

KONRAD NERING\*

SYSTEM GRASS – MOŻLIWOŚCI I ZASTOSOWANIA.  
CZĘŚĆ 2GRASS – CAPABILITIES AND APPLICATION.  
PART 2

## Streszczenie

System GRASS (*Geographical Resources Analysis Support System*) przeznaczony do zarządzania i przetwarzania informacji geograficznej, jest obecnie najbardziej dynamicznie rozwijanym darmowym projektem GIS (*Geographic Information System*). W niniejszym artykule przedstawiono praktyczne zastosowania oprogramowania GRASS w przygotowywaniu danych wejściowych do niektórych modeli hydrologicznych. Ponadto zaprezentowano źródła pozyskiwania danych geograficznych, na których operuje pakiet GRASS.

*Słowa kluczowe: GRASS, programowanie, system GIS*

## Abstract

GRASS (*Geographical Resources Analysis Support System*) is designed for managing and processing geographical information. It is the most dynamic developed GIS (*Geographic Information System*) free software. In this paper is presented a preparation of data sets for several distributed hydrological models. Here is also presented sources of geographic data for GRASS.

*Keywords: GRASS, programming, GIS*

\* Mgr inż. Konrad Nering, doktorant, Instytut Inżynierii i Gospodarki Wodnej, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska.

## 1. Wstęp

W poprzedniej części artykułu [2] przedstawiona została struktura i ogólna zasada działania systemu GRASS. Zaprezentowano także kilka ogólnych przykładów jego działania i zastosowania. Wskazane zastosowania dotyczyły różnych dziedzin, np. kartografii, teledetekcji oraz zarządzania danymi. W niniejszym artykule przedstawione zostaną możliwości GRASS-a w obróbce danych dostępnych nieodpłatnie w sieci Internet, pod kątem zastosowania ich m.in. w hydrologii.

W ostatnich latach powstało wiele modeli hydrologicznych typu opad-odpływ. Wyróżnić można dwa zasadnicze typy modeli. Pierwszy rodzaj to modele o parametrach skupionych, drugi zaś o parametrach rozłożonych (bazujące na podkładach mapowych). Modele o parametrach rozłożonych wymagają do działania wielu danych dotyczących m.in. ukształtowania powierzchni terenu, rodzaju pokrycia terenu, granicy zlewni, sieci rzecznej itp. Takie dane muszą być zapisane najczęściej w formacie charakterystycznym dla danego modelu. Dzięki dostępnym w systemie GRASS bibliotekom importu i eksportu danych [2], zmiana formatu map nie przysparza trudności. Aby przygotować dane wejściowe do modeli hydrologicznych, można skorzystać z możliwości pakietu GRASS. W dalszej części artykułu zaprezentowany zostanie proces przygotowania danych wejściowych do modelu o nazwie CASC2D [9] oraz jego rozbudowanej wersji o nazwie TREX [10].

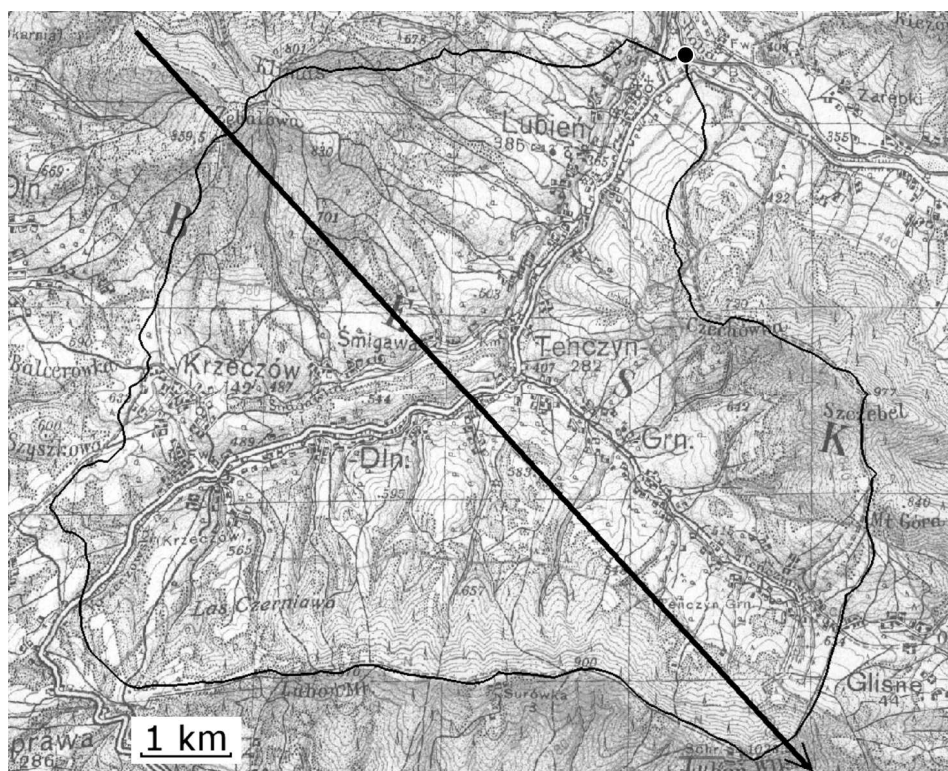
## 2. Przygotowanie map

Aby móc pracować z jakimikolwiek danymi w pakiecie GRASS, należy stworzyć tzw. lokację. W niniejszym artykule poddany analizie zostanie obszar zlewni potoku Tenczynka (Lubieńka) znajdującego się na terenie gminy Lubień, w powiecie myślenickim, województwo małopolskie.

Najważniejszą informacją przy tworzeniu lokacji (oprócz jej nazwy) jest system współrzędnych. Może to być prosty system koordynatów w układzie kartezjańskim *XY* lub układ współrzędnych charakterystycznych dla kartografii: system długości i szerokości geograficznej lub siatka UTM (*Universal Transverse Mercator*). Ponieważ odwzorowanie UTM pozwala na stworzenie siatki kilometrowej (współrzędne podawane są najczęściej w metrach), eliminuje to konieczność przeliczania stopni szerokości i długości geograficznej na odległość. Po określeniu systemu współrzędnych należy podać granice lokacji, czyli współrzędne narożników mapy: północno-wschodniego oraz południowo-zachodniego. Po wprowadzeniu tych danych należy podać rozdzielczość, z jaką będą wyświetlane wprowadzone mapy. Ze względu na import map o dużej dokładności przyjęto rozdzielczość równą 1 m. W trakcie prezentacji i obróbki danych rozdzielczość ta może się zmienić. Analizowany obszar zaprezentowany w GRASS-ie pokazano na rysunku 1.

Po stworzeniu lokacji można już importować mapy. Większość map jest dostępna w Internecie w postaci plików graficznych. Aby możliwy był import cyfrowej mapy do pakietu GRASS z odpowiednim układem współrzędnych niezbędna jest georektyfikacja mapy. Polega ona na wskazaniu na mapie dowolnych punktów charakterystycznych (co najmniej trzech) oraz przypisaniu im rzeczywistych współrzędnych odpowiedniego układu odniesienia – w tym przypadku odwzorowania UTM.

Jednym z punktów odniesienia jest zaznaczone na rys. 1 ujście potoku Tenczynka do Raby (czarny punkt) w strefie 34U współrzędne: 426 613 metrów z odchyleniem na wschód 5 508 177 metrów z odchyleniem na północ.



Rys. 1. Mapa badanego obszaru z zaznaczoną granicą zlewni potoku Tenczynka (Lubienka)<sup>1</sup>  
Fig. 1. Location map with Tenczynka (Lubienka) stream basin

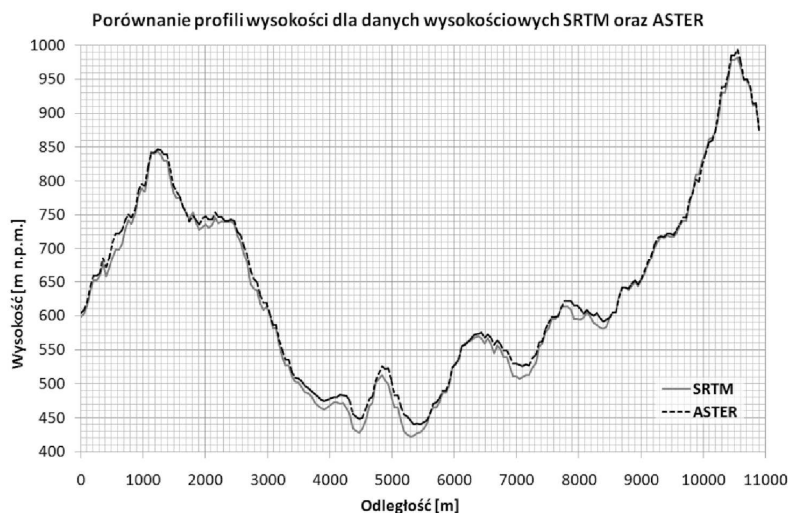
Mapa przedstawiona na rysunku 1 została pobrana ze strony <http://www.mapywig.org>. Ma ona charakter jedynie poglądowy. Do dokładniejszej analizy została zaimportowana mapa topograficzna w skali 1:10 000 pobrana ze strony <http://www.wrotamalopolski.pl>. Poddano ją także procesowi georektyfikacji. Na podstawie mapy topograficznej zostały wyznaczone ręcznie: granica zlewni, sieć rzeczna oraz pokrycie terenu w obszarze zlewni w celu porównania rezultatów z wynikami działań modułów pakietu GRASS.

Oprócz map topograficznych w lokacji znajdują się także zdjęcia satelitarne i lotnicze. Pobrane zostały ze stron <http://maps.google.pl> oraz [7].

<sup>1</sup> Ten i pozostałe rysunki pochodzą ze zbiorów autora.

### 3. Numeryczny model terenu

Aby możliwa była dokładna analiza hydrologiczna, niezbędny jest numeryczny model terenu (ang. *digital elevation model*, DEM). Obecnie dostępne są nieodpłatnie modele terenu SRTM (ang. *Shuttle Radar Topology Mission*) [2] oraz ASTER (ang. *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*). Od 29 czerwca 2009 roku dostępne są dane modelu ASTER w rozdzielczości 30 metrów [6]. W takiej samej rozdzielczości dostępne są dane wysokościowe SRTM dla obszaru Małopolski. Oba modele stworzone są na zasadzie odbioru fali odbitej od powierzchni Ziemi. Podstawową różnicą jest długość fali emitowanego promieniowania. Dane wysokościowe obu modeli są w postaci całkowitej (ang. *integer*).



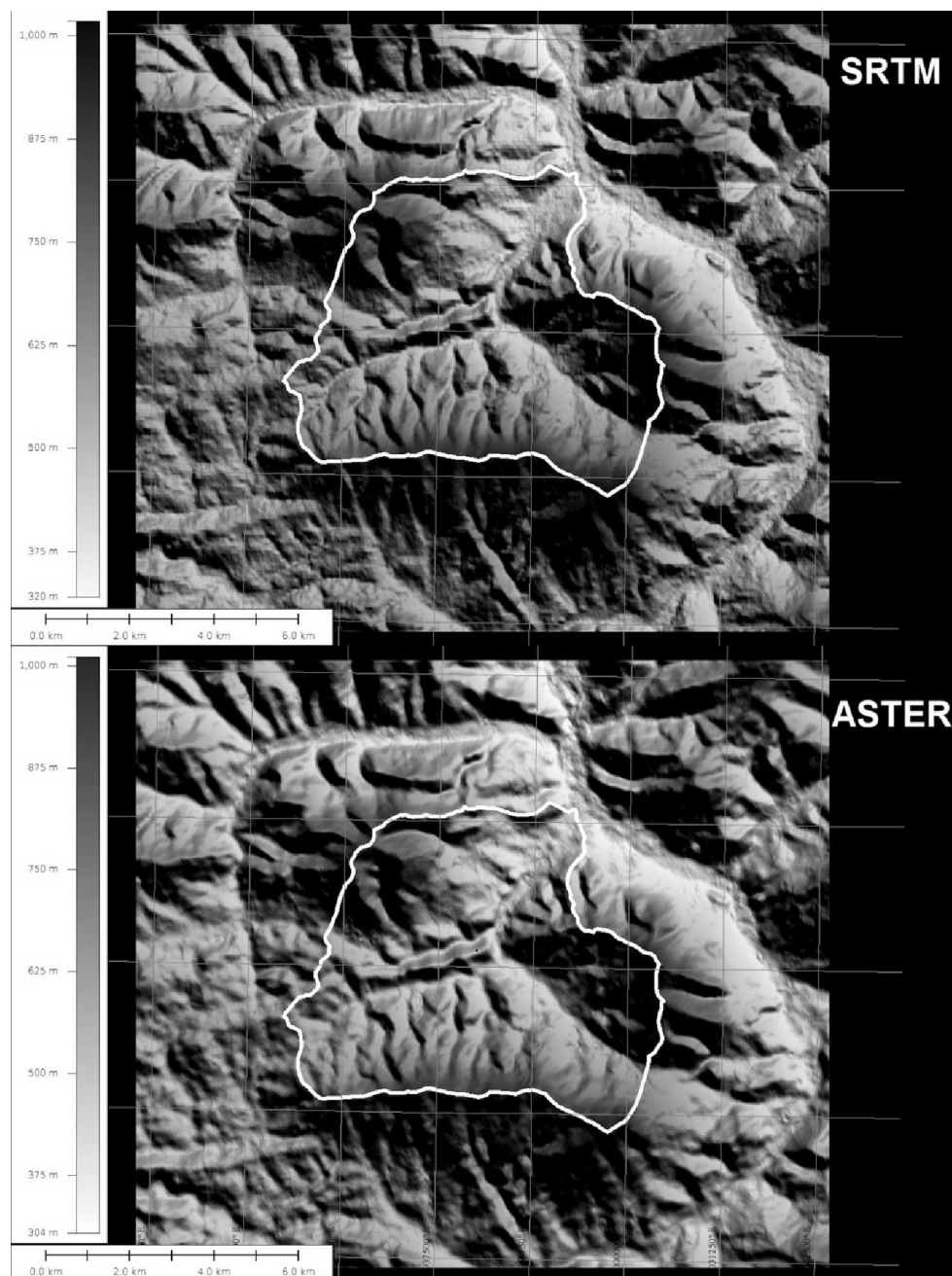
Rys. 2. Profil wysokości przekroju zaznaczonego na rysunku 1  
Fig. 2. Elevation profile from fig. 1 cross-section

Ponieważ nie ma jednolitych informacji dotyczących dokładności obydwu modeli, przy okazji opisu możliwości pakietu GRASS porównano dane SRTM oraz ASTER.

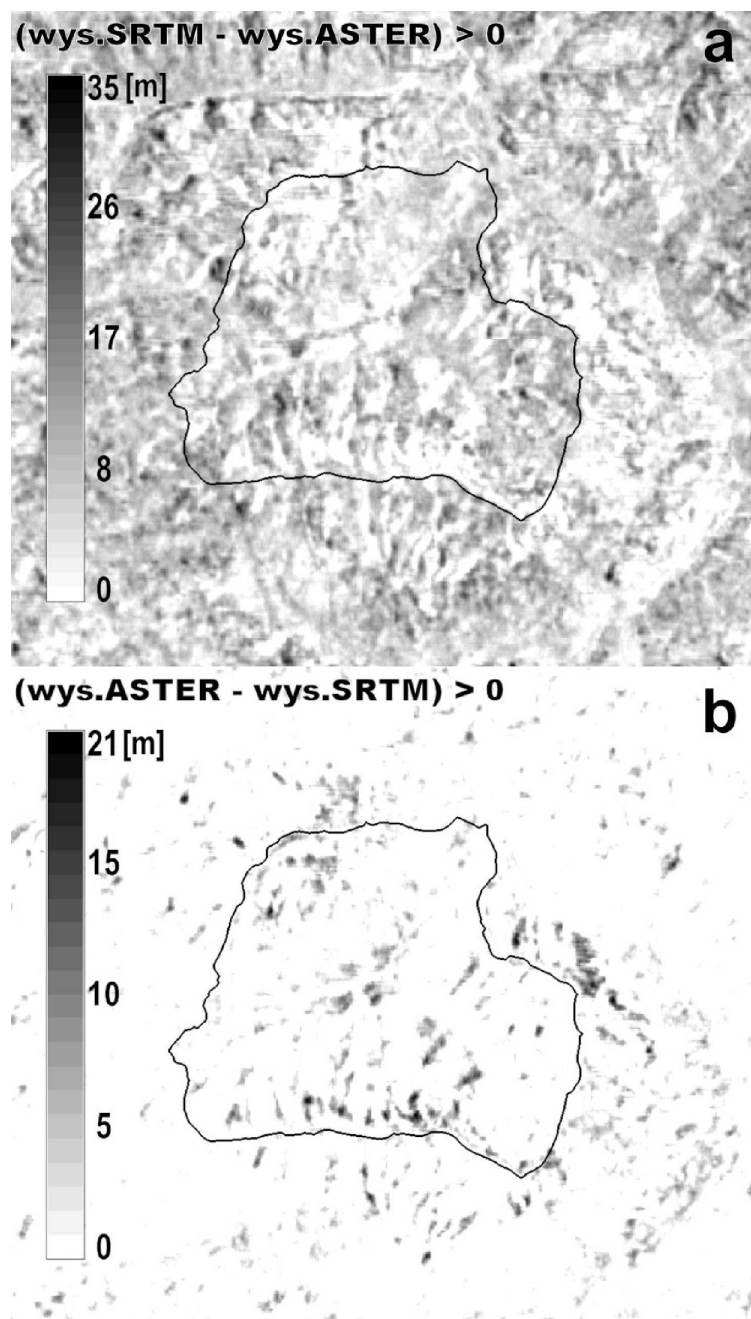
Wykorzystując do tego celu narzędzia systemu GRASS, przeanalizowano różnice między opisywanymi numerycznymi modelami pokrycia terenów. Na rys. 3 przedstawiono mapy wysokościowe wygenerowane z wykorzystaniem zaimportowanych do systemu GRASS danych z modeli SRTM oraz ASTER.

Dane SRTM dla analizowanego obszaru pochodzą z interpolacji globalnych danych SRTM o rozdzielczości 90 m [2] i są częściowo zweryfikowane na podstawie map topograficznych. Dane modelu ASTER nie pochodzą z interpolacji, gdyż zakładana rozdzielczość projektu ASTER wynosiła 30 m. Nie oznacza to jednak, że dane ASTER są dokładniejsze, nie były one weryfikowane na podstawie lokalnych map topograficznych.

Na rysunku 2 zaznaczono profile poprzeczne przekroju dla danych wysokościowych SRTM oraz ASTER. Wstępna analiza pokazuje, iż dane modelu ASTER są wyższe niż dane wysokościowe SRTM w obszarach dolin. Przy stokach oraz szczytach górskich dane pokrywają się ze sobą.



Rys. 3. Cieniowane mapy wysokościowe modeli SRTM oraz ASTER  
Fig. 3. Shaded elevation map using SRTM and ASTER



Rys. 4. Mapy różnicowe obrazujące różnice pomiędzy danymi SRTM oraz ASTER  
Fig. 4. Differential map made from SRTM and ASTER data

Różnice pomiędzy danymi z modelu SRTM oraz ASTER zaprezentowano na rysunku 4. Mapy te zostały wygenerowane przy użyciu modułu `r.mapcalc` systemu GRASS. Moduł ten odpowiedzialny jest za wykonywanie obliczeń na mapach rastrowych (tzw. algebra map). Rysunek 4a przedstawia różnice pomiędzy danymi SRTM i ASTER, które są większe od zera. Dla wartości ujemnych przyjęto zero. Rysunek 4b przedstawia zaś różnice pomiędzy danymi ASTER i SRTM, analogicznie wartościom ujemnym przypisano wartość zero. Do obliczeń wykorzystano instrukcję warunkową polegającą na sprawdzeniu dla każdego piksela mapy, czy różnica w wartości wysokości jest mniejsza od zera. Gdy warunek ten zostanie spełniony, dany element przyjmuje wartość zero, w przeciwnym wypadku wartość elementu równa jest dodatniej różnicy [1].

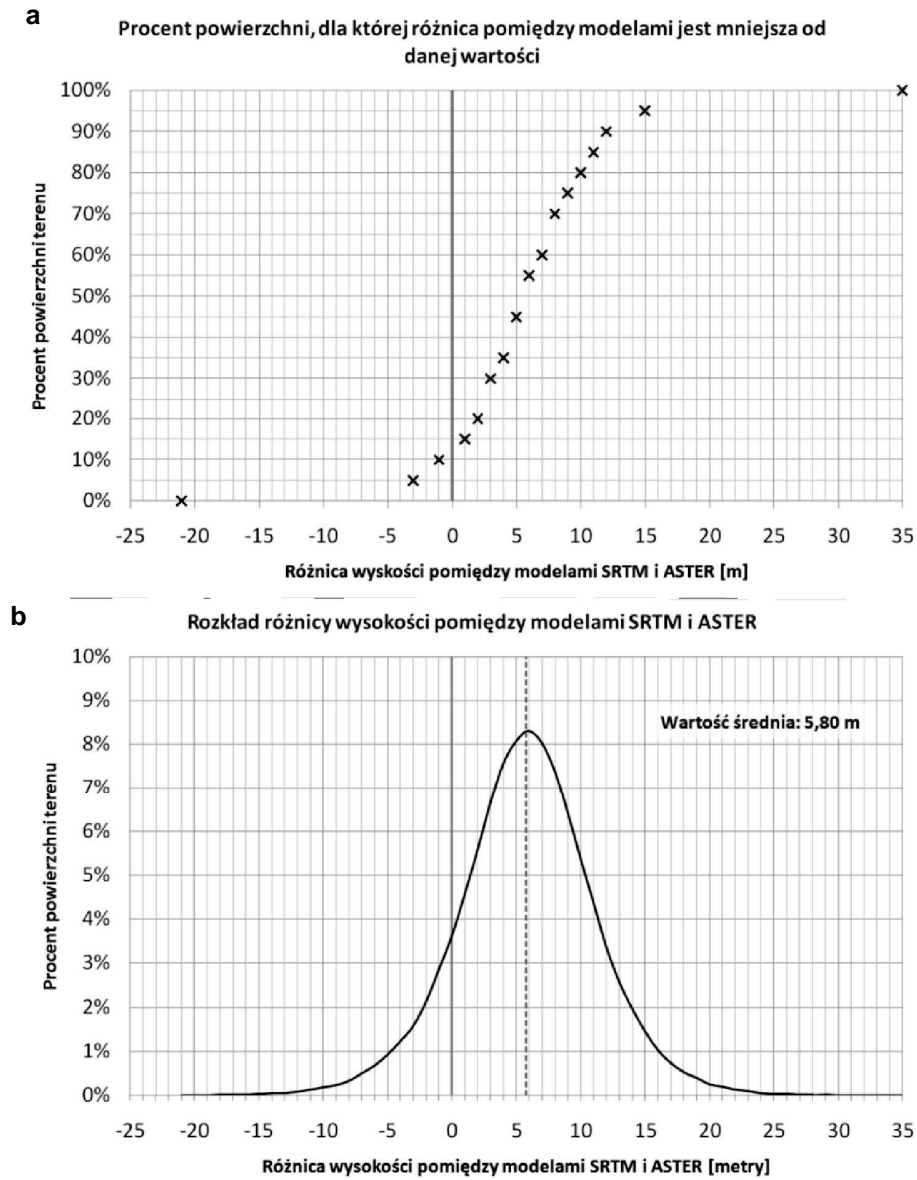
Z rysunku 4 wynika, że model pokrycia terenu otrzymany z danych SRTM jest podniesiony w stosunku do modelu pochodzącego z danych ASTER. Potwierdzając fakt wynikający z rys. 2 dane z modeli pokrywają się jedynie na stokach oraz częściowo na szczytach górskich. Największe różnice obserwować można w dolinach. Dane modelu SRTM są maksymalnie większe od danych z modelu ASTER o 35 metrów. Miejsca te oznaczone są ciemnymi obszarami na rysunku 4a. Natomiast dane ASTER są maksymalnie większe od danych SRTM o 21 metrów. Analogicznie – obszary o największej różnicy oznaczone są ciemniejszymi polami na rysunku 4b. Różnica wysokości rzędu kilkudziesięciu metrów jest wartością dużą, jednakże ta maksymalna odchyłka względna nie charakteryzuje całego obszaru, a jedynie niektóre jego punkty.

Wykonując dalsze porównanie obydwu modeli, wyznaczono średnią różnicę pomiędzy danymi. Użyto w tych obliczeniach „surowej” mapy różnicowej, będącej wprost różnicą pomiędzy wartościami danych z modelu SRTM oraz ASTER. Do wyznaczenia średniego błędu względnego wykorzystano funkcje pakietu GRASS o nazwie `r.univar` oraz `r.report`.

Pierwsza z nich pozwala na określenie, jaki procent powierzchni i analizowanego obszaru charakteryzuje się różnicą mniejszą od zadanej wartości z przedziału od  $-21$  metrów do 35 metrów. Przykładowo 15% powierzchni analizowanego obszaru charakteryzuje się różnicą mniejszą od jednego metra. Brane są pod uwagę także wartości ujemne wynikające z różnicy pomiędzy danymi SRTM i ASTER. Procentowy udział poszczególnych wartości różnic z krokiem co jeden metr przedstawiono na rysunku 5a. Procentowy skok przyjęto na poziomie 5%.

Funkcja `r.report` pozwala na wyznaczenie rozkładu procentowego poszczególnych różnic. Na rysunku 5b wykreślono zależność procentu powierzchni obszaru, dla którego różnica wysokości równa jest odpowiedniej wartości. Przykładowo wartości obydwu modeli pokrywają się ze sobą (różnica równa zero) na powierzchni 3,5% całkowitej powierzchni badanego obszaru.

Wartość średnia różnicy pomiędzy modelami SRTM i ASTER wynosi 5,8 m. Nie jest to różnica wpływająca znacząco na jakość obliczeń hydrologicznych, jednakże maksymalne odchyłki względne danych z modeli mogą wpłynąć niekorzystnie na analizę hydrologiczną.

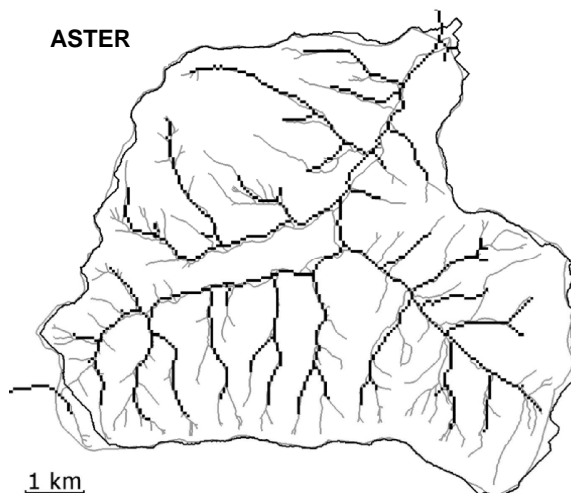
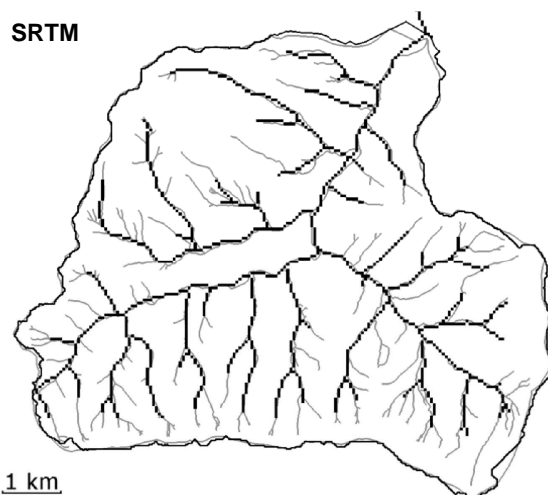


Rys. 5. Wyznaczenie średniej różnicy pomiędzy danymi z modeli SRTM i ASTER  
 Fig. 5. Mean differential between SRTM and ASTER data



#### 4. Obszar zlewni i sieć rzeczna

Dalsze informacje, jakie potrzebne są do większości modeli hydrologicznych, stanowi obszar zlewni oraz jej sieć rzeczna. Pakiet GRASS dostarcza potrzebne do tego celu narzędzia. Aby jednak skorzystać z tych narzędzi, niezbędny jest wybór jednego z dwóch zaprezentowanych modeli pokrycia terenu. Samo porównanie modeli nie dało odpowiedzi na pytanie, który zestaw analizowanych danych jest lepszy do wykonania analizy hydrologicznej. Dlatego też decydującym kryterium będzie jakość wyznaczenia obszaru zlewni oraz sieci rzecznej. Do tego celu wykorzystano funkcje `r.watershed` oraz `r.stream.extract`.



Rys. 6. Obszar zlewni oraz sieć rzeczna wyznaczone na podstawie dwóch modeli wysokościowych

Fig. 6. Basins and stream net calculated from two DEM's

Moduł `r.watershed` pozwala na wyznaczenie powierzchni zlewni na podstawie numerycznego modelu terenu. Na rys. 6 porównano obszar zlewni dla modelu SRTM oraz ASTER (kolor czarny) z obszarem zlewni wyznaczonym ręcznie (będącym obszarem odniesienia, kolor szary), wykorzystując mapę topograficzną w skali 1:10 000 oraz moduł pakietu GRASS pozwalający na tworzenie map wektorowych, o nazwie `v.digit`. Granica zlewni dla modelu ASTER znacznie odbiega od granicy odniesienia, szczególnie w południowo-zachodnim narożniku. Takich różnic nie ma w granicy zlewni wyznaczonej dla danych SRTM.

Funkcja pakietu GRASS o nazwie `r.stream.extract` pozwala na wyznaczenie sieci rzecznej danej zlewni. Moduł ten działa także na podstawie danych wysokościowych. Na rysunku 6 możliwe jest porównanie działania funkcji `r.stream.extract` dla obydwu danych wysokościowych. Dane odniesienia to sieć rzeczna stworzona na podstawie mapy topograficznej w skali 1:10 000. Obliczenia przeprowadzone w celu wyznaczenia sieci rzecznej wykonano dla rozdzielczości 50 m ze względu na szybkość obliczeń. Sieć rzeczna na podstawie modelu ASTER jest przesunięta w środkowym obszarze zlewni o ponad 100 m w stosunku do sieci odniesienia. Natomiast dane z modelu SRTM charakteryzują się niewielkimi przesunięciami (mniejszymi od 50 metrów). Kierując się zatem jedynie wizualną oceną danych z rys. 6, wybrano dane wysokościowe modelu SRTM.

Wykorzystując pakiet GRASS, udało już się wskazać subiektywnie, który z numerycznych modeli pokrycia terenu lepiej nadaje się do analiz hydrologicznych. Wyznaczona została także sieć rzeczna i granica obszaru zlewni. Wykorzystując możliwości pakietu GRASS (funkcja `v.report`), obliczono powierzchnię zlewni wyznaczonej z modelu SRTM (47,91 km<sup>2</sup>) oraz zlewni wyznaczonej z mapy topograficznej (47,68 km<sup>2</sup>).

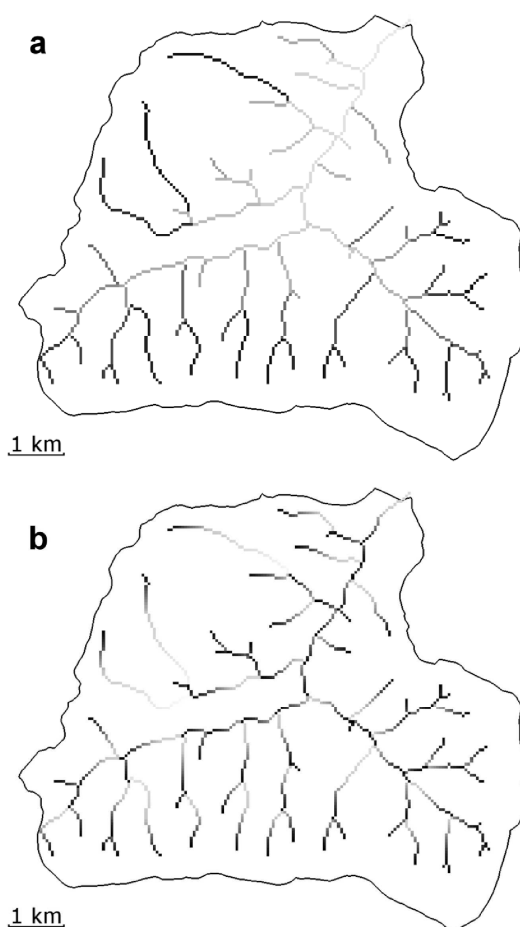
Niektóre modele hydrologiczne (np. CASC2D lub TREX) wymagają, aby sieć rzeczna była podzielona na segmenty (odcinki pomiędzy węzłami sieci) oraz w obrębie tych segmentów wyznaczona ich długość w każdym punkcie (czyli kwadracie 50 m × 50 m). Do tego celu wykorzystano moduł `r.stream.pos`. Efekt działania funkcji przedstawiono na rysunku 7. Na rysunku 7a zobrazowano sieć rzeczna z podziałem na segmenty, natomiast na rysunku 7b, sieć rzeczna z podziałem na poszczególne elementy segmentu oraz kierunek przepływu w danym segmencie.

## 5. Pokrycie terenu

Aby dysponować kompletnymi danymi geograficznymi niezbędnymi do działania modelu hydrologicznego, należy stworzyć mapę pokrycia terenu. Mapa ta w tym przypadku ograniczy się jedynie do wskazania, na jakim obszarze zlokalizowane są tereny leśne, a na jakim pola uprawne. Będzie to więc mapa zawierająca dwie kategorie danych.

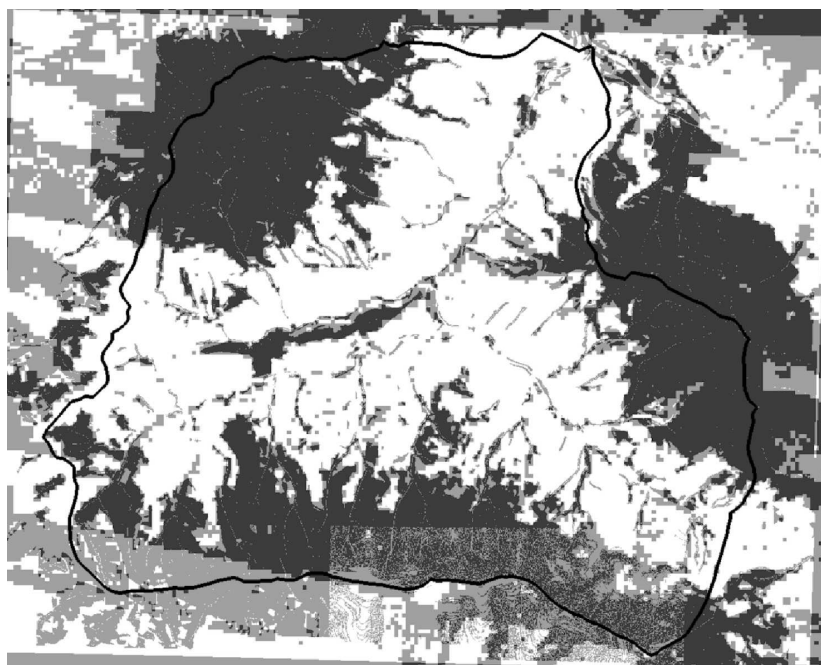
Mapę z zaznaczonymi obszarami leśnymi można wygenerować w dwojaki sposób. Pierwszym z nich jest poddanie do analizy mapę topograficzną. Należy tak ustawić kolory wyświetlania, aby zielony kolor (oznaczenie lasów na mapie topograficznej) odpowiadał kolorowi czarnemu, a reszta kolorów – kolorowi białemu. Otrzymana w ten sposób dwukolorowa mapa pokazuje lokalizację obszarów leśnych oraz pozostałych obszarów (przyjęto pola uprawne). Jest to metoda czasochłonna, aczkolwiek możliwa w pakiecie GRASS z wykorzystaniem funkcji `r.colors`. Do wykonania tej metody niezbędna jest mapa topograficzna. Dane dotyczące obszarów leśnych można zatem otrzymać w wysokiej rozdzielczości (1 m).

Drugim szybszym sposobem jest skorzystanie ze zdjęć satelitarnych Landsat-7 [7]. Obszary leśne na tych zdjęciach charakteryzuje kontrastowy kolor, dzięki czemu metoda uzyskania dwutonowej mapy ogranicza się do pojedynczego wykonania funkcji `r.mapcalc`. Wadą tej metody jest jej dokładność spowodowana rozdzielczością danych. Zdjęcia satelitarne Landsat-7 dostępne są w rozdzielczości 30 metrów. Jednakże argumentem na korzyść zdjęć Landsat-7 jest ich aktualność (nie starsze niż rok).



Rys. 7. Podział sieci rzecznej na segmenty  
Fig. 7. Stream net with nodes and links

Na rysunku 8 przedstawiono mapę pokrywy leśnej wyznaczoną dwoma opisanymi metodami. Kolorem jasnoszarym zaznaczono rozbieżne dane, kolorem ciemnoszarym wskazano dane pokrywające się. Dane Landsat-7 oraz dane topograficzne pokrywają się na obszarze równym  $17,2 \text{ km}^2$ . Różnice w wyznaczeniu pokrycia terenu są na obszarze  $7,6 \text{ km}^2$ . Błędy te, szczególnie w południowej i południowo-zachodniej części mapy, wynikają z niedokładności samych danych.



Rys. 8. Porównanie wyznaczenia pokrywy leśnej na podstawie danych topograficznych i ze zdjęć Landsat-7

Fig. 8. Comparing forest area calculated from topographic map and Landsat-7 photo



Rys. 9. Zdjęcie lotnicze miejscowości Lubień z naniesionymi poziomiami i siecią rzeczną  
Fig. 9. Aerial photo of Lubień village with contour lines represents elevation and streams net

## 6. Wnioski

Przygotowanie zestawu danych do modelu hydrologicznego, dzięki zastosowaniu możliwości pakietu GRASS, staje się proste oraz wydajne. Czas przygotowania takich danych nie jest dłuższy niż 4 godziny. Dzięki temu można poddać analizie dowolną zlewnię, małą (do 100 km<sup>2</sup> powierzchni) oraz dużą (powyżej 100 km<sup>2</sup> powierzchni). Dodatkowo uzyskuje się szczegółowe informacje topograficzne dotyczące danej zlewni. Ponadto informacje wprowadzone i przetworzone w systemie GRASS można dowolnie prezentować, posługując się warstwowym systemem prezentacji danych. Na rysunku 9 przedstawiono zdjęcie satelitarne udostępnione przez serwis <http://www.maps.google.pl> z naniesionymi poziomiami oraz siecią rzeczną, obszaru miejscowości Lubień z nowo wybudowaną obwodnicą. Prezentacja danych w takiej formie pozwala na weryfikację danych dostarczanych nieodpłatnie w sieci Internet, a także weryfikację danych przetworzonych z wykorzystaniem pakietu GRASS.

Zaprezentowane w obu częściach artykułu możliwości pakietu GRASS zostały wykorzystane do przygotowania zestawu danych wejściowych do modelu hydrologicznego o parametrach rozłożonych. Danymi pierwotnymi były podkłady mapowe oraz dane dostępne nieodpłatnie w sieci Internet. Ze względu na dostępność coraz szerszego wachlarza danych geograficznych oraz ich aktualność system GRASS staje się potężnym narzędziem do gromadzenia tychże danych. Możliwości przetwarzania danych rosną z każdą kolejną wersją opisywanego pakietu. Dodatkowo, dzięki możliwości pracy sieciowej system GRASS może stać się olbrzymim zbiorem danych geograficznych nie tylko dla jednostek akademickich. Wykorzystanie w GRASS-ie bibliotek GDAL pozwala na import oraz eksport danych geograficznych w każdym obecnie stosowanym formacie ich zapisu.

## Literatura

- [1] Neteler M., Mitasova H., *Open Source GIS A GRASS Approach, Third Edition*, ISBN 978-0-387-35767-6, Wydawnictwo Springer, Nowy Jork, USA 2008.
- [2] Nering K., *System GRASS – możliwości i zastosowania. Część 1*, Czasopismo Techniczne PK, 1-Ś/2009, Kraków 2009.
- [3] Nering K., *SRTM – Technologia obrazowania powierzchni Ziemi*, Czasopismo Techniczne PK, 1-Ś/2009, Kraków 2009.
- [4] Pryde J.K. i inni, *Comparison of watershed boundaries derived from SRTM and ASTER digital elevation datasets and from a digitized topographic map*, materiały konferencyjne 2007 ASABE Annual International Meeting, 17–20 czerwca 2007, Minneapolis, Minnesota, USA 2007.
- [5] Sefercik U., Jacobsen K., Oruc M., Marangoz A., *Comparison of SPOT, SRTM and ASTER DEMs*, <http://www.ipi.uni-hannover.de>, Hannover 2007.
- [6] Strona domowa modelu ASTER ([asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp](http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp)).
- [7] Global Land Cover Facility, serwer zdjęć satelitarnych, m.in. Landsat, SRTM ([glcf.umiacs.umd.edu](http://glcf.umiacs.umd.edu)).
- [8] Dane wysokościowe ASTER ([wist.echo.nasa.gov](http://wist.echo.nasa.gov)).
- [9] Strona domowa modelu CSASC2D ([www.engr.colostate.edu/~pierre/ce\\_old/Projects/CASC2D-SED%20Web%20site%20082506/CASC2D-SED-Home.htm](http://www.engr.colostate.edu/~pierre/ce_old/Projects/CASC2D-SED%20Web%20site%20082506/CASC2D-SED-Home.htm)).

- [10] Strona domowa modelu TREX ([www.engr.colostate.edu/~pierre/ce\\_old/Projects/TREX%20Web%20Pages/TREX-Home.html](http://www.engr.colostate.edu/~pierre/ce_old/Projects/TREX%20Web%20Pages/TREX-Home.html)).
- [11] Strona z przykładowymi danymi dla pakietu GRASS ([grassbook.org](http://grassbook.org)).
- [12] Strona projektu GRASS ([grass.osgeo.org](http://grass.osgeo.org)).