

ZASTOSOWANIE METOD GIS DO ANALIZY ZASOBÓW WODNYCH KRAJOBRAZÓW KULTUROWYCH REGIONU ZBIORNIKA WODNEGO MŚCIWOJÓW

Artur Radecki-Pawlik, Jakub Wojkowski, Andrzej Wałęga,
Jacek Pijanowski

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. W artykule dokonano przestrzennej charakterystyki zasobów wodnych krajobrazów kulturowych zlewni zbiornika Mściwojów. Analiza została przeprowadzona w oparciu o dane przestrzenne oraz metody GIS za pomocą narzędzia Arc Hydro Tools 9.0 działającego w środowisku oprogramowania ARC GIS firmy ESRI. Szczegółowo przeanalizowano zlewnię dwóch cieków: Wierzbiaka i Kałużnika. W celu określenia rozkładu przestrzennego zasobów wodnych wykorzystano topograficzny wskaźnik wilgotności TWI. Wykazano, że najwyższe wartości wskaźnika TWI występują w dnach dolin i przy dolnym załomie stoków oraz we wklęsłych formach terenu. Z kolei niskie wartości tego wskaźnika świadczące o mniejszym stopniu nasycenia wilgocią występują na badanym obszarze w sąsiedztwie form wypukłych, a więc wierzchołach i bardziej nachylonych stoków.

Słowa kluczowe: zasoby wodne, numeryczny model terenu, GIS, wskaźnik TWI

WPROWADZENIE

W obecnym czasie w Polsce coraz częściej na terenach jednostek administracyjnych (gmin, sołectw, powiatów, województw) obserwować można wzmożone zainteresowanie zasobami wodnymi zlewni i ich wykorzystaniem oraz obawy związane ze zjawiskami ekstremalnymi, takimi jak powódzie czy susze. Zainteresowanie to ma nie

Adres do korespondencji – Corresponding Authors: prof. dr hab. inż. Artur Radecki-Pawlik, Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki, dr inż. Jakub Wojkowski, Katedra Ekologii, Klimatologii i Ochrony Powietrza, dr hab. inż. Andrzej Wałęga, Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, dr hab. inż. Jacek Pijanowski, Katedra Geodezji, Katastru i Fotogrametrii, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, ul. Balicka 253a, 30-198 Kraków, e-mail: rmradeck@cyf-kr.edu.pl, rmwojkow@cyf-kr.edu.pl, a.walega@ur.krakow.pl, j.pijanowski@ur.krakow.pl.

tylko podtekst wynikający z wdrażania w Polsce Ramowej Dyrektywy Wodnej Unii Europejskiej, której I etap miał być zrealizowany do grudnia 2015 roku, oraz innych dyrektyw unijnych (jak Dyrektywy Powodziowej, czy też planowanej Krajobrazowej), lecz bardzo często działa tu czysty pragmatyzm władarzy danej jednostki administracyjnej, zdających sobie sprawę z realnego zagrożenia, jakim są zjawiska ekstremalne w gospodarowaniu wodą. Szczególnie lata 2010 i 2011 pokazały, że obok gwałtownych powodzi można niebawem spodziewać się również niedoborów zasobów wodnych.

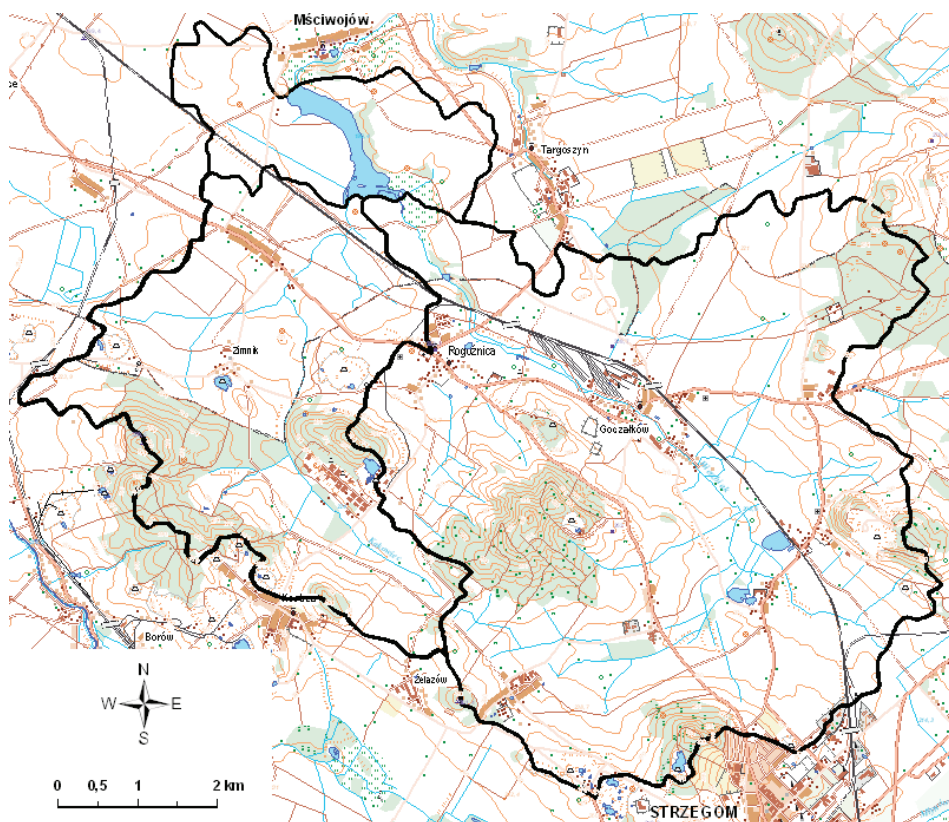
W Polsce zasoby jednostkowe wody (w przeliczeniu na mieszkańca) w warunkach średniego odpływu wynoszą blisko 1500 m³ rocznie, przy średniej wysokości opadu wynoszącej 600 mm. W przypadku wystąpienia lat suchych wielkość zasobów wody spada do 950 m³ rocznie. Dodać należy, że w Polsce tylko około 5 km³ zasobów wód powierzchniowych pochodzi z dopływu rzecznoego spoza granic kraju. W sumie mamy do dyspozycji nieco ponad 190 km³ wody rocznie. Z ilości tej wyparowuje bezpośrednio w różnej postaci (z powierzchni wód, z gruntu i przez rośliny) około 70%. Pozostała część wody (około 30%) spływa korytami rzek i potoków górskich do morza. Sytuuje to Polskę wśród krajów europejskich na jednym z ostatnich miejsc pod względem wielkości zasobów wodnych [Wałęga i in. 2009]. Wiedząc, jak skąpe są krajowe zasoby wodne, jesteśmy zobligowani do patrzenia na wody słodkie w kraju jak na dobro, o które należy szczególnie dbać. W związku z wprowadzaną w naszym kraju Ramową Dyrektywą Wodną zmuszeni jesteśmy ująć zagadnienie wody w Polsce w nowy sposób, szczególnie gdy idzie o wody płynące (zaliczają się do nich nie tylko wody płynące korytami rzecznoymi, lecz także aluwiami), których to wód jest tak mało, a które stanowią o możliwości przetrwania i o których rehabilitację należy w obecnym czasie walczyć [Carling i in. 2002, Radecki-Pawlik 2011, Wyżga i in. 2012a, 2012b, 2013]. Dodatkowym aspektem badania wód powierzchniowych jest ich analiza w kontekście krajobrazu kulturowego danego terenu. Rzeki i zbiorniki wodne, są jednymi z najważniejszych czynników formułujących powierzchnię Ziemi. Działalność rzek, a ściślej – płynącej ich korytami wody, w przeciwieństwie do procesów stokowych, nie prowadzi do zrównania powierzchni Ziemi, lecz polega na jej rozczłonkowaniu, na fragmentacji form utworzonych przez siły wewnętrzne, a więc obecność wód to jeden z najważniejszych czynników wpływających na krajobraz. W związku z powyższym w niniejszej pracy podjęto analizę rozmieszczenia zasobów wodnych krajobrazów kulturowych z wykorzystaniem metod GIS na przykładzie zlewni zbiornika Mściwojów.

CHARAKTERYSTYKA ZLEWNI KRAJOBRAZÓW KULTUROWYCH SOŁECTWA MŚCIWOJÓW

Poniżej, począwszy od opisu podstawowych cieków zasilających zlewnię, w której leży zbiornik Mściwojów, wraz z innymi cechami hydrograficznymi dokonano prezentacji podstawowych charakterystyk tej zlewni, skupiając się głównie na topografii, geologii, geomorfologii oraz klimacie, co posłużyć ma do planowanych analiz.

Topografia i użytkowanie

Dla rejonu zbiornika wodnego Mściwojów podstawowymi ciekami kształtującymi teren zlewni tego rejonu są rzeki Wierzbak i Kałużnik. Obszar zlewni cieków położony jest w makroregionie Przedgórze Sudeckiego, w mezoregionie Wzgórz Strzegomskich. Na terenie sołectwa Mściwojów znajduje się zbiornik retencyjny Mściwojów. Zlewnia zbiornika Mściwojów położona jest na terenie gminy Mściwojów i Strzegom w województwie dolnośląskim (ryc. 1).



Ryc. 1. Topografia obszaru analizowanej zlewni

Fig. 1. Topography of analyzed catchment

Cała zlewnia ma charakter rolniczy. Słabe zalesienie zlewni w sąsiedztwie linii brzegowej wraz z przewagą powierzchni rolniczej stwarzają zagrożenie dla wód powierzchniowych i podziemnych. Główne zagrożenia środowiska wodnego ze strony przestrzeni rolniczej wynikają z nawożenia, stosowania chemicznych środków ochrony roślin, obecności ferm hodowlanych i składowania kiszonki.

Na terenach przyległych do zbiornika uprawiane jest zboże, ziemniaki, kukurydza itp., które to uprawy wymagają stosowania intensywnych zabiegów agrotechnicznych, środków

ochrony roślin i nawozów mineralnych. Komponenty wchodzące w skład tych środków stanowią zagrożenie dla zbiornika. Znajduje się tu również obszar leśny z olszą i dębem (około 60% drzewostanu) oraz jesionem, lipą, klonem, brzozą, osiką i topolą (ryc. 2).

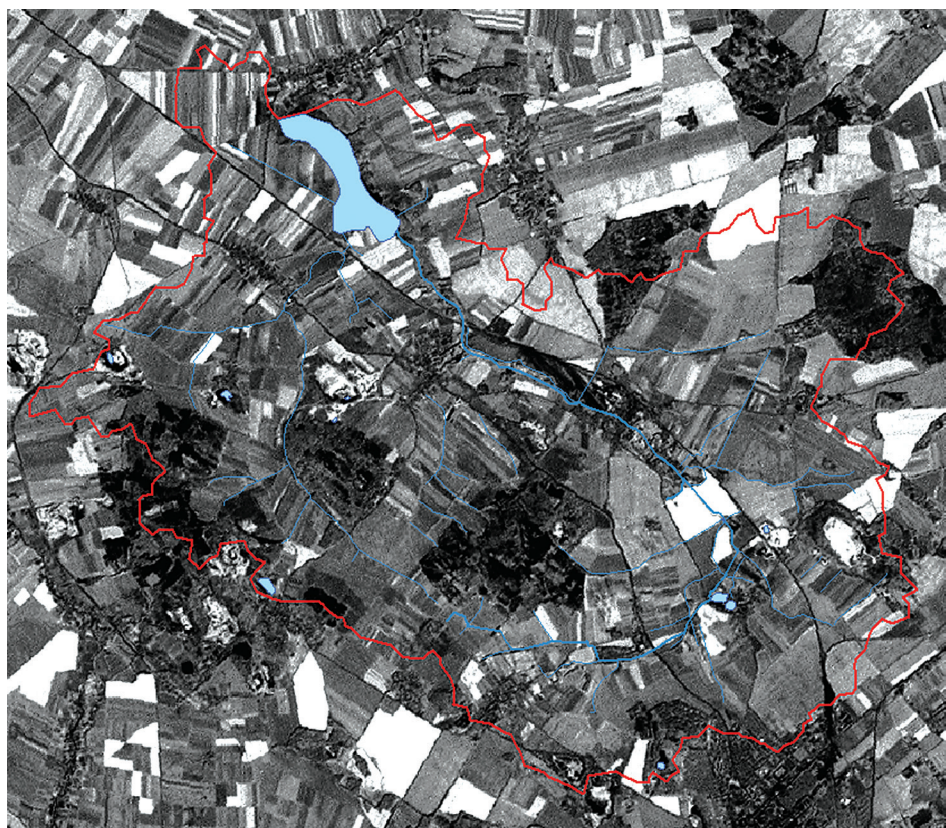
Geologia

Z geologicznego punktu widzenia na obszarze województwa dolnośląskiego, gdzie znajduje się omawiana zlewnia oraz gmina Mściwojów, mamy do czynienia z kilkoma jednostkami tektonicznymi ukształtowanymi w wyniku kenozoicznych ruchów blokowych. Są to od południa: blok Sudetów, z wyjątkiem skrawka Sudetów Wschodnich, blok przedsudecki oraz SW fragment monokliny przedsudeckiej [Badura i in. 1992, Badura i Przybylski 1998]. Jednostki te są rozdzielane przez strefy uskokowe o głębokich założeniach reprezentowane dziś przez kruche uskoki normalne. We współczesnym obrazie morfologicznym obniżają się one progowo ku NE.

Z geologicznego punktu widzenia okres który najbardziej wpłynął na obecny krajobraz kulturowy omawianej zlewni, to czwartorzęd. W czwartorzędzie na obszarze całej Polski formowały się wyłącznie skały osadowe. Zwykle dla ogółu skał powstałych w tym okresie używa się określenia czwartorzędowa pokrywa osadowa. W rozwoju czwartorzędowej pokrywy osadowej Dolnego Śląska można wyróżnić trzy główne etapy, zróżnicowane pod względem dominującego środowiska depozycji.

Pierwszy etap obejmuje część plejstocenu do czasu pojawienia się na tym obszarze pierwszego lądolodu. Okres ten trwał około 1,3 mln lat. Dominujące wówczas procesy aluwialnego kształtowania tutejszego krajobrazu kontynuowane były od trzeciorzędu. Rzeki wynosiły wtedy materiał z gór daleko na przedpole. Zapisem ówczesnych procesów są dzisiaj szeroko rozprzestrzenione osady żwirowo-piaszczyste wypełniające doliny, które miały w przewadze charakter rozległych nieckowatych zagłębień. Stwierdzono, że charakterystyczną cechą preglacjalnych rzek przedpola Sudetów była częsta zmiana kierunków przepływów wywoływana ruchami tektonicznymi [Badura i in. 1992, Badura i Przybylski 1998].

Najmłodsza faza trzeciorzędu powstawania pokrywy osadowej, trwająca praktycznie do dziś, związana jest z formowaniem den dolin rzecznych. Na obszarze przedsudeckim mułki, piaski i żwiry rzeczne stanowiące fundament tarasów zalewowych są włożone zwykle w osady tarasów nadzalewowych. Z kolei na nich bardzo często leżą utwory facji powodziowej – mady. Ich miąższość wynosi średnio 2–3 m i tylko w starorzeczach mogą osiągać łącznie z namułami do 5 m. Pokrywy mad w dolinach rzecznych powstały w większości po wylesieniu znacznych obszarów Dolnego Śląska związanym z intensywnie rozwijającym się rolnictwem. W dolinie Nysy Kłodzkiej w rejonie Pilc stwierdzono, że pod pokrywą 2 m mad pogrzebane są ślady wczesnośredniowiecznej działalności człowieka. Lokalnie na obszarze Dolnego Śląska znaczenie w budowie powierzchniowej pokrywy osadowej miał również czynnik eoliczny. Mniej lub bardziej zwarte pokrywy lessowe osadzały się głównie w zimnych okresach plejstocenu. Większość lessów występujących dziś na Dolnym Śląsku związana jest z ostatnim zlodowaceniem – północnopolskim. Starsze lessy znane są z sąsiedniego obszaru Opolszczyzny, z rejonu Płaskowyżu Głubczyckiego. Na dolnym Śląsku największe powierzchnie pokryte przez pyły eoliczne występują w rejonie Wzgórz Niemczańsko-



Ryc. 2. Ortofotomapa obszaru analizowanej zlewni

Fig. 2. Ortophoto of analyzed catchment

-Strzelińskich i Wzgórz Trzebnickich. Mniejsze płyty lessów pokrywają powierzchnie wysoczyzn w wielu miejscach Przedgórze Sudeckiego. W obrębie samych Sudetów większe wystąpienia lessów znane są z okolic Kłodzka. Lessy osiągają największe miąższości (lokalnie nawet do 10 m) w rejonie Wzgórz Niemczańsko-Strzelińskich i Wzgórz Trzebnickich. Miąższość pokryw lessowych na pozostałych obszarach zwykle nie przekracza 2 m, wzrastając lokalnie do kilku metrów w miejscach, gdzie pyły zasypały dawne zagłębienia. W najmłodszym plejstocenie i we wczesnym holocenie na rozległych powierzchniach akumulacji piaszczystej, tak wodnolodowcowej, jak i rzecznej, powstawały pola piasków przewianych i wydmy. Większe nagromadzenia piaszczystych osadów i form eolicznych znane są z rejonu Borów Dolnośląskich, Przemkowa i Doliny Baryczy. Kształt form eolicznych wskazuje, że cyrkulacja w okresie ich formowania była podobna do obecnej z dominacją wiatrów z zachodu. W rejonie Sudetów, w Masywie Ślęży, a także na stokach wzgórz i krawędziach dolin na Przedgórzu Sudeckim istotne znacznie miały procesy związane z ruchami masowymi. Procesy stokowe zachodziły w czasie całego czwartorzędu, a ich intensyfikacja następowała w okresach glacialnych przy silniejszym wietrzeniu mrozowym i skąpej szacie

roślinnej. Materiał skalny przemieszczany grawitacyjnie po stoku i częściowo splukiwany utworzył w dolnej części i u podnóży zboczy pokrywy gruzów, glin i piasków deluwialnych. Ostatni etap intensyfikacji procesów erozji zboczy związany jest już z czynnikiem rolniczego użytkowania stoków.

Samą dolinę Wierzbiaka, głównej rzeki analizowanej zlewni, stanowi rynna erozyjna sięgająca utworów trzeciorzędowych. Strop utworów zalegających pod osadami czwartorzędu budują gliny wietrzelinowe przewarstwione żwirami i piaskami kwarcowymi. W późniejszym okresie rynna ta została wypełniona utworami lodowcowymi, które stanowią żwiry i pospółki wodnolodowcowe oraz gliny morenowe, zakwalifikowane wiekowo do stadiału maksymalnego zlodowacenia środkowopolskiego. Z materiałów dokumentacyjnych wynika, że utwory lodowcowe i starsze tworzą zróżnicowane układy warstw często bez zachowania ciągłości.

W warstwie o miąższości 2–3 m w dolinie zlewni zalegają najmłodsze, słabo skonolidowane osady rzeczne zawierające znaczną ilość części organicznych, kwalifikujących je do namulów rzecznych, a nawet torfów. Uziarnienie szkieletu mineralnego odpowiada glinom pylastym i glinom pylastym zwięzłym. Stan ich wilgotności zmienia się w zakresie od stanu plastycznego do miękkoplastycznego, a lokalnie występuje nawet stan płynny [Wiatkowski i in. 2006].

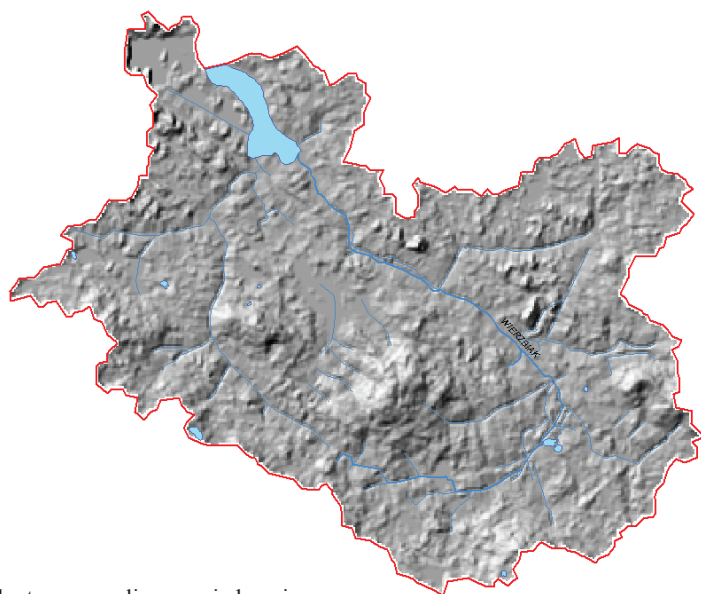
Geomorfologia

Z geomorfologicznego punktu widzenia zlewnia należy do Przedgórza Sudeckiego i Sudetów. Sudety nie są jednolitym i zwartym górotworem. Tak jak i Przedgórze Sudeckie, cechuje je wielka różnorodność form rzeźby, uwarunkowana bogatą przeszłością geologiczną i urozmaiconą na podobieństwo mozaiki budową petrograficzną (ryc. 3). Jako części starego górotworu – Masywu Czeskiego – zarówno Sudety jak i Przedgórze Sudeckie były w swej wspólnej geologicznej przeszłości kilkakrotnie fałdowane, wypiętrzane i ponownie niszczone. Dopiero w wyniku trzeciorzędowej karpacko-alpejskiej fazy górotwórczej zostały rozbite liniami uskoków na liczne zręby, poddzielane zapadliskami kotlin i rowów tektonicznych. Wtedy również zostały zróżnicowane na wyżej wypiętrzony blok sudecki, obejmujący dzisiejsze Sudety i ich Pogórze oraz na oddzielony od niego dyslokacją uskoku brzeżnego blok przedsudecki z Przedgórzem Sudeckim.

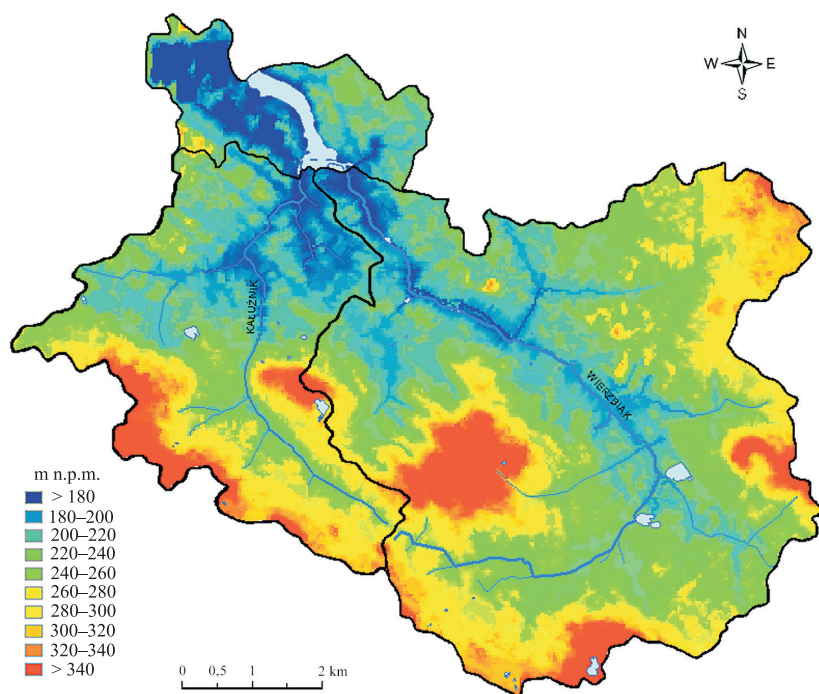
Hipsometria

Zróżnicowanie hipsometryczne obszaru zlewni rzek Wierzbiak i Kałużnik przedstawia ryc. 4. Na podstawie analizy numerycznego modelu terenu Aster GDEM stwierdzono, że średnia wysokość analizowanego obszaru wynosi 218,7 m n.p.m. Dla zlewni rzeki Wierzbiak wynosi ona 222,4 m n.p.m., a dla zlewni rzeki Kałużnik 219,7 m n.p.m. Najwyżej położony punkt w zlewni rzeki Wierzbowiec znajduje się na wysokości 354,3 m n.p.m., a w zlewni rzeki Kałużnik na wysokości 321,2 m n.p.m. Najniżej położonym punktem dla obu zlewni jest ujście rzek do zbiornika Mściwojów znajdujące się na wysokości 193,7 m n.p.m.

Procentowy udział klas wysokościowych w zlewni rzeki Wierzbiak i Kałużnik przedstawiono w tabeli 1. Jak z niej wynika ponad 50% powierzchni obu zlewni położone



Ryc. 3. Rzeźba terenu analizowanej zlewni
Fig. 3. Relief of analyzed catchment



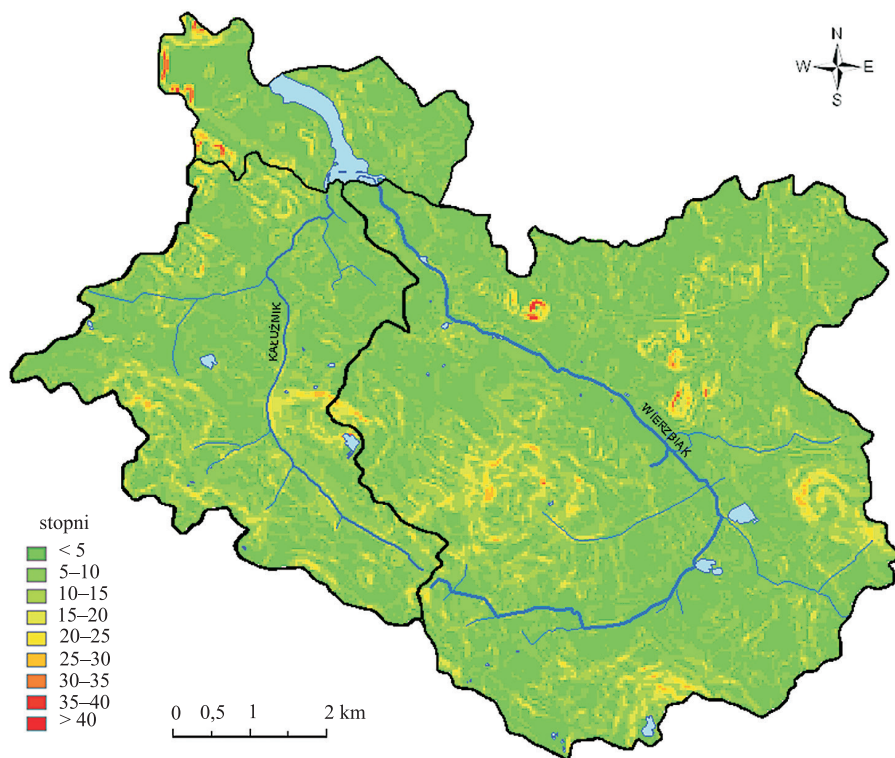
Ryc. 4. Hipsometria obszaru analizowanej zlewni
Fig. 4. Hypsometry of analyzed catchment

jest na wysokościach w przedziale od 190 do 220 m n.p.m. W zlewni rzeki Wierzbak największy udział wynoszący 20,6% przypada na klasę wysokości 200–210 m n.p.m. W zlewni rzeki Kałużnik natomiast największy udział wysokości przypada na klasę 190–200 m n.p.m. i wynosi on 21,4%.

Tabela 1. Procentowy udział klas wysokościowych w zlewni rzeki Wierzbak i Kałużnik
Table 1. Percentage classes of elevation in the Wierzbak and Kałużnik catchment

Klasy wysokości, m n.p.m. Class of elevation, m a.s.l.	Procentowy udział klas, % Percent of classes, %	
	zlewnia rz. Wierzbak the Wierzbak catchment	zlewnia rz. Kałużnik the Kałużnik catchment
190–200	15,5	21,4
200–210	20,6	18,1
210–220	17,8	13,6
220–230	14,6	12,0
230–240	9,6	9,6
240–250	7,1	7,6
250–260	5,4	5,7
260–270	2,6	3,7
270–280	2,2	3,0
280–290	1,4	2,5
290–300	0,9	1,8
300–310	0,7	1,0
310–320	0,6	0,1
320–330	0,5	0,01
330–340	0,3	–
340–350	0,1	–
350–360	0,02	–

Zróznicowanie przestrzenne spadków terenu na obszarze zlewni rzeki Wierzbak i Kałużnik przedstawia ryc. 5. Spadki terenu wyznaczone zostały na podstawie analizy numerycznego modelu terenu Aster GDEM. Obliczenia wykazały, że średni spadek terenu na analizowanym obszarze to 6,4°. Dla zlewni rzeki Wierzbak wynosi on 6,4°, a dla zlewni rzeki Kałużnik 6,6°. Największy spadek w zlewni rzeki Wierzbowiec wynosi 42,6°, a w zlewni rzeki Kałużnik 33,8°. Procentowy udział klas spadków w zlewni rzeki Wierzbak i Kałużnik przedstawiono w tabeli 2. Jak z niej wynika na obszarze obu zlewni przeważają spadki terenu do 5°.



Ryc. 5. Spadki terenu w ° na obszarze analizowanej zlewni

Fig. 5. Slopes of terrain in ° in analyzed catchment

Tabela 2. Procentowy udział klas spadków terenu w zlewni rzeki Wierzbak i Kałużnik

Table 2. Percentage classes of slopes in the Wierzbak and Kałużnik catchment

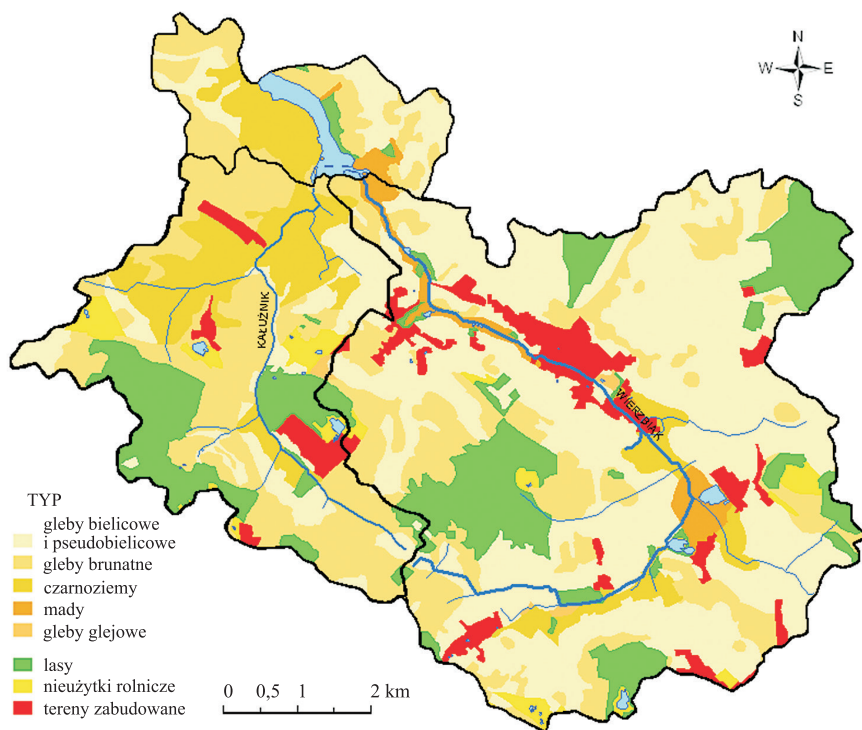
Klasy spadków terenu, ° Class of slope of terrain, °	Udział klasy, % Percent of classes, %	
	zlewnia rz. Wierzbak the Wierzbak catchment	zlewnia rz. Kałużnik the Kałużnik catchment
0–5	45,4	42,5
5–10	36,0	37,2
10–15	13,4	15,2
15–20	3,8	4,2
20–25	1,1	0,8
25–30	0,2	0,2
30–35	0,05	0,02
35–40	0,02	–
40–45	0,01	–

Klimat

Badany teren zalicza się do regionu klimatycznego Lubusko-Dolnośląskiego. Klimat na tym obszarze ma charakter przejściowy. Ścierają się tu wpływy łagodnego klimatu morskiego (oceanicznego) i klimatu kontynentalnego, przy czym na ogół przeważają wpływy klimatu oceanicznego. Suma opadów w ciągu roku kształtuje się tu średnio na poziomie 611 mm, a średnia roczna temperatura powietrza wynosi 8,6°C.

Gleby

Na podstawie analizy numerycznej mapy glebowo-rolniczej w skali 1 : 25 000 stwierdzono, że dominującym typem gleb na badanym obszarze są gleby biellicowe i brunatne. Przestrzenny rozkład poszczególnych typów gleb przedstawiono na ryc. 6, a ich stopień pokrycia zawarto w tabeli 3. Jak wynika z tabeli 4, badane zlewnie charakteryzują się różnym stopniem pokrycia gleb. W zlewni rzeki Wierzbak dominują gleby biellicowe, pseudobiellicowe i brunatne, natomiast w zlewni rzeki Kałużnik większość stanowią gleby brunatne, czarnoziemy i czarne ziemie. Ponadto w zlewni rzeki Wierzbak znajdują się mady, które nie występują w zlewni rzeki Kałużnik.



Ryc. 6. Typy gleb w analizowanej zlewni
Fig. 6. Type of soil in analyzed catchment

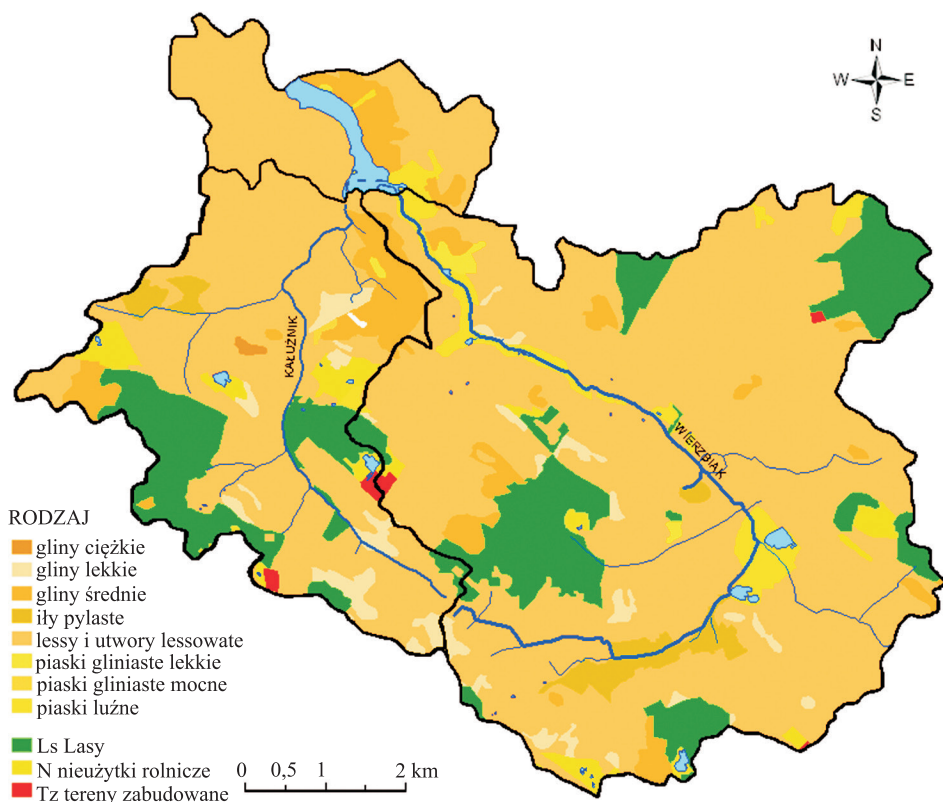
Tabela 3. Stopień pokrycia typami gleb w zlewni rzeki Wierzbak i Kałużnik
 Table 3. Degree of coverage types of soils in the Wierzbak and Kałużnik catchment

Typ gleb Type of soils	Stopień pokrycia, % Percent of cover, %	
	zlewnia rz. Wierzbak the Wierzbak catchment	zlewnia rz. Kałużnik the Kałużnik catchment
Gleby bielice i pseudobielice	66,5	21,3
Gleby brunatne	23,7	50,6
Czarnoziemy i czarne ziemie	5,2	27,6
Mady	4,2	–
Gleby glejowe	0,4	0,5

W przypadku rodzajów gleb badanego obszaru zdecydowanie przeważają gleby lessowe i utwory lessowate. Przestrzenny rozkład poszczególnych rodzajów gleb przedstawiono na ryc. 7, a ich stopień pokrycia w tabeli 4. Jak wynika z tej tabeli, podobnie jak w przypadku typów gleb, badane zlewnie charakteryzują się różnym stopniem pokrycia rodzajami gleb. W zlewni rzeki Wierzbak dominują gleby lessowe i utwory lessowate natomiast w zlewni rzeki Kałużnik większość stanowią gleby lessowe i utwory lessowate oraz gliny średnie. Ponadto w zlewni rzeki Kałużnik zalegają gliny ciężkie i piaski gliniaste mocne, które nie występują w zlewni rzeki Wierzbak.

Tabela 4. Stopień pokrycia rodzajami gleb w zlewni rzeki Wierzbak i Kałużnik
 Table 4. Degree of coverage kinds of soils in the Wierzbak and Kałużnik catchment

Rodzaj gleb Kind of soils	Stopień pokrycia, % Percent of cover, %	
	zlewnia rz. Wierzbak the Wierzbak catchment	zlewnia rz. Kałużnik the Kałużnik catchment
Glina ciężka	–	0,4
Glina lekka	2,3	7,0
Glina średnia	3,8	10,1
Iły pylaste	2,7	2,5
Lessy i utwory lessowate	85,9	79,0
Piasek gliniasty lekki	0,5	0,2
Piasek gliniasty mocny	–	0,3
Piasek luźny	4,7	0,4

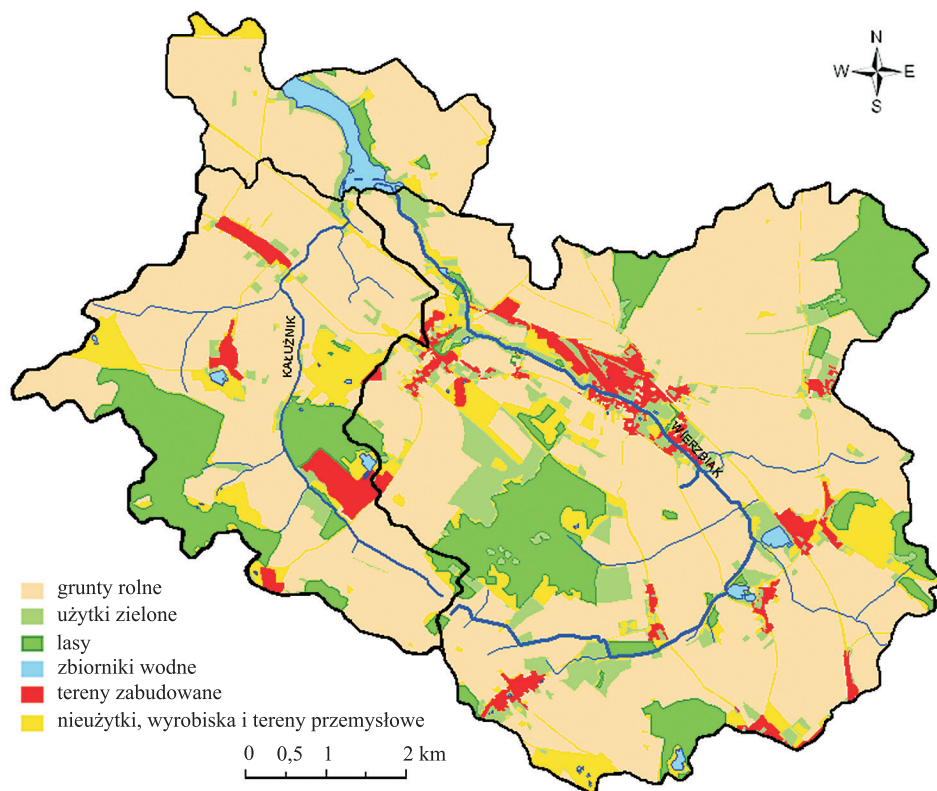


Ryc. 7. Rodzaje gleb w analizowanej zlewni

Fig. 7. Kinds of soil in analized catchment

Pokrycie i użytkowanie terenu

Analizę pokrycia i użytkowania badanego obszaru wykonano na podstawie informacji zawartych w bazie Obiektów Topograficznych (TBD) w skali 1 : 10 000 oraz wektorowej mapie poziomu 2 (VMapL2) w skali 1 : 50 000. Przestrzenny rozkład pokrycia i użytkowania terenu przedstawiono na ryc. 8, a ich stopień pokrycia w tabeli 5. Zróżnicowanie pokrycia i użytkowania jest podobne dla obu analizowanych zlewni. Największy udział w strukturze pokrycia mają grunty rolne i lasy.



Ryc. 8. Pokrycie i użytkowanie terenu analizowanej zlewni

Fig. 8. Land cover of analyzed catchment

Tabela 5. Pokrycie i użytkowanie terenu w zlewni rzeki Wierzbak i Kałużnik

Table 5. Land cover in the Wierzbak and Kałużnik catchment

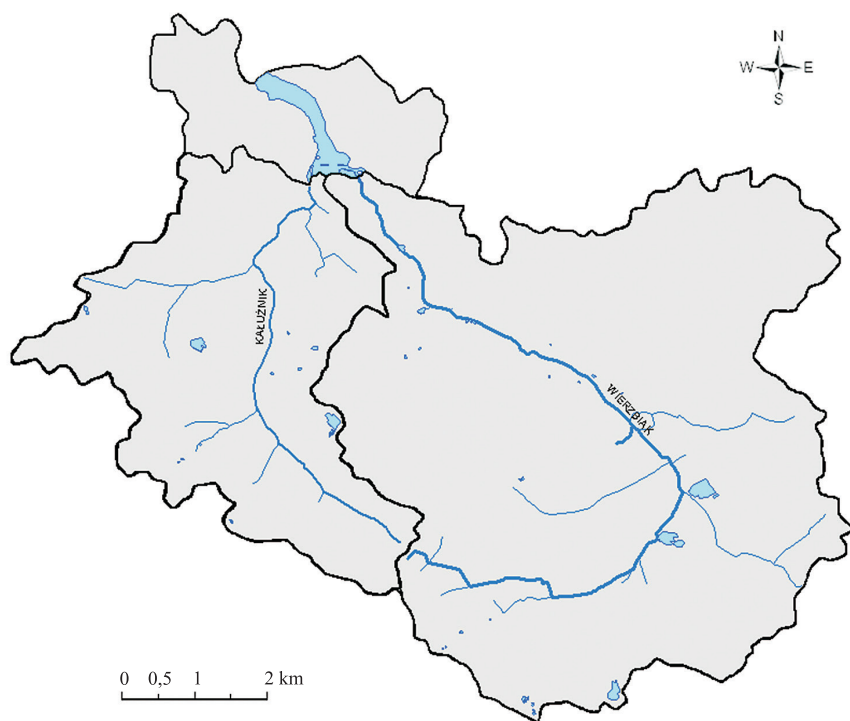
Rodzaj pokrycia i użytkowania terenu Land use and land cover	Stopień pokrycia, % Percent of cover, %	
	zlewnia rz. Wierzbak the Wierzbak catchment	zlewnia rz. Kałużnik the Kałużnik catchment
Tereny zabudowane	6,8	4,3
Grunty rolne	62,5	64,2
Użytki zielone	9,5	4,9
Lasy	15,0	18,0
Zbiorniki wodne	0,4	0,4
Nieużytki, wyrobiska i tereny przemysłowe	5,9	8,2

ZASOBY WODNE I CIEKI ZASILAJĄCE ZLEWNIE – CHARAKTERYSTYKI GEOINFORMACYJNE ZLEWNI ZBIORNIKA MŚCIWOJÓW

Główny ciek badanej zlewni to Wierzbak (ryc. 9). Ciek ten (na którym w sołectwie Mściwojów wybudowano zbiornik retencyjny pod nazwą zbiornik Mściwojów) swój początek bierze w pobliżu Strzegomia, na wysokości 217,5 m n.p.m. i uchodzi do Kaczawy w km 17+750. Całkowita powierzchnia zlewni Wierzbaka wynosi 280 km², natomiast powierzchnia zlewni do przekroju zbiornika w Mściwojowie wynosi 47 km², w tym powierzchnia częściowa rzeki Kałużnik (druga rzeka zlewni, wpadająca do zbiornika Mściwojów) 14,3 km², (około 30% całkowitej zlewni zbiornika).

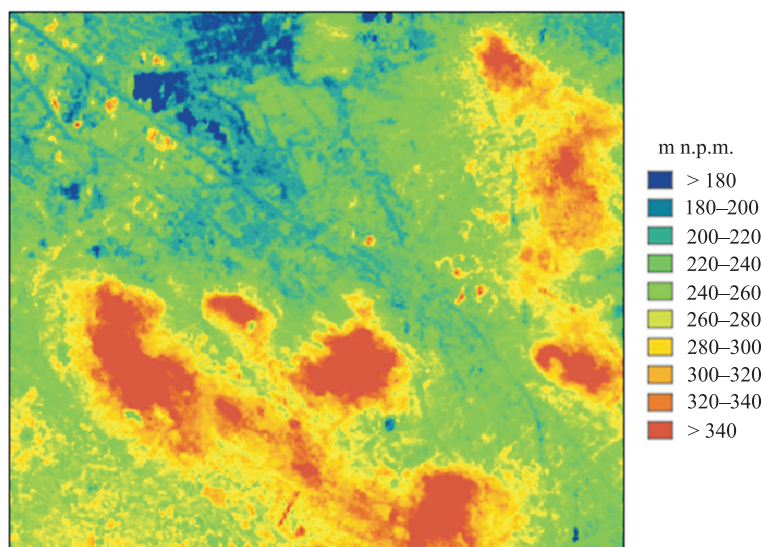
Na etapie analiz zasobów wodnych ważnym jest dokonanie szczegółowej charakterystyki zlewni, głównie pod kątem czynników warunkujących wielkość odpływu. W tym celu pozyskano dane w formie cyfrowej i przy użyciu oprogramowania GIS dokonano analizy hydrologicznej dla zlewni w przekrojach ujścia Wierzbaka i Kałużnika do zbiornika Mściwojów.

Podstawę analiz hydrologicznych stanowił numeryczny model terenu Aster GDEM o rozdzielczości przestrzennej 30 m · piksel⁻¹ (ryc. 10) oraz dane wektorowe o sieci rzecznej pochodzące z Mapy Podziału Hydrograficznego Polski (MPHP) (ryc. 11). Powyższe dane wysokościowe oraz przebieg sieci rzecznej poddano weryfikacji i korekcie w opar-



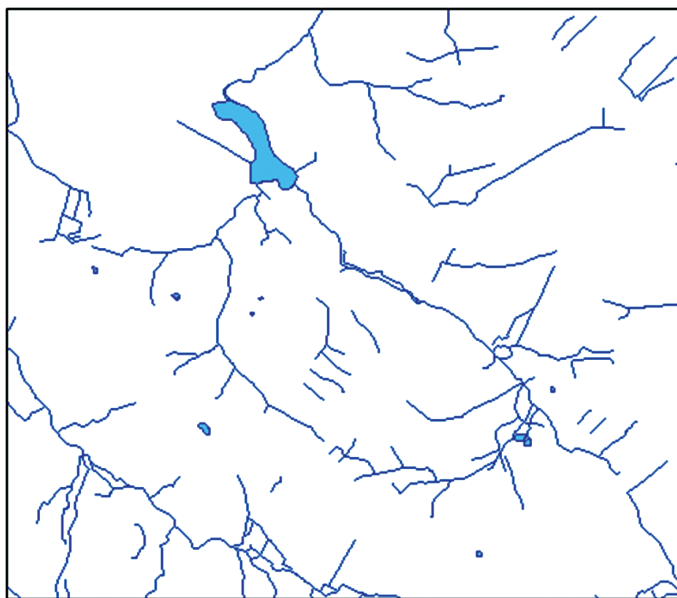
Ryc. 9. Sieć rzeczna i zbiorniki wodne w zlewni zbiornika Mściwojów

Fig. 9. River network and water reservoirs in Mściwojów water reservoir catchment



Ryc. 10. Numeryczny model terenu Aster GDEM

Fig. 10. Aster GDEM digital terrain model



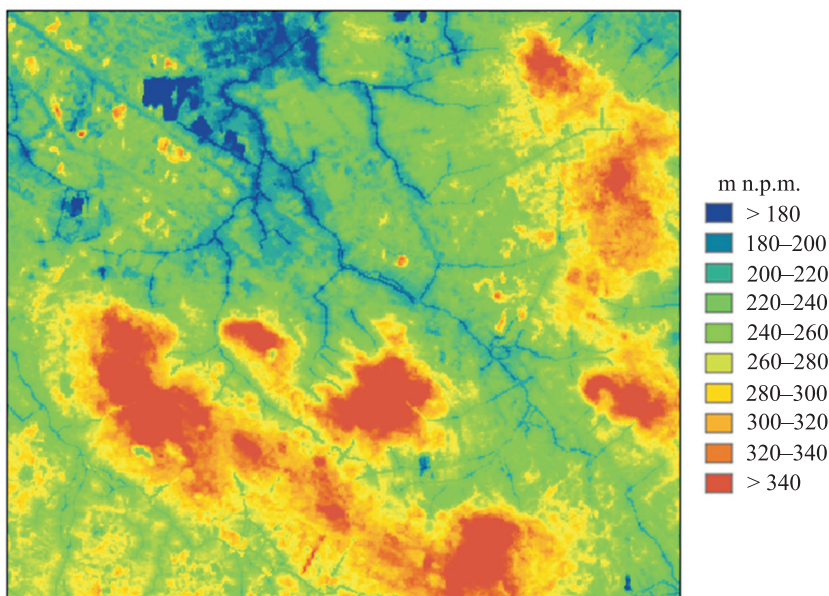
Ryc. 11. Mapa sieci rzecznej na podstawie danych MPHP

Fig. 11. Map of river network on base MPHP

ciu o bazę Obiektów Topograficznych (TBD) w skali 1 : 10 000 oraz map topograficznych w skali 1 : 10000. Analizy hydrograficzne i modelowanie hydrologiczne wykonano za pomocą narzędzia Arc Hydro Tools 9.0 działającego w środowisku oprogramowania ARC GIS firmy ESRI.

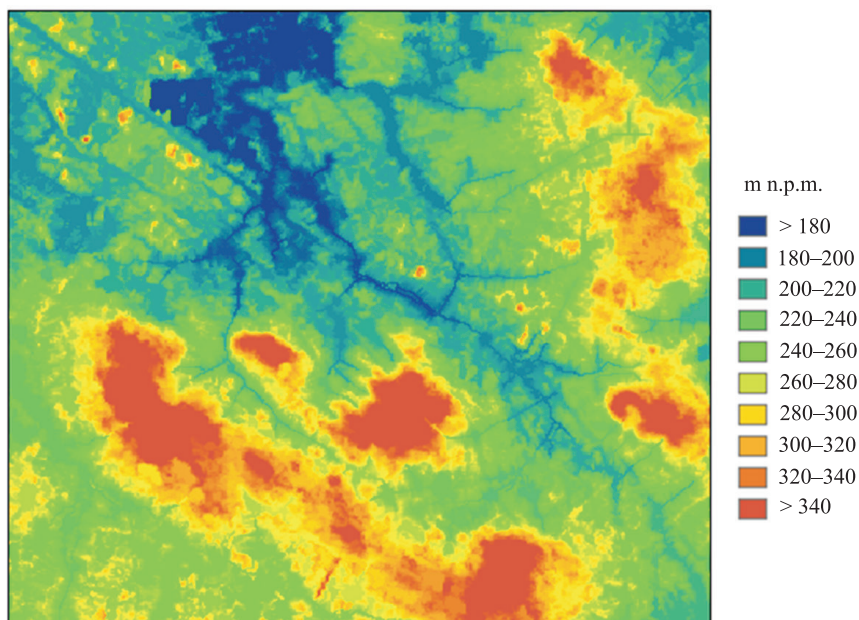
Przed rozpoczęciem obliczeń, numeryczny model terenu Aster GDEM poddano tak zwanemu procesowi „wypalania” sieci rzecznej, a następnie „wypełniania” obniżen [Zwoźński i Gudowicz 2009]. Wypalanie polegało na przeniesieniu na numeryczny model terenu kształtu sieci rzecznej. Dzięki temu model zlewni zyskał na jakości i wierności w stosunku do rzeczywistego przebiegu sieci rzecznej. Wynik wypalania numerycznego modelu terenu przedstawia ryc. 12.

W związku z tym, że numeryczny model terenu może zawierać wiele obniżen niezgodnych z rzeczywistością (wgłębien terenu), które mogły powstać podczas jego tworzenia metodą stereoskopową, przeprowadzono również proces „wypełniania” numerycznego modelu terenu. Proces ten polegał na eliminacji sztucznych obniżen w postaci pojedynczych komórek lub grup komórek, których wartość wysokości była mniejsza niż wszystkich innych komórek otaczających. Wypełnianie oznacza podniesienie wartości komórek tworzących sztuczne obniżenia do minimalnej wartości wysokości komórek, które je otaczają. Osiągnięta w ten sposób „płaskość” powierzchni stanowiła podstawę do interpretacji kierunku odpływu wody i wymuszenia spływu z wyższych partii terenu otaczających powierzchnię płaską w kierunku jej krawędzi. Wynik wypełniania sztucznych obniżen na numerycznym modelu terenu przedstawia ryc. 13.



Ryc. 12. „Wypalona” sieć rzeczna na numerycznym modelu terenu

Fig. 12. Linear stream slope burning into a digital elevation model



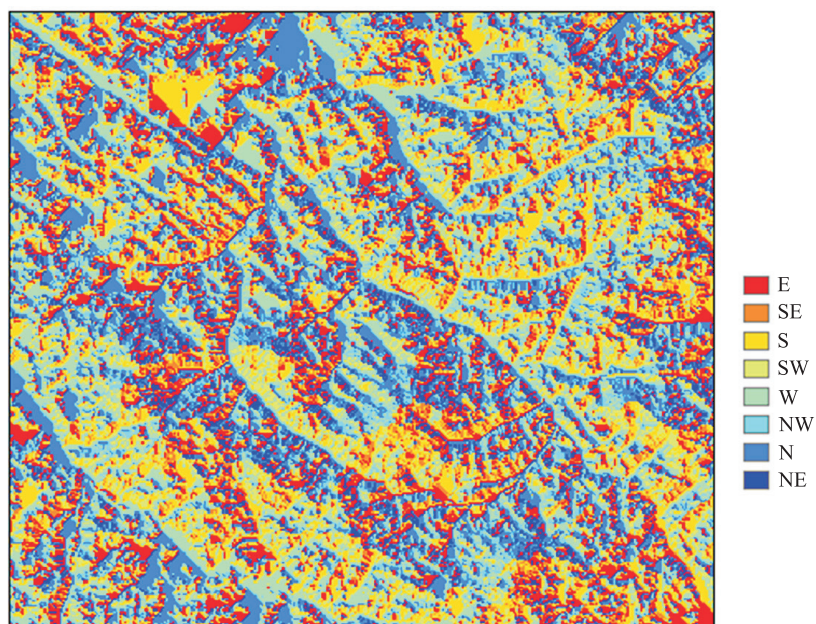
Ryc. 13. „Wypełnianie” sztucznych obniżen na numerycznym modelu terenu

Fig. 13. Sinks filling for an entire digital elevation model

Numeryczny model terenu poddany wstępnemu procesowi wypalania i wypełniania posłużył następnie do wyznaczenia kierunku spływu wody. W tym celu wykorzystano metodę pojedynczego kierunku spływu D8 (Eight Direction Pour Point Model, single flow direction method) [Wilson i Gallant 2000]. Algorytm ten wyznacza kierunek spływu wody z każdej komórki w kierunku jednej z komórek ją otaczających. Kierunek ten wybierany jest na podstawie obliczenia różnicy wysokości pomiędzy daną komórką a każdą z tych ośmiu komórek, którymi jest ona otoczona. Spływ wody kierowany jest w stronę komórki, w stosunku do której obliczony został największy spadek. Wynik obliczeń w postaci mapy kierunków spływu wody przedstawia ryc. 14.

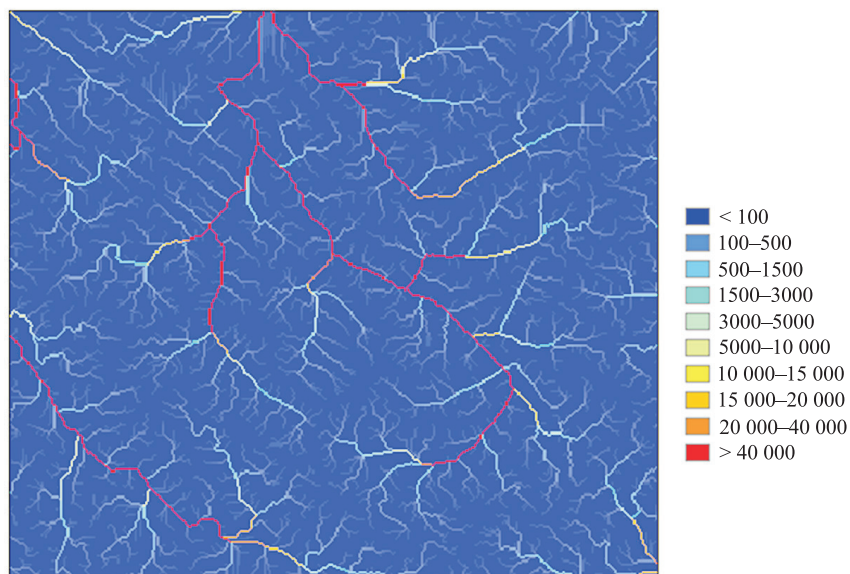
Mapa kierunków spływu posłużyła do określenia wielkości akumulacji spływu i wymodelowania linii spływu. Wielkość akumulacji spływu dla danej komórki jest to suma wartości wszystkich pikseli, przez które przechodzi spływ, zanim wpadnie do danej komórki. Zakłada się, że jedne komórki są odwadniane, a inne wodę przyjmują. Ostateczna wartość akumulacji jest więc całkowitym spływem z powierzchni zasilającej położonej powyżej danej komórki. Wynik obliczeń w postaci mapy akumulacji spływu wody przedstawia ryc. 15.

W ostatnim etapie modelowania sieci hydrograficznej wydzielone zostały działy wodne, czyli dokonano tak zwanej delimitacji zlewni. Do wygenerowania działów wodnych i poszczególnych zlewni cząstkowych posłużono się mapą akumulacji spływu wody (ryc. 16). Jak z niej wynika, komórki o wysokiej wartości akumulacji wyznaczają główne kanały spływu, podczas gdy komórki o wartości 0 wyznaczają linie grzbietowe. Wynik delimitacji zlewni w przekroju ujścia Wierzbika i Kałużnika do zbiornika Mściwojów przedstawia ryc. 16.



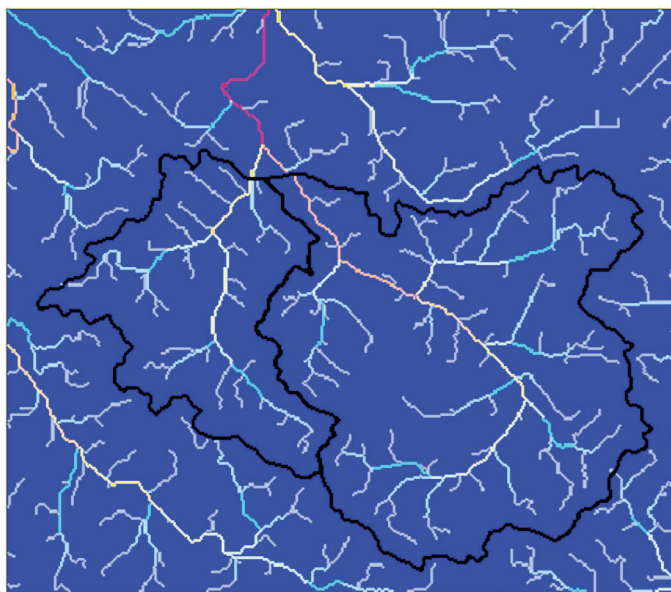
Ryc. 14. Mapa kierunków spływu wody

Fig. 14. Map of the flow direction



Ryc. 15. Mapa akumulacji spływu wody

Fig. 15. Map of the flow accumulation



Ryc. 16. Delimitacja zlewni rzeki Wierzbak i Kałużnik w przekroju ich ujścia do Zbiornika Mściwojów

Fig. 16. Catchment delineation of the Wierzbak and Kałużnik River in section of the Reservoir Mściwojów

Skonstruowane przy użyciu metod GIS modele zlewni rzeki Wierzbak i Kałużnik posłużyły do obliczenia charakterystyk hydrologicznych. W obliczeniach wykorzystano również informacje o pokryciu i użytkowaniu analizowanego obszaru zawarte w bazie Obiektów Topograficznych (TBD) w skali 1 : 10 000, numerycznej mapie glebowo-rolniczej w skali 1 : 25 000 oraz wektorowej mapie poziomu 2 (VMapL2) w skali 1 : 50 000.

CHARAKTERYSTYKA HYDROGRAFICZNA ZLEWNI RZEKI WIERZBIAK

Charakterystyki geometryczne zlewni

L – długość zlewni, 11,22 km

A – powierzchnia zlewni (zrzutowana na płaszczyznę), 31,22 km²

A_{rz} – powierzchnia rzeczywista zlewni, 31,37 km²

O – obwód zlewni, 29,93 km

B_{sr} – średnia szerokość zlewni wg wzoru:

$$B_{sr} = A/L, 2,78 \text{ km}$$

B_m – maksymalna szerokość zlewni, 5,68 km

Charakterystyki morfometryczne zlewni

H_{max} – wysokość maksymalna w zlewni, 354,3 m n.p.m.

Hd_{max} – wysokość maksymalna działu wód, 352,8 m n.p.m.

H_{min} – wysokość minimalna w zlewni, 193,7 m n.p.m.

Hd_{min} – wysokość minimalna działu wód, 193,7 m n.p.m.

H_{sr} – wysokość średnia zlewni, 222,4 m n.p.m.

H_{zr} – rzędna punktu początkowego, 247,5 m n.p.m.

H_u – rzędna punktu końcowego w przekroju ujścia do zbiornika Mściwojów, 193,7 m n.p.m.

ΔH – deniwelacja zlewni wg wzoru:

$$\Delta H = H_{max} - H_{min}, 160,6 \text{ m}$$

ΔHd – deniwelacja działu wodnego wg wzoru:

$$\Delta Hd = Hd_{max} - Hd_{min}, 159,1 \text{ m}$$

J_{sr} – średni spadek (nachylenie) zlewni, 11,28‰

Jw_{sr} – nachylenie zlewni wydłużonych:

$$Jw_{sr} = \Delta H/L, 14,31 \text{ m} \cdot \text{km}^{-1}$$

Jd_{sr} – średni spadek działu wodnego (wskaźnik urzeźbienia działu wodnego) wg wzoru:

$$Jd_{sr} = \Delta Hd/P, 34,66 \text{ m} \cdot \text{km}^{-1}$$

α – średnie nachylenie zlewni, 6,38°

Charakterystyki sieci hydrograficznej zlewni

l – długość rzeki od źródła do ujścia do zbiornika Mściwojów, 10,83 km

P – odległość w linii prostej od źródeł do ujścia, 4,59 km

i_w – spadek wyrównany cieków, ‰, wg wzoru:

$$i_w = \frac{H_{zr} - H_u}{l}, 4,97\text{‰}$$

r_r – rozwinięcie rzeki wg wzoru:

$$r_r = l/P2,36$$

e_r – wskaźnik rozwinięcia rzeki wg wzoru:

$$e_r = ((l - P)/P)100, 135,95\%$$

k_r – krętość rzeki, wg wzoru:

$$k_r = l/L0,96$$

l_i – długość cieków, 21,42 km

D – średnia gęstość sieci rzecznej, wg wzoru:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{A}, 0,69 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$$

F_j – powierzchnia zbiorników wodnych w zlewni, 0,013 km²

W_j – jeziorność zlewni wg wzoru:

$$W_j = (F_j/A)100, 0,04\%$$

F_b – powierzchnia bagien w zlewni, 0,072 km²

W_b – wskaźnik zabagnienia zlewni wg wzoru:

$$W_b = (F_b/A)100, 0,23\%$$

Charakterystyki pokrycia i użytkowania zlewni

Fl – powierzchnia lasów w zlewni, 4,68 km²

λ – stopień lesistości wg wzoru:

$$\lambda = (Fl/A)100, 14,9\%$$

Fo – powierzchnia gruntów ornych w zlewni, 19,58 km²

o – stopień pokrycia gruntami ornymi wg wzoru:

$$o = (Fo/A)100, 62,72\%$$

Fz – powierzchnia łąk i pastwisk w zlewni, 2,96 km²

Ψ – stopień pokrycia łąkami i pastwiskami wg wzoru:

$$\Psi = (Fz/A)100, 9,47\%$$

Fu – powierzchnia zabudowy w zlewni, 2,11 km²

Z – stopień zurbanizowania wg wzoru:

$$Z = (Fu/A)100, 6,76\%$$

CHARAKTERYSTYKA HYDROLOGICZNA ZLEWNI RZEKI KAŁUŻNIK

Charakterystyki geometryczne zlewni

L – długość zlewni, 6,51 km

A – powierzchnia zlewni (zrzutowana na płaszczyznę), 13,40 km²

A_{rz} – powierzchnia rzeczywista zlewni, 13,75 km²

O – obwód zlewni, 21,41 km

B_{sr} – średnia szerokość zlewni wg wzoru:

$$B_{sr} = A/L, 2,06 \text{ km}$$

B_m – maksymalna szerokość zlewni, 4,45 km

Charakterystyki morfometryczne zlewni

H_{max} – wysokość maksymalna w zlewni, 321,2 m n.p.m.

Hd_{max} – wysokość maksymalna działu wód, 321,2 m n.p.m.

H_{min} – wysokość minimalna w zlewni, 193,7 m n.p.m.

Hd_{min} – wysokość minimalna działu wód, 193,7 m n.p.m.

H_{sr} – wysokość średnia zlewni, 219,7 m n.p.m.

H_{zr} – rzędna punktu początkowego, 241,0 m n.p.m.

H_u – rzędna punktu końcowego w przekroju ujścia do Zbiornika Mściwojów, 193,7 m n.p.m.

ΔH – deniwelacja zlewni wg wzoru:

$$\Delta H = H_{max} - H_{min}, 127,5 \text{ m}$$

ΔHd – deniwelacja działu wodnego wg wzoru:

$$\Delta Hd = Hd_{max} - Hd_{min}, 127,5 \text{ m}$$

J_{sr} – średni spadek (nachylenie) zlewni, 11,51%

Jw_{sr} – nachylenie zlewni wydłużonych:

$$Jw_{sr} = \Delta H/L, 19,58 \text{ m} \cdot \text{km}^{-1}$$

Jd_{sr} – średni spadek działu wodnego (wskaźnik urzeźbienia działu wodnego) wg wzoru:

$$Jd_{sr} = \Delta Hd/P, 28,52 \text{ m} \cdot \text{km}^{-1}$$

α – średnie nachylenie zlewni, 6,51°

Charakterystyki sieci hydrograficznej zlewni

l – długość rzeki od źródła do ujścia do Zbiornika Mściwojów, 5,80 km

P – odległość w linii prostej od źródeł do ujścia, 4,47 km

i_w – spadek wyrównany cieków, wg wzoru:

$$i_w = \frac{H_{zr} - H_u}{l}, 8,15\%$$

r_r – rozwinięcie rzeki wg wzoru:

$$r_r = l/P, 1,30$$

e_r – wskaźnik rozwinięcia rzeki wg wzoru:

$$e_r = ((l-P)/P)100, 29,75\%$$

k_r – krętość rzeki wg wzoru:

$$k_r = l/L, 0,89$$

l_i – długość cieków, 13,06 km

D – średnia gęstość sieci rzecznej, wg wzoru:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{A}, 0,97 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$$

F_j – powierzchnia zbiorników wodnych w zlewni, 0,05 km²

W_j – jeziorność zlewni wg wzoru:

$$W_j = (F_j/A)100, 0,39\%$$

F_b – powierzchnia bagien w zlewni, 0,01 km²

W_b – wskaźnik zabagnienia zlewni wg wzoru:

$$W_b = (F_b/A)100, 0,07\%$$

Charakterystyki pokrycia i użytkowania zlewni***Fl*** – powierzchnia lasów w zlewni, 2,41 km²***λ*** – stopień lesistości wg wzoru:

$$\lambda = (Fl/A)100, 17,98\%$$

Fo – powierzchnia gruntów ornych w zlewni, 8,60 km²***o*** – stopień pokrycia gruntami ornymi wg wzoru:

$$o = (Fo/A)100, 64,17\%$$

Fz – powierzchnia łąk i pastwisk w zlewni, 0,66 km²***Ψ*** – stopień pokrycia łąkami i pastwiskami wg wzoru:

$$\Psi = (Fz/A)100, 4,94\%$$

Fu – powierzchnia zabudowy w zlewni, 0,58 km²***Z*** – stopień zurbanizowania wg wzoru:

$$Z = (Fu/A)100, 4,35\%$$

TOPOGRAFICZNY WSKAŹNIK WILGOTNOŚCI TWI

Topograficzny wskaźnik wilgotności *TWI* (*Topographic Wetness Index*) jest jedną z miar ilościowych, opisującą wpływ topografii na procesy hydrologiczne. Wskazuje on tendencje do akumulowania wody na danym obszarze. Określa go zależność pomiędzy wielkością powierzchni biorącej udział w spływie powierzchniowym (fragmentcie zlewni) a wartością jej nachylenia. Koncepcję wskaźnika *TWI* opracowali Beven i Kirkby [1979], a oblicza się go za pomocą poniższego wzoru:

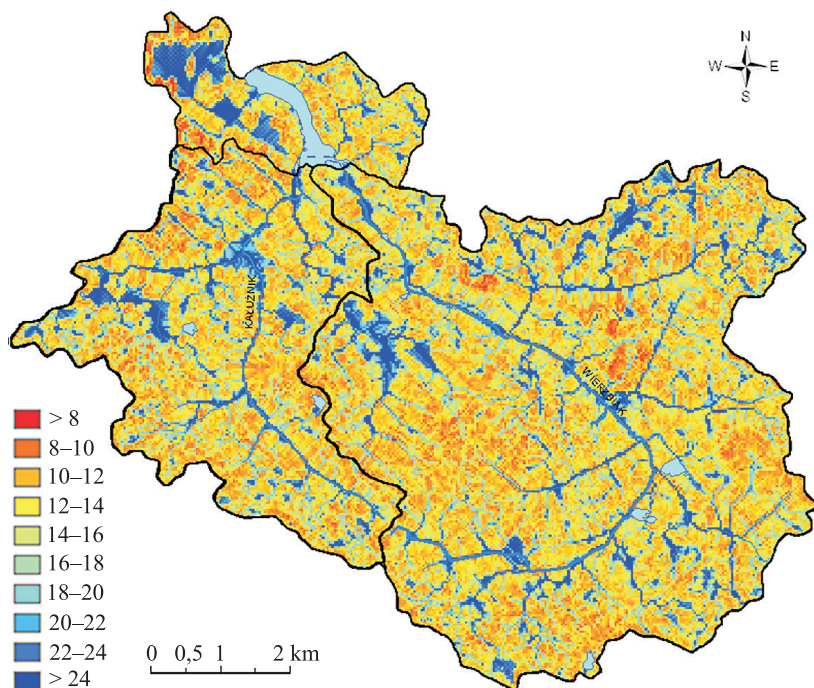
$$TWI = \ln(As / \tan\beta)$$

gdzie:

As – właściwa lokalna powierzchnia zlewni,*β* – kąt nachylenia stoku (komórki).

Właściwa lokalna powierzchnia zlewni *As* oznacza w tym przypadku obszar zasilający daną komórkę podzielony przez bok komórki.

TWI odzwierciedla przestrzenny rozkład wilgotności gleby i stopienia nasycenia wilgocią powierzchni ziemi. Duże wartości *TWI* przypisane są miejscom potencjalnej koncentracji wód stokowych. Największe wartości indeks osiąga przy dużym obszarze zasilania i małym kącie nachylenia. Na obszarze badań najwyższe wartości *TWI* występują w dnach dolin i przy dolnym załomie stoków oraz we wklęsłych formach terenu (ryc. 17). Niskie wartości *TWI* świadczące o mniejszym stopniu nasycenia wilgocią są na badanym obszarze charakterystyczne dla form wypukłych, a więc wierzchołków i bardziej nachylonych stoków.



Ryc. 17. Przestrzenne zróżnicowanie wskaźnika *TWI* na obszarze zlewni rzeki Wierzbak i Kałużnik

Fig. 17. Spatial differentiation of *TWI* indicator in Wierzbak and Kałużnik catchment

PODSUMOWANIE

W niniejszym artykule, na kanwie szczegółowej charakterystyki zlewni, przedstawiono analizę zasobów wodnych krajobrazów kulturowych rejonu zbiornika Mściwojów. Korzystając z danych przestrzennych i metod GIS wykonano analizę charakterystyk zasobów wodnych i cieków zasilających zlewnię zbiornika Mściwojów. Analizę tą wzbogacono o wyznaczenie topograficznego wskaźnika wilgotności *TWI*. Przedstawione tu dane mogą być przydatne zarówno dla planistów krajobrazów kulturowych, jak i dla projektantów oraz potencjalnych inwestorów. Mają też służyć naukowcom, inżynierom, mieszkańcom i władzom gmin przy analizach hydrologicznych i hydromorfologicznych w dobie coraz mniejszych zasobów wodnych w kraju, aby na podstawie podanego tu przykładu i schematu samemu zadbać o analizę zasobów wodnych w poszczególnych zlewniach. Sposób opracowania danych w artykule jest zgodny z paradygmatem Ramowej Dyrektywy Wodnej Unii Europejskiej.

PIŚMIENNICTWO

Badura, J., Przybylski, B., Krzyszkowski, D. (1992). Nowe stanowisko stratotypowe osadów plejstoceniowych na Przedgórzu Sudeckim: doniesienie wstępne. *Przegl. Geol.*, 40, 545–551.

- Badura, J., Przybylski, B. (1998). Zasięgi lądolodów plejstocenijskich i deglacja obszaru między Sudetami a Wałem Śląskim. *Biul. PIG*, 385, 9–28.
- Beven, K., Kirkby, N. (1979). A physically based variable contributing area model of basin hydrology. *Hydro. Sci. Bull.*, 24(1), 43–69.
- Carling, P., Whitcombe, L., Benson, I., Hankin, B., Radecki-Pawlik, A. (2006). A new method to determine interstitial flow patterns in flume studies of sub-aqueous gravel bedforms such as fish nests. *River Res. Applic.*, 22(6), 691–701.
- Radecki-Pawlik, A. (2014). *Hydromorfologia rzek i potoków górskich. Działy wybrane*. Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego, Wyd. 2, Kraków, ss. 304.
- Wałęga, A., Chmielowski, K., Satora, S. (2009). Stan gospodarki wodno-ściekowej w Polsce w aspekcie wdrażania Ramowej Dyrektywy Wodnej. *Infrastr. Ekol. Ter. Wiej.*, 4, 57–72.
- Wiatkowski, M., Czamara, W., Kuczewski, K. (2006). Wpływ zbiorników wstępnych na zmiany jakości wód retencjonowanych w zbiornikach głównych. *IPiŚ PAN, Zabrze*.
- Wilson, J.P., Gallant, J.C. (2000). *Terrain analysis. Principles and applications*. John Wiley and Sons Inc., Toronto, 51–84.
- Wyźga, B., Zawiejska, J., Radecki-Pawlik, A., Hajdukiewicz, H. (2012a). Environmental change, hydromorphological reference conditions and the restoration of Polish Carpathian rivers. *Earth Surface Processes and Landforms*, 37(11), 1213–1226.
- Wyźga, B., Ogłücki, P., Radecki-Pawlik, A., Skalski, T., Zawiejska, J. (2012b). Hydromorphological complexity as a driver of the diversity of benthic invertebrate communities in the Czarny Dunajec River, Polish Carpathians. *Hydrobiologia*, 696(1), 29–46.
- Wyźga, B., Ogłücki, P., Hajdukiewicz, H., Zawiejska, J., Radecki-Pawlik, A., Skalski, T., Mikuś, P. (2013). Interpretation of the invertebrate-based BMWP-PL index in a gravel-bed river: insight from the Polish Carpathians. *Hydrobiologia*, 712 (1), 71–88.
- Zwoliński, Z., Gudowicz, J. (2009). *Geoinformacyjne modelowanie hydrologiczne. [W:] GIS platforma integracyjna geografii*. Red. Z. Zwoliński. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 101–114.

ON USING THE GIS METHODS FOR ANALYSING CULTURAL LANDSCAPES OF LAND WATER RESOURCES: THE MŚCIWOJÓW WATER RESERVOIR REGION

Abstract. Along the paper we used spatial characteristics of land water resources using cultural landscape philosophy. The study was done for the Mściwojów water reservoir area in Sudety mountains in Poland. Some chosen GIS methodology, in our case Arc Hydro Tools 9.0 was used to run the analyze. Along the study we concentrated on the rivers and two catchments: the Wierzbak and the Kałużnik rivers. Topographic Topographic Wetness Index (TWI) was used to show of spatial distribution of water resources. We found that highest values of TWI are located at the bottom of river valleys and along slopes of land and in concave forms of areas. At the same time lowest values of TWI are occurred in an areas which are adjacent to the convex forms.

Key words: water resources, digital terrain model, GIS, TWI index

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 8.12.2015

Do cytowań – For citation: Radecki-Pawlik, A., Wojkowski, J., Wałęga, A., Pijanowski, J. (2015). Zastosowanie metod GIS do analizy zasobów wodnych krajobrazów kulturowych regionu zbiornika wodnego mściwojów. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 14(4), 109–133.