

WYKORZYSTANIE NUMERYCZNYCH MODELI TERENU W APLIKACJACH Z ZAKRESU LEŚNICTWA I OCHRONY PRZYRODY

Streszczenie. Informacje zawarte w numerycznych modelach terenu są obecnie podstawą wielu przestrzennych analiz GIS i modeli służących do zarządzania i monitorowania środowiska naturalnego w tym i obszarów leśnych. Jakość numerycznych modeli terenu warunkowana jest przez wiele czynników, z których kluczowym jest metoda (źródło danych) ich generowania. Niniejszy artykuł opisuje zarządzanie informacją na temat wysokości drzewostanów Puszczy Niepołomickiej w oparciu o NMT generowany na podstawie map topograficznych (skala 1:10.000) oraz Numeryczny Model Powierzchni Terenu (ITED = Interferometric Terrain Elevation Data) wykonany na podstawie danych misji SRTM. Porównanie obu tych modeli w obszarach leśnych było możliwe dzięki użyciu modelu wysokości drzewostanów (MWD) generowanego w postaci rastrowej z bazy danych SILP oraz pomiarów wykonywanych podczas prac terenowych w ramach projektu FOREMMS. Analizy wykazały bardzo wyraźny wpływ typu lasu oraz klas wieku drzewostanów na jakość ITED potwierdzając jednocześnie celowość jego wykorzystania w wielu aplikacjach z zakresu ochrony środowiska i leśnictwa.

1. Wstęp

Większość kompleksowych projektów o charakterze środowiskowym nie może być już realizowana bez stosowania zintegrowanych narzędzi geoinformatycznych wspomagających: pozyskiwanie, zarządzanie, przetwarzanie i modelowanie danych a także ich późniejszą prezentację [Riedlinger i inni, 2004, Wężyk 2000, 2004; Wężyk, Guzik 2004a, 2004b]. Jednymi z podstawowych informacji wykorzystywanych do przestrzennego modelowania zjawisk przyrodniczych są geodane reprezentujące przebieg powierzchni (terenu, obiektów, opadu atmosferycznego, immisji przemysłowych itp.). Najczęściej zbiory tych danych, znane powszechnie jako Numeryczny Model Terenu (NMT), reprezentowane są przez współrzędne punktów XYZ wraz z algorytmami, których zadaniem jest możliwie wierne odwzorowanie powierzchni [Gaździcki, 2001].

Powszechnie stosowane w analizach przestrzennych GIS są modele tworzone na podstawie map topograficznych tj. przetwarzania map wysokościowych (warstwice, pikietki wysokościowe, linie nieciągłości, głębokość rowów i wysokości skarp) czy sytuacyjnych (obszary wyłączeń itp.). Podstawowe formaty modeli terenu wykorzystywanych w systemach GIS Parków Narodowych czy Lasów Państwowych to TIN oraz model rastrowy [Wężyk, Guzik, 2004b]. Coraz bardziej powszechne w Europie są numeryczne modele terenu (bądź powierzchni) wykonywane przy wykorzystaniu technologii skaningu laserowego [Geist i inni, 2004]. Dokładność tego typu modeli kształtuje się na poziomie kilkunastu cm a zagęszczenie punktów opisujących powierzchnię może wynosić nawet do kilku-, kilkunastu na 1m²

w zależności od celu projektu. Specjalistyczne oprogramowanie umożliwia filtrowanie NMPT (pierwszego i ostatniego sygnału), co w efekcie prowadzi do wyodrębnienia NMT (kojarzonego z gruntem) oraz wysokości obiektów znajdujących się w obrazowanym terenie (np. drzew, budynków) [Wack, Schardt, 2004]. Niestety z przyczyn finansowych szerokie wykorzystanie tego typu modeli jest znacznie ograniczone w polskich warunkach.

Lasy Państwowe będące właścicielem 78,4% polskich lasów posiadają w miarę precyzyjne informacje o wysokości drzewostanów zgromadzone w bazach SILP (System Informatyczny Lasów Państwowych). Niestety wdrażanie leśnej mapy numerycznej (LMN) nie zostało jeszcze zakończone w skali całego kraju i informacje te bardzo trudno wprost integrować z innymi systemami GIS. Na obszarach wielu nadleśnictw, które wdrożyło już LMN brak jest jeszcze warstw informacyjnych NMT. Przyjęty standard tworzenia LMN przewiduje jako obowiązkowe wygenerowanie i przekazanie przez Wykonawcę numerycznego modelu terenu (SLMN – Zarządzenie 41). W aspekcie realizacji Krajowego programu zwiększenia lesistości przyjętego przez rząd Polski 23 czerwca 1995 r. (z 28,4 do 30% w roku 2020 i 33% w 2050 r.) modelowanie na poziomie krajowym wymagające jako jednej z podstawowych warstw informacyjnych właśnie NMT lub NMPT dla lepszej wizualizacji krajobrazu, staje się niemal konieczne. Wydaje się, iż realizowane obecnie w Polsce projekty Phare i LPIS w przypadku obszarów leśnych nie przyniosą specjalnych korzyści w postaci precyzyjnych NMT (NMPT) ani poprawnych (z punktu widzenia odbiorcy aplikacji dla leśnictwa) ortofotomap, ze względu na uproszczenie metody generowania NMPT dla tych terenów.

Z przyczyn powyższych interesujące stają się alternatywne źródła danych o NMT (NMPT) ogólnodostępne, niedrogie i o pełnym (ciągłym) pokryciu dla obszaru kraju (lub Europy). Jednym z nich jest model ITED (ang. *Interferometric Terrain Elevation Data*). Znane są projekty naukowe, których zadaniem było określenie przydatności modelu ITED [Reich, Thiel, 2002].

Trwająca 11 dni i zakończona 22 lutego 2000 roku, misja promu kosmicznego Endeavour (SRTM – Shuttle Radar Topography Mission), miała na celu pozyskanie danych o pokryciu terenu (ITED) dla ponad 80% powierzchni lądów. Do stworzenia globalnego NMT wykorzystano metodę interferometrii radarowej (InSAR - Synthetic Aperture Radar Interferometry), do zalet której zaliczyć należy całkowitą niezależność od warunków atmosferycznych czy oświetlenia [Heipke i inni, 2002]. Zastosowany wariant metody InSAR polega na wykonywaniu w tym samym czasie i z tej samej orbity dwóch obrazów radarowych przez dwie, odległe od siebie anteny. Pierwsza antena (nadawczo-odbiorcza) była zamontowana w luku promu kosmicznego Endeavour, a druga (odbiorcza) na maszcie o długości 60 m. Pomiar były wykonywane dla dwóch długości fal przez dwa niezależne interferometry: $\lambda = 6,0$ cm (pasmo C, amerykański system SIR-C zbudowany przez NASA/JPL) oraz $\lambda = 3,1$ cm (pasmo X, niemiecko-włoski system X-SAR) [Kurczyński, 2000].

Prom kosmiczny poruszał się po orbicie nachylonej do równika pod kątem 57° na wysokości 223 km i wykonywał pomiary w kolejnych pasach. Interferometr SIR-C pracował w tzw. trybie skanowania [Balmer, 1999] i jednorazowo obejmował pas o szerokości 225 km dzięki elektronicznemu sterowaniu wiązki [Heipke i inni, 2002].

Antena pasma X skanowała pasy o szerokości 45 km pod stałym kątem 52° od nadiru [Kurczyński, 2000]. Zaletą pasma X jest większa relatywna dokładność wynikająca z mniejszej długości fali. Wadą są bardzo wąskie pasy, i tym samym niekompletne pokrycie powierzchni Ziemi. Przetworzone dane w dalszych krokach posłużyły do generowania interferometrycznych numerycznych modeli pokrycia terenu ITED wg standardu DTED-2 (USGS):

- rozdzielczość terenowa piksela 1 x 1 arc sek (30 x 30 m);
- dokładność wysokościowa bezwzględna ≤ 16 m;
- dokładność wysokościowa względna ≤ 10 m, oraz
- dokładność horyzontalna względna ≤ 20 m.

Dane te dla obszarów leżących poza granicami USA są rozpowszechniane z uwzględnieniem polityki obronnej Stanów Zjednoczonych i ich uzyskanie wymaga otrzymania specjalnego pozwolenia. Powszechnie dostępny jest produkt znany pod nazwą DTED-1 (lub synonim SRTM) o rozdzielczości 3 x 3 arc sek (90 x 90 m) oraz DTED-2 dla obszaru USA [Internet a, 2004]. Obecnie, dla całego obszaru objętego misją, dostępne są dane, którym nadano status "nieukończonych". Oznacza to m.in. obecność tzw. obszarów pustek (ang. void), powstałych w skutek "zacienienia" w obszarach górskich, oraz szumów np. na obszarze zbiorników wodnych. NGA (National Geospatial Agency) sukcesywnie od początku 2004 roku publikuje przetworzone dane SRTM a proces ten powinien zostać zakończony we wrześniu 2004. Przed końcem 2004 powinien być dostępny w sieci Internet cały model DTED-1 o statusie "dokończony".

2. Teren badań

Do badań wytypowano obszar Puszczy Niepołomickiej w bezpośrednim sąsiedztwie aglomeracji Krakowa, ze względu na pokaźny zasób geodanych zgromadzonych w ramach wielu projektów w tym FOREMMS IST 5FP [Wężyk, 2000]. Dodatkowo na obszarze Nadleśnictwa Niepołomice w roku 2002 zakończono nowy Plan Urządzania i wykonano leśne mapy numeryczne, zgodne z nowym standardem wprowadzonym w Lasach Państwowych [Zarządzenie nr 41, 2004].

Obszary leśne (ok. 10.500 ha) dawnej Puszczy Niepołomickiej, stanowią zwarte kompleksy leśne, z wyraźnie zaznaczającym się podziałem na różne typy drzewostanów. Trzy uroczyska północne (Koło, Grobla, Grobelczyk – ok. 2400 ha) stanowią pozostałości naturalnych lasów grądowych (70% udziału dębów) i różnią się zdecydowanie od mocno przeobrażonego przez człowieka tzw. kompleksu głównego o charakterze borowym (72% - drzewostany sosnowe). Obszar Puszczy Niepołomickiej został wytypowany jako obszar Europejskiej Sieci Natura 2000.

3. Metoda

Dane z misji SRTM dla obszaru Niepołomic pobrano z serwera FTP US Geological Survey (USGS), dostępnego w sieci Internet pod adresem <ftp://edcsgs9.cr.usgs.gov/pub/data/srtm/>. Opublikowane na serwerze dane są zapisane w formacie rastrowym HGT i ograniczone do wielkości wieloboku reprezentującego

zakres 1° długości i szerokości geograficznej. W chwili obecnej posiadają one status danych "niedokończonych" [Internet b, 2004]. Z tego powodu plik N50E020.hgt (Puszcza Niepołomska) poddano przetworzeniom za pomocą programu SRTMFill (3D Nature), którego zadaniem było usunięcie, tj. wypełnienie (poprzez interpolację) obszarów („pustek”) o charakterze „NO-DATA”. Kolejne kroki polegały na konwersji formatu nagłówka pliku HGT przy użyciu kreatora „Yeni Batch Processing Wizard” do formatu obsługiwanego przez oprogramowanie ER Mapper 6.4 (Earth Resource Mapping). Dane ITED zapisane w odwzorowaniu UTM przetransformowano do układu PUWG 1992 (zgodny ze SLMN). Transformację oraz pozostałe analizy przestrzenne i statystyczne dokonywano w oprogramowaniu ER Mapper.

W ramach projektu FOREMMS [Wężyk, 2004] na podstawie map topograficznych w skali 1:10.000 wygenerowano NMT. W tym celu w WODGiK w Krakowie zakupiono obrazy rastrowe map wysokościowych oraz sytuacyjnych (PUWG 1965). Model rastrowy GRID (ESRI) uzyskano w oprogramowaniu ArcInfo ver.8 poddając konwersji wcześniej wygenerowany model TIN. Model wektorowy (TIN) tworzono z wykorzystaniem możliwie wielu informacji (wektoryzacja ekranowa linii warstwicznych, pikiet wysokościowych, linii nieciągłości, itd.). W celu przeprowadzenia analiz w oprogramowaniu ER Mapper wyeksportowano NMT (GRID) do postaci GeoTIFF (wraz z plikiem *.tfw). Wielkość piksela terenowego NMT przyjęto na poziomie 10x10 metrów.

Równolegle prowadzono analizy GIS, które doprowadziły do wygenerowania mapy tematycznej przedstawiającej wysokość ponad 2200 wydzieleń leśnych (poligonów). Wartość atrybutu „Wysokość” gatunku głównego pochodziła z bazy atrybutowej (SILP) będącej w relacji z LMN. W oprogramowaniu ArcView 3.2 ESRI dokonano konwersji zapisu wektorowego do rastrowego (GRID) uzyskując w ten sposób plik rastrowy reprezentujący wysokości obiektów (drzewostanów) w Puszczy Niepołomskiej, zwany dalej MWD (Model Wysokości Drzewostanów). Aktualność tej informacji (2001) zbliżona jest do daty wykonania modeli ITED (luty 2000).

Wykonując analizy na warstwach rastrowych w module Map Calculator, wygenerowano warstwę reprezentującą sumę NMT oraz MWD. Warstwę wynikową nazwano Wirtualnym Modelem Powierzchni (WMP). W swoich założeniach był on zgodny z rzeczywistością w obszarach rolniczych i leśnych natomiast brak było informacji o wysokości obiektów na terenach wsi i miasta Niepołomska. Inną stosowaną w Europie nazwą jest Model Krajobrazu [Czegka i in., 2004].

Tak przygotowane warstwy rastrowe wczytano do algorytmu w programie ER Mapper, który od modelu SRTM odejmował kolejno NMT oraz WMP. Wyniki zapisywano w oddzielnych plikach rastrowych. Obraz różnicy SRTM i WMP został poddany reklasyfikacji do 10 klas.

Za pomocą oprogramowania ArcView 3.2a (ESRI) przygotowano pliki wektorowe SHP reprezentujące:

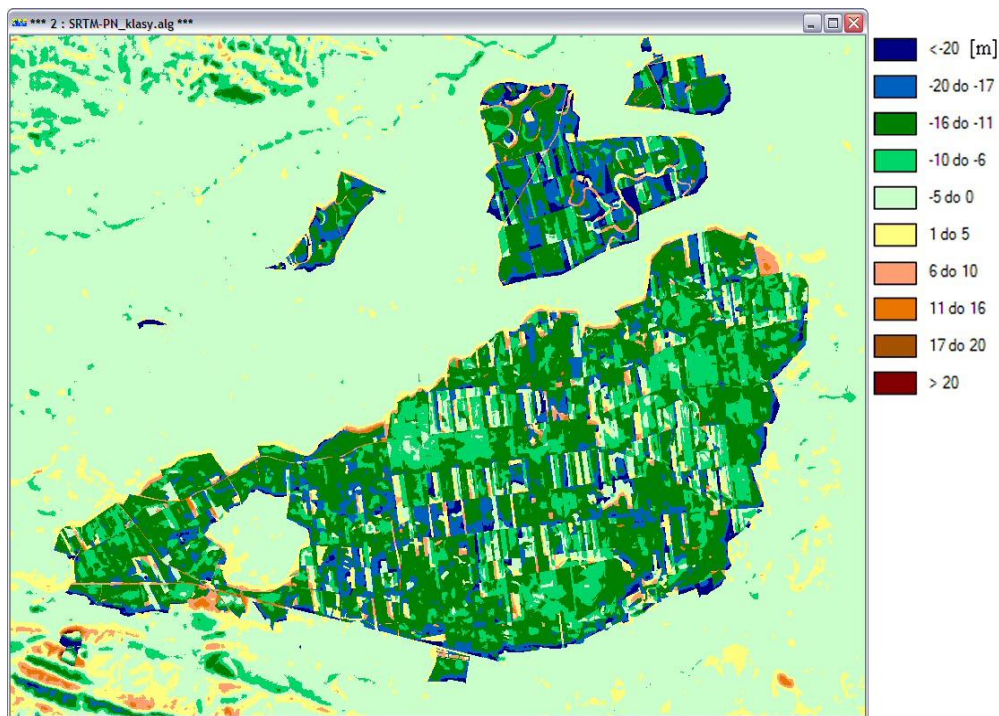
- granicę kompleksów leśnych Nadleśnictwa Niepołomska,
- granicę kompleksu głównego (skład gat.: 79% d-stany iglaste; 21% liściaste),
- granicę kompleksów grądowych: Koło, Grobla i Grobelczyk (97,5% gatunki liściaste; 2,5% gatunki iglaste),
- obszary leśne poza administracją LP oraz pozostałe,

- 3 obszary drzewostanów sosnowych różnych klas wieku: 15, 55 oraz 150 lat.

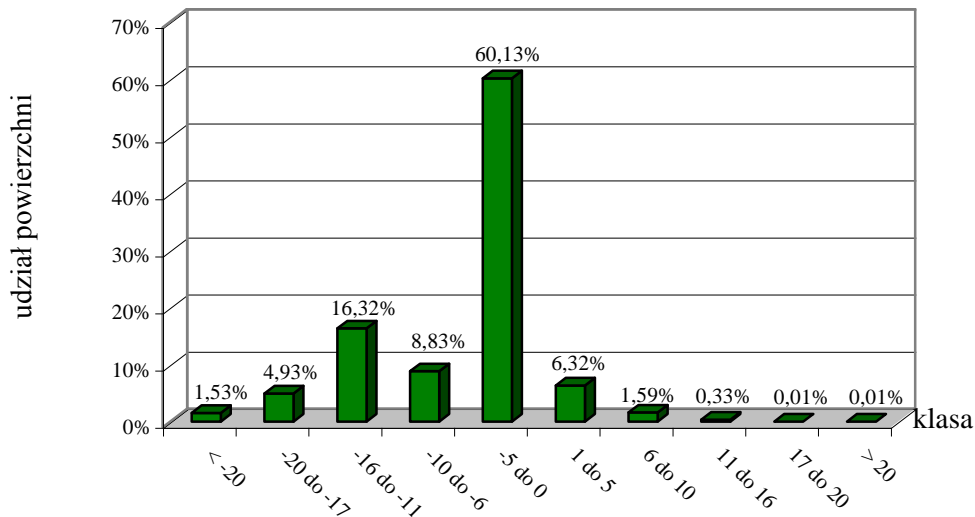
Poligony zaimportowano do formatu ERV (format plików wektorowych ER Mapper) i posłużyły one do wygenerowania tzw. regionów rastrowych, w obrębie których określano statystyki (minimum, maksimum, średnia, odchylenie standardowe, mediana - Tabela 1). W celu oszacowania dokładności modelu SRTM przygotowano także obraz rastrowy zawierający 3 kanały reprezentujące modele: SRTM, NMT oraz WMP. Plik ten posłużył do wygenerowania odpowiednich profili. Wszystkie analizy były wspomagane geodanymi w tym: mozaiką 20 arkuszy ortofotomap wykonanych ze zdjęć lotniczych PHARE 1:26 000, aktualność 1996-97 [Weżyk, Świąder, 2003]; obrazem satelitarnym IKONOS z dn. 01.08.2001 r. (European Space Imaging GmbH) oraz QuickBird, 15.09.2003 r. (Instytut Badawczy Leśnictwa).

4. Wyniki i dyskusja

Trudno jest w zasadzie oceniać dokładność modelu SRTM, gdyż brak jest dla badanego obszaru modelu referencyjnego. Wykonany NMT na podstawie informacji zawartych w mapach topograficznych 1:10.000 musiał więc zostać za taki uznany stąd do niego odnoszone są wszelkie porównania. Nie dotarto do NMPT tworzonych w celu ortorektyfikacji zdjęć Phare 1997, choć te dla obszarów leśnych nie były interesujące (metoda uproszczona). Obszary, na których różnica wysokości pomiędzy SRTM a WMP osiągnęła wartości -17 m i mniejsze, zajmują niecałe 6,5 % całego badanego obszaru (rys. 1 i 2).

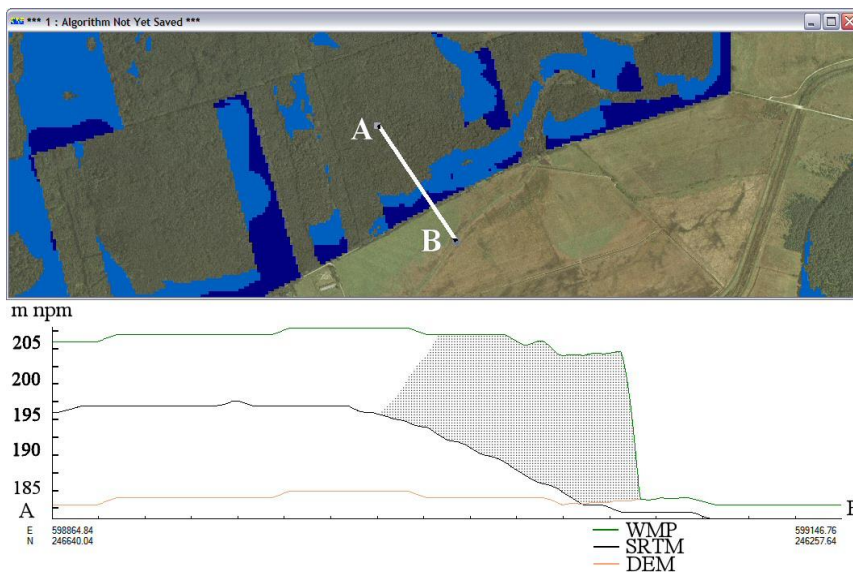


Rys.1. Rozkład różnic powierzchni ITED a WMP.



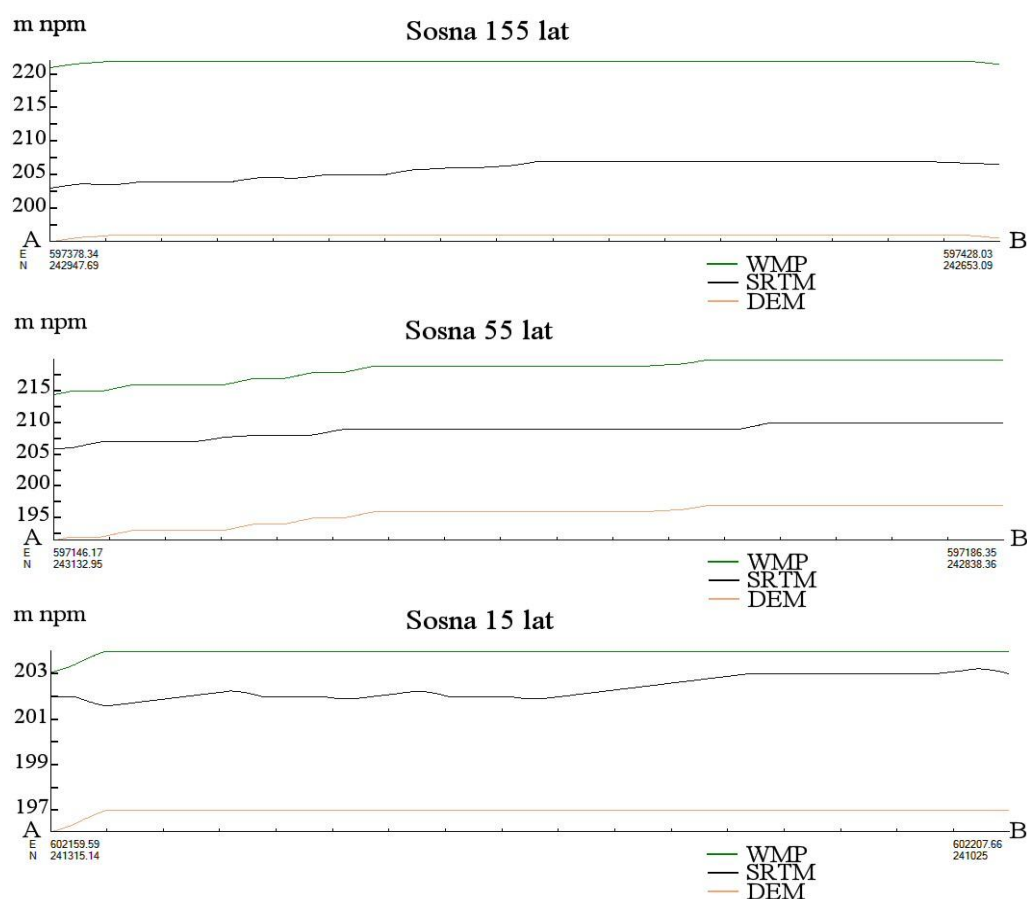
Rys.2. Frekwencja różnic ITED-WMP.

Ich rozkład doskonale obrazuje kierunek „oświetlenia” wiązką radarową. Południowa i południowo-wschodnia krawędź lasu w zależności od stopnia zwarcia koron i wykształcenia ściany drzewostanu, podlegała wyraźnej penetracji na odległość od ok. 40 m do 130 m (Rys. 3). Podobna sytuacja miała miejsce w drzewostanach wewnątrz kompleksów, które poprzez sąsiedztwo z terenem otwartym (starorzecza Wisły, polany, szkółki czy działki zrębowe) lub w sytuacji bezpośredniego graniczenia na kierunku S i SE z d-stanami młodych klas wieku. W przypadku lasów liściastych kompleksu Grobla większe odległości przenikania wiązki do wewnątrz drzewostanu tłumaczyć należy brakiem aparatu asymilacyjnego w okresie misji SRTM oraz brakiem drugiego piętra drzewostanu.



Rys.3. Przykład penetracji drzewostanu przez wiązkę radarową (szrafura) na południowo-wschodniej ściany kompleksu Grobla.

Różnice „in minus” przekraczające zadeklarowaną przez NASA dokładność 16 m występują również wewnątrz kompleksów leśnych Puszczy Niepołomickiej. W znacznej mierze dotyczy to kompleksów liściastych (ok. 97,5% Db, Ol, Lp, Js). Pomiar SRTM jaki miał miejsce w lutym 2000 wykonano w momencie kiedy d-stany te pozbawione były liści, co ułatwiło przenikanie wiązki radarowej w głąb drzewostanu. Innym znaczącym czynnikiem jest struktura wiekowa i przestrzenna (zwarcie koron drzew). Z przedstawionych na Rysunku 4. profili dla trzech wybranych wydzieleń z dominującym gatunkiem „Sosna” wynika, iż im starszy był drzewostan tym łatwiejsza okazała się jego penetracja przez wiązkę promieniowania radarowego. Zależność ta jest doskonale zobrazowana poprzez wartość mediany, która jest znacznie odporniejsza na występowanie wartości skrajnych niż średnia arytmetyczna. Dla najstarszego drzewostanu sosnowego (150 lat) wartość mediany dla różnic wysokości pomiędzy SRTM a WMP wyniosła -15 m. W drzewostanie 55-cio letnim poprawiła się do -10 m, a w najmłodszym (15 lat) wyniosła zaledwie -1 m (Tabela 1). Testy przeprowadzone na wydzieleniach Ia klasy wieku (0-10 lat) wykazały, iż różnica pomiędzy SRTM a WMP wynosiła zaledwie 0,5 do 1,5 metra. Przyczyna tkwi prawdopodobnie w pełnym zwarciu sklepienia uprawy i młodnika sosnowego, być może przykrytego śniegiem w okresie lutego 2000. Błąd ten był mniejszy niż w obszarach rolniczych.

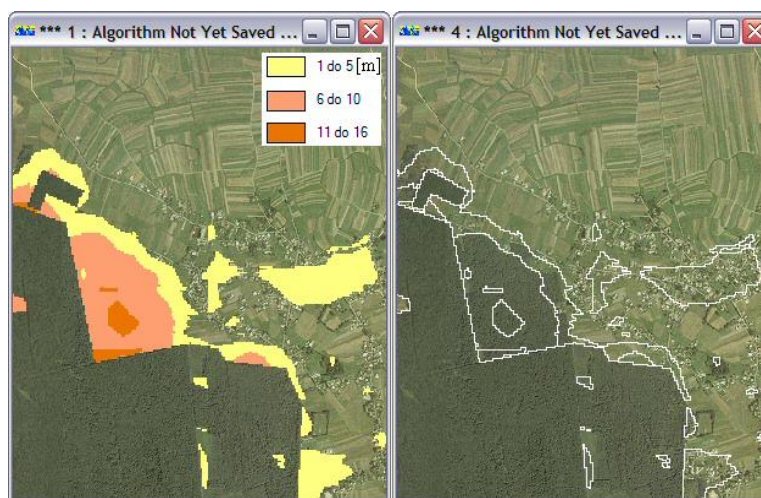


Rys.4. Profile wartości wysokości dla wydzieleń testowych.

Z kierunkiem skanowania wiązką radaru związane jest również występowanie błędów „in plus”. Na północnej i północno-zachodniej krawędzi Puszczy Niepołomickiej występują tzw. „cienie” (Rys. 5). Zjawisko to można również zaobserwować w obszarach starorzeczy kompleksu Grobla czy na polanie Błoto. Należy jednak podkreślić, iż różnica wysokości (SRTM – WMP) jest znacznie mniejsza niż w przypadku różnic „in minus”. Zauważalna jest również tendencja do występowania większych w przypadku kompleksu głównego (iglastego) co sugeruje, iż wiązka radaru ma mniejsze problemy z przenikaniem drzewostanu liściastego (ur. Grobla) niż sosnowego. Interpolacja danych w obszarze cienia wynika z osłabienia wiązki radaru przez drzewostan.



Rys.5. Przykład „cienia” (szrafura) na północno-zachodnim brzegu lasu oraz w starorzeczach (kompleks Grobla).

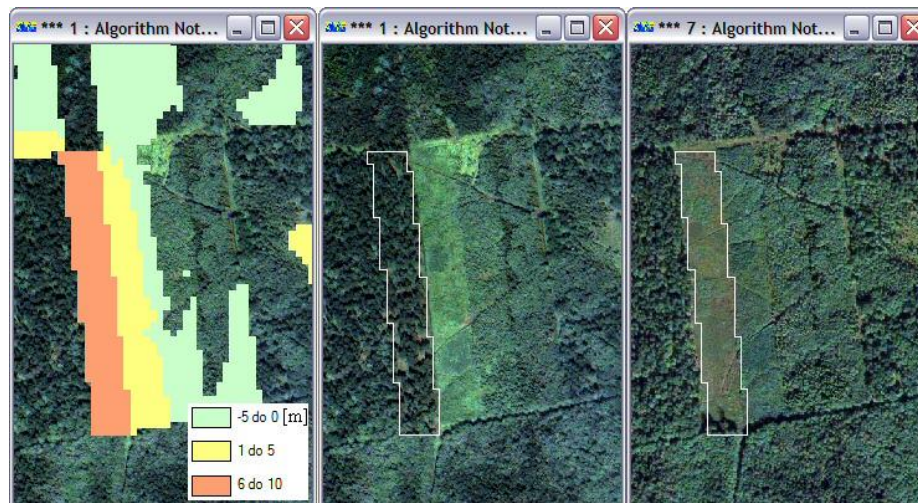


Rys.6. Przykład detekcji lasów poza własnością LP w części NE kompleksu głównego Puszczy Niepołomickiej.

Analizy różnic (SRTM i WMP) „in plus” w zakresie od +6 do +16 m, wskazały na obiekty występujące w terenie, ale nieposiadające swojego odzwierciedlenia w bazie geometrycznej LMN czy atrybutowej SILP a tym samym WMP. Jednym z obiektów był las prywatny, znajdujący się w północno-wschodniej części kompleksu głównego (Rys. 6). Na wschód od niego widoczny jest zwarty obszar niskiej zabudowy, który generował różnice w zakresie od +1 do +5 m. Natomiast w części SE badanego obszaru różnice w zakresie +6 do +16 m wykazały obecność pojedynczego wysokiego budynku (prawdopodobnie hala produkcyjna).

Tabela 1

<i>Parametry statystyczne wydzielonych regionów</i>						
	pow. [ha]	min. [m]	maks. [m]	średnia arytm. [m]	mediana [m]	odchyl. std.
	[%]					
obszary leśne	10669,3	-42	30	-11,4	-12,0	6,6
	34,11					
kompleks główny	8713,7	-42	30	-10,9	-12,0	6,3
	27,86					
kompleksy grądowe	1955,3	-33	15	-13,5	-15,0	7,4
	6,25					
So 155 lat	16,0	-22	6	-11,5	-15,0	8,9
	0,05					
So 55 lat	13,8	-13	-5	-10,3	-10,0	1,1
	0,04					
So 15 lat	3,5	-12	5	-0,8	-1,0	2,4
	0,01					
obszary niezalesione	20610,7	-39	31	-2,0	-2,0	2,7
	65,89					
cały obszar	31280,0	-42	31	-5,1	-3,0	6,3
	100,00					



Rys.7. Detekcja zmian struktury drzewostanu. Lewy i środkowy obraz – IKONOS (01.08.2001); prawy obraz QuickBird (15.09.2003).

Rzadko występujące różnice wysokości „in-plus” w obrębie kompleksów leśnych, gdzie jak pokazano w Tabeli 1 dominują wartości „in-minus”, są doskonałym materiałem do przeprowadzenia detekcji zmian struktury drzewostanu, dokonanych w okresie od zakończenia misji SRTM do chwili wykonania prac urządzeniowych. W połączeniu z innymi pozyskanymi drogą teledetekcyjną danymi (Rys. 7), stwarza to ogromny potencjał do szacowania wpływu gospodarki człowieka czy analiz skutków klęsk żywiołowych na ekosystem leśny.

Tabela 2

<i>Korelacja pomiędzy badanymi modelami powierzchni dla obszarów leśnych poza administracją LP oraz pozostałych</i>			
<i>dane</i>	SRTM	NMT	WMP
SRTM	1,000	0.989	0.988
NMT	-	1,000	0.997
WMP	-	-	1,000

Tabela 3

<i>Korelacja pomiędzy badanymi modelami powierzchni dla kompleksów leśnych Nadleśnictwa Niepołomice</i>			
<i>dane</i>	SRTM	NMT	WMP
SRTM	1,000	0.910	0.803
NMT	-	1,000	0.719
WMP	-	-	1,000

Tabela 4

<i>Korelacja pomiędzy badanymi modelami powierzchni dla całego obszaru badań</i>			
<i>dane</i>	SRTM	NMT	WMP
SRTM	1,000	0.926	0.934
NMT	-	1,000	0.799
WMP	-	-	1,000

Tabele 2 do 4 przedstawiają zależność korelacyjną pomiędzy analizowanymi zestawami danych. Jak wynika z przeprowadzonych obliczeń statystycznych największą korelację pomiędzy SRTM a NMT stwierdzono w przypadku obszarów nieleśnych (Tab.2). Jest to logiczne gdyż NMT i WMP dla tych obszarów są tożsame i świadczy to tylko o wysokiej jakości ITED.

Stosunkowo wysoka korelacja pomiędzy SRTM a NMT zanotowana dla obszarów leśnych kształtująca się na poziomie 0,91 (Tab.3) oraz SRTM a WMP świadczy o użyteczności modelu dla celów planistycznych i analiz przestrzennych GIS. Pogorszenie jakości SRTM w obszarach leśnych, powodowane negatywnym wpływem drzewostanów starszych klas wieku (wysokie drzewa i słabsze zwarcie pionowe koron), może działać na korzyść w momencie wykorzystania informacji pochodzącej z baz danych SILP. Analizy przestrzenne GIS w szybkim czasie mogą dać odpowiedź o obszarach klęskowych czy zmianie użytkowania w obszarach leśnych.

5. Podsumowanie

Poszukiwanie modeli terenu o ciągłym pokryciu dla obszaru Polski wykonanych tą samą metodyką, a przy tym niedrogich (bądź bezpłatnych) i spełniających jednocześnie stawiane im wymogi dokładności i wiarygodności, potwierdza przydatność DTED-1 (DTED-2) jako alternatywnego źródła geodanych.

Porównywanie dokładności modelu DTED do innych NMT może nastęrczać trudności gdyż wykonywane na podstawie map topograficznych modele uważane za referencyjne nie są wolne od błędów. Rozwiązanie tych problemów przynieść mogą NMP wykonywane przy tworzeniu ortofotomap dla obszaru Polski. Dalej pozostaje nierozwiązana (w ujęciu Instrukcji) kwestia tworzenia NMPT w obszarach leśnych. Realizowane w obecnym czasie projekty Phare 1:26.000 próbują uszczegółwić ten problem, brak jest natomiast regulacji prawnych w tym zakresie.

Integracja geoinformacji pomiędzy urzędami administracji publicznej (np. GUGIK) a GD LP może przyczynić się do wykorzystania informacji zgromadzonych w bazach SILP w zakresie tworzenia NMPT obszarów leśnych niezbędnego do poprawnego generowania ortofotografii.

Wykorzystanie modelu DTED (DTED-2) w analizie zmian krajobrazu dla obszaru całej Polski bądź Europy w aspekcie realizacji krajowego programu zalesień wydaje się być niezmiernie istotne. Na podstawie przeprowadzonych badań można założyć, iż w obszarach chronionych (np. Parki Narodowe, Natura 2000) o charakterze nieleśnym (np. Biebrzański PN) bądź wręcz rolniczym (łąki Puszczy Niepołomickiej) gdzie niedokładność DTED w stosunku do NMT (z map topograficznych) wynosi zaledwie 2-3 m, jego wykorzystanie powinno być powszechne.

Literatura

- Czegka, W., Behrends, K., Braune, S., 2004, Die Qualität der SRTM-90m Höhendaten und ihre Verwendbarkeit in GIS, UNIGIS Update Konferenz 2004, Salzburg
- Gaździcki, J., 2001, Leksykon Geoinformatyczny, Polskie Towarzystwo Informatyki Przemysłowej, Warszawa.
- Geist, T., Heller, A., Stötter, J., 2004, Digitale Geländemodelle aus Airborne Laserscanningdaten -eine qualitativ hochwertige Grundlage für glaziologische Fragestellungen, w: Angewandte Geoinformatik 2004, Beiträge zum 16. AGIT-Symposium Salzburg, Str. 163-171, Wichmann Verlag, Heidelberg.
- Heipke, C., Koch, A., Lohmann, P., 2002. Analysis of SRTM DTM – Methodology and practical results, w: Journal of the Swedish Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 2002:1, Str. 69-80, Photogrammetry meets geoinformatics, Anders Boberg, Ed.
- Internet a: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>, pobrano 2004
- Internet b: <http://srtm.usgs.gov/index.html>, pobrano 2004
- Kim, Y., van Zyl, J., 2001, Comparison of Forest Parameter Estimation Techniques Using SAR Data, IGARSS 2001 AIRSAR PacRim Conferences and Workshop, Sydney, Australia.
- Kurczyński, Z., 2000, Nowa era Geoinformatyki - Radarowa misja topograficzna promu kosmicznego Endeavour, w: Geodeta, nr 8 (63).

- Rabus, B., M. Eineder, A. Roth, R. Bamler, 2003, The shuttle radar topography mission- a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar, w: Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Tom 57, Str. 241-262, ISPRS.
- Reich, M., Thiel, K.H., 2002 .Vergleich von Digitalen Höhenmodellen Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung Band 11, 2002; Vorträge 22. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF 24. - 26. September 2002, Neubrandenburg
- Riedlinger, T., Voigt, S., Mehl, H., 2004, Satelliten gestütztes Katastrophenmonitoring und Notfallkartierungen als Entscheidungshilfe für das Krisenmanagement, w: Angewandte Geoinformatik 2004, Beiträge zum 16. AGIT-Symposium Salzburg, Str. 574-578, Wichmann Verlag, Heidelberg.
- Treuhaft, R., Siqueira, P., 2004, The calculated performance of forest structure and biomass estimates from interferometric radar, w: Waves Random Media, nr. 14, Institute Of Physics Publishing.
- Wack, R., Schardt, M., 2004, Ableitung von Gelände- und Forstparametern mit Laserscannerdaten für die Modellierung von Lawinenabgängen, w: Angewandte Geoinformatik 2004, Beiträge zum 16. AGIT-Symposium Salzburg, Str. 754-759, Wichmann Verlag, Heidelberg.
- Wężyk, P., 2000. System monitorowania i zarządzania środowiskiem leśnym "FOREMMS" – wkład do rozwoju polityki UE zrównoważonego wykorzystania zasobów naturalnych, 2-nd International Conference: Cadastre, Photogrammetry, Geoinformatics – modern technologies and development perspectives, October 17-19.2000, Lviv, Ukraine.
- Wężyk, P., 2004, Integracja technologii geoinformatycznych w systemie monitoringu i zarządzania ekosystemami leśnym Europy, na przykładzie projektu FOREMMS (V PR UE). W: Teledetekcja Środowiska, Nr 33, Str. 75-81.
- Wężyk, P., Guzik M., 2002, The use of "Photogrammetry-GIS" (P-GIS) for the Analysis of the changes in Tatra mountains natural environment. A message from the Tatra. Geographical Information Systems and Remote Sensing in Mountain Environment Research. Krakow, Poland. Riverside, California, USA, Jagiellonian University Press, Str. 31-46.
- Wężyk, P., Guzik, M., 2004a. Projekt „Kasprowy” – przykład integracji technologii geoinformatycznych w badaniach przyrodniczych w TPN. W: Materiały „I Warsztaty – Systemy Informacji Geograficznej w Parkach Narodowych”. Zakopane 20-21.05.2004. (dostępne pod adresem <http://www.gis.tpn.pl>)
- Wężyk, P., Guzik M., 2004b. Techniki geomatyczne w badaniach czasowo-przestrzennych zmian szaty roślinnej Tatr na przykładzie rejonu Kasprowego Wierchu. W: W: Teledetekcja Środowiska. Nr 33, s. 58-67.
- Wężyk, P., Świąder A., 2003, Image Web Server – platforma udostępniania ortofotomap cyfrowych przez Internet, Fotogrametria bliskiego i dalekiego zasięgu, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 13B, Str. 477-485, Wrocław.

Recenzował: prof. dr hab. Józef Jachimski