

MAPA WIARYGODNOŚCI WYZNACZENIA ŚREDNIEGO OPADU ATMOSFERYCZNEGO W ZLEWNI RZEKI PRUSINY

A CERTAINTY MAP OF THE AVERAGE ANNUAL RAINFALL IN THE PRUSINA RIVER CATCHMENT

MAREK KACHNIC¹

Abstrakt. Celem pracy jest ocena wiarygodności wyznaczenia średniego rocznego opadu atmosferycznego na badanym obszarze. Obszar analiz obejmował 2750 km², w którym zlokalizowana jest zlewnia rzeki Prusiny o powierzchni około 200 km². Mapę wiarygodności estymacji średniego w wieloleciu opadu atmosferycznego opracowano na podstawie punktów pomiarowych IMGW. Opracowana mapa jest składową systemy oceny wiarygodności wyników modelu numerycznego przepływu płytkich wód podziemnych.

Słowa kluczowe: opad atmosferyczny, niepewność pomiarowa, zlewnia Prusiny, mapa wiarygodności wyników, GIS.

Abstract. The aim of the work was to evaluate the uncertainty of rainfall measurement and generate a certainty map for the Prusina River catchment (200 km²) in Poland. Location of the meteorological stations was taken from the Institute of Meteorology and Water Management (IMGW) in Poland. The resulting map is a part of work concerning assessment of uncertainty of results of a groundwater model.

Key words: precipitation, meteorological station, uncertainty, certainty map, GIS.

WSTĘP

Zagadnienia określania na modelu numerycznym warunków początkowych, warunków brzegowych oraz zasilania warstwy wodonośnej przez wody opadowe stanowią istotny problem w praktyce modelowania matematycznego wód podziemnych. Błędne określenie tych elementów ma bezpośredni wpływ na precyzję rozwiązań modelu (Michalak i in., 2011). W przygotowywanym modelu numerycznym przepływu płytkich wód podziemnych w zlewni Prusiny podana zostanie ocena wiarygodności wyników tego modelu. Wiarygodność przyjętej na modelu wartości opadu atmosferycznego jest jednym ze składników oceny tej wiarygodności.

Modelowanie numeryczne przepływu wód podziemnych opiera się na znajomości wielkości zasilania i odpływu wody z analizowanego systemu wód podziemnych. Źródłem zasilania wód podziemnych jest opad atmosferyczny pomniejszony o wartość ewapotranspiracji i odpływu podziemnego. Pomiarami opadów atmosferycznych zajmuje się Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej². Odpływ jest wielkością, której oszacowaniem zajmują się głównie hydrologi i hydrogeolodzy. Natomiast oszacowanie najistotniejszego elementu cyklu hydrologicznego, czyli parowania terenowego, jest nadal na etapie badań eksperymentalnych i teoretycznych (Jaworski, 2004).

¹ Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Wydział Biologii i Nauk o Ziemi, Instytut Geografii, Zakład Geologii i Hydrogeologii, ul. Gagarina 9, 87-100 Toruń; e-mail: marek.kachnic@gmail.com

² Rozpoznanie klimatyczne w Polsce uzupełniają stacje pomiarowe będące własnością instytucji i firm zajmujących się badaniem i monitoringiem środowiska. Są to m.in. stacje pomiarowe: G/WIOŚ, Stacji Sanitarno-Epidemiologicznych, Monitoringu Meteorologicznego Obszarów Leśnych realizowanego przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych i Instytut Badawczy Leśnictwa, a także stacje przy punktach monitoringu krajowego PIG-PIB PSH i in. Na obszarze badań występuje kilka takich stacji. Z powodu krótkiego okresu pomiarowego wyniki z tych stacji nie są alternatywą dla pomiarów IMGW i dlatego nie zostały uwzględnione w artykule

W pracy omówiono zagadnienie oceny wiarygodności pomiarów opadu atmosferycznego w zlewni Prusiny i jej bliskim otoczeniu. Zlewnia Prusiny jest lewobrzeżnym dopływem Wdy (fig. 1, 4) i występuje w regionie fizyczno-geo-

graficznym Borów Tucholskich. W skład obszaru badań wchodzi zlewnia rzeki Prusiny wraz z terenem przyległym, obejmującym 9 arkuszy map w skali 1:50 000 (fig. 2).

POMIAR OPADU ATMOSFERYCZNEGO

Dane do map opadów atmosferycznych najczęściej uzyskuje się na podstawie interpolacji informacji punktowych ze stacji pomiarowych IMGW. Spośród około 1600 punktów pomiarowych IMGW tylko dane z 62 stacji IMGW udostępniane są bezpłatnie (dostęp online). Są to stacje należące do sieci World Meteorological Organization (WMO).

W Atlasie hydrologicznym (Stachy, 1986) podano lokalizację stacji meteorologicznych, posterunków meteorologicznych i posterunków opadowych, na podstawie których były opracowywane mapy zamieszczone w tym atlasie. Dane dotyczące opadów atmosferycznych badanego obszaru przedstawione w atlasie są oparte na informacji interpolowa-

nej z dwóch punktów pomiarowych (Chojnice i Kościerzyna), zlokalizowanych poza obszarem badań. Z powodu nieciągłości opadów atmosferycznych, których pomiar jest wyjątkowo czuły na lokalne warunki terenowe, a także oddalenia stacji opadowych, wiarygodność mapy opadów z tego atlasu (dla wybranego obszaru badań) jest raczej dość niska.

Wg atlasu... (*ibidem*), wskaźnik średnich rocznych sum opadów dla tego rejonu z wielolecia 1951–1970 wynosi około 550 mm/rok. Wartość tę, jak sugeruje Stachy (1986), należy traktować jako wskaźnikową.

Dołączone do MhP w skali 1:200 000 mapy izohiet opadów z 30-lecia 1930–1960 wskazują na wyższą wartość opa-

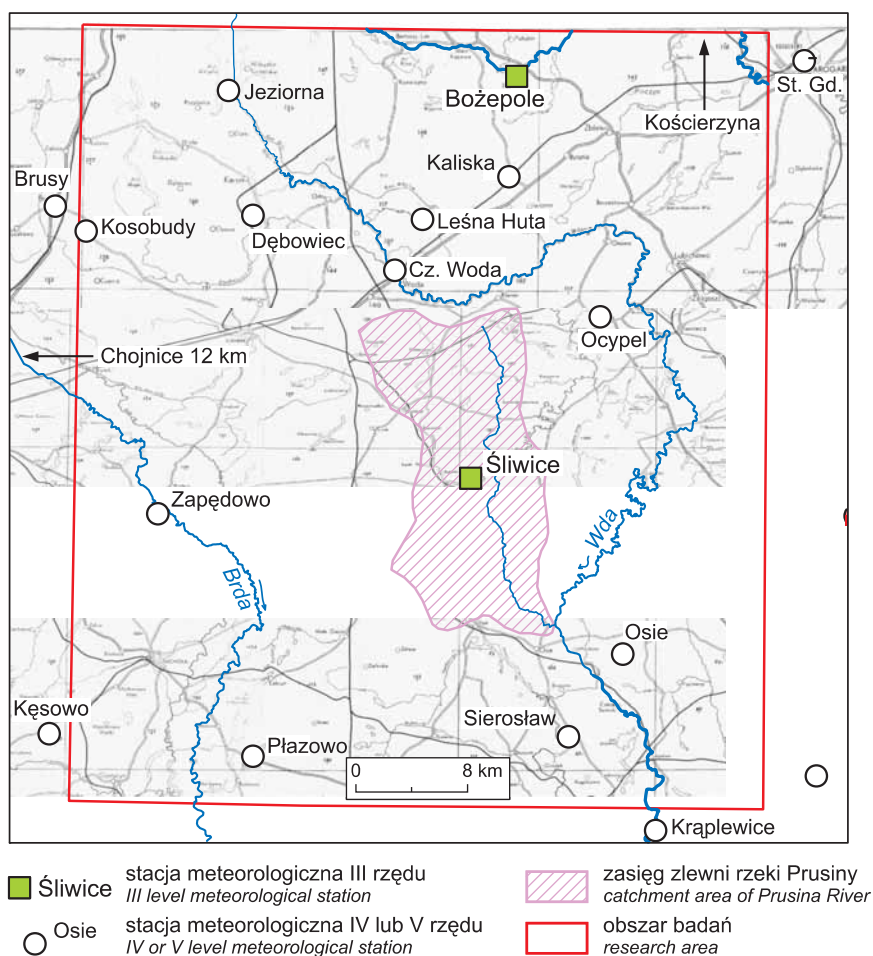


Fig. 1. Mapa stacji meteorologicznych w obszarze badań

Meteorological stations in the research area

dów, tj. powyżej 600 mm (Ozon-Gostkowska, 1985). Podany na tych mapach przebieg izohiet opadów atmosferycznych jest zbliżony do mapy opracowanej przez Chomicza (1976), który przedstawił dla Polski skorygowane wartości opadu atmosferycznego, większe o około 20% od wartości wskazań z deszczomierzy.

Według rozproszonych danych IMGW w obszarze badań (fig. 1) są zlokalizowane:

- 2 stacje III rzędu: w Śliwicach (zlewnia Prusiny) i Bożympolu Szlacheckim (zlewnia Wierzycy);
- około 11 posterunków opadowych³ (w Czarnej Wodzie, Ocyplu, Osiu, Jeziornej, Zapędowie, Płazowie, Tucholi, Leśnej Hucie, Kaliskach Sierosław, Kosobudy).

Określone na stacjach opadowych średnie roczne sumy nieskorygowanych opadów atmosferycznych \bar{P} w wieloleciu wynoszą:

- 520₁₉₅₅₋₉₆ mm na stacji w Bożympolu Szlacheckim (Nather i in., 1997);
- 580₁₉₅₅₋₉₅ mm w Czarnej Wodzie (*ibidem*);
- 540₁₉₅₀₋₉₃ mm (Płochniewski, 1984) i 520₁₉₇₀₋₉₉ (Rodzoch i in., 2001) na stacji w Śliwicach;
- 610₁₉₅₇₋₉₁ mm w Ocyplu (Nather i in., 1997).

Istotne dane dotyczące bilansu wodnego zamieszcza Jaworski (2004). Do oceny składników bilansu wodnego według własnej metody (str. 206) Jaworski analizował obszary czterech zlewni⁴. Dla zlewni Brdy, zamkniętej przekrojem wodowskazowym Tuchola, podane zostały główne składniki bilansu wodnego. Na podstawie danych ze stacji synoptycznej w Chojnicach i niewymienionych z nazwy posterunków opadowych z terenu zlewni Brdy podany został skorygowany opad atmosferyczny i parowanie terenowe. Z uwagi na kompleksowość oceny składników całego bilansu wodnego dane te należy traktować jako najbliższe rzeczywistości.

Według podanych informacji w zlewni Brdy wskaźnik opadu atmosferycznego w 30-leciu 1961–1990 wyniósł 622 mm. Średnia roczna suma **skorygowanego** opadu w 30-leciu wynosiła 750 mm. Skorygowany opad atmosferyczny przewyższał zmierzone wartości opadu o ~20%, a w okresie wegetacyjnym (kwiecień–wrzesień) o ~15%. Porównując wartość rzeczywistego opadu atmosferycznego z obliczonym parowaniem terenowym stwierdzono, że w sumie około 35% wartości opadu skorygowanego zasila wody podziemne i jest wykorzystane przez roślinność.

NIEPEWNOŚĆ ESTYMACJI ŚREDNIEGO OPADU ATMOSFERYCZNEGO

Elementy środowiska przyrodniczego są obiektami trudnymi do zmierzenia. Zalecane przez Międzynarodowe Biuro Miar metody oceny niepewności pomiarowej z wyznaczeniem niepewności pomiarowej typu A i B (Wyrażanie..., 1999⁵; Janiczek, 2008) są tu niewystarczające. Powodem jest sama idea pomiaru elementów środowiska przyrodniczego. Pojedynczy czy nawet wielokrotny pomiar jest jedynie wyrzykowym pomiarem zmiennego środowiska podlegającego często znacznej cykliczności i szerokiemu zakresowi zmian. Można go porównać do próby pomiaru wymiarów obiektu podlegającego ciągłej metamorfozie. W przypadku pomiarów składników środowiska przyrodniczego nawet dokładny przyrząd pomiarowy nie zapewni uzyskania poprawnego wyniku zadowalającego obserwatora z powodu quasi-ciągłej zmiany parametrów mierzonego systemu.

Wszystkie elementy klimatu, w tym również opady wykazują zmienność w przestrzeni. Na zmienność klimatyczną

w skali globalnej nakłada się zmienność lokalna⁶ oraz zmienność miejscowa ujawniająca się na niewielkich ograniczonych obszarach. Jak wykazują badania w zlewni badawczej górnej Wilgi zmienność lokalna występuje również tam, gdzie teren jest monotony (Jaworski, Szkutnicki, red., 1999). Ogólna prawidłowość w przestrzennym rozmieszczeniu składników klimatu jest dodatkowo naruszona błędami pomiarów i obliczeń (Bogdanowicz, Stachy, 1998).

Ocena jakości rozpoznania klimatycznego w określonym obszarze badań powinna uwzględniać dwa zależne od siebie, ale konieczne do odróżnienia, źródła wiedzy. Pierwsze źródło wynika wprost z ilości i jakości surowych danych pomiarowych dostępnych dla danego obszaru. Drugie źródło danych to występowanie w badanym obszarze (lub w sąsiedztwie) kompleksowych prac studialnych, które można wprost lub pośrednio wykorzystać do oceny szukanych parametrów badanego systemu.

³ Poprawna lokalizacja tych posterunków jest trudna do ustalenia. Często posterunki te są (lub były) punktami IMGW, służącymi obserwacjom stanu wód podziemnych i powierzchniowych

⁴ Zlewnia górnej Wilgi, Żuławy Elbląskie, zlewnia Utraty, Soły, Swojec k. Wrocławia i fragment zlewni Brdy

⁵ Przyjęte w 1995 r. uzgodnienia na forum Międzynarodowej Normy Oceny Niepewności Pomiaru dotyczące niepewności w pomiarach zostały opublikowane w instrukcji „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement”. W 1999 r. instrukcja ta została wydana w Polsce pod tytułem „Wyrażanie niepewności pomiaru – przewodnik”

⁶ Uwarunkowaną przez takie czynniki, jak rzeźba terenu, odległość od mórz itp.

OCENA WIARYGODNOŚCI I ZASIĘGU AUTOKORELACJI POMIARÓW ZE STACJI OPADOWYCH

Warunkiem poprawnego pomiaru rozkładu opadu atmosferycznego jest odpowiednia gęstość i równomierność sieci pomiarowej. Pole opadów rzadko jest polem jednorodnym, występują w nim tzw. komórki opadowe, których powierzchnie wynoszą od kilku do kilkudziesięciu km² (Eagelson, 1978). Prawdopodobieństwo „wychwycenia” opadu z komórki opadowej zwiększa się wraz ze wzrostem gęstości sieci pomiarowej. Zgodnie z zaleceniami WMO, służby hydrologiczne wielu krajów traktują opad zmierzony w punkcie jako wartość reprezentatywną na powierzchni około 25 km² co jest równoważne promieniowi koła o długości 4 km. Niektórzy badacze (Toebe, Ouryvaev, 1970) są bardziej rygorystyczni pod tym względem i sugerują w przypadku dużej zmienności warunków środowiskowych maksymalną dopuszczalną odległość między stacjami około 2 km. Wyliczone, na podstawie własnych danych dla obszaru Polski (bez uwzględnienia górzystych obszarów Karpat i Sudetów), średnie odległości pomiędzy stacjami opadowymi wynoszą 8 ± 3 km.

Głównym źródłem danych do stanu wiedzy są surowe wyniki wskazań wielkości opadu atmosferycznego ze stacji opadowych. Wiarygodność charakterystyk opadu atmosferycznego z poszczególnych stacji opadowych, wraz z „zasięgiem przestrzennym” tej wiarygodności, należałoby różnicować według elementów wskazanych na schemacie przyczynowo-skutkowym (fig. 2).

Na wzrost niepewności (spadek wiarygodności) pomiarowej rzeczywistego opadu atmosferycznego ma wpływ niepewność systematyczna (dawniej błąd systematyczny) wynikająca m.in. z cech deszczomierza Hellmanna i jego alternatywnych odmian. Na skutek tych i innych „błędów” nie mierzy się „rzeczywistej” wartości opadu, lecz jedynie tzw. wskaźnik opadu. Z badań przeprowadzonych w Polsce (Molga, 1951; Kaczorowski, 1962) i za granicą (Robinson, Rodda, 1969) wynika, że dane odczytane z deszczomierzy są zawsze zaniżone. Drugim źródłem niepewności są trudności pomiaru elementu badanego systemu przyrodniczego (fig. 2).

Do oceny zasięgu rozpoznania opadu atmosferycznego jako pokrycia badanego obszaru pomiarami wynikającymi z lokalizacji stacji opadowych można zastosować mapę ekwidystans, korzystając z I reguły lub prawa Toblera (Miller, 2004). Mapa ekwidystans jest generowana w programach GIS na podstawie pomiaru odległości euklidesowej od zadanego obiektu (wyróżnienia). Reguła Toblera oznacza występowanie ujemnej funkcji odległości⁷, w której wraz ze wzrostem odległości zmniejsza się podobieństwo obiektów pod względem badanych cech (Suchecki, red., 2010). Na tej mapie wraz ze wzrostem odległości od punktu pomiarowego będzie maleć wiarygodność pomiaru. Reguła Toblera jest powiązana z pojęciem autokorelacji występującym w matematyce i geostatystyce. Uzyskaną mapę wiarygodności surowego pomiaru można „wzmocnić” lub „osłabić”, przemna-

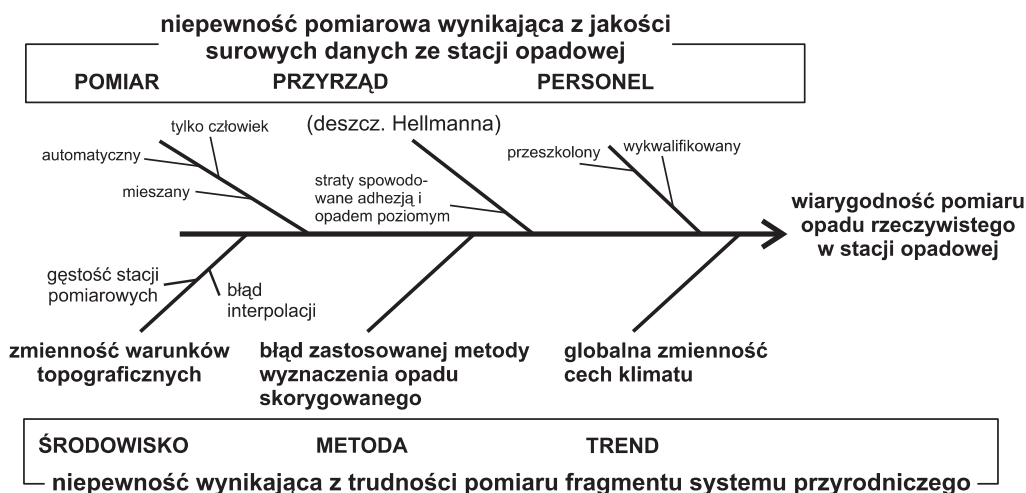


Fig. 2. Diagram przyczynowo-skutkowy opisujący główne przyczyny wpływające na ufność wyznaczenia skorygowanego opadu w stacji meteorologicznej

Cause-and-effect diagram for main causes of uncertainty of measurement in a meteorological station

⁷ W systemach decyzyjnych GIS funkcję odległości zadaje się, przygotowując tzw. funkcje przynależności (ang. *membership function*)

Tabela 1

Wagi stacji opadowych do oceny wiarygodności pomiaru opadu atmosferycznego w punktach wraz z zasięgiem tzw. funkcji przynależności

Weight of meteorological stations for certainty estimates and the extent of membership function

Stacje synoptyczne, klimatyczne i opadowe IMGW	Wiarygodność pomiaru opadu atmosferycznego	Średnica strefy A (strefa wiarygodnej oceny parametru) / szerokość strefy B (strefa malejącej wiarygodności)
IMGW I i II rzędu (poza obszarem analiz)	200	$\frac{8 \text{ km}}{3 \text{ km}}$
IMGW III rzędu	153	
IMGW IV–V rzędu	75	

zasięg strefy A (średnica koła)

szerokość pierścienia strefy B – tzw. strefy zaniku autokorelacji

żając wartości mapy przez odpowiednie współczynniki wagowe wynikające z charakterystyki poszczególnych stacji opadowych (stacje I–V rzędu i inne).

Dla badanego obszaru ufnosc pomiarów przedstawiono w skali porządkowej. Wykorzystano przedział w wygodnej do wizualizacji skali od 0 do 255 (tab. 1), gdzie 0 oznacza brak, a 255 maksymalną wiarygodność pomiaru. Powyższą skalę łatwo przekształcić do skali probabilistycznej od 0 do 1.

Całość przekształceń danych macierzowych (modelowanie kartograficzne⁸) przeprowadzono w rastrowym programie IDRISI. Przetwarzano dane pikselowe o rozdzielczości 250 [m].

Na figurze 3 przedstawiono mapę ekwidystans wokół stacji opadowych IMGW, a wiarygodność pomiaru opadu atmosferycznego zróżnicowano według typu⁹ stacji. Promień strefy A (zasięg odległościowy wiarygodnej oceny wartości opadu na podstawie pomiaru w punkcie) podany w tabeli został ustalony wg wskazań WMO (promień 4 km). Szerokość strefy B (malejącej wiarygodności wyników) została ustalona subiektywnie.

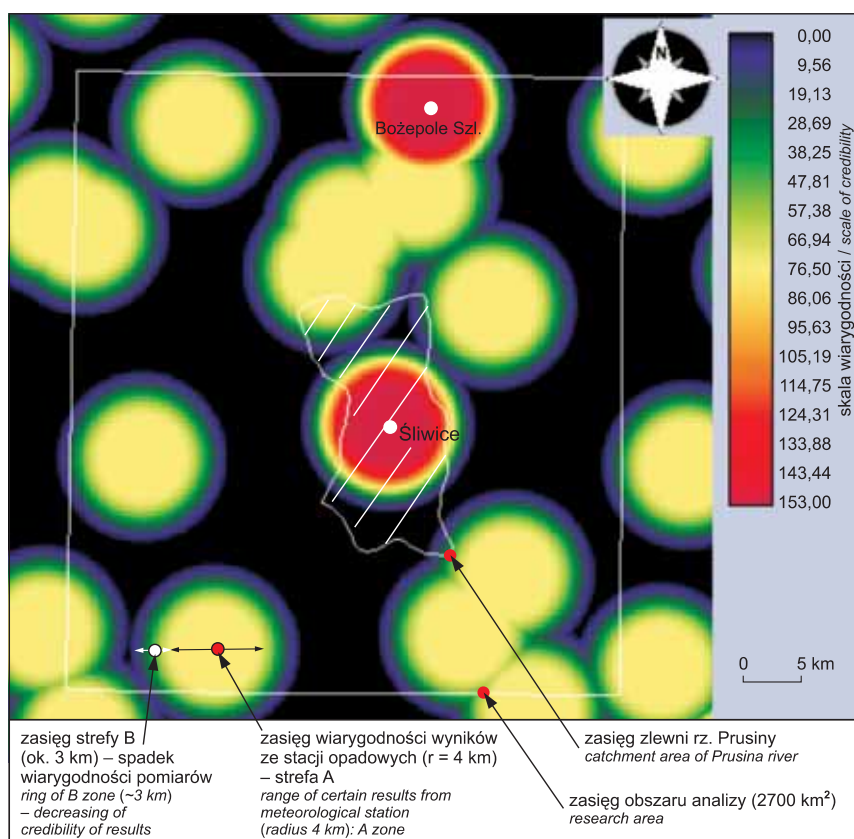


Fig. 3. Mapa wiarygodności obliczenia opadu atmosferycznego opracowana na podstawie surowych danych punktowych ze stacji opadowych

A certainty map of average annual rainfall based on information from meteorological stations

⁸ Modelowanie kartograficzne jest procedurą przekształceń danych tematycznych tego samego obszaru w celu uzyskania nowych treści. Operacje na mapach mogą być przedstawione w formie algorytmu. Uważa się, że prekursorem modelowania kartograficznego jest praca Tomlin (1990)

⁹ Pełną wiarygodność pomiaru w stacji opadowej można ustalić wg diagramu przyczynowo-skutkowego oddzielnie dla każdej stacji opadowej

OCENA WIARYGODNOŚCI I ZASIĘGU AUTOKORELACJI DANYCH POCHODZĄCYCH Z OPRACOWAŃ EKSPERCKICH

Drugim źródłem danych, którego dokładność wpływa na ostateczną wiarygodność oceny wartości opadu atmosferycznego, są przetworzone dane surowego opadu atmosferycznego. Przykładem są mapy izohiet opadu atmosferycznego zamieszczone w Atlasie... (Stachy, 1986), mapy opadu atmosferycznego w skali 1:500 000 (boczne mapy dołączone do plansz głównych MhP), a także wyniki innych opracowań, w tym prac obejmujących wyliczenia bilansu wodnego w zlewni.

Wiarygodność wyników w tych opracowaniach zależy od doświadczenia naukowego eksperta lub grupy ekspertów, którzy podjęli się opracowania danych surowych, szczególności przedstawionych wyliczeń oraz przyjętych uprosz-

czeń. Na badanym obszarze za najbardziej wiarygodne uznano wyniki obliczeń bilansu wodnego sąsiedniej zlewni (Brdy) wykonane przez Jaworskiego (2004). Obliczony średni roczny w wieloleciu skorygowany opad atmosferyczny dla zlewni Brdy jest również wiarygodny dla zlewni Prusiny z powodu podobnego charakteru krajobrazu, roślinności i podłoża skalnego obszaru jej zlewni. Obie zlewnie należą do tego samego regionu fizycznogeograficznego – Borów Tucholskich. Zasięg autokorelacji skorygowanego opadu atmosferycznego ekstrapolowano na całą zlewnię Prusiny. Wygenerowaną mapę wiarygodności przedstawiono na figurze 4.

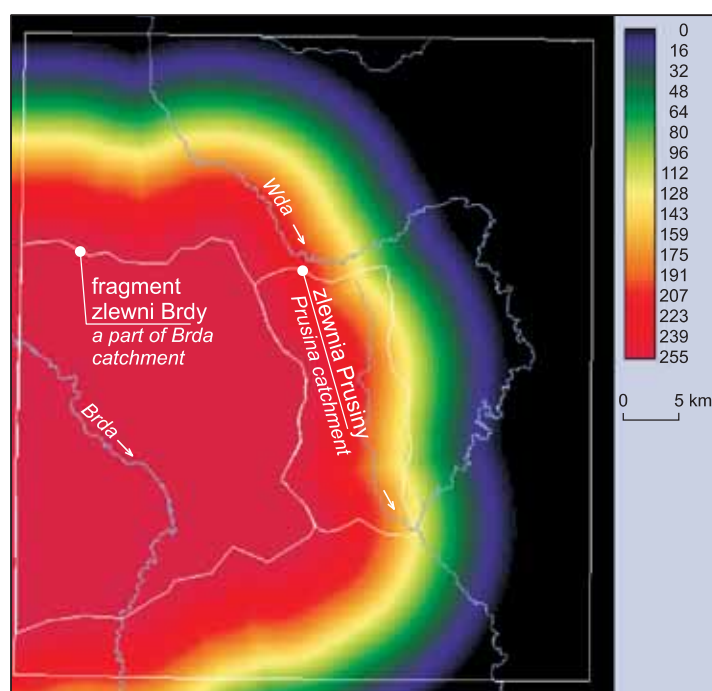


Fig. 4. Mapa wiarygodności estymacji opadu atmosferycznego opracowana na podstawie danych z pracy Jaworskiego (2004)

A certainty map of average annual rainfall in the research area based on data from Jaworski (2004)

WYNIKI I PODSUMOWANIE

Uzyskane mapy cząstkowe (mapa wiarygodności z danych punktowych – figura 3 i mapa wiarygodności z danymi ekstrapolowanymi – figura 4) zostały poddane scaleniu. Wynik superpozycji przedstawiono na figurze 5.

W wyniku przekształceń danych wejściowych uzyskano mapę wiarygodności wyliczenia wielkości opadu atmosferycznego w badanym obszarze. Na otrzymanej mapie domi-

nuje (zgodnie z przyjętym założeniem) wiarygodność wyników oszacowania wielkości opadu atmosferycznego z pracy Jaworskiego (2004). Oddzielnym zagadnieniem jest ocena, jak daleko można ekstrapolować wyniki tej pracy na obszary sąsiadujące. Zasięg reprezentatywności wyników obliczeń Jaworskiego ustalono na 15 km od granic zlewni Brdy. Dopiero w większej odległości zauważalny jest wpływ repre-

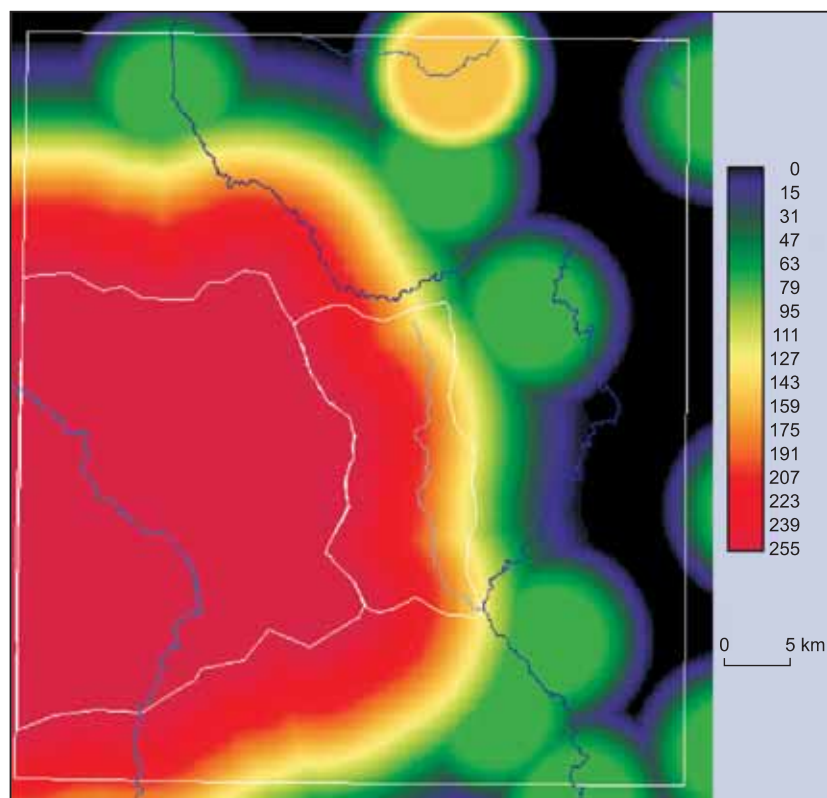


Fig. 5. Mapa wyników oceny wiarygodności wyników obliczeń średniego opadu atmosferycznego na badanym obszarze

A certainty map of average annual rainfall in the research area

zentywności wyników ze stacji opadowych. Przykładem jest stacja na północy obszaru badań, w Bożympolu Szlacheckim, która jest stacją III rzędu, a więc zgodnie z założeniami, stacją o podwyższonej wiarygodności wyników.

Otrzymana mapa jest częścią składową systemu oceny wiarygodności wyników opracowywanego hydrodynamicz-

nego modelu numerycznego przepływu wód podziemnych w zlewni Prusiny. Precyzja i wiarygodność tych danych źródłowych ma duże znaczenie dla oceny wiarygodności wyników w modelowaniu numerycznym modeli przepływu wód podziemnych.

LITERATURA

- BOGDANOWICZ E., STACHY J., 1998 — Maksymalne opady deszczu w Polsce. IMGW, Warszawa.
- CHOMICZ K., 1976 — Opady rzeczywiste w Polsce (1931–1960). *Prz. Geofiz.*, **21** 29, 1: 19–25.
- EAGELSON P.S., 1978 — Hydrologia dynamiczna. PWN, Warszawa.
- JANICZEK R., 2008 — Metody oceny niepewności pomiarów. PAN Oddz. w Katowicach. Wyd. Prac. Komp. Jacka Skalmerskiego w Gliwicach: 74.
- JAWORSKI J., 2004 — Parowanie w cyklu hydrologicznym zlewni rzecznych. Pol. Tow. Geofizyczne, Warszawa.
- JAWORSKI J., SZKUTNICKI J. (red.), 1999 — Dynamika obiegu wody zlewni górnej Wilgi: 145–150. IMiGW.
- KACZOROWSKI Z., 1962 — Opady w Polsce w przekroju wieloletnim. *Pr. Geogr. IG PAN*, **33**.
- MICHALAK J., NAWALANY M., SADURSKI A., 2011 — Schematyzacja warunków hydrogeologicznych na potrzeby numerycznego modelowania przepływu w JCWPd. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MILLER H.J., 2004 — Tobler's first law and spatial analysis. *Ann. Assoc. American Geogr.*, **94**: 284–289.
- MOLGA M., 1951 — O wpływie wysokości umieszczenia deszczomierza na wielkość opadów atmosferycznych. *Gaz. Obserw. PIHM*, **10**.
- NATHER M. i in., 1997 — Charakterystyka ogólna fizjograficzna i klimatyczna oraz warunki przyrodnicze i naturalne województwa gdańskiego. Program małej retencji do roku 2015. Biuro Projektów Doradztwa Technicznego „Hydroprojekt” Sp. z o.o. Gdańsk.

- KRECZKO M., 2000 — Objaśnienia do Mapy Hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000, ark. Stara Kiszewa. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- OZON-GOSTKOWSKA E., 1985 — Mapa hydrogeologiczna Polski, 1:200 000, ark. Chojnice. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PŁOCHNIEWSKI Z., 1984 — Objaśnienia do Mapy hydrogeologicznej Polski, 1:200 000, ark. Grudziądz. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- WYRAŻANIE niepewności pomiaru – przewodnik, 1999. Główny Urząd Miar, Warszawa.
- ROBINSON A.C., RODDA J.C., 1969 — Rain, wind and the aerodynamic characteristic of rain gauges. *Met. Magaz.*, **98**.
- RODZOCHA A. i in., 2001 — Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych zlewni Brdy. Hydroeko, Warszawa.
- SUCHECKI B. (red.), 2010 — Ekonometria przestrzenna. Metody i modele analizy danych przestrzennych. Wyd. C.H. Beck, Warszawa.
- STACHÝ J. (red.), 1986 — Atlas hydrologiczny Polski. T. I, IMGW, Warszawa.
- STACHÝ J. (red.), 1987 — Atlas hydrologiczny Polski. T. II, z. 1: 24–25. IMGW, Warszawa.
- TOMLIN C.D., 1990 — Geographic information systems and cartographic modelling. Prentice Hall.
- TOEBES C., OURYVAEV V., 1970 — Les Bassins representatifs et experimentaux. UNESCO. Paris.

SUMMARY

Elements of the environment, such as the amount of rainfall, are difficult to measure. Recommended methods for assessing types A and B of uncertainty are insufficient in this case. The reason is the quasi-continuous change of environmental components.

Based on the first law of Tobler, a certainty map of average annual rainfall was prepared (Fig. 5). Locations of the meteorological station (Fig. 1) were used and data from

the calculation of the water cycle from the neighbouring Brda River basin was taken (Jaworski, 2004). All rain gauges in the research area obtained a subjective “uncertainty index” (Tab. 1) and this index was extrapolated to the neighbouring area due to the established membership function. The quality of climatic data is important for groundwater models. The research is a part of work concerning assessment of uncertainty of results of a groundwater flow model.