

**ZASTOSOWANIE WYBRANYCH ATRYBUTÓW NMT W PRZYBLIŻONYM
OKREŚLENIU GRANIC WYSOKOŚCIOWYCH PIĘTER ROŚLINNYCH
NA PRZYKŁADZIE NADLEŚNICTWA PIWNICZNA***

**APPLICATION OF SELECTED DTM ATTRIBUTES IN APPROXIMATE
DELIMITATION OF THE BOUNDARIES OF ALTITUDINAL VEGETATION
ZONES IN PIWNICZNA FOREST DISTRICT**

Krystian Kozioł

Katedra Geomatyki, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska,
Akademia Górniczo-Hutnicza

SŁOWA KLUCZOWE: automatyzacja, analizy przestrzenne, granice pięter wysokościowych roślinności, TPI, NMT

STRESZCZENIE: Artykuł przedstawia sposób wykorzystania atrybutów Numerycznego Modelu Terenu (NMT) dla wyznaczenia przebiegu granic wysokościowych pięter roślinnych. Zakres prac terenowych i kameralnych koniecznych w celu wykreślenia tych granic dla znacznego obszaru charakteryzującego się dużym zróżnicowaniem skłania do poszukiwania rozwiązań opartych na geoprzetwarzaniu. Cechą charakterystyczną metod opartych na analizie danych przestrzennych jest ich powtarzalność, weryfikowalność oraz minimalizacja niezbędnych pomiarów terenowych. Terenem badań wybranym do przeprowadzenia testów związanych z wykorzystaniem atrybutów NMT były lasy Nadleśnictwa Piwniczna. Podstawowym źródłem danych wykorzystanych w projekcji był uzyskany z WODGiK NMT, zapisany w postaci siatki nieregularnych trójkątów (TIN). Na podstawie modelu zostały wyznaczone: ekspozycje stoków, spadki stoków oraz atrybuty opisujące orografię terenu, wśród których na szczególną uwagę zasługuje topograficzny indeks pozycji (ang. *Topographic Position Index* – TPI) (Jenness, 2006). Na wybranym terenie kierując się kryteriami dendrologicznymi, siedliskowymi oraz fitosocjologicznymi dokonano wyznaczenia punktów przebiegu granic pomiędzy regłem górnym, regłem dolnym oraz pięciem pogórskim. W badaniach wykorzystano fakt wysokiej korelacji pomiędzy przebiegiem granic pięter roślinnych, a izoterma- mi średnich temperatur powietrza. Przyjęta metodyka polegała na określeniu wzoru na obliczenie przybliżonej średniej temperatury na podstawie zmiennych, pochodzących z przetworzenia NMT. W tym celu wykorzystano dane pochodzące ze 139 stacji meteorologicznych PIHM, dla których zostały wyznaczone następujące parametry przestrzenne: długość i szerokość geograficzna, wysokość n.p.m., spadki, ekspozycje terenu, topograficzne indeksy pozycji dla różnej skali oraz klasyfikacje topografii terenu wynikające z wartości TPI. Posiadając wzór łączący wymienione atrybuty ze średnią temperaturą przystąpiono do wyznaczenia izoterm średnich temperatur dla obszaru testowego.

Obecnie przeprowadzane są testy w celu udoskonalenia proponowanej metodyki i wprowadzenia następujących atrybutów NMT. Zaproponowane rozwiązanie pozwala na uzupełnienie i aktualizację Systemu Informacji Lasów Państwowych.

1. WSTĘP

Rozwój technologii pozyskiwania informacji przestrzennej oraz ciągle doskonalenie metod przetwarzania powodują, iż naukowcy z różnych dziedzin sięgają po rozwiązania z zakresu geoinformatyki. Przykładem takiego podejścia może być próba automatycznego wyznaczenia granic pięter roślinnych. Zadania jakie postawiono w tych badaniach przed narzędziami geoinformatycznymi obejmowały przeprowadzenie wstępnych analiz i ocenę wykonalności projektu. W trakcie prac przygotowawczych system informacji geograficznej odpowiadał za gromadzenie danych oraz ich przechowywanie. Analizy przestrzenne prowadzące do wyznaczenia przebiegu granic pięter roślinności wykonywane były na podstawie danych cyfrowych udostępnionych dla obszaru badań.

2. CEL I ZNACZENIE DLA GOSPODARKI LEŚNEJ

Przedmiotem badań były granice pionowego występowania pięter roślinnych w VIII Krainie Karpackiej między:

- piętrem pogórskim a regłem dolnym (P/D),
- regłem dolnym a regłem górnym (D/G).

Z punktu widzenia praktyki leśnej najważniejszą konsekwencją wyznaczania wyżej wymienionych granic jest wyraźne rozgraniczenie siedlisk wyżynnych od górskich oraz górskich od wysokogórskich, wymagających istotnie różniącego się składu gatunkowego drzewostanów i postępowania hodowlanego. Ze względu na zasięg powierzchniowy większe znaczenie gospodarcze ma prawidłowe wyznaczenie granicy P/D.

W odniesieniu do granicy D/G należy natomiast podkreślić funkcje ochronne pełnione przez bory wysokogórskie, w związku z czym wymagają one specjalnego postępowania hodowlanego, zapewniającego im możliwie największą stabilność. Należy podkreślić, iż obecnie w większości przypadków granice te zostały zatracone poprzez prowadzenie gospodarki leśnej, a ich przywrócenie możliwe jest po ponownym ich wyznaczeniu. Głównym celem badań było opracowanie metodyki przydatnej do wykreślenia wymienionych granic na obszarze całej Krainy Karpackiej. Jednakże z przyczyn ekonomicznych wybrano jedno z nadleśnictw zlokalizowanych w tej krainie.

3. DOTYCHCZASOWE BADANIA

Rozmieszczenie pięter roślinnych jest w ścisłym związku z warunkami abiotycznymi (klimat, podłoże, gleba, orografia) oraz z oddziaływaniem człowieka na naturę (go-

spodarka rolna i leśna). Rzeźba terenu i procesy geomorfologiczne należą do kluczowych czynników decydujących położeniu i kształtowaniu się pięter roślinnych lasu w górach oraz ich zmian w czasie. Ich oddziaływanie modyfikuje położenie tej granicy wynikające z czynników klimatycznych, powodując najczęściej jej lokalne obniżenie. Oprócz czynników o charakterze pasywnym (nachylenie stoku, przetrwałe formy rzeźby), równie istotną rolę odgrywają czynniki aktywne – współczesne procesy o charakterze katastrofalnym (Bieroński *et al.*, 1992).

Granice pięter klimatyczno-roślinnych w Beskidzie Sądeckim nad doliną Popradu są zróżnicowane w zależności od przyjmowanych kryteriów rozpoznawczych. W ujęciu botanicznym granica pogórza i regla dolnego przebiega na wysokości około 600 m n.p.m. (Pawłowski, 1925). Według Hessa (1965) jest to granica dwóch pięter klimatycznych – umiarkowanie ciepłego piętra pogórza i umiarkowanie chłodnego piętra dolnoregłowego. Zasady hodowlane obowiązujące w Państwowym Gospodarstwie Leśnym (Siedliskowe Podstawy Hodowli Lasu, 2004) za dolną granicę regla dolnego uznają strefę leżącą na wysokości 450-500 m n.p.m., w zasięgu wielogatunkowych lasów liściastych, na przejściu do górskiej krainy bezdębowej i bezgrabowej. Jest to podejście leśno-gospodarcze, które w pewnym, raczej małym stopniu, uzasadnia różnice geologiczno-glebowe występujące w strefie 450-600 (750) m n.p.m. (Baran, 1981). Istotna jest natomiast rola lasotwórcza drzew i ich zasięgi. Dlatego leśnicy dzielą stoki górskie na część podgórską i górską, kierując się celowością wprowadzenia do składu drzewostanów dębu, sosny i domieszkowego graba. Zasięg regla górnego, w tym również w lasach górskich sąsiadujących z Doliną Popradu, określany jest zarówno przez geobotaników, jak i przez leśników od wysokości 1100 (1150) m n.p.m. po szczyty najwyższych wzniesień (Baran, 1981; Zientarski, 1989). W Beskidzie Sądeckim są to wzniesienia: Małej Przehyby (1175 m), Wielkiej Przehyby (1195 m), Radziejowej (1265 m) i Wielkiego Rogacza (1182 m). Na terenie Nadleśnictwa Piwniczna znajduje się najwyższe z tych wzniesień – Radziejowa. Część szczytową pokrywają górnoregłowe świerczyny łączące się ze zwartym pasem 85-100 letnich sztucznych świerczyn, ciągnących się od Wielkiej Przehyby do Radziejowej.

4. MATERIAŁY I METODYKA

Dla osiągnięcia postawionego w projekcie celu niezbędnym było pozyskanie danych przestrzennych dla obszaru badań. Dane pochodziły z zasobów Wojewódzkiego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej (WODGiK):

- mapy topograficzne,
- ortofotomapy,
- Numeryczny Model Terenu,

oraz z Systemu Informatycznego Lasów Państwowych (SILP) Nadleśnictwa Piwniczna:

- dane atrybutowe z Systemu LAS opisujące skład gatunkowy oraz dane siedliskowe,
- dane wektorowe Leśnej Mapy Numerycznej (LMN).

Dane klimatyczne pozyskano na podstawie pomiarów wykonanych w stacjach meteorologicznych. Współrzędne geograficzne stacji meteorologicznych określono na podstawie mapy topograficznej 1:10 000. Wartości temperatur zostały wykorzystane do weryfikacji otrzymanych wartości izolinii średnich temperatur obliczonych na podstawie NMT. Wszystkie dane przestrzenne użyte w analizach zostały sprowadzone do jednego wspólnego układu odniesienia (PUWG 1992), który jest układem obowiązującym dla Leśnej Mapy Numerycznej.

Jedno z założeń projektu mówiło o konieczności ograniczenia ilości pomiarów terenowych oraz o szerokim wykorzystaniu istniejących danych przestrzennych dla uzyskania przybliżonego wyniku. W związku z tym wykonano wstępną analizę wykonalności postawionych zadań z wykorzystaniem modelu NMT uzyskanego na podstawie danych SRTM. W wyniku przeglądu literatury krajowej i zagranicznej oraz badań własnych autora przyjęto, iż rozwiązanie problemu wymaga wykonania następujących prac:

- wyznaczenia punktów granicznych poprzez prace terenowe, posługując się kryteriami, które hasłowo nazwano dendrologicznymi i fitosocjologicznymi, siedliskowymi oraz hodowlanymi,
- uzyskanie na podstawie NMT atrybutów determinujących parametry klimatyczne i przez to mających wpływ na wzrost roślinności; do atrybutów tych zaliczono: współrzędne geograficzne oraz wysokość jako atrybuty położenia, ekspozycję stoków, nachylenie stoków, orografię terenu,
- zbudowania formuł matematycznych opisujących rozkład przestrzenny czynników hydro-klimatycznych kształtujących warunki wzrastania roślinności leśnej oraz produktywności siedlisk leśnych, jako wyniku działania tych czynników,
- realizacji wymienionych formuł matematycznych poprzez narzędzia GIS, doprowadzając do uzyskania izolinii będących reprezentacją przebiegu wyznaczanych granic,
- zapisu izolinii umożliwiającego aktualizację oraz uzupełnienie informacji geometrycznej i opisowej LMN/SILP.

Pierwszym i podstawowym zadaniem były prace terenowe w wyniku których otrzymano współrzędne punktów dla istniejącej granicy P/D oraz D/G. Sposób wyznaczenia granicy P/D oraz D/G oparty był o wiedzę specjalistów w zakresie gleboznawstwa, hodowli lasu, botaniki. W trakcie sesji terenowej wyznaczono 327 punktów dla granicy P/D oraz 278 punktów dla granicy D/G. Następnie punkty poddane zostały analizie przestrzennej, dzięki której punkty te otrzymały wartości wszystkich parametrów uzyskanych z NMT. Wartości tych atrybutów niezbędne były dla obliczenia wartości średnich temperatur wg wzoru 1. Wyznaczony wzór pozwala na obliczenie średniej temperatury w dowolnym miejscu dla którego wyznaczono wartości parametrów MNT, dlatego możliwym było wyznaczenie średnich temperatur w postaci izolinii. Wykreślenie granic pięter roślinnych wymagało połączenia ich położenia z cechami siedliska, którego rozkład przestrzenny możliwy jest do przedstawienia na mapie za pomocą izolinii. W pierwszej kolejności wykorzystano azymuty i spadki stoków, podjęto także próbę wykorzystania tak zwanego indeksu topograficznego pozycji (TPI) (Weiss, 2001; Jenness, 2006). W wyniku przeprowadzonych badań i testów najlepszym odpowiednikiem granicy pionowych stref roślinnych okazały się izolinie średnich, maksymalnych i minimalnych temperatur.

Wzór do obliczenia średnich temperatur rocznych, pór roku, maksymalnych, minimalnych oraz miesięcznych (22 średnie temperatury – Tab. 3) opracowano uwzględniając współrzędne geograficzne i wysokości położenia terenu oraz elementy warunków orograficznych. Ze względu na formalne procedury stosowane do obliczeń, identyfikację wzoru (1) wykonuje się po podstawieniu temperatur w skali Fahrenheita.

Wzór ogólny ma następującą postać (Suliński *et al.*, 2009):

$$T_F = \left\{ \beta \left[1 - \left(\left(\frac{A_z}{360} - 0,5 \right)^2 \right)^{\frac{i}{90}} \right] \right\} + \left(\chi \left(1 - \frac{Y}{90} \right) \right) + (-\delta X) + (\alpha H), \quad (1)$$

gdzie:

- T_F – średnia temperatura za wybrany okres [w skali Fahrenheita],
- A_z – azymut stacji pomiarowej [stopnie dziesiętne],
- i – spadek stoku [stopnie dziesiętne],
- Y – szerokość geograficzna [stopnie dziesiętne],
- X – długość geograficzna [stopnie dziesiętne],
- H_t – wysokość terenu [m n.p.m.],
- α – parametr zależny od warunków orograficznych, którego wartości (Tab. 2) należy przyjąć kierując się kategorią terenu ustaloną wg tabeli 1, β , χ , δ wyznaczone zostały dla poszczególnych średnich temperatur miesięcznych (Tab. 2) w procesie wyznaczania wzoru za pomocą modelowania statystycznego.

Zadania związane z rzeźbą terenu wykonywano na NMT, złożonym z 40 sekcji. Wszystkie wymienione sekcje NMT zostały połączone i są przechowywane w modelu siatki regularnej w formacie rastrowym (GRID) firmy ESRI. Jako rozdzielczość przestrzenną rastra przyjęto 10 m, co zapewnia dokładność sytuacyjnego położenie punktów mapy w skali 1:10 000. Dokładność rzędnych punktów jest zgodna z założeniami Wytocznych Technicznych Instrukcji do Bazy Danych Topograficznych.

Dla wykonania rozwiązywanych zadań niezbędne było wygenerowanie informacji o spadkach, ekspozycji stoków oraz innych cechach rzeźby terenu. Występują one bowiem we wzorze (1) opisującym rozkład przestrzenny temperatur średnich powietrza. Właściwości NMT pozwalają na obliczanie wartości charakterystyk rzeźby terenu,

Tab. 1. Tabela przedstawiająca sposób ustalenia kategorii terenu na podstawie klasyfikacji Slope Position wg Weissa (2001).

Przedział wys. [m n.p.m.]	Spadki terenu [stopnie]	Klasy terenu według wartości TPI300	Kategoria terenu
do 250	<6	bez rozróżniania	1
do 250	>6	ujemne – wklęsłe	2
250 – 400	<6	dodatni – wypukłe	3
250 – 400	>6	ujemne – wklęsłe	4
od 400	wszystkie	dodatnie – wypukłe	5

Tab. 2. Tabela wartości współczynników α , β , χ , δ dla wzoru 1. Kolejne miesiące roku oznaczono T1 – T12, średnią najzimniejszych miesięcy oznaczona przez MIN natomiast średnią najcieplejszych miesięcy przez MAX.

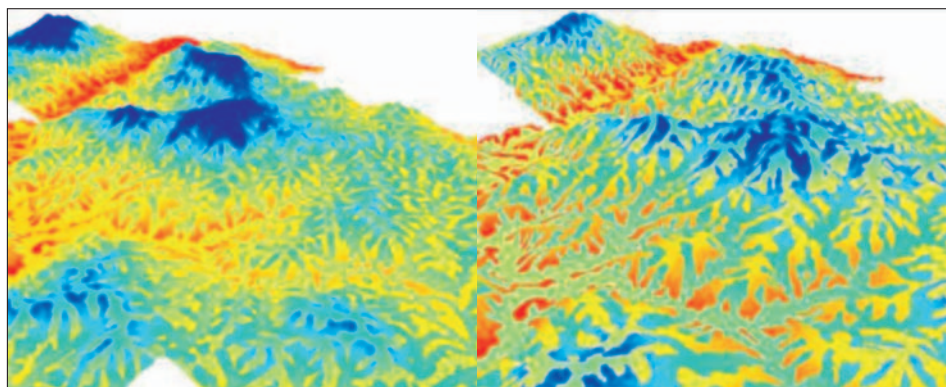
Okres	β	χ	δ	α dla kategorii terenu (tab. 1)				
				1	2	3	4	5
ROK	0.4526	4.4431	-0.1224	4.4886	4.5544	4.6057	4.2854	4.8088
LATO	0.3840	12.0457	-0.0317	5.3762	5.4006	5.5169	5.1909	5.8172
ZIMA	0.5185	-3.0431	-0.2153	3.5983	3.7046	3.6887	3.3749	3.7923
MAXA	0.2766	15.4101	0.1343	6.0035	5.8397	5.9525	5.5673	6.3710
MINA	0.7134	-23.7480	-0.1807	0.8029	0.8652	0.9188	0.6251	1.1916
MMA	-0.4368	39.1752	0.3145	5.2009	4.9747	5.0338	4.9423	5.1795
T1	0.5555	-6.7092	-0.2691	2.7992	2.7933	2.7894	2.2602	2.8521
T2	0.7736	-9.3916	-0.2394	2.8767	2.9414	2.9799	2.5370	3.0748
T3	0.3768	3.1151	-0.3580	4.1197	4.2269	4.1447	3.9035	4.4309
T4	0.2919	-1.1035	-0.0853	5.4096	5.5336	5.5635	5.2710	5.6286
T5	0.3374	4.8205	-0.0439	6.2197	6.2947	6.3458	6.2057	6.7185
T6	0.1991	12.3891	0.0194	6.1546	6.1038	6.1986	5.9033	6.4964
T7	0.2901	15.4006	0.0293	5.8794	5.8121	5.9410	5.5809	6.2015
T8	0.4748	16.3074	-0.0001	5.4773	5.4667	5.5933	5.2454	5.9527
T9	0.4618	14.6499	-0.0827	4.7216	4.7547	4.9671	4.4964	5.2328
T10	0.5508	8.0429	-0.0998	3.8183	3.9906	4.0831	3.7391	4.3377
T11	0.5095	-0.9860	-0.1130	3.3606	3.5540	3.4956	3.3927	3.6391
T12	0.6093	-3.1640	-0.2276	3.0264	3.1809	3.1659	2.8892	3.1391
MAX1	0.7151	-4.2412	-0.1903	3.2683	3.1999	3.1335	2.6177	2.9749
MIN1	0.3042	-11.6447	-0.4172	1.3511	1.4623	1.4467	1.4644	1.9483
MAX7	0.3126	15.3794	0.1383	5.9230	5.7713	5.9117	5.4768	6.2313
MIN7	0.3978	15.3953	-0.0790	5.9298	5.9317	6.0756	5.8442	6.2771

między innymi: spadków terenu, ekspozycji stoków, nasłonecznienia, warunków hydrologicznych i wielu innych. Atrybuty te obliczane są na podstawie modelu siatki regularnej w postaci rastrowej. Same procedury zastosowane do obliczeń, jak również szczegółowe wyniki nie są tu opisywane i są przedmiotem osobnego artykułu (Lach, Kozioł, 2009). W miarę możliwości generowano je w oprogramowaniu ArcGIS ArcInfo 9.3 (rozszerzenia: 3D Analyst, Spatial Analyst) (ESRI, 2008) lub za pomocą programu funkcjonującego w systemie Matlab (Lach, Kozioł, 2009).

5. WYNIKI

Wyznaczony model (wzór 1) średnich temperatur oparty o zmienne wynikające z numerycznego Modelu Terenu oraz położenia analizowanego punktu, pozwolił na wyznaczenie wartości tych temperatur dla badanego obszaru. Obliczenia dokonano za pomocą rozszerzenia Spatial Analyst oprogramowania ArcGIS ArcInfo 9.3 (ESRI 2008). W wyniku obliczenia otrzymano 22 obrazy rozkładu zmian średnich temperatur na badanym obszarze. Przykładowe obrazy temperatur zostały przedstawione na rysunku 1.

Następnie obliczono średnie wartości temperatur w poszczególnych punktach wyznaczonych w terenie i obliczono statystyki dla poszczególnych granic (Rys. 2, Tab. 3).



Rys. 1. Przestrzenny obraz minimalnych temperatur stycznia (max: -5.5 C° – niebieski, min: -7.5 C° – czerwony) oraz maksymalnych temperatur lipca (max: 13.5 C° – niebieski, min: 7.5 C° – czerwony).



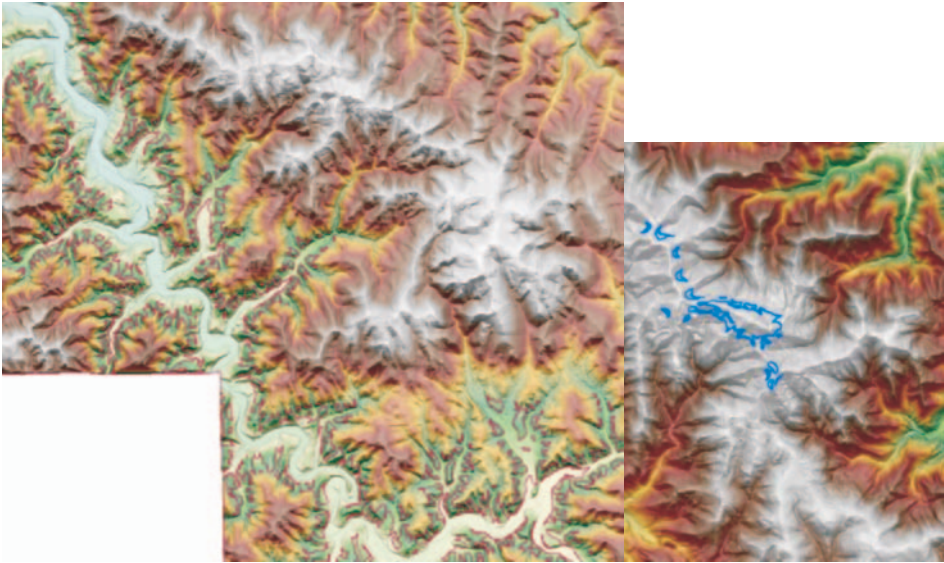
Rys. 2. Wybrane izolinie temperatur stycznia i lipca analizowane jako granica P/D.

Tab. 3. Zestawienie statystyk dla izoterm granic P/D oraz D/G.

Okres	P/D			D/G		
	Średnia	Odchylenie Std.	Mediana	Średnia	Odchylenie Std.	Mediana
ROK	4.184	0.365	4.197	1.528	0.118	1.597
LATO	7.552	0.436	7.570	4.317	0.142	4.402
ZIMA	0.763	0.293	0.775	-1.311	0.093	-1.258
MAX	11.728	0.538	11.729	8.233	0.155	8.326
MIN	-2.621	0.385	-2.396	-2.986	0.030	-2.969
T1	-1.867	0.388	-1.769	-3.242	0.070	-3.202
T2	-0.923	0.352	-0.879	-2.473	0.076	-2.429
T3	-1.269	0.361	-1.261	-3.654	0.109	-3.592
T4	6.184	0.334	6.196	2.912	0.138	2.993
T5	8.596	0.417	8.594	4.735	0.164	4.833
T6	9.623	0.439	9.650	5.938	0.159	6.033
T7	9.418	0.442	9.441	5.931	0.151	6.021
T8	8.404	0.479	8.400	5.128	0.145	5.215
T9	5.608	0.486	5.604	2.810	0.128	2.886
T10	3.964	0.396	3.955	1.643	0.106	1.706
T11	2.789	0.220	2.797	0.691	0.089	0.743
T12	-0.340	0.205	-0.335	-2.109	0.077	-2.065
MAX T1	0.120	0.250	0.126	-1.488	0.073	-1.445
MIN T1	-6.246	0.318	-6.139	-7.099	0.049	-7.074
MAX T7	11.639	0.509	11.635	8.200	0.152	8.291
MIN T7	7.395	0.376	7.399	3.762	0.153	3.853

Analizując statystykę odchyień wartości temperatury w punktach wyznaczonych dla poszczególnych izolinii (Tab. 3) zostały wybrane okresy, dla których izolinie temperatur mogą odpowiadać prawdopodobnemu przebiegowi pięter w terenie.

Poprzez obliczenie odległości pomiędzy izoliniami a punktami z pomiaru zostały wybrane najbardziej prawdopodobne wartości izoterm z zachowaniem warunku minimum dla średniej i mediany. Po wygenerowaniu izolinii o cięciu 0.01°C wybranych izoterm obliczono dla każdej z nich odległości przestrzenne do punktów pomierzonych w terenie. Wybór izolinii odbywał się na podstawie założonej dokładności wynikającej ze skali końcowego opracowania (1:10 000), tj. 10 m dla odległości poziomej i 10 m dla wysokości. W przypadku granicy między piętrem pogórskim a regłem dolnym (P/D) jako reprezentatywną wybrano izotermę listopada (T11) o wartości 2.85°C (Rys. 3). W przypadku granicy pomiędzy regłem dolnym, a regłem górnym (D/G) najlepsze dopasowanie osiągnięto dla izoterm najzimniejszych miesięcy (MIN) o wartości -2.975°C. Przebieg wybranych izoterm – po zastosowaniu filtru wysokości, został przedstawiony na rysunku 3. Filtr wysokości usunął poligony poniżej wysokości 1100 m n.p.m. powstałe na skutek wysokiej wagi warunków orograficznych we wzorze 1. Należy przy tym wyjaśnić, że zastosowany filtr dla wykreślanych granic usuwał obiekty mniejsze od 0.1 ha.



Rys. 3. Wybrane izolinie temperatur przyjęte jako najbardziej prawdopodobne przebiegi granic P/D oraz D/G.

W wyniku przeprowadzenia analiz uzyskano:

- mapy z wygenerowanymi warstwami pochodnymi z leśnej mapy numerycznej zawierające informacje o rozkładzie komponentów siedlisk leśnych i drzewostanów, uznane jako kryterialne dla ustalenia granic wysokościowych stref roślinności,
- numeryczne rozkłady średnich temperatur dla określonych przedziałów czasowych w postaci GRID (niezbędne do wyznaczenia izolinii),
- warstwy informacyjne zawierające granice pięter w postaci wektorowej stanowiące podstawę do aktualizacji leśnej mapy numerycznej,
- piętra roślinne w postaci wieloboków wektorowych,
- tabelę łączącą granice wysokościowe stref roślinnych z ich opisem w bazie danych systemu LAS.

6. WNIOSKI

Przyjęta zasada wyznaczenia przebiegu granic w oparciu o analizę statystyczną izoterm pozwala na:

- ekstrapolację jej przebiegu z błędem średnim nie przekraczającym błędu położenia jednego piksela, czyli 1 mm w skali mapy 1:10 000,
- określenie błędu wysokościowego przebiegu granicy,

- przeprowadzenie całości procedur metodami automatycznymi,
- weryfikację etapów pośrednich przez użytkownika,
- uzyskanie powtarzalnej i obiektywnej metody,
- powtarzalność procedur.

Zadając sobie pytanie czy opisany sposób jest powtarzalny, a przede wszystkim obiektywny i weryfikowalny należy pamiętać, iż przedstawione tu rozwiązanie znajduje się narazie w fazie testów. Widząc jednak pierwsze rezultaty, można spodziewać się, iż dalsze prace przyniosą znaczący rozwój tej metody. Ze względu na konieczność pomiarów terenowy trudno metodę tą określić mianem w pełni automatycznej, jednakże postęp w zakresie pozyskania danych przestrzennych (np. skaniny laserowej) oraz ich analizy (rozwój analiz morfometrycznych opartych na NMT) daje nadzieje na uzyskanie pełnego automatyzmu w opisanej metodzie. Dlatego konieczne są dalsze badania na kolejnych obiektach badawczych w celu udoskonalenia zaproponowanego rozwiązania.

Wykonane badania potwierdzają fakt, że geoinformatyka jest kluczem do nowych rozwiązań niedostępnych do tej pory dla wielu dziedzin nauki. Współpraca w ramach projektu obejmowała zespół ponad dziesięcioosobowy składający się ze specjalistów różnych dziedzin, a wspólnym mianownikiem stały się dane przestrzenne i ich analiza, która umożliwiła rozwiązanie problemu.

Badania te były częścią projektu badawczego zleconego przez Dyрекcyję Generalną Lasów Państwowych pt. „Określenie granic wysokościowych stref roślinnych dla lasów górskich z rozbiciem na nadleśnictwa i obręby leśne południowej Polski” realizowanego w latach 2007-2008 przez zespół pracowników Wydziału Leśnego Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie w ramach umowy z PGL Lasy Państwowe - Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych oraz Katedry Geomatyki WGGiIŚ AGH w ramach badań statutowych 11.11.150.006.

7. LITERATURA

Baran S., 1981. *Typy siedliskowe lasu w Dolinie Popradu*. Maszynopis. KGL UR w Krakowie.

Bieroński J., Chmal H., Czerwiński J., Klementowski J., Traczyk A., 1992. Współczesna denudacja w górskich zlewniach Karkonoszy. [w:] Kotarba A. System denudacyjny Polski. *Prace Geograficzne IGiPZ PAN*, 155, s. 151-169.

Hess M., 1965. Piętra klimatyczne w Polskich Karpatach Zachodnich. *Zeszyty naukowe UJ*, nr 115, *Prace Geograficzne* 11.

Jenness J., 2006. *Topographic Position Index (tpi_jen.avx) extension for ArcView 3.x, v. 1.2*. Jenness Enterprises.

Lach J., Kozioł K., 2009. Implementacja algorytmów analiz przestrzennych dla dużych zbiorów danych na przykładzie topograficznego indeksu pozycji z wykorzystaniem środowiska MATLAB. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol. 20, s. 247-258.

Pawłowski B., 1925. Geobotaniczne stosunki Sądeckiej. *Prace Monograficzne Komisji Fizjograficznej PAU*, nr 1.

Siedliskowe Podstawy Hodowli Lasu. 2004. Wyd.: Ośrodek Rozwojowo-Wdrożeniowy Lasów Państwowych w Bedoniu. Opracowanie zbiorowe, Warszawa.

Suliński J., Jaworski A., Sikorska E., Skrzyszewski J., Pach M., Lasota J., Bednarz Z., Kozioł K., 2009. Raport końcowy projektu: *Określenie granic wysokościowych stref roślinnych dla lasów górskich z rozbięciem na nadleśnictwa i obręby leśne południowej Polski*, Kraków.

Weiss, A. D., 2001. *Topographic Position Index and Landforms Classification*. Indus Corporation. Working draft.

Zientarski J. 1989. Studia nad górną granicą lasu w Polsce. *Roczn. AR Pozn.*, z. 204, s. 63-68.

APPLICATION OF SELECTED DTM ATTRIBUTES IN APPROXIMATE DELIMITATION OF THE BOUNDARIES OF ALTITUDINAL VEGETATION ZONES IN PIWNICZNA FOREST DISTRICT

KEY WORDS: Automatic analysis, spatial analysis, boundaries of altitudinal vegetation zones, TPI, NMT

SUMMARY: The article presents a way of applying the attributes resulting from the Digital Terrain Model (DTM) for determining the borders of high altitude vegetation zones. The research was part of a project commissioned by the State Forests National Forest Holding under the title “Specification of borders of high altitude vegetation zones for mountain forests with a division into forest inspectorates and forest areas in southern Poland”, and was implemented in the years 2007/2008 by a team of researchers from the Forest Faculty at the Agricultural University and a Chair (Institute) of Geomatics at the Faculty of Mining Surveying and Environmental Engineering at the University of Science and Technology. The range of field work and indoor work necessary to determine the borders for a large area characterized by a considerable variation prompted us to look for solutions based on geo-processing. Methods based on the analysis of data are characterized by their repeatability, the fact that they can be verified, and the necessary field measurements can be minimized. The area selected for tests connected with the use of DTM attributes covers the forests of Piwniczna Forest Inspectorate. The basic source of data used in the project was the elevation data in TIN format which came from WODGiK. On the basis of the elevation model the following parameters have been determined: aspect, slopes, as well as attributes describing the orography of the area, where the most interesting is Topographic Position Index (TPI). In a given area, following the criteria of dendrology, forest site type and phytosociology, border points were determined between the upper subalpine forest, mountain forests and sub mountain forests. The studies used the fact that a high correlation exists between the borders of the high altitude vegetation zones and the isotherms of average temperature. The method adopted here consisted of determining the formula to calculate the approximate value of the average temperature on the basis of data that it is possible to specify using a DTM. To do this, data from 139 meteorological stations were used, for which the following spatial parameters were specified: longitude, latitude, altitude above sea level,

slope, aspect, the Topographic Position Index for various scales, as well as classifications of the area's topography determined from TPI values. Having a pattern combining the above mentioned attributes with an average temperature, the next step was to determine the isotherms of average temperatures for a test area. Currently some tests are being done to perfect the method suggested and to introduce new attributes of DTM. The solution proposed enables one to supplement and update the Information System for the National Forests.

dr inż. Krystian Koziol
krystian.koziol@agh.edu.pl
telefon: +48 12 6173323

* wersja kolorowa artykułu jest dostępna na stronie <http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit>