

ANTONI MILER

**WPLYW WYBRANYCH PARAMETRÓW
FIZJOGRAFICZNYCH
ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM ZALESIEŃ
NA KSZTAŁTOWANIE SIĘ POTENCJALNYCH ZDOLNOŚCI
RETENCYJNYCH W WIELKOPOLSCE
(CZĘŚĆ 1)**

WSTĘP

Bieżące zasoby retencji wodnej na danym obszarze kształtowane są głównie przez czynniki fizyczno-geograficzne klimatyczne (głównie opady atmosferyczne, temperatury powietrza). Nieklimatyczne parametry fizjograficzne (rzeźba terenu, gleby, budowa geologiczna, szata roślinna, wody powierzchniowe) wpływają na retencję jedynie w sposób modyfikujący niemniej istotny, można powiedzieć, iż określają potencjalne zdolności retencyjne (DOBİJA, DYNOWSKA 1975; MILER 1994). Zdolności te identyfikowane są z tzw. małą retencją, to jest retencją związaną z wydłużaniem czasu oraz drogi obiegu wody i zanieczyszczeń wody w zlewniach mającą na celu poprawę stosunków wodnych jak również oczyszczenie tychże wód.

Wielkopolska jest obszarem o największych deficytach wody w Polsce, które dodatkowo ulegają stopniowemu pogłębianiu (np. KANIECKI 1982; PASLAWSKI 1990; WOŚ 1994; KOWALCZAK et al. 1997). Zatem badanie obszarowej zmienności potencjalnych zdolności retencyjnych na tym obszarze stanowi ważny składnik kompleksowego monitoringu środowiska i ma w regionie nie tylko aspekt poznawczy, ale również użytkowy.

CEL PRACY I ZAKRES BADAŃ

Celem badań jest przedstawienie oryginalnej metody oceny potencjalnych zdolności retencyjnych na obszarze Wielkopolski, metody bazującej na łatwo dostępnych charakterystykach fizjograficznych. Kluczową rolę przy ocenie potencjalnych zdolności retencyjnych danego terenu odgrywa jego ewentualne zalesienie. W niniejszej pierwszej części pracy wpływ zalesienia na potencjalne zdolności

retencyjne był szacowany jedynie poprzez procentowy udział lasów na danym terenie. Natomiast w drugiej części uwzględnione zostanie również siedlisko leśne.

Przedmiotem badań był Region Wielkopolski (Pojezierze i Nizina Wielkopolska) ograniczony od północy doliną Warty i Noteci, od wschodu wododziałem Wisły i Powyżem Łódzkim, a od południa i zachodu dolinami Baryczy i Odry. Wielkopolska obejmuje następujące regiony klimatyczne Polski (Charakterystyka klimatu... 1975): Wielkopolsko-Mazowiecki (część zachodnia i środkowa), Lubusko-Dolnośląski (część zachodnia), Łódzko-Wieluński (część północna) i Pomorsko-Warmiński (część południowa). Badany obszar można określić za KONDRACKIM (1994) jako znajdujący się w obrębie podprowincji **315** w mezoregionach 315.33 – 35,41 – 44,51 – 57,61 – 64,81 – 84 oraz w podprowincji **318** w mezoregionach 318.11 – 19,21 – 22,32 – 34. Na obszarze tym występują 3 typy krajobrazu naturalnego: **młodoglacjalny** (równin i wzniesień morenowych – 27% powierzchni Wielkopolski, pagórkowaty pojezierny – 16%, sandrowo pojezierny – 13%), **staroglacjalny** (równin peryglacjalnych – 18%, ostańców peryglacjalnych – starych moren, kemów i ozów – 1%) oraz **dolin i równin akumulacyjnych** (den dolinnych – 10%, tarasów z wydmyami – 15%). Materiałami macierzystymi gleb badanego regionu są zatem głównie utwory polodowcowe.

MATERIAŁY WYJŚCIOWE I METODYKA BADAŃ

Przy opracowaniu charakterystyki hydrologicznej regionu wykorzystano następujące materiały: przepływy charakterystyczne dla 46 zlewni położonych w Wielkopolsce, w tym dla wielolecia 1961–95 przepływy w 38 zlewniach według danych IMiGW (wszystkie zlewnie źródłiskowe regionu objęte obserwacjami) i przepływy w 8 własnych zlewniach (po kilkuletnie obserwacje prowadzone w latach 1976–95) (KOSTURKIEWICZ et al. 1976–1980, 1986–90; MILER 1994).

Parametry fizjograficzne nieklimatyczne 46 zlewni opracowano jednolicie na podstawie map topograficznych i map z „Podziału hydrograficznego Polski” (1980) w skali 1: 200 000.

Na zdolności retencionowania wody w zlewniach rzecznych największy wpływ, oczywiście poza klimatem, wywierają następujące elementy fizjograficzne: rzeźba terenu, gleby i budowa geologiczna, szata roślinna, sieć cieków i wody stojące. Rola nieklimatycznych czynników środowiska jest generalnie tym większa, im zlewnia jest mniejsza. Na pytanie, które parametry są najważniejsze, nie ma i nie może być jednoznacznej odpowiedzi. Zależy to od analizowanego środowiska (zmienności poszczególnych parametrów w analizowanym regionie, ich wzajemnego skorelowania), jak również od analizowanej charakterystyki hydrologicznej, której związek przyczynowo-skutkowy z parametrami fizjograficznymi staramy się ustalić. Szczególnie należy wykorzystywać te parametry fizjograficzne, które są łatwe do oznaczenia, głównie z podkładów kartograficznych, a także o ile to możliwe ze

zdjęć lotniczych czy satelitarnych. Podstawą wyboru optymalnego zespołu charakterystyk fizjograficznych ze stosownego ich zbioru potencjalnego może być np. metoda „Analizy regresji wielokrotnej z wyborem najlepszego podzbioru zmiennych niezależnych” Malca i Calińskiego (MILER 1994), lub metoda „Sub-optymalnego doboru zespołu zmiennych prognozujących” Kaczmarka (KACZMAREK 1969). Parametry fizjograficzne zlewni czy też wydzielonych powierzchni są najczęściej wzajemnie powiązane i to często w sposób silnie istotny statystycznie. Przykładowo, grunty orne występują zazwyczaj na terenach o mniejszych spadkach i cięższych glebach, natomiast tereny o większych spadkach i lżejszych glebach zwykle się zalesia. Grunty orne pokryte są też zazwyczaj gęstszą siecią rzeczną niż tereny zalesione. Zlewnie nizinne o większych spadkach mają mniej rozbudowaną sieć cieków i są bardziej zwarte. Ponadto wraz ze wzrostem powierzchni zlewni średni spadek zwykle maleje, a zlewnia staje się mniej zwarta. Takie, jak przytoczono, i inne wzajemne powiązania parametrów fizjograficznych wykluczają w zasadzie możliwości opisu poszukiwanych charakterystyk hydrologicznych przez zastosowanie (zdawałoby się najodpowiedniejszej w tym przypadku) metody regresji wielokrotnej, w której jednym z założeń jest niezależność zmiennych opisujących. Próby wykonania obliczeń tą metodą pomimo zależności zmiennych kończą się często niepowodzeniem wskutek zerowania się minorów niektórych stopni w algorytmach numerycznych obliczania macierzy odwrotnych. Można formalnie trudność tę pokonać, gdy składniki regresji (parametry fizjograficzne) zastąpi się ich funkcjami ortogonalnymi. Wówczas bowiem składniki regresji stają się niezależne. Niemniej jest to zabieg czysto formalny, a uzyskane funkcje ortogonalne – kombinacje liniowe zmiennych pierwotnych nie mają sensu fizycznego. Innym często stosowanym rozwiązaniem przy wzajemnej zależności parametrów fizjograficznych jest ograniczenie ich liczby tak, aby pozostała grupa stanowiła zmienne istotnie niezależne. Zabieg ten budzi jednak poważne wątpliwości bowiem mało istotny w jednej zlewni parametr okazuje się bardzo istotny w drugiej. Ponadto działania parametrów fizjograficznych wzajemnie się ekranują (wzmaga lub osłabia oddziaływanie jednego parametru inny parametr często z nim skorelowany), zatem arbitralna ze względów obliczeniowych rezygnacja z niektórych parametrów nie jest merytorycznie zasadna.

Dla oceny hydrologicznej regionu, w tym dla oszacowania zmian retencji oraz potencjalnych zdolności retencyjnych, opracowano wybrane charakterystyki 46 zlewni położonych w Wielkopolsce (tab. 1). Za miarę zdolności retencyjnej zlewni przyjęto prostą statystykę, powszechnie stosowaną w statystyce opisowej – **współczynnik nieregularności odpływu**

$$\beta = \frac{SWq - SNq}{SSq},$$

gdzie SNq , SSq i SWq to odpowiednio średnie z niskich, średnich i wysokich odpływów jednostkowych. Jedynie 4 spośród zestawionych w tabeli 1 charakterystyk

Tabela 1 - Table 1

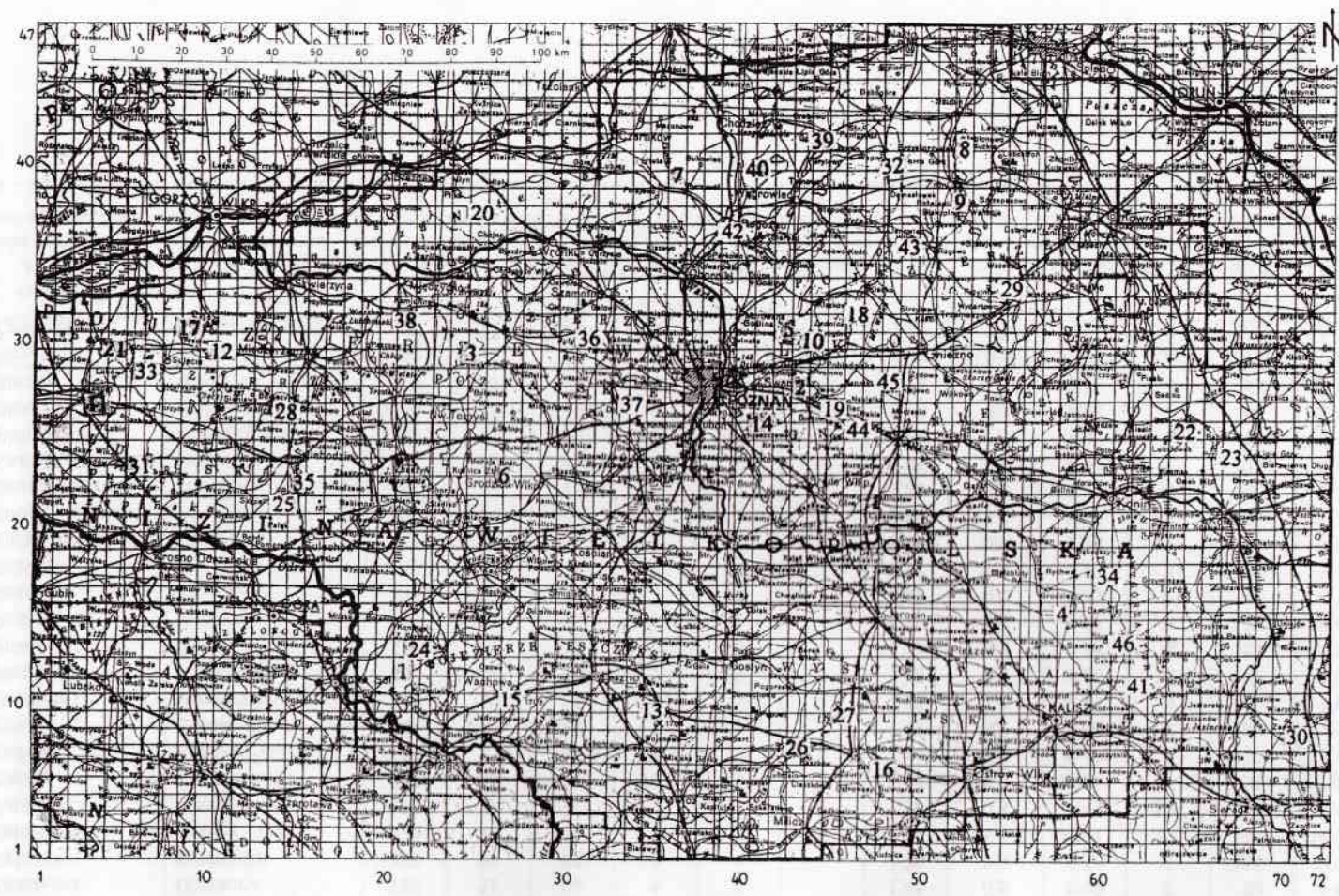
Charakterystyki wybranych zlewni
The characteristics of selected catchments

Rzeka River	Przekrój Gauge station	<i>A</i> [km ²]	Użytkowanie gruntów Land utilization					<i>Wz</i> [-]	<i>Gs</i> [km/km ²]	<i>Fi</i> [mm/s]	<i>Sp</i> [‰]	<i>Mi</i> [m]	β [-]
			gr. or.	las	uż. ziel.	jez.	nieuż.						
			[%]										
Cienica	Kuźnica Głogowska	65	32	62	4	2	-	1.47	0.5	0.29	8	92	2.05
Cybina	Antoninek	171	82	14	2	2	-	1.49	1.0	0.32	5	95	3.56
Czarna Woda	Sępólno	199	63	34	3	-	-	1.41	0.8	0.73	5	75	3.58
Czarna Struga	Trąbczyn	425	60	30	10	-	-	1.82	1.2	0.51	3	101	6.88
Dąbrówka	Dąbrówka Kościelna	7	26	68	3	2	1	1.35	0.7	0.17	14	100	2.30
Dojca	Obra	266	57	34	6	2	1	1.65	1.5	0.56	4	62	4.13
Flinta	Ryczywół	276	48	46	6	-	-	1.33	1.0	0.59	4	81	4.76
Gąsawka	Zazdrość	527	69	14	10	5	2	1.71	0.2	0.03	3	82	3.02
Gąsawka	Żnin	148	85	8	1	4	2	1.71	1.0	0.20	5	92	2.29
Główna	Wierzenia	222	78	14	5	3	-	1.83	1.0	0.26	3	100	4.42
Ilanka	Maczków	357	10	85	4	1	-	1.89	0.3	0.58	4	77	1.55
Jordanka	Strużyny	43	60	36	2	-	2	1.28	0.5	0.01	17	100	2.70
Kopanica	Rydzyna	334	87	7	6	-	-	1.36	1.0	0.11	3	90	6.83
Kopel	Gluszyna	369	84	12	4	-	-	1.20	0.3	0.10	2	80	4.99
Krzycki Rów	Chociemyśl	359	49	46	3	1	1	2.07	0.5	0.36	2	80	3.55
Kuroch	Odolanów	169	80	16	4	-	-	1.42	0.8	0.07	11	120	10.55
Lubniewka	Rudnica	134	12	81	-	4	3	1.68	0.4	0.43	12	69	2.87
Mała Welna	Oweże Głowy	652	84	10	2	4	-	1.20	0.2	0.38	2	93	3.08
Maskawa	Dzierżnica	37	60	28	10	-	2	1.29	1.3	0.48	5	100	5.20
Miała	Chelst	292	11	88	-	1	-	1.73	0.6	0.88	4	60	1.61
Muszynka	Muskowo	36	18	72	9	-	1	1.25	1.0	0.68	17	43	4.90
Noteć	Kalina	440	86	6	8	-	-	2.32	0.4	0.48	2	90	3.61

Noteć	Lysek	306	70	8	14	6	2	1.70	1.0	0.15	4	100	3.70
Obrzyca	Lubiatów	208	36	27	32	5	–	1.53	0.5	0.35	4	61	5.10
Ołoboczek	Dzikarnia	25	52	44	4	–	–	1.46	0.8	0.03	8	72	1.80
Orla	Korzeńsko	1127	56	42	2	–	–	1.20	0.3	0.30	1	105	7.12
Orlinka	Skalów	20	97	1	1	–	1	1.28	0.6	0.001	9	130	10.04
Paklica	Międzyrzecz	279	67	27	3	2	1	1.70	0.8	0.19	10	94	3.07
Panna	Goryszewo	381	85	–	10	5	–	1.43	0.3	0.003	3	91	3.27
Pichna	Rozdzały	119	75	13	4	–	8	1.54	0.8	0.11	5	150	6.90
Pliszka	Sądów	408	10	88	1	1	–	1.53	0.2	0.60	3	100	1.53
Pomorka	Brzyskorzystew	72	86	5	7	–	2	1.31	1.3	0.03	5	90	7.65
Postomia	Krzeszycze	202	28	68	2	1	1	1.62	0.4	0.33	15	82	1.85
Powa	Posoka	332	70	19	10	1	–	1.56	0.8	0.31	6	85	8.98
Radoszynka	Radoszyn	25	72	20	8	–	–	1.19	1.2	0.02	9	80	4.60
Sama	Szamatuly	395	86	8	1	–	5	1.80	0.4	0.42	2	76	5.75
Samica	Dymaczewo Stare	180	79	16	1	4	–	1.77	1.3	0.12	3	70	2.30
Struga Dornowska	Gorzyń	45	65	24	8	2	1	1.25	0.7	0.18	11	80	1.90
Struga Gołaniecka	Wągrowiec	232	84	5	6	3	2	1.92	1.0	0.07	3	83	3.30
Struga Potulicka	Potulice	202	77	16	5	2	–	1.60	1.0	0.24	3	80	6.11
Śwędmia	Dębe	492	76	16	8	–	–	1.31	0.4	0.21	2	121	7.53
Welna	Kowanówko	2597	71	20	4	3	2	1.48	0.5	0.47	1	84	3.62
Welna	Pruście	1130	76	15	2	5	2	1.20	0.2	0.48	1	88	2.91
Wielka	Bardo	28	91	5	4	–	–	1.14	1.2	0.18	7	95	3.00
Wrześnica	Samarzewo	360	71	19	10	–	–	1.29	0.6	0.56	8	93	6.37
Zabianka	Plewnia	79	71	19	10	–	–	1.29	0.6	0.56	8	107	6.35

Oznaczenia (Notations)

A – powierzchnia zlewni (catchment area), gr. or. – grunty orne (arableland), las – tereny zalesione (afforestation), uz. ziel. – użytki zielone (grassland), jez. – wody stojące (jeziora, oczka wodne, stawy) (stagnant waters), nieuż. – nieużytki (wastelands), *Wz* – wskaźnik zwartości zlewni (coefficient of compactness of catchment), *Gs* – gęstość sieci rzecznej (coefficient of hydrographic network density), *Fi* – średni ważony współczynnik filtracji gleb (weighted mean of soil filtration coefficient), *Sp* – średni spadek zlewni (mean catchment slope), *Mi* – średnia miąższość (permeable layer thickness), β – współczynnik nieregularności odpływu (coefficient of runoff irregularity) $\beta = \frac{SWq - SNq}{SSq}$



Rys. 1. Mapa Wielkopolski z siatką podziału

- 1. 46 wybrane zlewnie rzeczne (oznaczenia jak w tab. 1)
- Fig.1. Map of Wielkopolska within the raster network
- 1. 46 selected river catchments (notations like in Table 1)

fizjograficznych są istotnie skorelowane (dla $\alpha = 0,05$) ze współczynnikami β : grunty orne [%], tereny zalesione [%], wody stojące [%] i średnia miąższość [m]. Grunty orne są w przybliżeniu dopełnieniem terenów zalesionych do 100%, natomiast średnia miąższość była obliczana w sposób uproszczony – opisany w dalszej części pracy. W konsekwencji analizę związków pomiędzy współczynnikami nieregularności odpływu (będących miarami zdolności retencyjnych zlewni) a parametrami fizjograficznymi (z tab. 1), bazującą na korelacjach (pojedynczych) należałoby ograniczyć tylko do relacji z zalesieniem i jeziornością.

Biorąc pod uwagę powyższe, opracowano oryginalną metodę, której istota sprowadza się do przypisania każdej elementarnej (jednorodnej lub quasi-jednorodnej ze względu na wydzielone charakterystyki fizjograficzne) powierzchni – rastrowi jednego parametru. Uwzględnia on sumaryczne i jednocześnie interakcyjne (synergiczne) oddziaływanie najbardziej istotnych w danym regionie parametrów fizjograficznych na wybraną charakterystykę hydrologiczną. W analizowanym w niniejszej pracy przypadku, obliczania wpływu parametrów fizjograficznych na retencjonowanie wody, taki parametr stanowi **miarę potencjalnych zdolności retencyjnych**. Dla większych powierzchni np. zlewni miary ich zdolności retencyjnych liczy się jako stosowne średnie z miar obliczonych dla rastrów pokrywających te powierzchnie. Pomysł obliczania miar zdolności retencyjnych dla zlewni rzecznych autor prezentował już wcześniej (MILER 1984, 1994). Przedstawiana obecnie metoda stanowi istotne rozwinięcie poprzednich idei. Biorąc pod uwagę: wielkość analizowanego obszaru – region Wielkopolski (ok. 40 tys. km²), zmienność obszarową wybranych parametrów fizjograficznych, dostępność materiałów źródłowych oraz możliwości obliczeniowe i ich ekonomiczną sensowność przyjęto, że elementarnymi powierzchniami będą jednorodne kwadratowe płyty powierzchniowe (rastry) o bokach po 4 km (rys. 1). Następnie dla każdego z wydzielonych rastrów obliczono 6 parametrów fizjograficznych: lesistość [%], jeziorność [%], gęstość sieci cieków [km/km²], średni ważony współczynnik filtracji gleb [mm/s], średni spadek terenu [%] oraz średnią miąższość [m]. Sposób obliczania pierwszych 3 parametrów nie wymaga komentarza. Przy obliczaniu średniego ważonego współczynnika filtracji gleb wagami były procentowe udziały gatunków gleb występujących na powierzchni rastra. Współczynniki filtracji utworów glebowych przyjęto za FLISOWSKIM et al. (1986). Średni spadek terenu liczony był na podstawie różnic pomiędzy średnią rzędną terenu danego rastra a odpowiednimi rzędnymi dla rastrów z nim sąsiadujących, metodą opracowaną przez MILERA i BYKOWSKIEGO (1997). W związku z brakiem rozeznania co do rzędnych zalegania spągu warstwy przepuszczalnej przyjęto arbitralnie jednakowe jego położenie równe 9,5 m n.p.m. na całym badanym obszarze (minimalna rzędna terenu dla Wielkopolski to 10 m n.p.m.). W konsekwencji rozkład obszarowy miąższości jest identyczny jak rozkład rzędnych terenu (umniejszonych o 9,5 m). Średnia miąższość zlewni (tab. 1) odpowiada średniemu wzniesieniu

zlewni pomniejszonemu o owe 9,5 m. Kolejnym krokiem było podzielenie zakresów zmian każdego z 6 parametrów w całym badanym obszarze na 10 klas oraz przypisanie powstałym klasom kodów zdolności retencyjnych. Kody te, według definicji autora, są wielkościami niemianowanymi, zmieniającymi się w zakresie od 1 (minimalne zdolności retencyjne) do 10 (maksymalne zdolności retencyjne). Algorytm, odrębnego dla każdego z wydzielonych 6 parametrów fizjograficznych w ramach danego rastra, przypisywania kodów zdolności retencyjnych był następujący: kolejne wartości 1,2, ..., 10 przypisywano wraz ze **wzrostem** zalesienia, jeziorności i miąższości oraz **maleniem** gęstości sieci cieków, średniego współczynnika filtracji gleb i średniego spadku terenu. W konsekwencji każdemu z 2331 rastrów pokrywających obszar Wielkopolski przypisano po 6 kodów zdolności retencyjnych wynikających z obliczonych wcześniej wartości 6-ciu parametrów fizjograficznych.

W drugiej części pracy oprócz wymienionego wyżej procentu lesistości określone zostanie także „średnie wazone siedlisko” dla każdego z wydzielonych rastrów, gdzie wagami będą procentowe udziały siedlisk występujących na powierzchni rastra. Umożliwi to korektę kodów przypisywanych terenom zalesionym. Wydaje się bowiem, iż najmniejsze zdolności retencyjne powinien posiadać bór suchy, a dalej dla boru świeżego, boru mieszanego, lasu świeżego, lasu wilgotnego, lasu lęgowego i olchowego odpowiednio zdolności te powinny rosnać.

W związku z tym, że wartości tychże kodów zmieniają się od 1 do 10, przyjęto, iż kody 1..3 są synonimami **małych**, 4..7 **średnich**, a 8..10 **dużych** zdolności retencyjnych. Następnie założono, iż interakcyjne oddziaływanie dwóch lub więcej parametrów fizjograficznych (w ramach danego rastra), reprezentowanych przez przypisane im kody, będzie miało miejsce, gdy kody te będą jednocześnie w grupie **małych** (1..3) lub **dużych** (8..10) zdolności retencyjnych. Algorytm obliczeń oddziaływań interakcyjnych (swoista „funkcja kary”) jest następujący: o ile liczba kodów zdolności retencyjnych w ramach danego rastra, będąc jednocześnie w grupie **małych** zdolności równa jest 2, 3, 4 (lub więcej) to wartości tychże kodów są pomniejszane odpowiednio o 1, 1.5 lub 2. Analogicznie, o ile liczba kodów zdolności retencyjnych w ramach danego rastra, będąc jednocześnie w grupie **dużych** zdolności, równa jest 2, 3, 4 (lub więcej) to wartości tychże kodów są powiększane odpowiednio o 1; 1,5 lub 2.

Zintegrowany wskaźnik potencjalnych zdolności retencyjnych $ZWR_{(i,j)}$ dla rastra (o współrzędnych i, j) został zdefiniowany następująco:

$$ZWR_{(i,j)} = M_{las(i,j)} \cdot W_{las} + M_{jez(i,j)} \cdot W_{jez} + M_{ciek(i,j)} \cdot W_{ciek} + \\ + M_{gleb(i,j)} \cdot W_{gleb} + M_{spad(i,j)} \cdot W_{spad} + M_{miaz(i,j)} \cdot W_{miaz} , \quad (1)$$

gdzie $M_{las(i,j)}$, $M_{jez(i,j)}$, $M_{ciek(i,j)}$, $M_{gleb(i,j)}$, $M_{spad(i,j)}$, $M_{miaz(i,j)}$ – kody zdolności retencyjnych dla (i,j) -tego rastra związane odpowiednio z lesistością, jeziornością, sie-

cią cieków, utworami glebowymi, spadkiem terenu i miąższością, W_{las} , W_{jez} , W_{ciek} , W_{gleb} , W_{spad} , $W_{miaż}$ – wagi oddziaływania odpowiednio lesistości, jeziorności, sieci cieków, utworów glebowych, spadku terenu i miąższości w sumarycznej ocenie potencjalnych zdolności retencyjnych.

Dla całego obszaru Wielkopolski, czy też wydzielonych fragmentów regionu np. zlewni rzecznych zintegrowane wskaźniki ich potencjalnych zdolności retencyjnych ZWR oblicza się jako stosowne średnie z obliczonych wcześniej wskaźników dla rastrów je pokrywających:

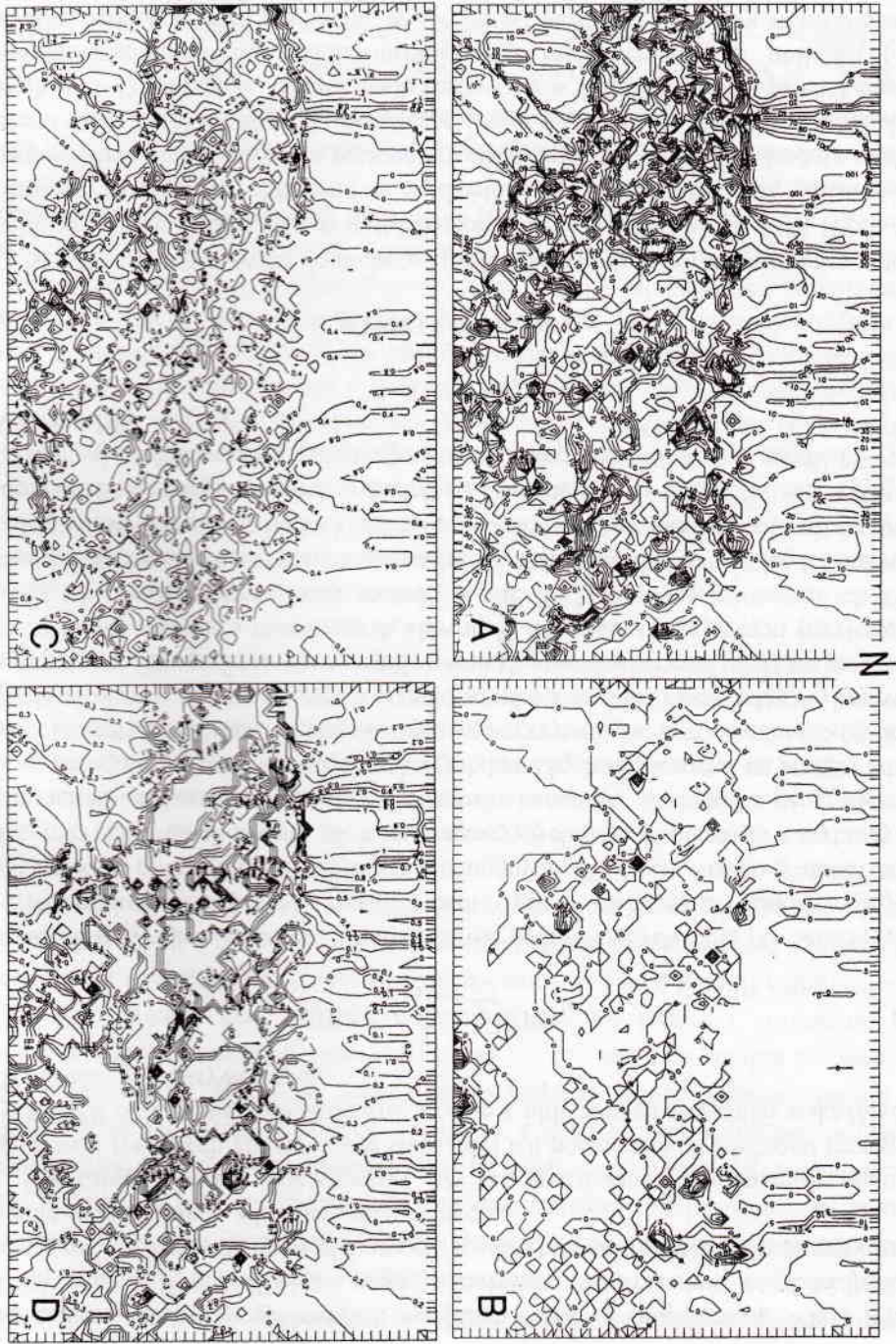
$$ZWR = \frac{1}{L_{rastr}} \sum_{i,j} ZWR_{(i,j)}, \quad (2)$$

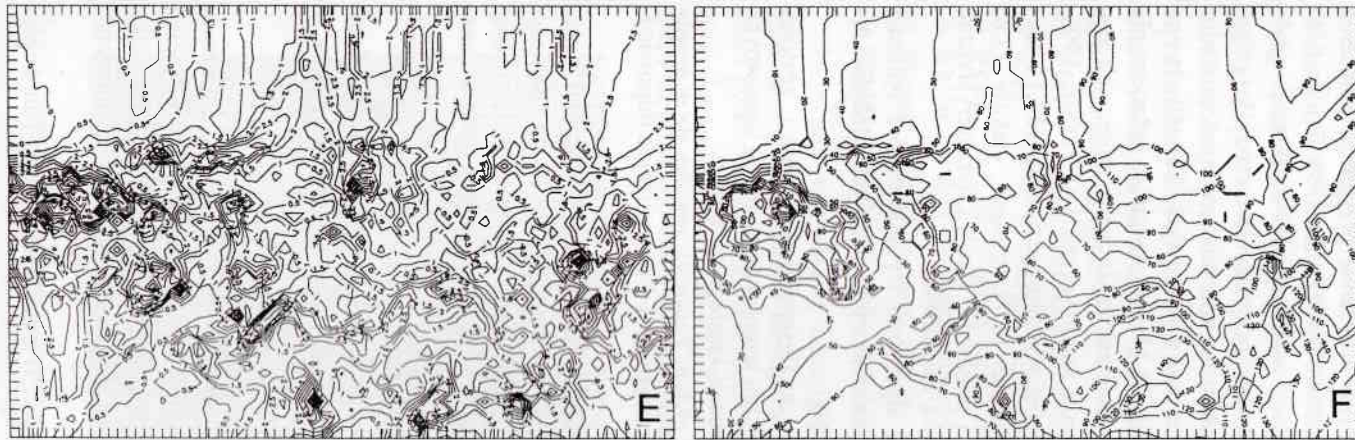
gdzie $ZWR_{(i,j)}$ – j.w. , L_{rastr} – liczba rastrów pokrywających daną powierzchnię.

Niezmierne ważnym zagadnieniem przy obliczaniu zintegrowanych wskaźników potencjalnych zdolności retencyjnych ZWR jest właściwy dobór wag $W_{(...)}$ przypisywanych kodom zdolności retencyjnych $M_{(...)}$ związanych z wybranymi parametrami fizjograficznymi. Nieklimatyczne parametry środowiska geograficznego są zazwyczaj skorelowane z charakterystykami hydrologicznymi na granicy istotności statystycznej, stąd nie jest możliwe wykorzystanie do bezpośredniego oszacowania w/w wag np. cząstkowych współczynników korelacji pomiędzy wybranymi parametrami fizjograficznymi a współczynnikami nieregularności odpływu przyjętymi za miary zdolności retencyjnych zlewni. W związku z powyższym przyjęto, iż dobór wag będzie prowadzony metodą Monte Carlo poprzez losowanie ich zestawów i sprawdzanie kryterium optymalności doboru. Założono, iż kryterium tym będzie wartość współczynnika korelacji pomiędzy współczynnikami nieregularności odpływu β a zintegrowanymi wskaźnikami potencjalnych zdolności retencyjnych $ZWR(W_{(...)})$ (zależnymi od przyjętego zestawu wag) dla 46 zlewni źródłiskowych Wielkopolski.

WYNIKI I DISKUSJA

Materiałem wyjściowym do numerycznych obliczeń obszarowej zmienności potencjalnych zdolności retencyjnych w Wielkopolsce były: 5 macierzy po 3384 (72×47) elementy zawierające obliczone w wydzielonych rastrach lesistości, jeziorności, gęstości sieci cieków, średnie ważone współczynniki filtracji gleb i średnie rzędne terenu oraz charakterystyki fizjograficzne i hydrologiczne dla 46 zlewni źródłiskowych (tab. 1). Przyjęcie, iż dane będą zestawiane w formie macierzy prostokątnych podyktowane było względami technicznymi multi-iteracyjnych obliczeń (dla rastrów będących poza granicami Wielkopolski stosowne elementy w macierzach wyzerowano). Na podstawie macierzy zawierającej średnie rzędne terenu obliczono numerycznie, w sposób opisany w poprzednim rozdziale, średnie spadki terenu





Rys. 2. Rozkład obszarowy

A – lesistości [%], *B* – jeziorności [%], *C* – gęstości sieci cieków [km/km^2], *D* – współczynników filtracji gleb [mm/s], *E* – spadków terenu [%], *F* – miąższości warstwy przepuszczalnej [m], w Wielkopolsce

Fig. 2. Distribution of area of

A – afforestation [%], *B* – lakes [%], *C* – hydrographic network density [km/km^2], *D* – soil's filtration coefficient [mm/s], *E* – surface slopes [%], *F* – permeable layer value [m] in the Wielkopolska

i średnie miąższości warstwy przepuszczalnej (dla arbitralnie przyjętego położenia jej spagu) – 2 kolejne macierze. Rozkłady obszarowe 6-ciu parametrów fizjograficznych (lesistości, jeziorności, gęstości cieków, współczynników filtracji gleb, spadków terenu i miąższości – rys. 2) opracowano przy użyciu metody krigingu. Metoda ta ma dużo większe zalety w porównaniu do konwencjonalnych procedur estymacyjnych, stosowanych w opracowywaniu map konturowych. Umożliwia ona oszacowania z przeciętnie najmniejszym możliwym błędem, ustalając jednocześnie wielkość tego błędu (jeśli są spełnione podstawowe założenia teorii zmiennych zregionalizowanych (zlokalizowanych) – założenia stacjonarności) (CRESSIE 1990, 1991). Największą obszarową względną zmienność wykazuje jeziorność (33,1), zdecydowanie niższą spadek terenu (5,2), lesistość (3,7), gęstość cieków (3,6) i współczynnik filtracji gleb (3,5), a najniższą miąższość (2,0). Charakterystyczną cechą rozkładów jest pasmowa równoleżnikowa zmienność.

Obliczenia numeryczne wykonano według algorytmu wynikającego z opisanej w poprzednim rozdziale koncepcji obliczania wskaźnika potencjalnych zdolności retencyjnych (*ZWR*). Tok obliczeń był następujący:

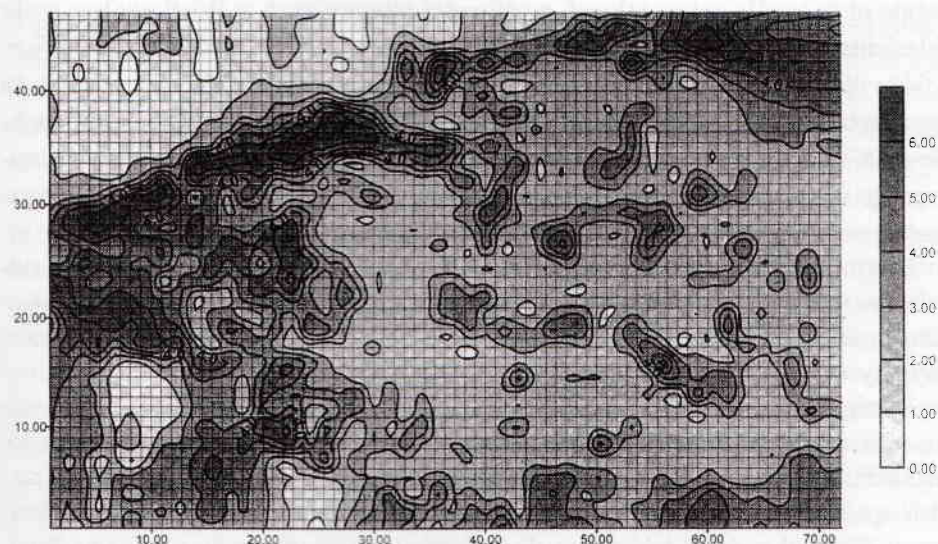
- (1) przypisanie 6 parametrom fizjograficznym (lesistości, jeziorności, gęstości cieków, współczynnikom filtracji gleb, spadkom terenu i miąższości) stosownych kodów wynikających z ich wartości, w ramach każdego z rastrów,
- (2) sprawdzenie ile z wartości 6 kodów w każdym z rastrów zawiera się w grupie małych oraz w grupie dużych zdolności retencyjnych i wprowadzenie odpowiedniej poprawki („funkcji kary”),
- (3) losowanie (z wykorzystaniem generatora liczb losowych z przedziału 01) zestawu wag ($W_{(...)}$) oddziaływania w/w parametrów fizjograficznych na zdolności retencyjne i wykonanie obliczeń zgodnie ze wzorem (1); (stosunek wylosowanej liczby dla danego parametru do sumy wszystkich 6 wylosowanych liczb w danej iteracji stanowił wagę tego parametru),
- (4) obliczenie średnich *ZWR* dla 46 badanych zlewni według wzoru (2),
- (5) obliczenie kryterium optymalności doboru wag – współczynnika korelacji (*R*) pomiędzy współczynnikami nieregularności odpływu (β) a wyliczonymi w p. (4) *ZWR* dla badanych zlewni,
- (6) *n*-krotne powtórzenie p. (3), (4) i (5),
- (7) wybór maksymalnego współczynnika korelacji *R* (bezwzględna wartość) i związanego z nim optymalnego zestawu wag $W_{(...)}$, charakteryzujących stopień oddziaływania lesistości, jeziorności, sieci cieków, utworów glebowych, spadku terenu i miąższości warstwy przepuszczalnej w sumarycznej ocenie potencjalnych zdolności retencyjnych,
- (8) sporządzenie mapy rozkładu obszarowego *ZWR* dla Wielkopolski (dla zoptymalizowanego zestawu wag $W_{(...)}$).

Część obliczeń realizowano na mikrokomputerach PC (pentium), a część (p. (3), (4) i (5)) również z wykorzystaniem komputera IBM PS2 w Poznańskim Centrum Superkomputerowo-Sieciowym. W obliczeniach wykorzystano (z uwagi na ich specyfikę) głównie własne programy numeryczne opracowane w języku Pascal.

Ostatecznie w wyniku ponad 100 000 losowań zestawów wag $W_{(...)}$ i wykonania wyżej opisanych obliczeń otrzymano następujące optymalne wartości wag oddziaływań wybranych parametrów fizjograficznych w sumarycznej ocenie potencjalnych zdolności retencyjnych:

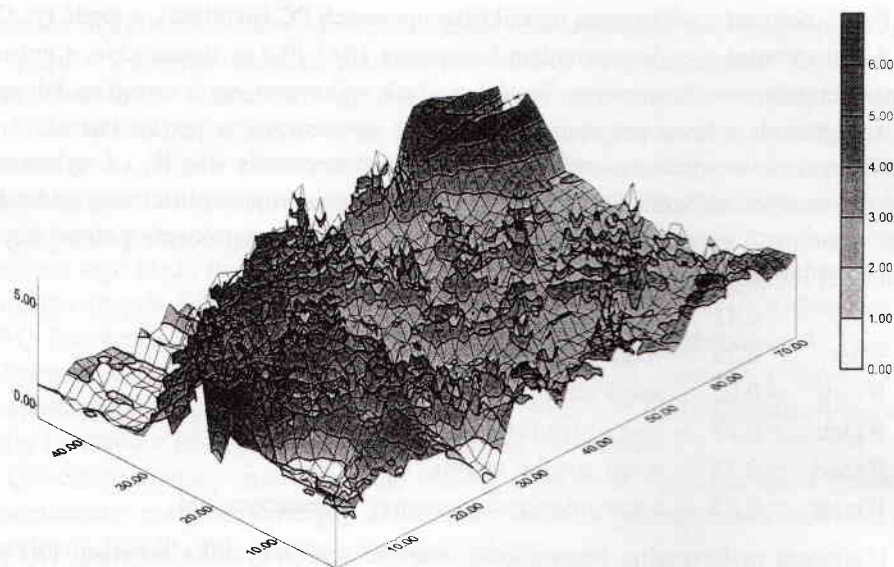
- W_{las} = 0,41 – waga lesistości,
- W_{jez} = 0,25 – waga jeziorności,
- W_{ciek} = 0,02 – waga sieci cieków,
- W_{gleb} = 0,17 – waga utworów glebowych,
- W_{spad} = 0,13 – waga spadku terenu,
- $W_{miaż}$ = 0,02 – waga miąższości warstwy przepuszczalnej.

Uzyskana maksymalna bezwzględna wartość współczynnika korelacji (R) pomiędzy współczynnikami nieregularności odpływu (β) a zintegrowanymi wskaźnikami potencjalnych zdolności retencyjnych (ZWR) dla badanych 46 zlewni (kryterium doboru optymalnych wag $W_{(...)}$) wyniosła - 0,4024 (co jest istotnym skorelowaniem na poziomie 0,006). **Z powyższego zestawienia wynika, iż dominujące zna-**



Rys. 3. Rozkład obszarowy zintegrowanego wskaźnika potencjalnych zdolności retencyjnych (ZWR) w Wielkopolsce: mapa warstwowa

Fig. 3. Distribution of area of the integrated index of potential water storage capacities (ZWR) in the Wielkopolska; contour map



Rys. 4. Rozkład obszarowy zintegrowanego wskaźnika potencjalnych zdolności retencyjnych (*ZWR*) w Wielkopolsce: obraz trójwymiarowy

Fig. 4. Distribution of area of the integrated index of potential water storage capacities (*ZWR*) in the Wielkopolska: 3D image

czenie przy ocenie potencjalnych możliwości retencyjnych w Wielkopolsce mają zalesienia danego terenu. Mała wartość wagi gęstości sieci cieków może wynikać z faktu obliczania tego parametru na podstawie map w skali 1: 200 000, gdzie duża ilość drobnych cieków, rowów melioracyjnych etc. jest pominięta. Natomiast podobnie mała waga miąższości warstwy przepuszczalnej wynika niewątpliwie z wprowadzonego w pracy uproszczenia polegającego na przyjęciu spagu warstwy przepuszczalnej na równym poziomie 9,5 m n.p.m. w całym analizowanym obszarze.

Przyjmując powyższe zoptymalizowane wartości wag ($W_{(L)}$) do oszacowania oddziaływań wybranych parametrów fizjograficznych w sumarycznej ocenie potencjalnych zdolności retencyjnych opracowano rozkład obszarowy *ZWR* w Wielkopolsce (przy użyciu metody krigingu) (rys. 3 i 4).

Zintegrowany wskaźnik potencjalnych zdolności retencyjnych *ZWR* wykazuje znaczną obszarową zmienność. Stosunkowo małe wartości wskaźnika występują we wschodniej i południowo-wschodniej części Wielkopolski, co przy dodatkowo niskich opadach na tych obszarach pogłębia deficyt wodny. Otrzymany rozkład obszarowy *ZWR* wykazuje podobieństwo do rozkładu typów infiltracyjnych Niziny Wielkopolskiej opracowanego przez ŻURAWSKIEGO (1966). Opracowany rozkład obszarowy *ZWR* może być jedną z przesłanek w planach przestrzennego zagospodarowania danego podregionu Wielkopolski.

PODSUMOWANIE

Biorąc pod uwagę, iż nieklimatyczne parametry fizjograficzne w Wielkopolsce (podobnie jak i w innych regionach) są w sposób istotny statystycznie wzajemnie powiązane, opracowano oryginalną metodę której istota sprowadza się do przypisania każdej elementarnej (jednorodnej lub quasi-jednorodnej ze względu na wydzielone charakterystyki fizjograficzne) powierzchni – rastrówi jednego parametru. Uwzględnia on sumaryczne i jednocześnie interakcyjne (synergiczne) oddziaływanie najbardziej istotnych w danym regionie parametrów fizjograficznych na wybraną charakterystykę hydrologiczną. W analizowanym w niniejszej pracy przypadku, obliczania wpływu parametrów fizjograficznych na retencjonowanie wody, taki parametr stanowi **miarę potencjalnych zdolności retencyjnych**. W przypadku większych powierzchni np. zlewni miary ich zdolności retencyjnych liczy się jako stosowne średnie z miar obliczonych dla rastrów pokrywających te powierzchnie. Dla każdego z wydzielonych rastrów obliczono 6 parametrów fizjograficznych: leśnistość, jeziorność, gęstość sieci cieków, średni ważony współczynnik filtracji gleb, średni spadek terenu oraz średnią miąższość. Kolejnym krokiem było podzielenie zakresów zmian każdego z 6 parametrów w całym badanym obszarze na 10 klas oraz przypisanie powstałym klasom kodów zdolności retencyjnych. Kody te, według definicji autora, są wielkościami niemianowanymi, zmieniającymi się w zakresie od 1 (minimalne zdolności retencyjne) do 10 (maksymalne zdolności retencyjne). Algorytm, odrębnego dla każdego z wydzielonych 6 parametrów fizjograficznych w ramach danego rastra, przypisywania kodów zdolności retencyjnych był następujący: kolejne wartości 1,2, ... , 10 przypisywano wraz ze **wzrostem** zalesienia, jeziorności i miąższości oraz **maleniem** gęstości sieci cieków, średniego współczynnika filtracji gleb i średniego spadku terenu. W konsekwencji każdemu z rastrów pokrywających obszar Wielkopolski przypisano po 6 kodów zdolności retencyjnych wynikających z obliczonych wcześniej wartości 6 parametrów fizjograficznych. W związku z tym, że wartości tychże kodów zmieniają się od 1 do 10, przyjęto, iż kody 1..3 są synonimami **małych**, 4..7 **średnich**, a 8..10 **dużych** zdolności retencyjnych. Następnie założono, iż interakcyjne oddziaływanie dwóch lub więcej parametrów fizjograficznych (w ramach danego rastra), reprezentowanych przez przypisane im kody, będzie miało miejsce gdy kody te będą jednocześnie w grupie **małych** (1..3) lub **dużych** (8..10) zdolności retencyjnych. Algorytm obliczeń oddziaływań interakcyjnych (swoista „funkcja kary”) jest następujący: o ile liczba kodów zdolności retencyjnych w ramach danego rastra, będąc jednocześnie w grupie **małych** zdolności równa jest 2, 3, 4 (lub więcej), to wartości tychże kodów są pomniejszane odpowiednio o 1, 1.5 lub 2. Analogicznie, o ile liczba kodów zdolności retencyjnych w ramach danego rastra, będąc jednocześnie w grupie **dużych** zdolności, równa jest 2, 3, 4 (lub więcej), to wartości tychże kodów są powiększane odpowiednio o 1, 1.5 lub 2. **Zintegrowany wskaźnik potencjalnych zdolności retencyjnych ZWR** dla rastra

został zdefiniowany jako suma ważona stosownych kodów i wag. Dobór wag prowadzono metodą Monte Carlo poprzez losowanie ich zestawów i sprawdzanie kryterium optymalności doboru. Założono, iż kryterium tym będzie wartość współczynnika korelacji pomiędzy współczynnikami nieregularności odpływu a zintegrowanymi wskaźnikami potencjalnych zdolności retencyjnych $ZWR(W_{(i)})$ (zależnymi od przyjętego zestawu wag) dla 46 zlewni źródłiskowych Wielkopolski.

Ostatecznie otrzymano następujące optymalne wartości wag oddziaływań wybranych parametrów fizjograficznych w sumarycznej ocenie potencjalnych zdolności retencyjnych: 0,41 lesistość, 0,25 jeziorność, 0,02 sieć cieków, 0,17 utwory glebowe, 0,13 spadek terenu i 0,02 miąższości warstwy przepuszczalnej. **Dominujące znaczenie przy ocenie potencjalnych możliwości retencyjnych w Wielkopolsce mają zatem zalesienia danego terenu.** W związku z powyższym w drugiej części pracy oprócz wymienionego wyżej procentu lesistości określone zostanie także „średnie ważne siedlisko” dla każdego z wydzielonych rastrów, gdzie wagami będą procentowe udziały siedlisk występujących na powierzchni rastra. Umożliwi to korektę kodów przypisywanych terenom zalesionym. Wydaje się bowiem, iż najmniejsze zdolności retencyjne powinien posiadać bór suchy, a dalej dla boru świeżego, boru mieszanego, lasu świeżego, lasu wilgotnego, lasu łęgowego i olchowego odpowiednio zdolności te powinny rosnać.

Zintegrowany wskaźnik potencjalnych zdolności retencyjnych ZWR wykazuje znaczną obszarową zmienność. Stosunkowo małe wartości wskaźnika występują we wschodniej i południowo-wschodniej części Wielkopolski, co przy dodatkowo niskich opadach na tych obszarach pogłębia deficyt wodny. Opracowany rozkład obszarowy ZWR stanowi składnik kompleksowego monitoringu środowiska i może być jedną z przesłanek w planach przestrzennego zagospodarowania danego podregionu Wielkopolski.

LITERATURA

- Charakterystyka klimatu i regionalizacja klimatyczna Polski. 1975. Red. W. Wiszniewski. W. Chelchowski. WKL, Warszawa.
- CRESSIE N. A. C. (1990): The Origins of Kriging. *Mathematical Geology*, v. 22, 239–252.
- CRESSIE N. A. C. (1991): *Statistics for Spatial Data*. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- DOBİJA A., DYNOWSKA I. (1975): Znaczenie parametrów fizjograficznych zlewni dla ustalenia wielkości odpływu rzecznoego. *Fol. Geogr. Ser. Geographica-Physica*, 9, 77–129.
- FLISOWSKI J., IWANEJKO R., TRZOS O., WIECZYSTY A., BRZOZO-WÓJCIK M. (1986): Prognozowanie wpływu piętrzenia rzek na wody podziemne i obliczanie systemów odwadniających. Wyd. PK. Kraków.
- KACZMAREK Z. (1969): O metodzie doboru zespołu zmiennych prognozujących. *Wiad. Służ. Hydrol.*, 3.
- KANIECKI A. (1982): Pojemność retencyjna i zmienność zasobów wodnych małej zlewni nizinnej na przykładzie dorzecza Wrześnicy. Wyd. UAM, Poznań.
- KONDRACKI J. (1994): *Geografia Polski. Mezoregiony fizycznogeograficzne*. PWN, Warszawa.

- KOWALCZAK P., FARAT R., KEPINSKA-KASPRZAK M., MAGER P., PIETRAS W. (1997): Hierarchia potrzeb obszarowych małej retencji dla obszaru dorzecza Warty. Wyd. Nauk. IMGW, Warszawa.
- KOSTURKIEWICZ A., MILER A., PIECHOCKI T., PRZYBYLA CZ. (1976–1980): Badania nad określeniem roli lasu, stopnia lesistości i rozmieszczenia lasu w zlewni na użyteczny obieg wody w przyrodzie na przykładzie zlewni Polski Zachodniej. Maszyn. (Badania realizowano w ramach probl. Węzł. 09.10, temat nr 09.10.04.04.01; koord. IBL Warszawa (5 opracowań)).
- KOSTURKIEWICZ A., MILER A., MURATOWA S. (1986–1990): Gospodarka wodna i ochrona wód w małych zlewniach w regionie Wielkopolski z uwzględnieniem potrzeb gospodarki stawowej. Maszyn. (Badania realizowano w ramach prog. RR-II-20, temat nr 2.3; koord. IMRiL AR Wrocław (5 opracowań)).
- MILER A. (1984): Problem określenia charakterystyk fizjograficznych zlewni jako podstawa oceny warunków retencyjnych. *Pol. Tow. Geofiz.*, Wrocław. Semin. „Problematyka hydrologiczna i meteorologiczna małych zlewni rzecznych”, 17–18.
- MILER A. (1994): Modelowanie matematyczne zdolności retencyjnych małych zlewni nizinnych. *Rocz. AR, Poznań. Rozpr. Nauk., Zesz.* 258.
- MILER A., BYKOWSKI J. (1997): Metody wyznaczania średnich spadków zlewni rzecznych. *Rocz. AR Poznań*, 292. *Melior. Inż. Środ.* 18, 65–76.
- PASLAWSKI Z. (1990): Bilans wodny Wielkopolski. W: *Obieg wody i bariery biogeochemiczne w krajoobrazie rolniczym*. Wyd. UAM, Poznań, 59–68.
- Podział hydrograficzny Polski, 1980*. IMGW, WG, Warszawa.
- WÓŚ A. (1994): *Klimat niziny Wielkopolskiej*. Wyd. UAM, Poznań.
- ZURAWSKI M. (1966): Próba wydzielenia typów infiltracyjnych Niziny Wielkopolskiej. Wyd. PTPN, Wdzy. Mat.-Przyr. Prace Kom. Geogr.-Geolog. T. VI, z.1. Poznań.

Recenzent
Andrzej Kosturkiewicz

Katedra Melioracji i Kształtowania Środowiska
Akademii Rolniczej w Poznaniu

THE INFLUENCE OF SELECTED PHYSIOGRAPHICAL PARAMETERS,
PARTICULARLY AFFORESTATION, ON POTENTIAL WATER STORAGE CAPACITIES
IN WIELKOPOLSKA REGION (PART 1)

Summary

The main aim of this study was to evaluate of the integrated index of potential water storage measure in Wielkopolska region. An original objective method for evaluation of the integrated index of potential water storage capacities – a mathematical model of spatial interaction-dependence between physiographical non-climatic parameters – was constructed and tested. The method hinged upon easily assessed physiographical parameters. Mutual connections between physiographical parameters profoundly limited and sometimes excluded the application of multiple regression method for conveying hydrological information from one area to another. Therefore the Wielkopolska area was divided into about three thousand quasi-homogeneous quadrates (4 km × 4 km) and for each of them six physiographical parameters were calculated, namely: afforestation, area of lakes, river network density, soil permeability coefficient, area slope and thickness of permeable layers. A data base in the raster form of the above-mentioned parameters was graphically showed in the form of maps using the kriging method. Bearing in mind, that multiple regression method occurred useless to each quadrate one parameter was assigned – the integrated index of potential water storage capacities (author's original idea) – which took weighted account of the influence of the above-mentioned parameters with their screening effects. Estimation of scales given to each of the parameters was based on comparison of calculated mean storage capacities and coeffi-

cients of runoff irregularity for 46 source river catchments in the Wielkopolska region. Finally a map (database in raster form) of indexes of potential water storage capacities for the analyzed region was worked out. The results of calculations pointed out that afforestation (41%), area of lakes (25%), soils (17%) and area slope (13%) are the main factors relating to potential water storage capacities in the Wielkopolska.