobie punktów w obu chmurach (dotyczy to szczególnie braku zapisu krawędzi w chmurach, jak również powtarzalności odtworzenia koron drzew w danych z dwóch terminów). Skutkiem tego na opracowanych produktach pochodnych pojawiają się niewielkie przesunięcia dla obu zbiorów danych, które w przypadku realizacji niniejszego badania nie wpływają negatywnie na ostatecznie uzyskany rezultat. W praktyce stosuje się metody ścisłego dopasowania chmur punktów, które bazują na bezpośrednim pomiarze punktów homologicznych na obu zbiorach danych i wygenerowaniu tzw. wirtualnych powierzchni dopasowania. Ponieważ wpływ przesunięć przestrzennych na pozyskanie informacji o zasięgu drzewostanów był znikomy, a także z uwagi na fakt dużego rozmiaru opracowywanych danych (Kurczyński, 2014), pominięto etap wzajemnego dopasowania chmur w niniejszym opracowaniu.

Zgromadzone barwne zdjęcia poddano automatycznemu dopasowaniu obrazów, wykorzystując algorytmy FBM (*Feature Based Matching*) i ABM (*Area Based Matching*) (Mikrut *et al.*, 2007). W efekcie pozyskano gęstą chmurę punktów, która w finalnym rezultacie miała przypisane wartości tonalne RGB (Kurczyński, 2006). Następnie dokonano wygenerowania szeregu produktów pochodnych, zarówno z samych zdjęć lotniczych, jak i z chmur punktów: z ALS oraz uprzednio pozyskanej chmury ze zdjęć. Z powyższych danych wygenerowano (Kraus i Pfeifer, 2001) numeryczne modele terenu, numeryczne modele pokrycia terenu, natomiast zdjęcia posłużyły do wytworzenia ortobrazów oraz ortofotomapy, powstałych w wyniku ortorektyfikacji na numeryczny model pokrycia terenu celem uniknięcia przesunięć radialnych dla obiektów wystających powyżej NMT (Paszota *et al.*, 2012). Po wygenerowaniu znormalizowanych numerycznych modeli pokrycia terenu (zNMPT) dla danych z 2012 i 2017 roku wykonano różnicę tych rastrow, otrzymując raster obrazujący zmiany, jakie zaszły na badanym obszarze w latach 2012-2017.

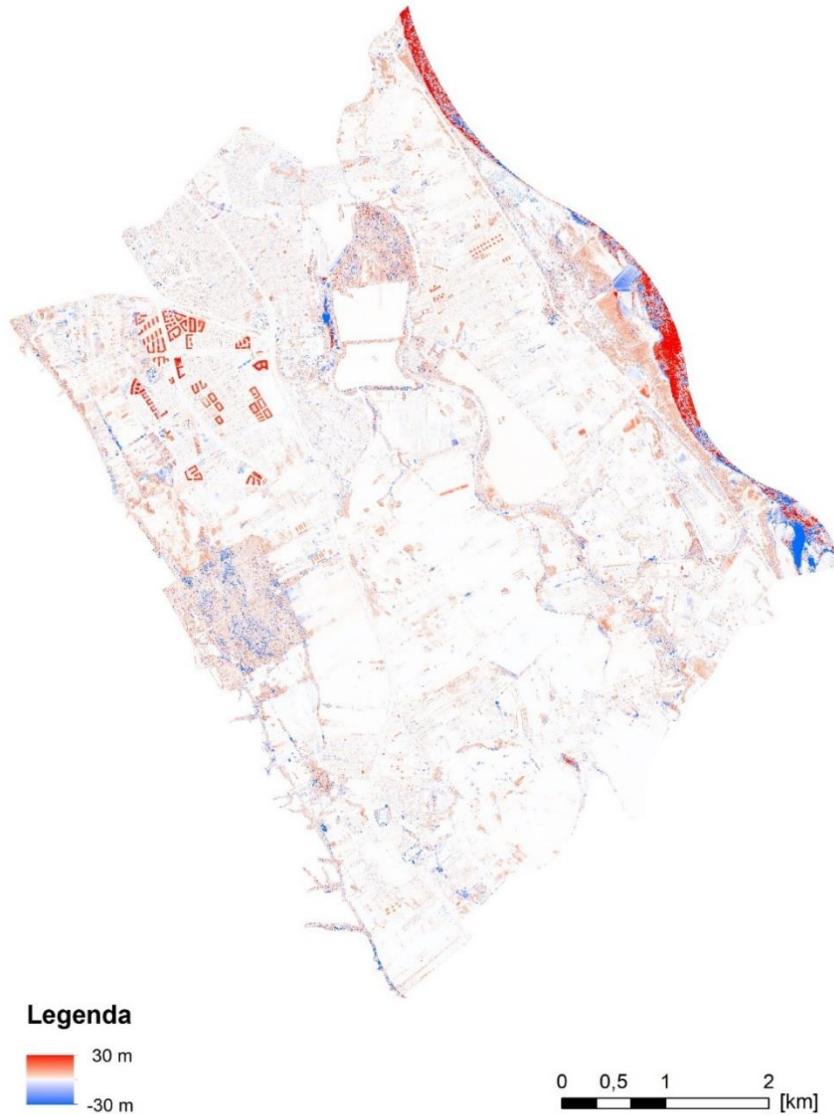
Ostatni etap prac obejmował analizę wytworzonych opracowań oraz ich ocenę pod kątem dokładności i poprawności. Analizy skupiały się na ocenie ilościowej zmiany w drzewostanach dla dzielnicy Wilanów. W ramach badania określono zasięgi występowania roślin w 2017 roku, a także wskazano obszary, w których zaszły największe zmiany w pokryciu terenu roślinnością wysoką. Analizy oraz niezbędne obliczenia zostały przeprowadzone w programie ArcGIS. Opracowania zwizualizowane zostały również za pomocą przezroczystych różnic numerycznych modeli wysokościowych na tle modeli cieniowanych pokrycia terenu.

Metodyka określenia detekcji bazuje zatem na dwóch zestawach danych wysokościowych, z których obydwie posłużyły do stworzenia numerycznego modelu pokrycia terenu i dalej jego wieloczasowych zmian. Określenie przyrostu lub ubytku drzewostanów określono na podstawie obszarów klasy roślinności wysokiej będącej wynikiem klasyfikacji chmury punktów ALS (Kwoczyńska, 2011). Jest to uproszczone podejście nie analizujące wskaźników roślinności, które często pojawiają się w łączonej analizie roślinności w terenie miejskim. W celu określenia miejsc położenia roślinności ma wtedy zazwyczaj zastosowanie znormalizowany różnicowy wskaźnik roślinności NDVI (Tompalski, 2012, Kubalska i Preuss, 2014). Uproszczenie tego podejścia wynika z tendencji, w której obrazy z zakresu bliskiej podczerwieni nie są pozyskiwane w ramach zamówień publicznych. W sytuacji takiej podejście z wiarygodnymi wskaźnikami roślinności jest bowiem utrudnione.

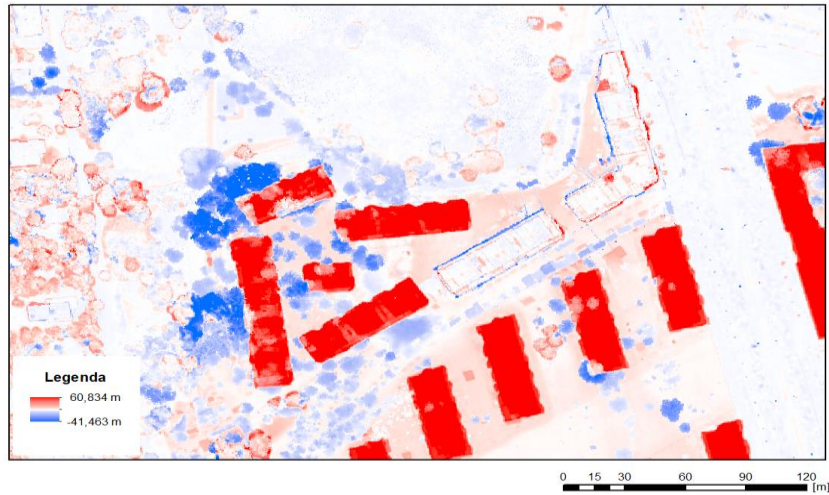
3. ANALIZA ZMIAN DRZEWOSTANÓW

Dysponując dwoma niezależnym modelami pokrycia terenu można było przystąpić do kolejnego kroku, w którym dokonano różnicy między zNMPT dla roku 2017 a zNMPT dla roku 2012. W efekcie powstał raster różnicowy zNMPT, na którym zostały uwidocznione zmiany w wysokościach obiektów dla całego obszaru Wilanowa. Pełny obraz różnic zNMPT zaprezentowano na rys. 1. Z kolei fragment tego opracowania zaprezentowano na rys. 2. Kolorem czerwonym oznaczono obiekty, których różnice wysokości są większe od 0, a zatem są to obszary, na których drzewa nadal występują w pokryciu terenu. Bardziej czerwone obszary wskazują na miejsca, w których nastąpił większy przyrost wysokości obiektów, w tym koron drzew. W miejscach, w których na zNMPT dla roku 2017 nie występowały już drzewa, bardzo dobrze widoczny jest ubytek, oznaczony kolorem niebieskim. Dotyczy

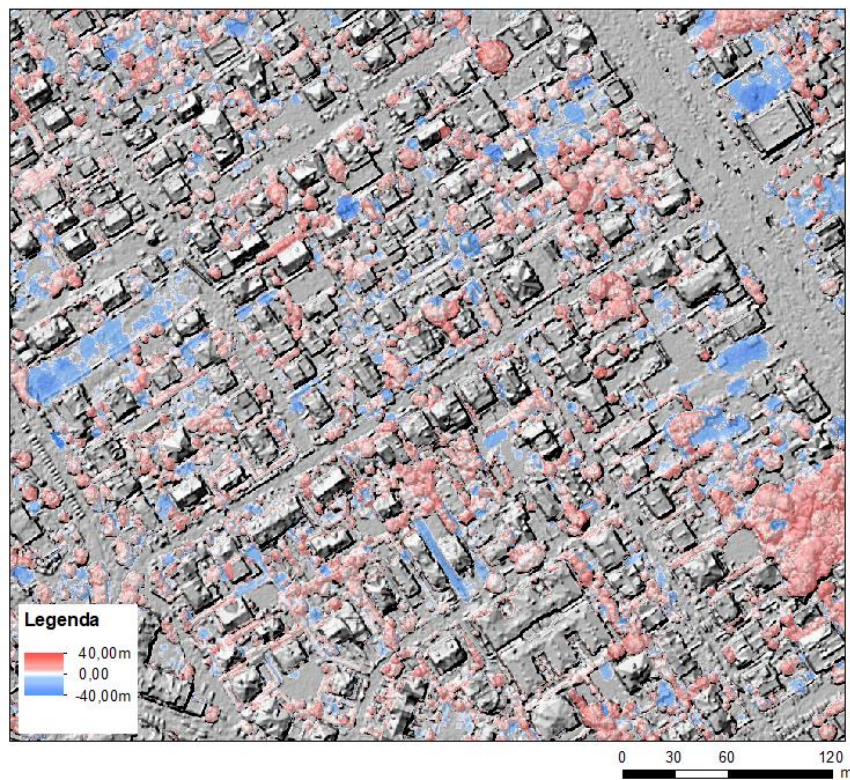
to zarówno pojedynczych koron, jak i zwartych kompleksów drzew. Należy również zwrócić uwagę na problem, jaki pojawia się z obszarami pokrytymi wodą. Mają one zafalszowane różnorodne wysokości, co jest typowe dla takich obszarów na rastrach wygenerowanych z chmur punktów z dopasowania obrazów. Z kolei na rys. 3 zaprezentowano obraz różnic drzewostanów na tle modelu cieniowanego NMPT z 2017 roku w obszarze maski roślinności wysokiej.



Rys. 1. Raster różnicowy zNMPT dla okresu 2012-2017



Rys. 2. Fragment rastra różnicowego zNMPT dla okresu 2012-2017



Rys. 3. Obraz maski roślinności wysokiej w barwach modelu różnicowego zNMPT na tle modelu cieniowanego NMPT 2017

3.1. Walidacja metody

Bazując na otrzymanym modelu różnicowym zNMPT, w wyniku kolejnych przetworzeń, dokonano ekstrakcji maski ubytku drzewostanów. W tym celu model różnicowy ograniczono do zasięgu drzewostanów z 2012 roku, a następnie wyekstrahowano te miejsca, które przyjmowały wysokości na poziomie -2m, co odpowiadało drzewom wysokim, zgodnie z wcześniej przyjętymi założeniami. Pozyskaną maskę ubytków poddano walidacji dla dwóch kategorii wysokiej roślinności: pojedynczych drzew i zwartych kompleksów leśnych. Sprawdzenia dokonano porównując uzyskaną maskę ubytku z ortofotomapą oraz zNMPT.

W pierwszym podejściu sprawdzono, czy maska ubytku pokrywa się z odnotowanymi różnicami dla 100 pojedynczych koron drzew, które wybrano na obszarze całej dzielnicy w sposób losowy. Na 100 losowych drzew ubytek stwierdzono dla 93 koron, co stanowi 93% skuteczności metody dla pojedynczych drzew. Drugi sposób sprawdzenia dotyczył zwartych drzewostanów na obszarze 10 000 m². Badano, ile procent drzew pokrywa się z ubytkami odnotowanymi na podstawie fotointerpretacji ortofotomapy. Uzyskano skuteczność na poziomie 65%. Wyniki walidacji zestawiono w tab. 1.

Tab.1. Zestawienie otrzymanych wyników rozpoznania ubytku dla drzewostanów

Rodzaj obiektu	Skuteczność metody [%]
Pojedyncze drzewa	93
Kompleksy drzew	65

Jak wynika z oceny metody dla pojedynczych drzew i zwartych kompleksów, uzyskano zdecydowanie większy odsetek wyciętych drzew w pierwszym przypadku. Pojedyncze drzewa z uwagi na dużą łatwość w interpretacji dały możliwość szybkiej weryfikacji ubytku oraz rozróżnienia drzewa wyciętego od przyciętego. Zdecydowanie większą trudność napotkano dla zwartych kompleksów leśnych. Znaczna gęstość ułożenia koron drzew, wzajemne przysłanianie, ekspozycja gałęzi i konarów spowodowały, że zastosowany algorytm bazujący na wykrywaniu różnic w wysokości nie sprawdził się dobrze. Taka ekspozycja koron drzew przyczyniała się do występowania martwych pól na zdjęciach, co po przetworzeniu do postaci zNMPT, a następnie w analizie różnic wysokości dawało nieprawdziwą informację o ubytku drzewostanu (Wężyk, 2008). Niejednoznaczność w interpretacji oraz duże prawdopodobieństwo zafałszowania wyniku spowodowały, że zdecydowano się na rezygnację z analiz dla zwartych obszarów leśnych i znacznych skupisk drzew. Tym bardziej, że większość widocznych wizualnie zmian w roślinności w dzielnicy zaistniało właśnie w przypadku pojedynczych drzew.

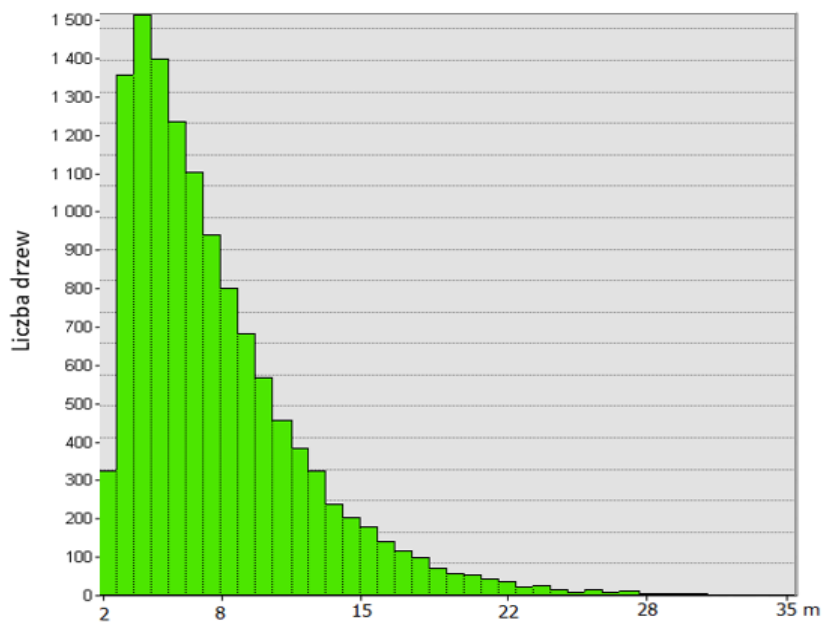
3.2. Rezultat analizy

Po ustaleniu ostatecznego obszaru opracowania dokonano ponownej ekstrakcji drzew maską roślinności z 2012 roku. W ten sposób wyeliminowano zwarte obszary leśne oraz większe skupiska drzew, w których zmiany roślinności po wizualnej analizie zachodziły również w mniejszym stopniu. Następnie otrzymaną maskę ubytku drzewostanów poddano

kolejnym przetworzeniu, w wyniku czego przekształcono obraz rastrowy w warstwę wektorową. Dla tak wygenerowanej warstwy wyznaczono powierzchnię, która tożsama jest z powierzchnią ubytku i zmiany w drzewostanach dla badanego okresu. W tabeli 2 dokonano zestawienia zmniejszenia się powierzchni drzewostanów przed selekcją pojedynczych koron drzew oraz po dokonaniu ograniczenia. Przykładowy wynik 18.2% oznacza, że dla pojedynczych drzew odnotowano ubytek powierzchni koron tej wielkości względem roku 2012.

Tab. 2. Zestawienie powierzchni ubytku drzewostanów z powierzchnią drzewostanów w 2012 roku

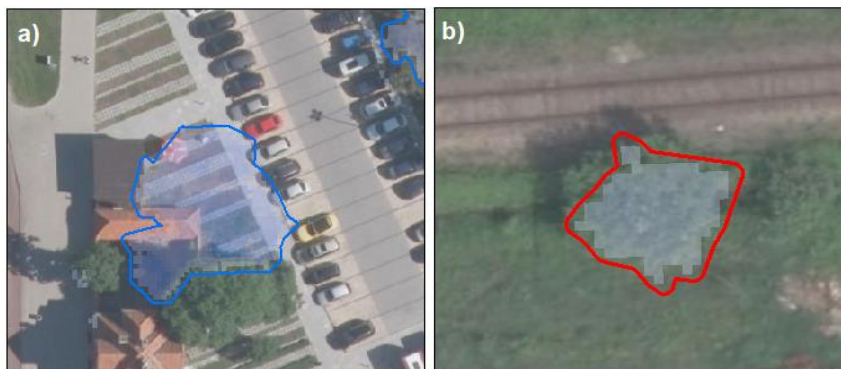
Lp.	Powierzchnia ubytku dla drzewostanów w latach 2012-2017 [ha]	Powierzchnia drzewostanów w roku 2012 [ha]	Procentowe zmniejszenie się powierzchni drzewostanów [%]
Korony drzew przed selekcją	254.0	796.6	31.7
Korony drzew po selekcji	81.9	450.2	18.2



Rys. 4. Liczba wyciętych i przyciętych drzewostanów w funkcji wysokości drzew

W ramach opracowania nie dokonywano segmentacji i zliczania powierzchni obszarów, które należałyby do konkretnego przedziału wartości wysokości. Uzyskany wynik ma jedynie charakter poglądowy – pozwala w łatwy i szybki sposób wskazać miejsca, gdzie ubytek stanowią drzewa niskie, średnie i wysokie. Ponadto, bazując na wartościach ubytku, dokonano zliczenia wartości wysokości wyciętych i przyciętych drzew na poprzednim rastrze, dla poszczególnych poligonów maski prezentującej wycięte i przycięte drzewostany. Efektem wykonanego działania jest histogram, prezentujący rozkład wysokości i liczbę poszczególnych poligonów, która pokrywa się w tym przypadku z liczbą drzew, których dotyczył ubytek wysokości korony drzewa. W każdym z poligonów określono maksymalną wysokość, jaka była przypisana do danego piksela. Dzięki temu można zobrazować, jak przedstawia się udział ubytku lub przycinki wśród drzew o poszczególnych wysokościach. Na rysunku 4 widać, że największy odsetek ubytku w wysokościach stanowią wysokości w granicach 2-8 m, a także 8-15 m. Ubytek drzew o wysokościach 22-28 m jest niewielki, natomiast wartości wyższe niż 28 m stanowią znikomy odsetek ubytku drzewostanu.

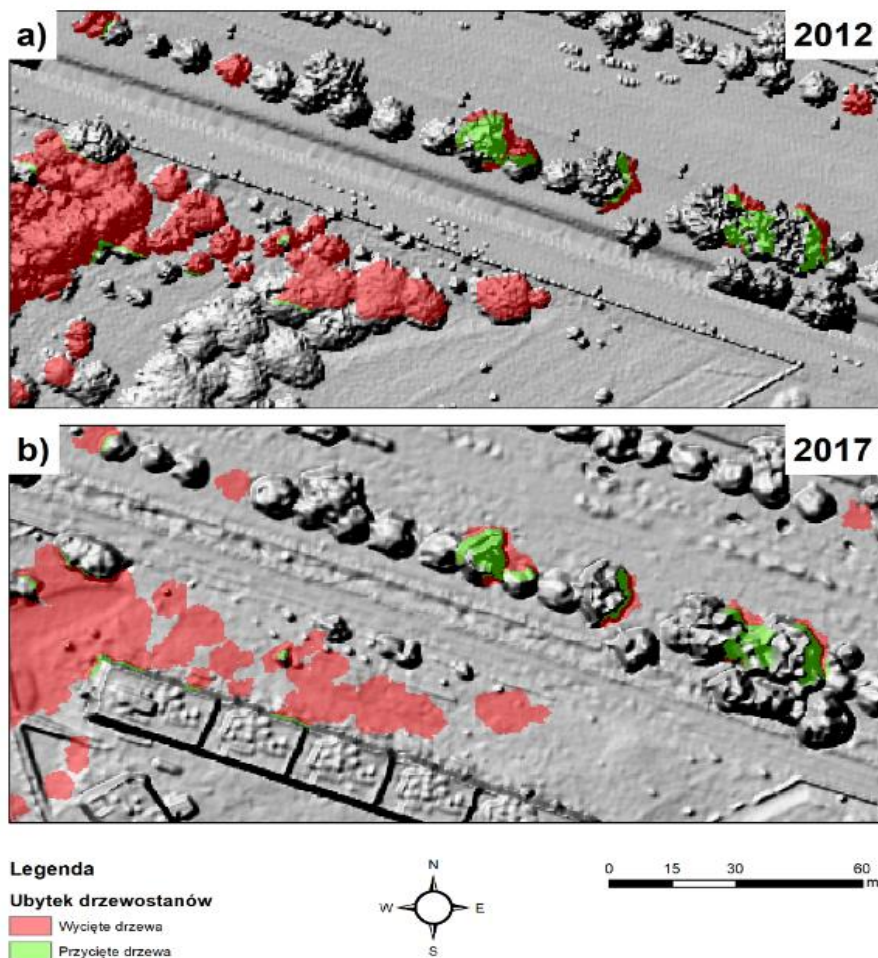
Taki rozkład na histogramie wskazywał jednoznacznie na konieczność wyekstrahowania drzew wyciętych od przyciętych. W pierwszej kolejności uzyskany ubytek drzewostanów poddano analizie i ocenie wizualnej. Oceny dokonano na 100 pojedynczych drzewach, losowo rozmieszczonych na obszarze całej dzielnicy, dla których jednoznacznie określony był ubytek drzewostanu. Spośród setki drzew stwierdzono wycinkę dla 76 koron, które nie były widoczne na zNMPT z 2017 roku. Z kolei na 24 koronach drzew, które występują w 2017 roku, stwierdzono przycinkę korony drzewa. Na rys. 5 przedstawiono przykładowe drzewo całkowicie wycięte (a) oraz koronę drzewa po przycince (b).



Rys. 5. Przykład wyciętego (a) i przyciętego drzewa (b) wyznaczonego na podstawie różnic zNMPT na tle ortofotomapy z 2017 roku.

W kolejnym kroku szczegółowo przeanalizowano stopień przycinki drzew. W tym celu posłużono się maską ubytku drzewostanów oraz zNMPT dla roku 2017. W wyniku przetworzenia obrazu rastrowego dokonano wydzielenia drzewostanów wyciętych od przyciętych odnosząc ubytek do modelu wysokościowego. Jako drzewa wycięte zakwalifikowano te drzewostany, które na różnicowym rastrze zNMPT z lat 2012-17 miały różnicę wysokości poniżej -2 m, a ponadto na zNMPT z roku 2017 przyjmowały wysokości bliskie 0. Z kolei dla drzew, które na rastrze różnicowym zNMPT z lat 2012-2017 miały

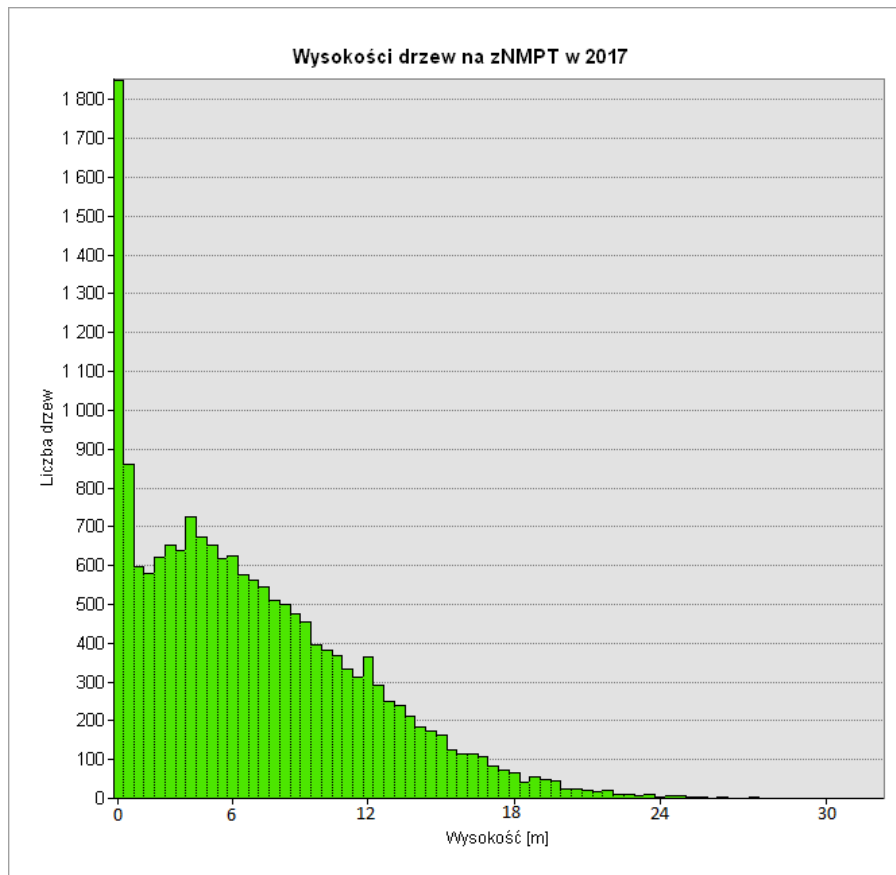
różnicę wysokości mniejszą niż -2 m oraz na zNMPT z 2017 roku przyjmowały wysokości powyżej granicy bliskiej 0, przypisano przycinkę drzewostanu, która nastąpiła w latach 2012-2017. Wspomniana granica określona została na podstawie analizy histogramu rozkładu wielkości ubytku wysokości koron w masce roślinności wysokiej. Wynik działania algorytmu przedstawiono na rys. 6, gdzie kolorem zielonym wskazano drzewostany przycięte, nadal występujące na modelu pokrycia terenu w roku 2017. Kolorem czerwonym zaznaczono drzewostany wycięte. Drzewa, których wysokości nie uległy zmniejszeniu widoczne są na obydwu obrazach cieniowanego modelu pokrycia terenu.



Rys. 6. Rozkład wyciętych i przyciętych drzew na tle cieniowanego modelu wysokościowego dla lat: 2012 (a), 2017 (b)

Jako kolejny element przeprowadzonej analizy dokonano określenia procentowego udziału drzew wyciętych oraz drzewostanów przyciętych dla całej dzielnicy w poprzednio wyznaczonej wartości ubytku. Dla drzew wyciętych w miejscach wycinki na zNMPT wysokości przyjmowały wartości bliskie zeru. Jest to dobrze zobrazowane na histogramie

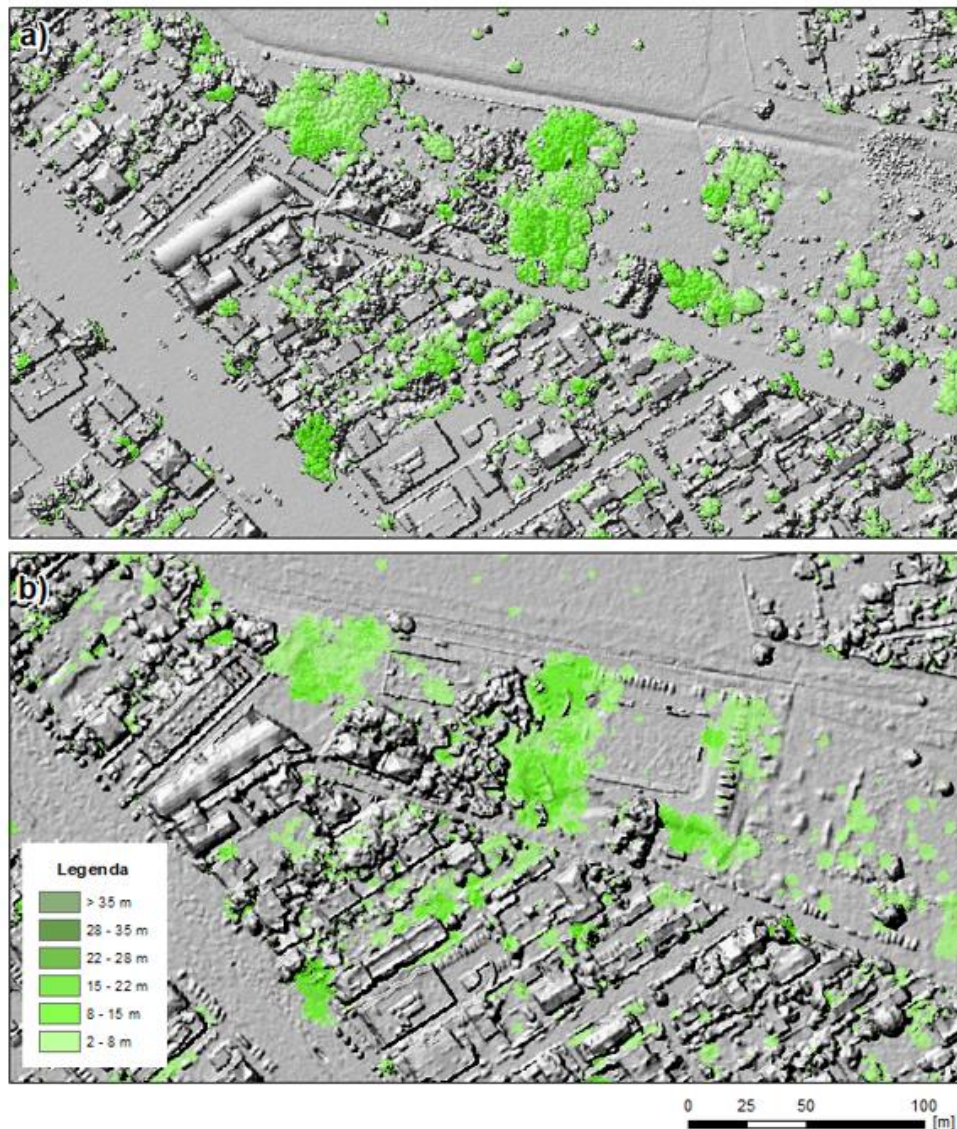
rozkładu wysokości dla poligonów drzew. Na wykresie charakterystyczne są dwa lokalne ekstrema. Pierwsze odpowiada wyciętym drzewom, drugie zaś przyciętym drzewom. Rozkład drzew wyciętych i przyciętych przedstawiono na rysunku 7.



Rys.7 . Wysokości poligonów drzew na zNMPT w roku 2017

Na podstawie analizy histogramu wysokości, przyjmowanej przez poligony drzew na zNMPT, ustalono wartość graniczną dla drzew wyciętych – 0.8 m. Wartość ta jest większa od zera i wynika ze szcątkowych błędów występujących przy generowaniu modelu pokrycia terenu, ewentualnie pozostawionych pni i skarp ziemi oraz różnicy między numerycznym modelem pokrycia terenu i numerycznym modelem terenu, a więc tworzeniu zNMPT. Ostatecznie wyznaczono, że dla 67.6% ubytku w drzewostanach w latach 2012-2017 nastąpiła wycinka drzewostanów. W skali całej dzielnicy stanowi to 11.7% wszystkich drzew z roku 2012.

Raster ubytku drzew poddano również analizie dotyczącej wysokości wyciętych drzewostanów. W tym celu dokonano ponownej reklasyfikacji pierwotnej maski ubytku drzew. W tym przypadku klasyfikacji dokonano w obrębie 6 klas wysokości drzew. Wynik klasyfikacji według wysokości ubytku drzew przedstawiono na rysunku 8.



Rys.8. Rozkład wyciętych drzewostanów według wysokości drzew na tle modelu cieniowanego dla 2012 roku (a) i 2017 roku (b)

4. PODSUMOWANIE I DYSKUSJA

W niniejszym badaniu dokonano analizy zmiany zasięgu występowania drzewostanów dla warszawskiej dzielnicy Wilanów, na przestrzeni lat 2012-2017. Do badań wykorzystano dane pochodzące zarówno z lotniczego skanowania laserowego z roku 2012

jak i cyfrowych zdjęć lotniczych z roku 2017. Na podstawie tych danych wygenerowano kilka opracowań pochodnych, w tym numeryczne modele pokrycia terenu, numeryczny model terenu, przetworzenia ortogonalne zdjęć i chmur punktów. W oparciu o wytworzone opracowania określono zasięg drzewostanów dla roku 2012, jak również wykazano obszary, na których zaszły zmiany w okresie 5 lat. Bazując na informacjach uzyskanych z modeli wysokościowych określono wartość ubytku dla drzewostanów rzędu 81.9 ha, co stanowi 18.2% powierzchni pojedynczych drzewostanów w roku 2012. Poddając szerszej analizie wyznaczony ubytek drzewostanów wykazano, że dla 11.7% wszystkich drzew na Wilanowie nastąpiła wycinka, co oznacza, że nie zanotowano występowania drzewostanu kwalifikującego się do definicji roślinności wysokiej (>2 m) na zNMPT w 2017 roku. Dla 6.5% drzew wykryte obniżenie się wysokości koron drzew związane było przy widocznej wysokości pokrycia terenu w 2017 roku z przycięciem roślinności. W przypadku tym uwidacznia się jeden mankament prezentowanej metody pokazany również na rysunku 6b. Metoda obliczania różnic zNMPT nie wskazuje bowiem ubytków pokrycia terenu na terenie, na którym zamiast roślinności wysokiej pojawiły się wysokie zabudowania. Jest to dość istotna niedogodność metody, natomiast biorąc pod uwagę kształtowanie krajobrazu przez człowieka i dla jego potrzeb można tę zmianę uznać za konieczną, a monitorować zmiany roślinności w przestrzeni wokół tworzonych zabudowań, co opisuje, w jaki sposób roślinnością zarządza się naokoło tworzonych inwestycji. Przedstawiona metoda analizuje zasięg roślinności z roku 2012. Jest to odpowiednie dla krótkoterminowych zmian roślinności. Założono bowiem, że w ciągu 5 lat trudno jest odtworzyć drzewostany pokażnej wysokości. Metodyka ta jednak przy posiadaniu danych ALS z kolejnych terminów może zostać rozbudowana o analizę zasięgu roślinności z różnych terminów.

Wykorzystanie danych w postaci chmury punktów z lotniczego skanowania laserowego oraz cyfrowych zdjęć lotniczych stanowi bogate źródło informacji o zmianach nie tylko w obrębie drzewostanów, ale również we wszystkich formach pokrycia terenu. Na różnicowym modelu pokrycia terenu można łatwo wskazać zmiany w zagospodarowaniu terenu, nowo powstałe budynki czy zmianę ukształtowania terenu. Nie mniej jednak, w przeprowadzonym badaniu, dotyczącym różnicy w pokryciu terenu drzewostanami, modele wysokościowe wykazały, w których miejscach nastąpił ubytek, bądź niezmiennosc w pokryciu drzewostanami.

Dokonanie analizy zmian w drzewostanach było możliwe dzięki dużej aktualności oraz dostępności danych źródłowych. Jest to niezbędny czynnik, w przypadku dokonywania analiz dla niewielkiego przedziału czasowego. Na obszarze Polski dane w postaci zdjęć lotniczych są pozyskiwane w różnym interwale czasowym. Przeważnie duże miasta i aglomeracje miejskie zamawiają wykonywanie zdjęć i ortofotomap każdego roku lub w interwale dwuletnim. W pozostałych przypadkach znacznie trudniej mówić o większej częstotliwości danych pozyskiwanych z pułapu lotniczego. Ma to szczególnie duże znaczenie w przypadku tworzenia systemu monitoringu zieleni miejskiej. Im częściej dane są pozyskiwane, tym szerszych analiz można dokonywać i mieć bardziej aktualne dane. Budowa systemu uwzględniającego przedstawione w niniejszym artykule analizy niewątpliwie przyczynia się do poprawy bezpieczeństwa mieszkańców miasta, umożliwia zarządzanie zielenią, pozwala na badanie i ocenę kondycji roślin. Wykrywanie wyciętych drzewostanów umożliwia również wykrywanie nielegalnych wycinek i wycębow. Wykorzystywany produkt w postaci numerycznego modelu pokrycia terenu na podstawie dopasowania obrazów nie jest jednak typowym produktem zamawianym wraz ze zdjęciami

fotogrametrycznymi, numerycznym modelem terenu oraz ortofotomapą. Może to być kolejnym czynnikiem, który utrudniałby implementację zaproponowanej metody bazującej wyłącznie na różnicy modeli wysokościowych i zasięgu roślinności wysokiej.

Niniejszy artykuł został napisany na podstawie pracy inżynierskiej pt. *Analiza zmiany drzewostanów dla wybranego obszaru na podstawie danych fotogrametrycznych*, obronionej 05.02.2018 r. na Wydziale Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej przez inż. Mariusza Urbańskiego pod opieką dr inż. Krzysztofa Bakulę.

LITERATURA

Internetowy System Aktów Prawnych, 2016, <http://prawo.sejm.gov.pl/>

Isa M., Othman N., 2010. Using Geographic Information System for Trees Assessment at Public Park, *ASEAN Conference on Environment-Behaviour Studies*, Kuching, Sarawak, Malezja, 248-258.

Kasprzak K. 2017. Kontrowersje wokół wielkiej wycinki drzew. *Przegląd Komunalny*, 3/2017, 73-74.

Kurczyński Z., 2006. *Lotnicze i satelitarne obrazowanie Ziemi*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.

Kurczyński Z., Bakula K. 2013. Generowanie referencyjnego numerycznego modelu terenu o zasięgu krajowym w oparciu o lotnicze skanowanie laserowe w projekcie ISOK, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Monografia „Geodezyjne Technologie Pomiarowe”, 59-68.

Kurczyński Z. 2014. *Fotogrametria*. Wydawnictwo naukowe PWN S.A., Warszawa.

Kraus K., Pfeifer N., 2001. Advanced DTM generation from LiDAR data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, XXXIV-3/W4, 22-24.

Kubalska J. L., Preuss R., 2014. Wykorzystanie danych fotogrametrycznych do inwentaryzacji zieleni na terenach zurbanizowanych, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 26, 75-86.

Kwoczyńska, B., 2011. Zastosowanie ortofotomapy i numerycznego modelu terenu do przedstawiania zmian w sposobie zagospodarowania terenów rolnych. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, Polska Akademia Nauk, nr 3/2011, 105-114.

Markiewicz J., Zawieska D., Bujakiewicz A., 2014. Integration of heterogeneous photogrammetry data for visualization of cultural heritage objects. *Technical Sciences*, 18, 38-43.

Mikrut S., Pawlik P., 2007. Porównanie dokładności wybranych metod dopasowania obrazów zdjęć lotniczych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 17b, 603-610.

Progea 4D, 2016, <http://progea4d.pl/uslugi/zielen-miejska/>

Paszotta Z., Szumiło M., 2012. Tworzenie ortofotomapy z cyfrowych zdjęć fotogrametrycznych przez Internet. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 24, 279-288.

Tompalski P., 2012. Wykorzystanie wskaźników przestrzennych 3D w analizach cech roślinności miejskiej na podstawie danych z lotniczego skanowania laserowego. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 23, 443-456.

Wężyk P., 2008. Modelowanie chmury punktów ze skaningu laserowego w obszarze koron drzew. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 18, 685-695.

ANALYSIS OF TREE STAND LOSS BASED ON PHOTOGAMMETRIC DATA FOR THE WILANÓW DISTRICT OF WARSAW

KEY WORDS: digital photos, vegetation indices, airborne laser scanning, digital elevation models, analysis of changes, tree stands

Summary

This publication presents the analysis of tree stands' changes for the area of Wilanów district in Warsaw, based on photogrammetric data. Using different photogrammetric techniques, such as image matching techniques and archival airborne laser scanning, a multitemporal analysis of vegetation changes was carried out. It enabled receiving information on the range and occurrence of trees in two different periods of time. The overriding work problem was to answer the question of how noticeable changes in trees stands' range and height occurred over 2012 - 2017. Generated digital elevation models were used for the analysis of tree stands' changes in the Wilanów district and the detection of places with the crowns' loss. The carried analysis of changes showed loss of biomass for 18.2% of single trees, including disappearance of 11.7% of trees and reduction in height (probably by trimming) for 6.5% of trees.

Dane autorów / Authors details

inż. Mariusz Urbański
e-mail: mariusz.urbanski26gmail.com
telefon: 722 152 684

dr inż. Krzysztof Bakula
e-mail: krzysztof.bakula@pw.edu.pl
telefon: 22 234 7694

Przesłano / Submitted 4.09.2018
Zaakceptowano / Accepted 15.09.2018