



Porównanie numerycznych modeli terenu SRTM i ASTER GDEM oraz ocena możliwości ich wykorzystania w modelowaniu hydrologicznym w obszarach o małych deniwelacjach

Czesław Przybyła, Krzysztof Pyszny
Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań

1. Wstęp

Obecnie posiadamy dostęp do wielu źródeł danych, które odwzorują rzeźbę powierzchni i kształt pokrycia powierzchni ziemi. W ostatnich dziesięciu latach do powszechnie wykorzystywanych zobrażeń powierzchni ziemi dołączyły numeryczne modele terenu (NMT), które tworzone są na podstawie danych uzyskanych z pomiarów terenowych, wektoryzacji istniejących materiałów kartograficznych, z naltów lotniczych oraz danych uzyskanych z systemów radarowych umieszczonych na orbicie okołoziemskiej wykorzystujących interferometrię radarową. Do 11 lutego 2000 roku, czyli do startu z przylądka Canaveral promu kosmicznego Endeavour, do pozyskania danych głównie stosowano zasadę tzw. interferometru z sąsiednich orbit (ang. cross-track interferometry), która oparta była na pozyskiwaniu obrazów z kolejnych przejść satelity po tej samej orbicie, metoda ta w praktyce napotykała na wiele trudności [11]. Przełomem była 11 dniowa radarowa misja topograficzna Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) promu kosmicznego Endeavour podczas, której wykorzystano metodę interferometru z jednej orbity (ang. single-pass interferometr). Zastosowano technikę InSAR (ang. Interferometric Synthetic Aperture Radar), której istotą jest odbiór odbitego od powierzchni Ziemi sygnału radarowego przez dwie niezależne anteny odbiorcze i porównanie ich odebranego sygnału [17].

Rozwiązanie to zasadniczo różni się tym, że dane uzyskiwane są w tym samym czasie, ze znanej i stałej bazy, co znacząco eliminuje czynniki zakłócające interferencję. Po odpowiednim przetworzeniu wyników dane z misji SRTM nazwane zostały SRTM wersja 2 modelu i dostępne są w postaci regularnej siatki grid w dokładności jednej sekundy (30x30 m) SRTM1 dla obszaru Stanów Zjednoczonych Ameryki Północnej oraz w dokładności trzech sekund (90x90 m) SRTM3 dla obszaru 80% powierzchni Ziemi znajdującego się pomiędzy 60° szerokości geograficznej północnej a 56° szerokości geograficznej południowej. Projekt SRTM jest wspólnym przedsięwzięciem amerykańskiej NASA (National Aeronautics and Space Administration) i NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) oraz włoskiej ASI (Agenzia Spaziale Italiana) i niemieckiej DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt). Dane SRTM zostały bezpłatnie udostępnione, dla obszaru Polski w rozdzielczości trzech sekund. Od 29 czerwca 2009 roku zostały udostępnione dane modelu Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Model. Model powstaje na podstawie danych zbieranych przez skaner Aster umieszczony na satelicie Terra, która krąży po orbicie Ziemi od 1999 roku i rejestruje obraz powierzchni Ziemi w 14 kanałach spektralnych o różnej rozdzielczości przestrzennej: 3 kanały zakresu VNIR (bliskiej podczerwieni) – 15 m, 6 kanałów zakresu SWIR (podczerwień krótkofalowa) – 30 m oraz 5 kanałów TIR (podczerwień termalna) – 90 m [22]. System rejestracji bliskiej podczerwieni VNIR wyposażony został w optyczny układ umożliwiający wsteczne rejestrowanie powierzchni ziemi pod kątem 27,7° co umożliwia wykonanie zobrazowań stereoskopowych na podstawie pojedynczego przelotu, które są podstawą generowania NMT [1]. NMT ASTER powstał na podstawie danych zebranych w latach 1999–2008. Obróbka scen przebiegała całkowicie automatycznie, co uważane jest za źródło błędów w NMT. Model ASTER pokrywa powierzchnię lądów pomiędzy 83° szerokości geograficznej północnej a 83° szerokości geograficznej południowej, oczko siatki ma wymiary 1x1 sekundy (30x30 m). Model ASTER powstał w ramach współpracy NASA z japońskim Ministerstwem Ekonomii, Handlu i Przemysłu METI (The Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan). Dane ASTER udostępniane są bezpłatnie dla całego obszaru, w tym dla Polski, w rozdzielczości jednej sekundy. Należy pamiętać, że analizowane w referacie modele są numerycznymi modelami pokrycia terenu, a nie modelami rzeźby terenu.

Modele SRTM i ASTER są modelami typu grid, w których dane mają strukturę regularnej matrycy, każda komórka (w przedmiotowym przypadku piksel) ma określone współrzędne x i y oraz dokładnie określoną uśrednioną dla rozdzielczości danego piksela wartość wysokości, czyli współrzędną z . Z przeprowadzonych badań [2, 7, 13, 19] wynika, że NMT mogą być stosowane podczas modelowania procesów zachodzących w środowisku przyrodniczym.

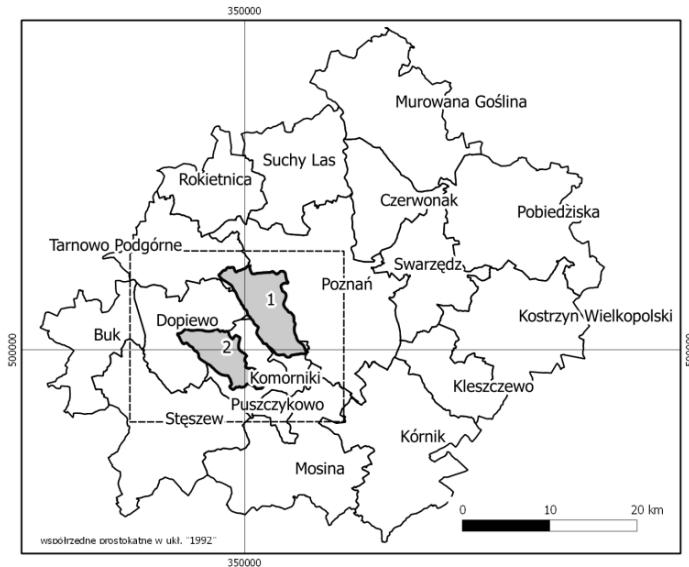
2. Cel i zakres pracy

Celem naukowym niniejszej publikacji jest analiza porównawcza bezpłatnych i ogólnodostępnych numerycznych modeli terenu, a także ich dokładność i możliwość zastosowania do modelowania procesów zachodzących w środowisku przyrodniczym. Celem aplikacyjnym jest wykazanie, że ogólnodostępne modele mogą być wykorzystywane do analiz hydrologicznych w obszarach o małych deniwelacjach.

W pracy podjęto również próbę oceny wpływu zagospodarowania terenu na dokładność analizowanych modeli.

Obszar badań obejmował dwie zlewnie położone w granicach powiatu poznańskiego (rys.1). Pierwsza z nich – zlewnia Potoku Junikowskiego o powierzchni $48,82 \text{ km}^2$ (nr zlewni 18578 zgodnie z systemem kodowania MPHP), która położona jest w większej części na terenie miasta Poznania oraz częściowo na terenie gmin Tarnowo Podgórne, Dopiewo, Komorniki i Luboń, jest lewobrzeżnym dopływem rzeki Warty. Zlewnia Potoku Junikowskiego podobnie jak sąsiadująca z nią zlewnia Skórzynki podlega silnej antropopresji [15]. Druga zlewnia – Dopływ z Dopiewca (nr zlewni 185726) o powierzchni $31,58 \text{ km}^2$ jest prawobrzeżnym dopływem Wirynki, która jest lewobrzeżnym dopływem rzeki Warty. Zgodnie z podziałem na regiony fizycznogeograficzne Kondrackiego [9] analizowany obszar znajduje się w mikroregionie Równina Poznańska (315.516), w mezoregionie Pojezierze Poznańskie (315.51), wchodzącym w skład podprowincji Pojezierza Południowobałtyckie (315) i jednocześnie makroregionu Pojezierze Wielkopolskie (315.5). Zgodnie z podziałem geomorfologicznym Niziny Wielkopolskiej Krygowskiego [10] analizowany obszar znajduje się na terenie Wysoczyzny Poznańskiej (VIII) – subregion Równina Poznańska (VIII₆). Geomorfologicznie obszar badań został opisany jako równina dennomorenowa kierunku spływu wód zgodnym z kierunkiem subglacialnego spływu wód w czasie zlodowacenia bałtyckiego stadiału leszczyńskiego, czyli

z północnego zachodu na południowy wschód. Zlewnie będące przedmiotem analiz charakteryzują się stosunkowo małymi deniwelacjami. Najwyższe wzniesienia występują na dziale wodnym Dopływu z Dopiewca i osiągnają 115 m n. p. m., a najniższym punktem badanego obszaru jest ujście Potoku Junikowskiego do Warty 54 m n.p.m.



Rys. 1. Mapa obszaru badań 1 – zlewnia Potoku Junikowskiego 2 – zlewnia Dopływu z Dopiewca wkreślone na podstawie Rastrowej Mapy Podziału Hydrograficznego Polski. Przerywaną linią zaznaczono obszar dla, którego prowadzono analizy statystyczne rastrów

Fig. 1. Map of the study sites 1 – catchment area of Junikowski Stream 2 – catchment area of Tributary from Dopiewiec based on a Raster Hydrographical Map of Poland. Dotted line shows area for which statistical analyzes for raster were carried out

3. Materiał i metody

W niniejszej pracy wykorzystano dane z dwóch bezpłatnie udostępnionych numerycznych modeli terenu SRTM i ASTER, jako referencyjny NMT traktowano model wygenerowany na podstawie linii konturowych poziomicy i punktów wysokościowych z mapy wektorowej poziomu drugiego (VMAP L2), opracowanej zgodnie ze standardami NATO przez Służbę Topograficzną Wojska Polskiego w nominalnej skali

1:50 000 w układzie WGS84. NMT oraz analizy statystyczne wykonane zostały dla powierzchni 477,5 km² o następujących współrzędnych ramki NW 336886, 511310 NE 361337, 511280 SW 336853, 491741 SE 361325, 491770 (rys. 1).

Bardzo istotnym elementem jest wybranie takiej rozdzielczości komórki rastra (gridu) modelu referencyjnego, by odzwierciedlał on złożoność terenu i prezentował większość geomorfologicznych jego cech.

Rozdzielczość rastra modelu referencyjnego, czyli rozmiar komórki (NMT VMAP L2), obliczono na podstawie równania (1). W przypadku kiedy NMT bazuje na mapie konturowej poziomic właściwa rozdzielczość rastra obliczana jest z stosunku powierzchni badanego terenu do łącznej pomnożonej przez dwie długości linii konturowych [3] w analizowanym przypadku poziomic.

$$\Delta S = \frac{A}{2 \sum L} \quad (1)$$

gdzie:

- A – badana powierzchnia (km²),
- L – łączna długość linii konturowych (km²),
- ΔS – rozdzielczość komórki rastra (km).

Powierzchnia analizowanego terenu wynosi 477,8 km², a całkowita długość linii konturowych 5217,3 km. Z podstawienia powyższych danych do wzoru (1) wynika, że rozdzielczość komórki rastra powinna wynosić 45,8 m. Wyliczoną rozdzielczość komórki rastra założono i zadeklarowano podczas tworzenia modelu.

Pierwszym etapem pracy było właściwe przygotowanie danych. Pobrano dane dla modelu SRTM [4] w postaci plików n52e16.hgt i n52e17.hgt i modelu ASTER [5] w postaci plików astgtm2_n52e016.geotiff i astgtm2_n52e017.geotiff. Dane źródłowe zostały opracowane w układzie odniesienia World Geodetic System 1984 (WGS84), a na potrzeby niniejszego referatu przekonwertowano je do układu współrzędnych prostokątnych płaskich PL-1992 jako układu tworzącego państwowy system odniesień przestrzennych obowiązujący w Polsce [16].

Analizy przeprowadzono za pomocą wolnego i otwartego oprogramowania Quantum GIS ver. 1.7.4 Wrocław i GRASS ver. 6.4.2. Analizy danych wykonywano również w arkuszach kalkulacyjnych programu Microsoft Office Excel 2007.

Dane modelu ASTER posiadają rozdzielczość 30 m, na potrzeby analizy porównawczej wykonanej w niniejszej pracy dokonano resamplingu danych do rozdzielczości 90 m. W celu usunięcia znacząco odstających komórek za pomocą narzędzia programu GRASS `r.resamp.interp` wykonano interpolację dwuliniową (czterech sąsiadujących komórek) doprowadzając do wygładzenia modeli.

W kolejnym etapie prac opracowano mapy wysokościowe modelu referencyjnego VMAP L2 (rys. 2) modelu SRTM (rys. 3) i ASTER (rys. 4) oraz wygenerowano profile wysokości dla modelu SRTM, ASTER i modelu referencyjnego VMAP L2 dla każdej z analizowanych zlewni (rys. 5 i 6). W celu wizualizacji wyników za pomocą modułu `nviz` przygotowano trójwymiarowe wizualizacje modeli (rys. 7, 8, 9). Następnie korzystając z modułu `r.mapcalc`, `r.univar` i `r.report` porównano dokładność danych modelu referencyjnego VMAP L2 z modelami SRTM i ASTER, porównano również analizowane modele pomiędzy sobą.

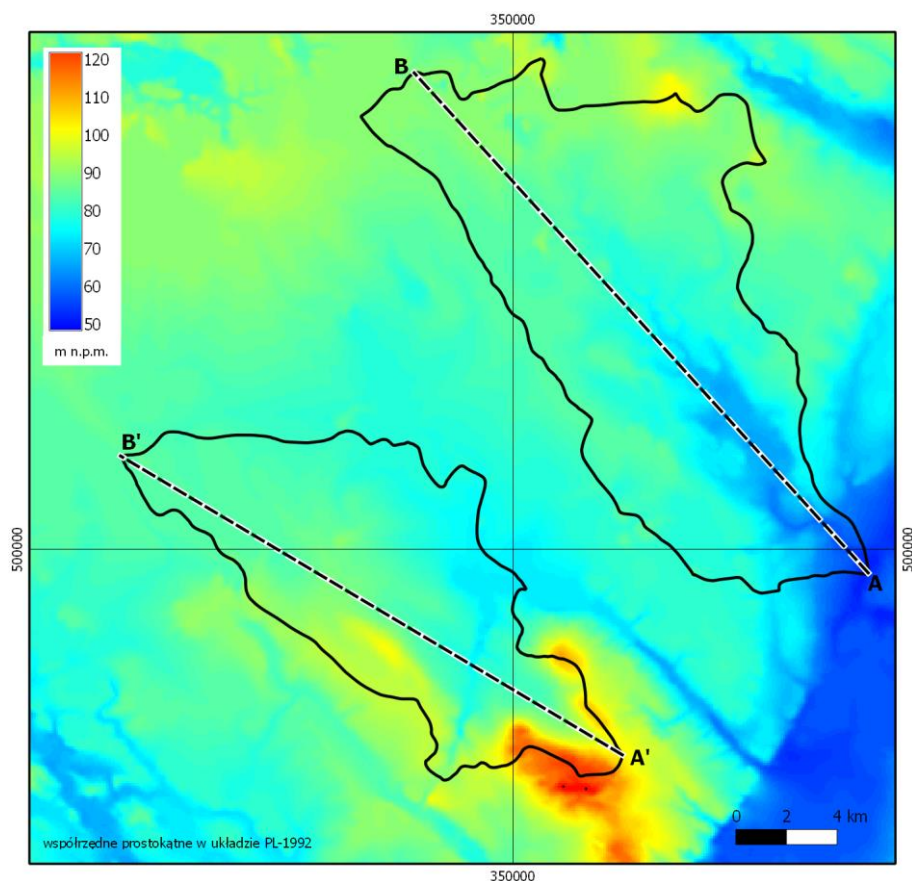
Do analiz hydrologicznych wykorzystano rozbudowany moduł `r.watershed`, który do obliczeń wykorzystuje algorytm D8 spływu powierzchniowego [14]. Używając modułu `r.watershed` wygenerowano mapy zlewni cząstkowych i mapy cieków. Mapy te zostały przetworzone do postaci wektorowej. Następnie w oparciu o algorytm Chaiken'a zostały wygładzone i porównane z danymi referencyjnymi (rys. 12). W drugiej części pracy na potrzeby analiz porównawczych, jako referencyjne przyjęto dane z Rastrowej Mapy Podziału Hydrograficznego Polski (MPHP) arkusze N-33-130c, N-33-130d, N-33-142a, N-33-142b, która opracowana została w skali 1:50 000 przez Zakład Hydrografii i Morfologii Koryt Rzecznych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie a udostępniona przez Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej.

4. Wyniki i dyskusja

Tabela 1 prezentuje wyniki statystycznej analizy opisywanych NMT. Dane dotyczące minimalnych i maksymalnych wysokości badanych modeli wskazują na błędy. Wątpliwości budzi przede wszystkim wartość minimalna, która dla modelu SRTM w badanym obszarze wynosi 0 m n.p.m., a dla modelu ASTER 9,4 m n.p.m. i znacząco odbiega od wartości modelu referencyjnego. Na mapie (rys. 4 i 5), obszary te mają kolor niebieski.

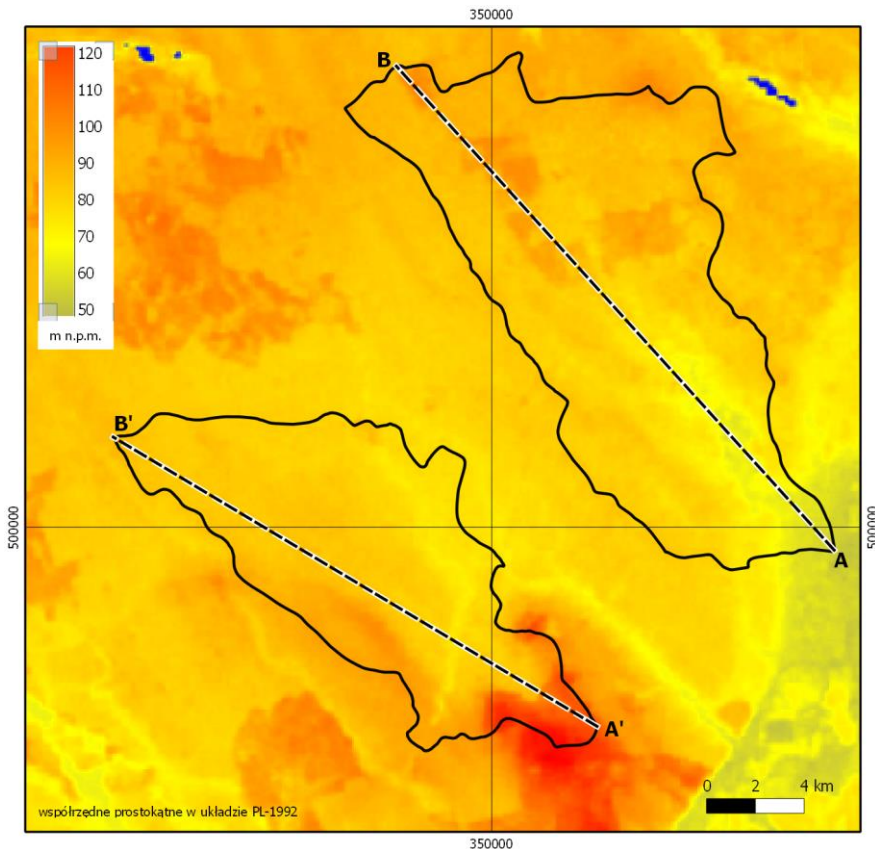
Tabela 1. Statystyka analizowanych NMT w badanym terenie
Table 1. Summary statistic of DEM`s analyzed area

Zbiór danych NMT	Min	Max	Średnia	Odchylenie standardowe
VMAP L2 referencyjny	51,9	125,7	81,8	9,8
SRTM	0	137,0	82,1	10,9
ASTER	9,4	181,1	79,8	12,5



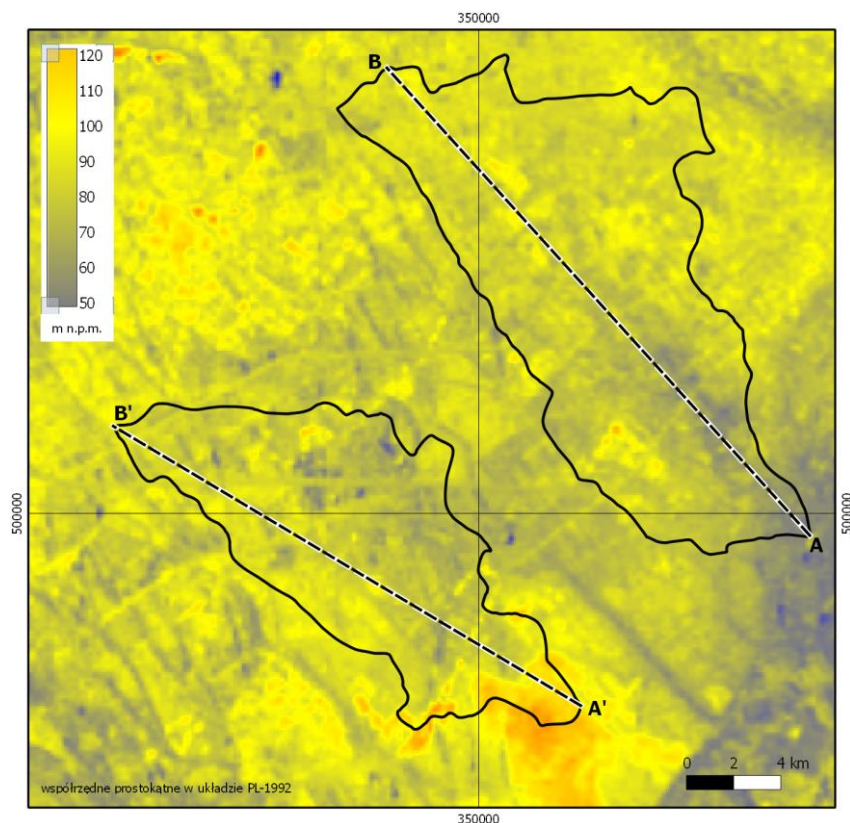
Rys. 2. Mapa wysokościowa referencyjnego modelu VMAP L2 z zaznaczonymi przekrojami w zlewni Potoku Junikowskiego i zlewni Dopływu z Dopiewca
Fig. 2. Elevation map computed from reference VMAP L2 data with marked cross-section in catchment area of Junikowski Stream and Tributary from Dopiewiec

W celu wygładzenia powierzchni analizowanych rastrów wykonano interpolację dwuliniową czterech sąsiadujących komórek, jednak w miejscach większych skupień komórek o wartości 0 działanie to nie wyeliminowało błędów. Porównując średnią wysokość analizowanych NMT z modelem referencyjnym VMAP L2 uzyskano wartości zbliżone do średniej tego modelu 81,8 m n.p.m. Średnia wartość wysokości terenu obliczona modelem SRTM jest wyższa od wysokości obliczonej według modelu referencyjnego o 0,3 m natomiast średnia wysokość obliczona na podstawie modelu ASTER jest niższa o 2 m.



Rys. 3. Mapa wysokościowa modelu SRTM z zaznaczonymi przekrojami w zlewni Potoku Junikowskiego i zlewni Dopływu z Dopiewca

Fig. 3. Elevation map computed from SRTM data with marked cross-section in catchment area of Junikowski Stream and Tributary from Dopiewiec

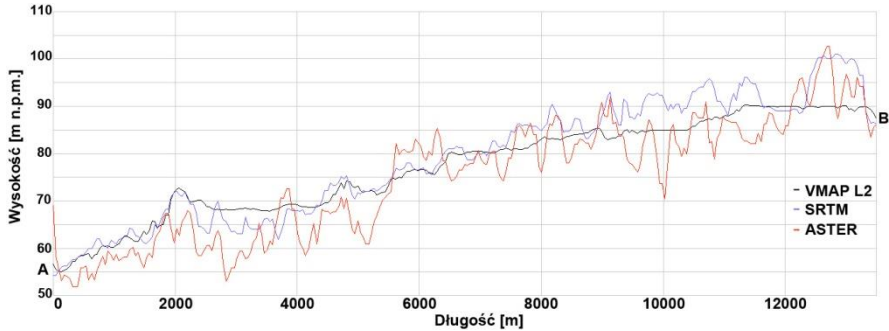


Rys. 4. Mapa wysokościowa modelu ASTER z zaznaczonymi przekrojami w zlewni Potoku Junikowskiego i zlewni Dopływu z Dopiewca

Fig. 4. Elevation map computed from ASTER data with marked cross-section in catchment area of Junikowski Stream and Tributary from Dopiewiec

Porównując analizowane modele stwierdzono, że model SRTM jest o 2,3 m wyższy od średniej wysokości modelu ASTER, obrazują to profile wysokościowe (rys. 4 i 5). Wyniki innych badań [2, 13, 18] pokazują taką samą zależność. Należy pamiętać, że model referencyjny został opracowany na podstawie VMAP L2 i sam model może zawierać błędy. Jarvis i inni [6] prowadził badania dotyczące względnych i bezwzględnych różnic wynikających z modelu SRTM i NMT, przygotowanego w oparciu o interpolację poziomnic z mapy topograficznej Hondurasu w skali 1:50 000 w stosunku do wysokiej dokładności pomiarów GPS. Wnioskiem tej pracy było stwierdzenie, że model SRTM posiadał mniejszy błąd niż

NMT wygenerowany z mapy topograficznej. Wynik badań bezwzględnej dokładności modelu SRTM w Polsce [8] pokazują, że wartość średnia błędu pomiaru wynosi 3,7 m. Dokładnie tyle samo wynosi błąd średni pomiaru dla województwa wielkopolskiego dla terenów o nachyleniu do 2° . Dla terenów o nachyleniu od 2° do 6° średni błąd pomiaru w województwie wielkopolskim wynosi 4,8 m.



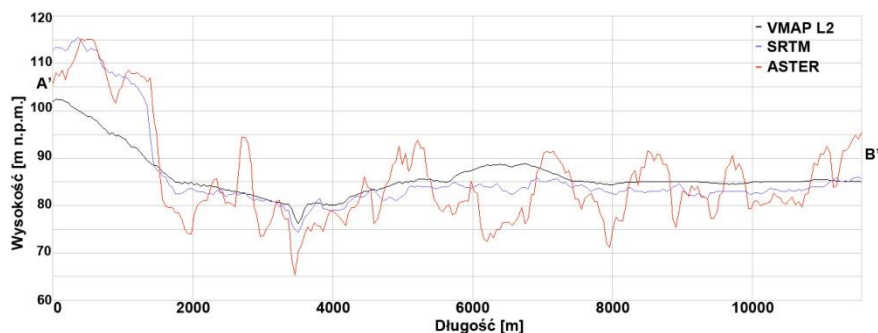
Rys. 5. Porównanie profili wysokościowych wygenerowanych z NMT SRTM i ASTER oraz referencyjnego modelu VMAP L2 w przekroju zaznaczonym na rys. 2 i 3 w zlewni Potoku Junikowskiego

Fig. 5. Comparison of elevation profiles generated from SRTM, ASTER and reference VMAP L2 model in cross-sections shown in Fig. 2 and 3 in the catchment area of Junikowski Stream

Slater [18] przeprowadził względną i bezwzględną ocenę dokładności modelu ASTER GDEM. Przeanalizował 20 miejsc w 16 krajach na Ziemi porównując model ASTER z innymi NMT i z fotogrametrycznie wyznaczonymi punktami kontrolnymi (GCPs). Wnioskiem z przeprowadzonych badań było stwierdzenie, że prawie w każdym z badanych miejsc średnia wysokość modelu ASTER jest niższa od modelu referencyjnego i od punktów kontrolnych np. dla obszaru Bośni błąd ten wynosił średnio minus 5 m w stosunku do punktów kontrolnych i minus 4 metry w stosunku do NMT wygenerowanego z danych SRTM. W analizie przeprowadzonej na obszarze badanych zlewni średnia różnica pomiędzy modelem SRTM i ASTER wynosi 2,3 m.

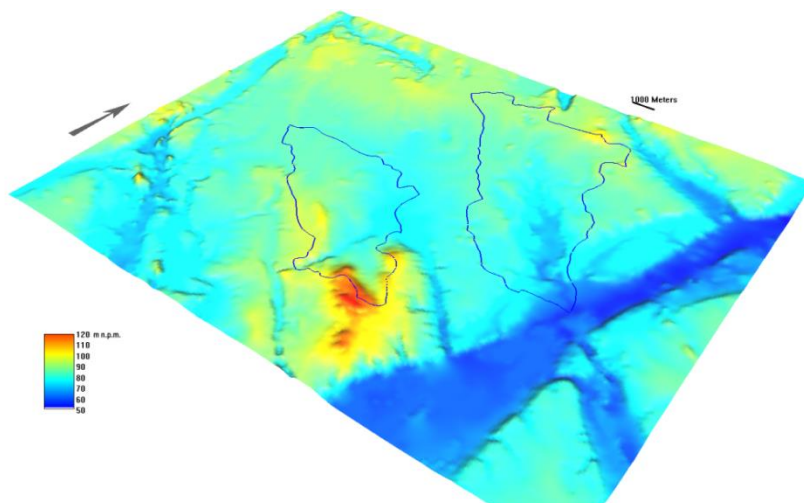
Na podstawie opracowanych trójwymiarowych wizualizacji danych modelu referencyjnego VMAP L2 (rys. 7), modelu SRTM (rys. 8) i ASTER (rys. 9) oraz porównania profili wysokościowych (rys. 5 i 6)

w modelu opracowanym na podstawie danych ASTER obserwuje się większe wahania wysokości w stosunku do modelu referencyjnego jak i modelu SRTM. Model SRTM charakteryzuje się większym wygładzeniem (rys. 8) i wyższą korelacją z modelem referencyjnym (rys. 5 i 6).



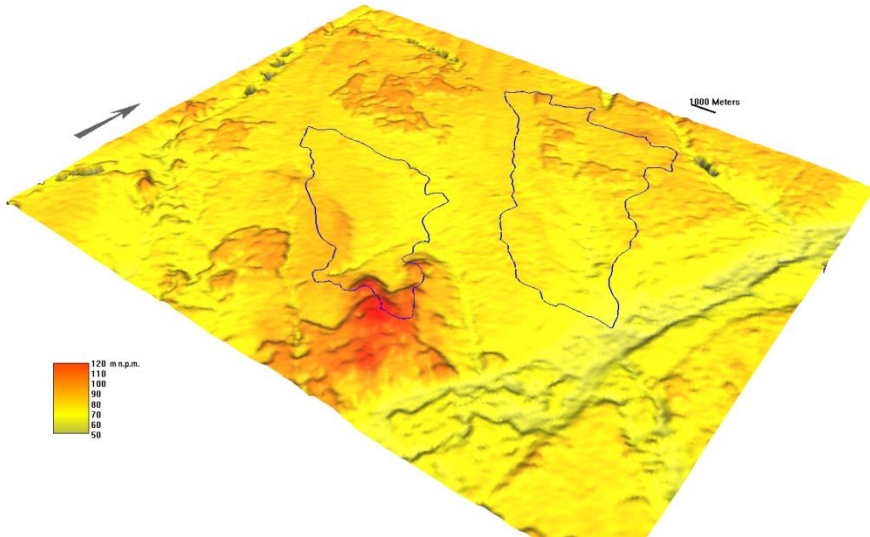
Rys. 6. Porównanie profili wysokościowych wygenerowanych z NMT SRTM i ASTER oraz referencyjnego modelu VMAP L2 w przekroju zaznaczonym na rys. 2 i 3 w zlewni Dopływu z Dopiewca

Fig. 6. Comparison of elevation profiles generated from SRTM, ASTER and reference VMAP L2 model in cross-sections shown in Fig. 2 and 3 in the catchment area of Tributary from Dopiewiec

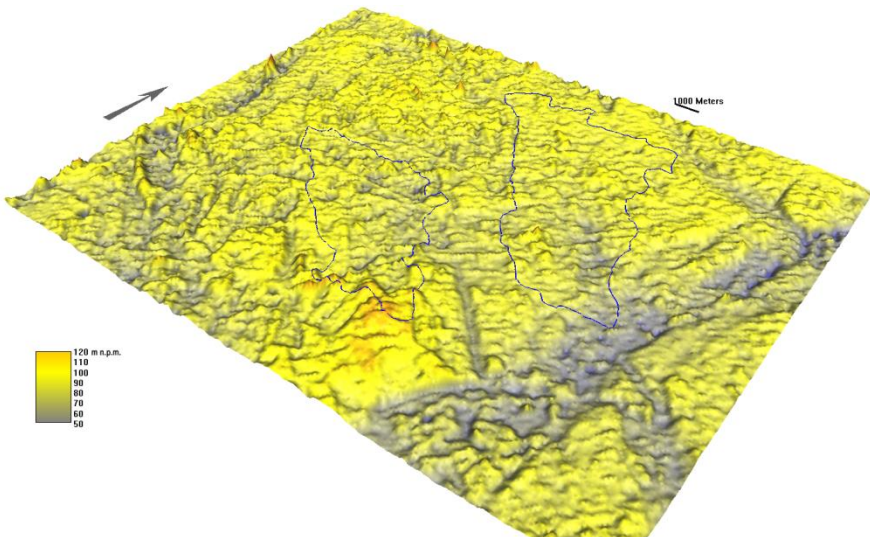


Rys. 7. Trójwymiarowa wizualizacja danych referencyjnego modelu VMAP L2

Fig. 7. Three dimensional visualization created from reference VMAP L2 data



Rys. 8. Trójwymiarowa wizualizacja danych modelu SRTM
Fig. 8. Three dimensional visualization created from SRTM data



Rys. 9. Trójwymiarowa wizualizacja danych modelu ASTER
Fig. 9. Three dimensional visualization created from ASTER data

W tabeli 2 zamieszczono statystyki błędów uzyskanych w wyniku przeprowadzenia operacji matematycznych na rastrach. Porównano analizowane modele z modelem referencyjnym oraz porównano model SRTM z modelem ASTER.

Tabela 2. Statystyka różnic analizowanych modeli NMT

Table 2. Difference statistics of the study DEM's

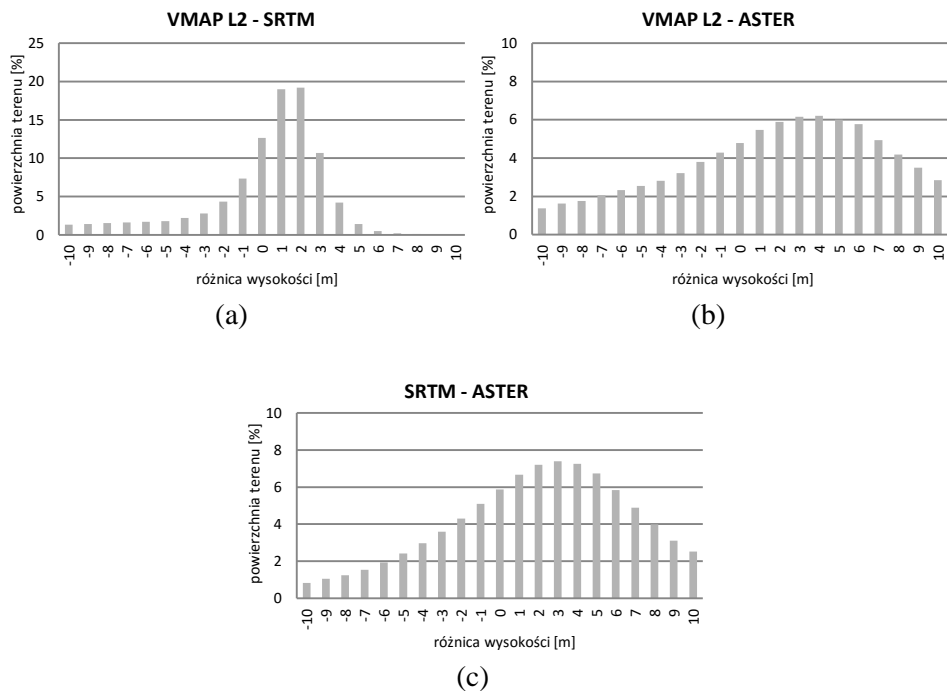
Mapy różnicujące NMT	Min	Max	Średnia	Odchylenie standardowe
SRTM-VMAP L2	-81,1	26,1	0,3	5,2
ASTER-VMAP L2	-79,5	102,0	-1,9	8,3
SRTM-ASTER	-127,2	78,3	2,3	8,0

Wyniki pozwalają stwierdzić, że najmniejsze różnice w średniej wartości występują w relacji SRTM model referencyjny VMAP L2 dla której odchylenie standardowe było najmniejsze. Potwierdzają one wyniki wcześniej prowadzonych badań [2, 13, 18], świadczące o niedoszacowaniu wysokości modelu ASTER. W analizowanym przypadku model ASTER jest średnio niższy od modelu referencyjnego o 1,9 m.

Rysunek 10 (a–c) pokazuje dystrybucję błędów w przedziale od 0 do 10 metrów. Z wykresów wynika, że model SRTM na 76% powierzchni pokrycia nie generował błędu większego niż 4 m, w tym na 58% powierzchni nie był on większy niż 2 metry, a w 13% jego wysokość była taka sama jak modelu referencyjnego. Błąd modelu ASTER w 66% badanej powierzchni nie przekraczał 8 metrów, w 33% nie przekraczał 4 metrów, na 14% nie był większy niż 2 metry, a w niecałych 5% był zgodny z modelem referencyjnym. Na analizowanym obszarze wykonano również porównania modeli pomiędzy sobą. Dla 40% powierzchni modele nie wykazują różnic większych niż 4 metry, na 17% powierzchni błąd nie był większy niż 2 metry, a w 6% modele miały taką samą wartość.

Ważnym etapem pre-processingu modelowania hydrologicznego jest wyznaczenie obszarów zlewni oraz jej sieci rzecznej. Kolejnym kryterium, według którego oceniono możliwość zastosowania NMT, było wyznaczenie zlewni oraz sieci rzecznej. Do tego celu wykorzystano narzędzie pakietu GRASS o nazwie `r.watershed` oraz `r.stream.extract`. Wyniki symulacji porównano ze zlewniami i ciekami referencyjnymi (rys. 11, 12, 13, 14), za które uznano te wyznaczone na MPHP. W celu określenia dokładności NMT, który został wygenerowany z VMAP L2 i uznany jako

referencyjny, w pierwszej części referatu porównano go z danymi referencyjnymi MPHP do których odwołano się w drugiej części pracy.



Rys. 10. Różnice wysokości pomiędzy analizowanymi NMT w zakresie 10 m
Fig. 10. The elevation differences in the range of 10 m between analyzed DEMs

W tabeli 3 porównano powierzchnię zlewni wyliczonych na podstawie NMT. Powierzchnia zlewni Strumienia Junikowskiego wygenerowana z modelu SRTM jest o 22% większa od zlewni referencyjnej, dla modelu ASTER zlewnia referencyjna została podzielona na dwie części, a w przypadku modelu z VMAP L2 zlewnia okazała się większa od referencyjnej o 6%.

Powierzchnia zlewni Dopływu z Dopiewca w przypadku modelu SRTM okazała się 16% mniejsza od referencyjnej, dla modelu ASTER okazała się o 2% mniejsza od referencyjnej. Zaskakującym wynikiem okazał się wynik analizy dla VMAP L2. Zlewnia referencyjna została podzielona na 3 zlewnie cząstkowe, których granice znacząco odbiegały od kształtu referencyjnego. Wyniki te jednoznacznie wskazują na ko-

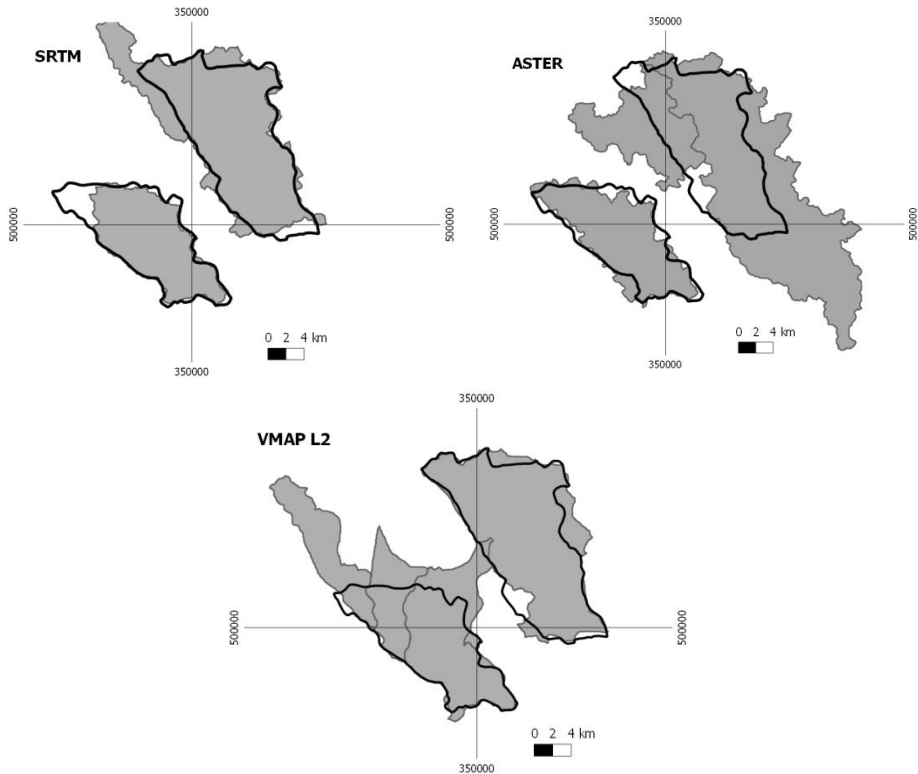
nieczność weryfikacji granic zlewni wyznaczanych na podstawie NMT. Analizując kształt zlewni wykreślonych na podstawie NMT i porównując go z granicami zlewni referencyjnych MPHP (rys. 11) największe różnice zidentyfikowano w kształcie zlewni Potoku Junikowskiego generowanego z modelu ASTER oraz w kształcie zlewni Dopływu z Dopiewca generowanego z VMAP L2.

Tabela 3. Porównanie powierzchni zlewni wygenerowanych na podstawie NMT z referencyjną powierzchnią zlewni

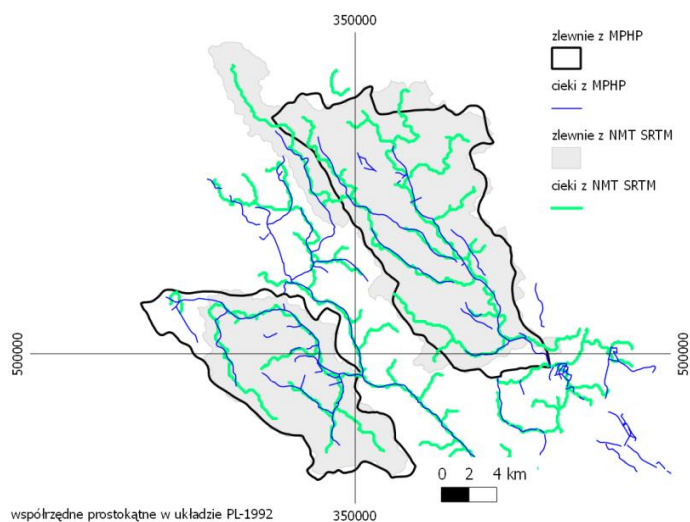
Table 3. Comparison of the catchment area generated from DEMs of the reference catchment area

NMT	zlewnia Potoku Junikowskiego [km ²]	zlewnia Dopływu z Dopiewca [km ²]
MPHP – referencyjna	48,82	31,58
SRTM	59,95	26,56
ASTER	2 zlewnie	30,82
VMAP L2	51,65	3 zlewnie

Wszystkie NMT zawierają błędy, które mogą wpłynąć na wyniki analiz [21]. Błędy NMT w obszarach o małych deniwelacjach mają zdecydowanie większy wpływ na kształt generowanych automatycznie zlewni niż błędy w obszarach o znacznych różnicach wysokości. Analizując granice zlewni wyznaczone na podstawie modeli SRTM i ASTER, gdzie deniwelacje były większe niż 400 m [13], stwierdzono dużą zgodność ich granic w stosunku do różnic odnotowanych w analizowanym obszarze. Walker i Wildgoose [20] badając implikacje użycia różnych NMT do wyznaczenia granic zlewni i sieci cieków doszli do wniosku, że rozmiary wyznaczonych na podstawie NMT zlewni znacząco mogą się różnić od rzeczywistego kształtu zlewni szczególnie w przypadku małych zlewni, a takie właśnie są przedmiotem niniejszej analizy. Należy również podkreślić fakt, że dane na podstawie, których stworzono NMT pochodzą z różnych okresów. Granice analizowanych zlewni w obszarach o deniwelacjach rzędu kilkudziesięciu metrów wyznaczone zostały prawidłowo. Zauważyć to można w południowej części zlewni Dopływu z Dopiewca, gdzie kształt granicy zlewni wyznaczonych z NMT STRM i ASTER jest bardzo do siebie zbliżony. W obszarach gdzie różnice wysokości były mniejsze kształt przebiegu granic wygenerowanych zlewni wykazywał większe różnice.

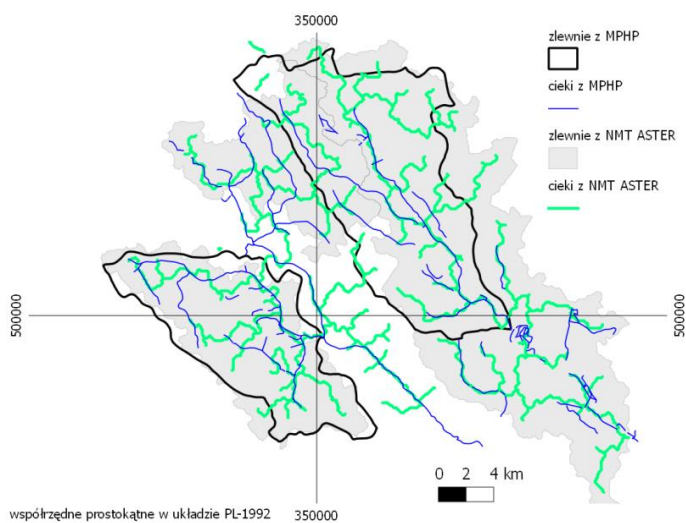


Rys. 11. Porównanie granic zlewni wygenerowanych za pomocą modułu *r.watershed* na podstawie NMT z granicami zlewni referencyjnych wyznaczonych na Rastrowej Mapie Podziału Hydrograficznego Polski
Fig. 11. Comparison of catchment boundaries generated by the module *r.watershed* based on DEMs with reference catchment boundaries from Raster Hydrographical Map of Poland



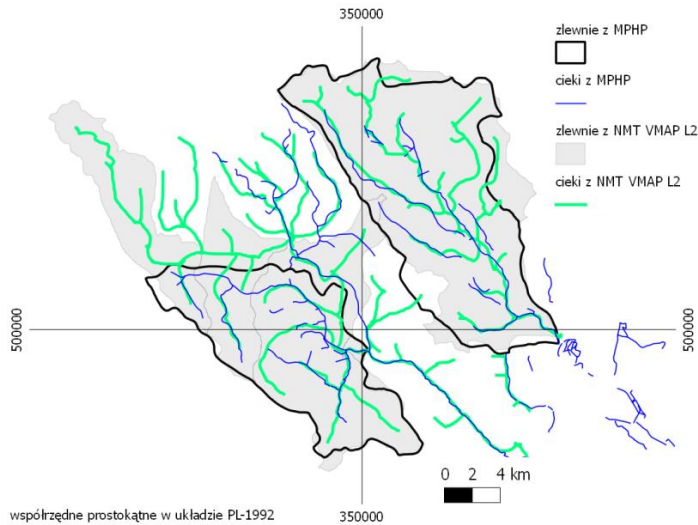
Rys. 12. Porównanie sieci rzecznej wygenerowanej dla modelu SRTM z referencyjną siecią rzeczną

Fig. 12. Comparison of river networks generated using SRTM with the reference river network model



Rys. 13. Porównanie sieci rzecznej wygenerowanej dla modelu ASTER z referencyjną siecią rzeczną

Fig. 13. Comparison of river networks generated using ASTER with the reference river network model



Rys. 14. Porównanie sieci rzecznej wygenerowanej dla modelu VMAP L2 z referencyjną siecią rzeczną

Fig. 14. Comparison of river networks generated using VMAP L2 with the reference river network model

Dodatkowym elementem, który mógł wpłynąć na kształt wygenerowanych zlewni jest forma zagospodarowania terenu obszaru zlewni. Zlewnia Dopływu z Dopiewca jest zlewnią rolniczą o stosunkowo małym stopniu zabudowy. Natomiast zlewnia Potoku Junikowskiego w znacznej części zlokalizowana jest w obszarze silnie zurbanizowanym. Modele poddane analizie są modelami pokrycia terenu, a więc uwzględniają drzewa, budynki i inne formy pokrycia terenu, co może znacząco utrudnić proces modelowania hydrologicznego [12]. W związku z tym jeżeli zlewnia znajduje się w obszarze zabudowanym, model obrazuje wysokość zabudowy analizowanego obszaru, a nie rzeźbę terenu.

Zlewnia Potoku Junikowskiego w znacznym stopniu jest zabudowana, co mogło wpłynąć na fakt, że kształt przebiegu granic zlewni wynikający z modelu SRTM i ASTER wykazuje największe różnice.

Analizując kształt sieci rzecznej wygenerowanej z NMT stwierdzono, że największą zgodnością charakteryzuje się sieć wyznaczona z modelu VMAP L2 i modelu SRTM. Jednak nie można stwierdzić, że sieć wygenerowana z NMT charakteryzuje się dokładnością pozwalającą na użycie jej w modelowaniu hydrologicznym.

Autorzy niniejszej pracy odnosili się do MPHP jako do modelu referencyjnego jednak słuszne wydaje się podejście, w którym należałoby zweryfikować w oparciu o bardziej dokładne dane np. lotniczy skaniny laserowy (LIDAR) dokładny kształt zlewni. Z dużym prawdopodobieństwem stwierdza się, że zlewnie wyznaczone na potrzeby MPHP zawierają błędy.

5. Podsumowanie i wnioski

Średnia różnica wysokości występująca pomiędzy analizowanymi modelami nie jest duża, jednak spora ilość artefaktów w modelach może wpływać na wyniki analiz hydrologicznych. Stwierdzono, że dane modelu SRTM są dokładniejsze od danych ASTER pomimo, że wejściowa rozdzielczość modelu ASTER jest większa. Wyniki badań ujawniły, że dane SRTM są bliższe modelowi referencyjnemu. Należy również stwierdzić, że dane referencyjne, z których korzystano mogą zawierać błędy. W zlewniach o małych deniwelacjach granica zlewni oraz sieć rzeczna wygenerowana z NMT może zawierać błędy wpływające na wyniki modelowania hydrologicznego. Korzystanie z udostępnionych bezpłatnie modeli SRTM i ASTER do wyznaczenia granic zlewni i sieci cieków musi być zweryfikowane w oparciu o pomiary terenowe, lub wykonane w oparciu o dane o większej rozdzielczości np. uzyskane z lotniczego skaningu laserowego LIDAR-u (Light Detection and Ranging). Ze względu na występujące w badanych modelach błędy nie rekomenduje się, by korzystano szczególnie z danych ASTER na potrzeby analiz wielkoskalowych w obszarach o małych deniwelacjach. Dane NMT SRTM i ASTER stanowią jednak wartościowy materiał do prowadzenia analiz w skalach średnich i małych. Dane z analizowanych modeli stanowią cenne źródło informacji o rzeźbie terenu i z powodzeniem mogą być wykorzystywane do analiz krajobrazowych czy geomorfologicznych.

Literatura

1. **Abrams M.:** *ASTER: data products for the high spatial resolution imager on NSA's EOS-AM1 platform.* International Journal of Remote Sensing, 21, 848–861 (2000).
2. **Forkuor G., Maathuis B.:** *Comparison of SRTM and ASTER Derived Digital Elevation Models over Two Regions in Ghana – Implications for Hydrological and Environmental Modeling.* Studies on Environmental and Applied Geomorphology, InTech, 219–240 (2012).

3. **Hengl T., Evans I.S.:** *Mathematical and Digital models of the Land Surface.* w *Geomorphometry: concepts, software, application* pod redakcją Reuter H. I., Elsevier, Amsterdam, 2009.
4. http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3/Eurasia/
5. <http://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/E/2.html>
6. **Jarvis A., Rubiano J., Nelson A., Farrow A., Mulligan M.:** *Practical use of SRTM data in tropics – Comparisons with digital elevation models generated from cartographic data.* Working Document No. 198, Cali Columbia, 32 (2004).
7. **Kamp U., Bolch T., Olsenholler J.:** *DEM Generation from ASTER Satellite Data for Geomorphometric Analysis of Cerro Sillajhuay, Chile/Bolivia.* ASPRS 2003 Annual Conference Proceedings, Anchorage, 2003.
8. **Karwel A. K., Ewiak I.:** *Ocena dokładności modelu SRTM na obszarze Polski.* Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol.16, 289–296 (2006).
9. **Kondracki J.:** *Geografia regionalna Polski.* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2002.
10. **Krygowski B.:** *Geografia fizyczna Niziny Wielkopolskiej. Część 1. Geomorfologia.* Poznańskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk, Poznań, 1961.
11. **Kurczyński Z.:** *Lotnicze i satelitarne obrazowanie Ziemi.* Tom 2. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2006.
12. **Nelson A., Reuter H.I., Gessler P.:** *DEM Production methods and sources.* w *Geomorphometry: concepts, software, application* pod redakcją Reuter H. I., Elsevier, Amsterdam, 2009.
13. **Nering K.:** *System GRASS – możliwości i zastosowania.* Część 2. Czasopismo Techniczne Politechniki Krakowskiej. 2-Ś/2011, 170–182 (2011).
14. **Netzl P. (red.):** *Analizy przestrzenne z wykorzystaniem GRASS.* Rozprawy Naukowe Instytutu Geografii i Rozwoju Regionalnego 15, Uniwersytet Wrocławski, Wrocław, 53–59 (2011).
15. **Przybyła Cz., Bykowski J., Mrozik K., Napierała M.:** *Rola infrastruktury wodno-melioracyjnej w procesie suburbanizacji.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection), 13, 769–786 (2011).
16. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 15 października 2012 roku w sprawie państwowego system odniesień przestrzennych (Dz. U. z 2012 poz. 1247).
17. **Sanecki J.:** *Teledetekcja pozyskiwanie danych.* Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa, 2006.
18. **Slater J. A., Heady B., Kroenung G., Curtis W., Haase J., Hoegmann D., Shockley C., Kevin T.:** *Evaluation of New ASTER Global Digital Elevation Model.* Available online at: <http://earth-info.nga.mil/GandG/elevation/>

19. **Tang C.:** *Surface water hydrologic simulation of Qingshuijiang Watershed based on SRTM DEM.* Geoinformatics 2008 and Joint Conference on GIS and Built Environment: Geo-Simulation and Virtual GIS Environments, 2008.
20. **Walker J.P., Willgoose G.R.:** *On the effect of Digital elevation model accuracy on hydrology and geomorphology.* Water Resources Research. 35. 2259–2268.
21. **Wise S.:** *Assessing the quality for hydrological applications of Digital elevation models derived from contours.* Hydrological Processes, 14, 1909–1929 (2000).
22. **Yamaguchi Y., Kahle A., Tsu H., Kawakami T., Pniel M.:** *Overview of Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER).* Geoscience and Remote Sensing 36, 1062–1071 (1998).

Comparison of Digital Elevation Models SRTM and ASTER GDEM and Evaluation of the Possibility of Their Use in Hydrological Modeling in Areas of Low Drop

Abstract

The article compares the accuracy of two digital elevation models Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) and Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Model. Models were assessed in the context of possibility of their usage in hydrological modeling in the areas of low drop. The object of analysis is located in the agglomeration of Poznań. Detailed study sites were the catchment area of Junikowski Stream and catchment area of Tributary from Dopiewiec. The study used data from two free DEMs: SRTM, ASTER and as a reference, DEM model generated from the contour lines and elevation points from Vector Map Level 2 (VMAP L2). Analyses were performed using Free Open Source Software, Quantum GIS ver. Wrocław and GRASS 1.7.4 ver. 6.4.2. Data analysis were also performed in spreadsheets in Microsoft Office Excel 2007. Hydrological analysis were conducted in r.watershed GRASS module. In the second part of the paper, for the comparative analysis, data from Raster Hydrographical Map of Poland was adopted.

Research showed that the average difference occurring between the analyzed models are not significant, however, a large number of artifacts in the models can influence on the results of the hydrological analysis. It has been calculated that the SRTM model is more accurate than the ASTER data even though the ASTER model input resolution is higher. The results revealed that

the SRTM is closer to the reference model. It should also be noted that used reference DEM, may contain errors. In the small catchments with low drop, catchment boundaries and river networks generated from the DEMs may contain errors affecting the results of the hydrological modeling. Using available and free DEMs (SRTM and ASTER) to generate catchment boundaries and streams networks, the results must be verified basing on field measurements or it has to be made on the basis of greater resolution data, e.g. from Airborne Laser Scanning LIDAR (Light Detection and Ranging). Due to the errors in the tested models it is not recommended to use data, especially from the ASTER, for large-scale studies in the areas of small drop. SRTM and ASTER DEMs, however are a valuable material for analysis in small and medium scales. Data from the analyzed models is a valuable source of information about the terrain and can be successfully used for the geomorphological and landscape analysis.