

## RELACJA WILGOTNOŚCI SIEDLISK ROŚLINNYCH I STANÓW WÓD PODZIEMNYCH W EKOSYSTEMACH ZALEŻNYCH OD WÓD PODZIEMNYCH

### THE RELATIONSHIP OF THE PLANT HABITATS MOISTURE AND GROUNDWATER LEVELS IN GROUNDWATER DEPENDENT ECOSYSTEMS

EWA KROGULEC<sup>1</sup>

**Abstrakt.** W artykule przedstawiono wyniki regularnych obserwacji monitoringowych wód podziemnych w ekosystemach zależnych od wód podziemnych. Na podstawie analizy geostatystycznej określono średnie stany wód w całym badanym systemie. Obliczono korelację pomiędzy czynnikami środowiskowymi jakimi są siedliska roślinne i stany wód podziemnych w celu identyfikacji obszarów, w których wpływ czynników antropogenicznych jest znikomy oraz takich, w których występowała roślinność siedlisk suchszych niż wynikałoby to z poziomu wód podziemnych. W obszarach tych określono i zdefiniowano rolę czynników antropogenicznych.

**Słowa kluczowe:** ekosystemy zależne od wód podziemnych, stany wód podziemnych, wilgotność siedlisk roślinnych, monitoring wód podziemnych.

**Abstract.** Regular monitoring observations of groundwater ecosystems dependent on groundwater level are presented in this paper. The medium water levels in throughout the study system were determined by geostatistical analysis. The correlation between environmental factors such as plant habitats and groundwater levels was calculated in order to identify areas in which the influence of anthropogenic factors is negligible, and those in which there was drier vegetation habitats than it is consistent with the groundwater level. The role of anthropogenic factors was defined in these areas.

**Key words:** groundwater depended ecosystems, level of groundwater, plant habitat moisture, groundwater monitoring.

### CEL BADAŃ

Celem badań były analiza tendencji i zakresu zmian stanów wód podziemnych w ekosystemach zależnych od wód podziemnych oraz określenie wartości charakterystycznych stanów dla okresu opróbowania. Identyfikacja wartości charakterystycznych stanów wód podziemnych była podstawą do wskazania i klasyfikacji stanów wód w okresie badań monitoringowych oraz w poszczególnych latach i sezonach obserwacji. Na podstawie waloryzacji szaty roślinnej i przypisanej jej wilgotności określono korelacje pomiędzy stanami wód podziemnych i wilgotnością siedlisk roślin-

nych. Założono, że w warunkach naturalnych stan hydrogeicznych zbiorowisk roślinnych zależy od poziomu wód podziemnych, natomiast w warunkach antropopresji istnieją inne czynniki decydujące o stanie zachowania roślinności. Dlatego brak korelacji pomiędzy czynnikami środowiskowymi, jakimi są siedliska roślinne i stany wód podziemnych był podstawą do wskazania obszarów, w których nastąpiły antropogeniczne przekształcenia stanów wód. W konsekwencji dane o stanach wód podziemnych mogą być przydatne do wnioskowania o potrzebie renaturalizacji ekosystemów

---

<sup>1</sup> Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; e-mail: ewa.krogulec@uw.edu.pl

zależnych od wód podziemnych, identyfikacji obszarów, w których antropopresja wyrażona poprzez anomalne zmia-

ny stanów wód podziemnych bezpośrednio wpływa na siedliska roślinne.

## OBSZAR BADAŃ

Badania prowadzono w obszarze Kampinoskiego Parku Narodowego (KPN), którego warunki hydrogeologiczne były przedmiotem licznych badań (m. in. Krogulec, 2004, 2010; Krogulec i in., 2010). Analizę stanów wód podziemnych przeprowadzono w dwóch pasach bagiennych w granicach parku narodowego obejmujących obszar o powierzchni 242,3 km<sup>2</sup> w przypadku badań stanów wód podziemnych oraz 176,97 km<sup>2</sup> w przypadku kartowania siedlisk roślinnych. Analiza stanów wód podziemnych dotyczyła hydrostref bagiennych (pasy bagienne), których delimitacja uwzględniała przesłanki hydrodynamiczne i środowiskowe (Krogulec, 2004).

Kampinoski Park Narodowy jest położony w jednostce hydrogeologicznej typu dolinnej. Aluwialne warstwy piaszczysto-żwirowe stanowią miąższy poziom wodonośny

ograniczony w spągu słabo przepuszczalnymi osadami morenowymi, iłami oraz mułkami zastoiskowymi. W obrębie pakietu osadów czwartorzędowych zaznacza się niewielkie zróżnicowanie parametrów hydrogeologicznych (Krogulec, 2004, 2010). W morfologii Kampinoskiego Parku Narodowego występuje znaczne zróżnicowanie – pasy bagienne występują naprzemianległe z ciągami pagórków wydmych. Powoduje to zróżnicowaną lokalizację obszarów zasilania i drenażu w znacznym stopniu determinującą lokalne systemy krążenia wód podziemnych.

Warstwa wodonośna w opisywanej jednostce dolinnej jest zasilana głównie infiltracyjnie, przede wszystkim na obszarach wydmych. Pasy bagienne są obszarami drenażu wód podziemnych.

## ZAKRES DANYCH I ICH REPREZENTATYWNOŚĆ

Na obszarach ekosystemów zależnych od wód podziemnych, do których należą pasy bagienne, najistotniejszą rolę w kształtowaniu procesów dynamicznych zachodzących w szacie roślinnej odgrywają warunki wilgotnościowe gleby. Zależą one przede wszystkim od położenia zwierciadła wód podziemnych (Krogulec, 2004; Krogulec, Sawicka, 2012).

Zarówno na stany wód, jak i szatę roślinną, oprócz czynników geogenicznych, wynikających z warunków geomorfologicznych, geologicznych i klimatycznych znaczny wpływ ma także działalność człowieka poprzez zmianę zagospodarowania przestrzennego. Stany wód podziemnych i szata roślinna wzajemnie na siebie oddziałują. Bezpośrednie „szybkie” oddziaływanie szaty roślinnej na stany wód podziemnych, możliwe poprzez jej zmiany np. wskutek koszenia, wypasania, uprawy czy sytuacji incydentalnych np. pożarów, ze względu na wiele czynników dodatkowych, jest trudne do identyfikacji. Wpływ w dłuższej perspektywie czasowej, to znaczy oddziaływania siedlisk roślinnych zmieniających się w czasie w niewielkim stopniu, można określić jako „długoterminowe”. Oddziaływanie to można identyfikować poprzez analizy o charakterze statystycznym.

Waloryzacja roślinności i analiza siedlisk w obszarach podmokłych może stanowić istotny element rozpoznania hydrogeologicznego. Jednakże ogromne zróżnicowanie zbiorowisk roślinnych oraz ich szybki postęp uzależniony od czynników geogenicznych i antropogenicznych uniemożliwia najczęściej bezpośrednią ich korelację lub bezpośrednie odniesienie do charakterystyki stanów wód podziemnych. Analiza zbiorowisk roślinnych, wykonana w długotrwałej skali czasowej powinna być tylko wskaźnikiem zmian śro-

dowiskowych, a bieżąca diagnoza lub waloryzacja bezpośrednio wskazuje na lokalizację obszaru uznanego za mokradło czyli ekosystemu zależnego od wód podziemnych.

Analiza geostatystyczna danych monitoringowych w Kampinoskim Parku Narodowym dotycząca charakterystyki stanów wód podziemnych, została przeprowadzona na podstawie wyników monitoringu wód podziemnych z 28 piezometrów wchodzących w skład sieci obserwacyjnej wód (fig. 1). Pomiary stanów wód podziemnych były prowadzone w interwałach dwutygodniowych od 1999 r. do 2011 r., stąd dla pasów bagiennych dysponowano danymi z 12 lat, czyli 312 okresów pomiarowych co daje łącznie 8736 obserwacji stanów wód podziemnych.

Obszary bagienne cechują się najpłytszym w KPN występowaniem zwierciadła wód podziemnych. Jego średnia roczna głębokość kształtuje się od 0,97 m w pasie północnym do 1,10 m w pasie południowym. Wartości mediany we wszystkich punktach pomiarowych są zbliżone do średniej wieloletniej, co świadczy o dużej stabilności stanów w badanych obszarach. Zaobserwowana maksymalna głębokość w pasie północnym to 2,16 m, a w południowym 3,16 m. W północnym pasie bagiennym najwyższy stan wystąpił w 2011 r. w piezometrze P10 (-0,25 m), natomiast w pasie południowym w P21 (-0,83 m) i utrzymywał się nad powierzchnią terenu przez cały rok 2011 powodując powstawanie lokalnych rozlewisk (fig. 1).

Stany wód podziemnych w pasach bagiennych charakteryzują się umiarkowaną dynamiką zmian w ciągu roku. Rejestrowane są jednak duże wahania stanów w okresach wieloletnich. Ciągi obserwacji prowadzonych w piezometrach,

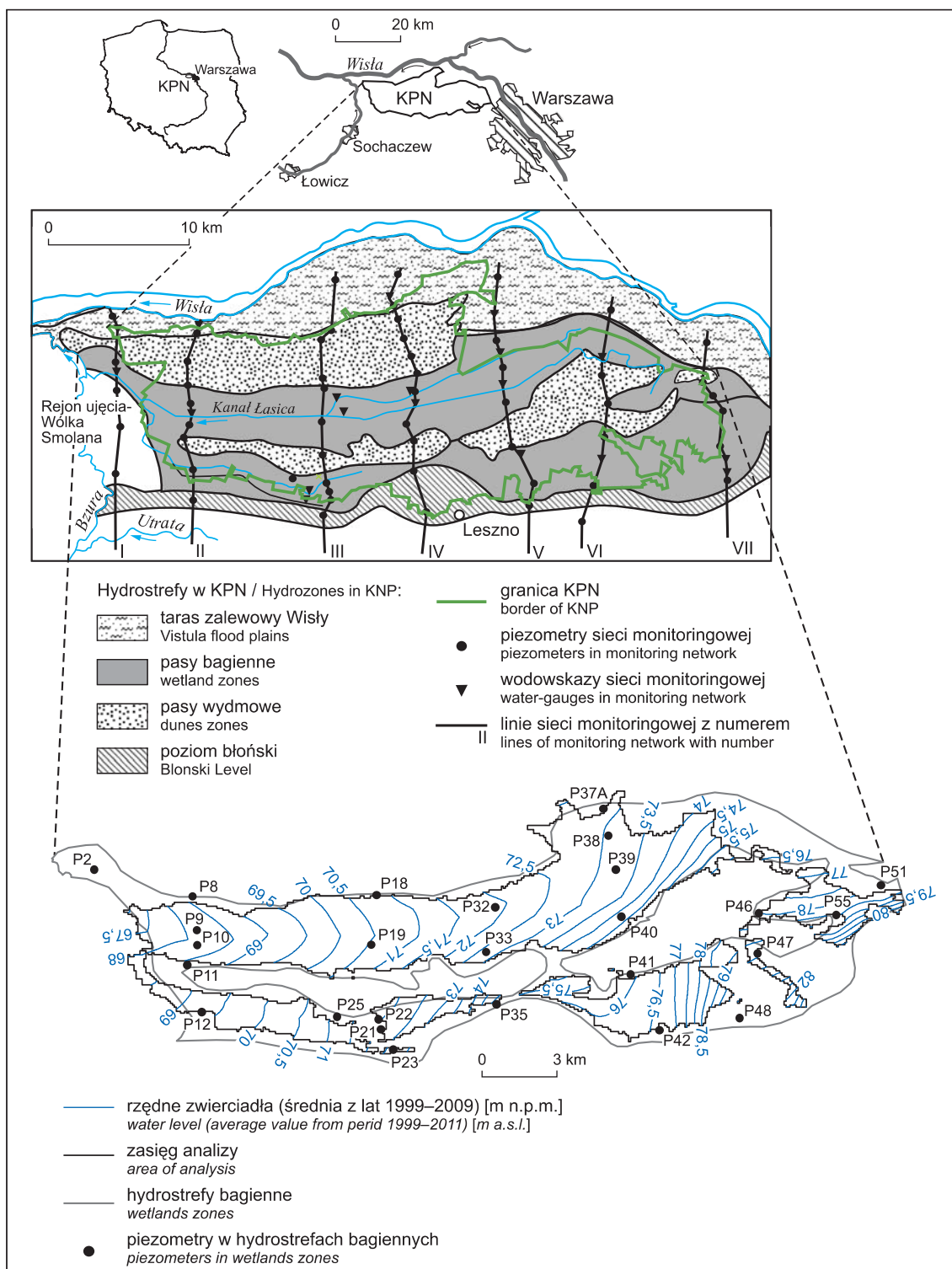


Fig. 1. Położenie zwierciadła wód podziemnych w pasach bagiennych na podstawie wyników obserwacji z okresu 1999–2011

Groundwater level in the wetland zones based on observations from the period 1999–2011

w analizowanych hydrostrefach, wskazują na charakterystyczne okresy zmian stanów wód podziemnych w ciągu roku (zmiany sezonowe) oraz w całym okresie obserwacji wynikające ze średniej wysokości opadu atmosferycznego (fig. 2A, B).

Podstawowe parametry statystyczne stanów wód podziemnych (tab. 1) określono także na podstawie wyników rozkładu geostatystycznego interpolacji wykonanej metodą kriging. Model geostatystyczny obejmował cały obszar KPN, stąd znaczne lokalne głębokości do zwierciadła wód

Tabela 1

## Stany wód podziemnych w pasach bagiennych dla wielolecia 1999–2011

Groundwater conditions in marsh belts for the multi-lane 1999–2011

Głębokość [m]	Północny pas bagienny	Południowy pas bagienny
Średnia	0,97	1,10
Mediana	0,97	0,98
Maksimum	2,16	3,16
Minimum	-0,25	-0,83
Odchylenie standardowe	0,42	0,78
Amplituda	2,41	3,99
Amplituda średnia roczna	1,55	1,68

podziemnych charakterystyczne dla obszarów sąsiadujących z hydrostrefami wydmyowymi (tab. 2). Wiarygodność rozkładu geostatystycznego potwierdzono poprzez porównanie uzyskanych wyników z empirycznymi pomiarami w punktach monitoringowych (średnie wartości z wielolecia

1999–2011). Rozkład ten cechuje się średnim błędem wynoszącym  $-0,11$  m, średnim błędem kwadratowym  $0,90$  m oraz wysokim współczynnikiem korelacji równym  $0,97$ .

Badaniami roślinności objęto dwa pasy bagiennie o łącznej powierzchni  $176,97$  km<sup>2</sup>, których granice wyznaczono na

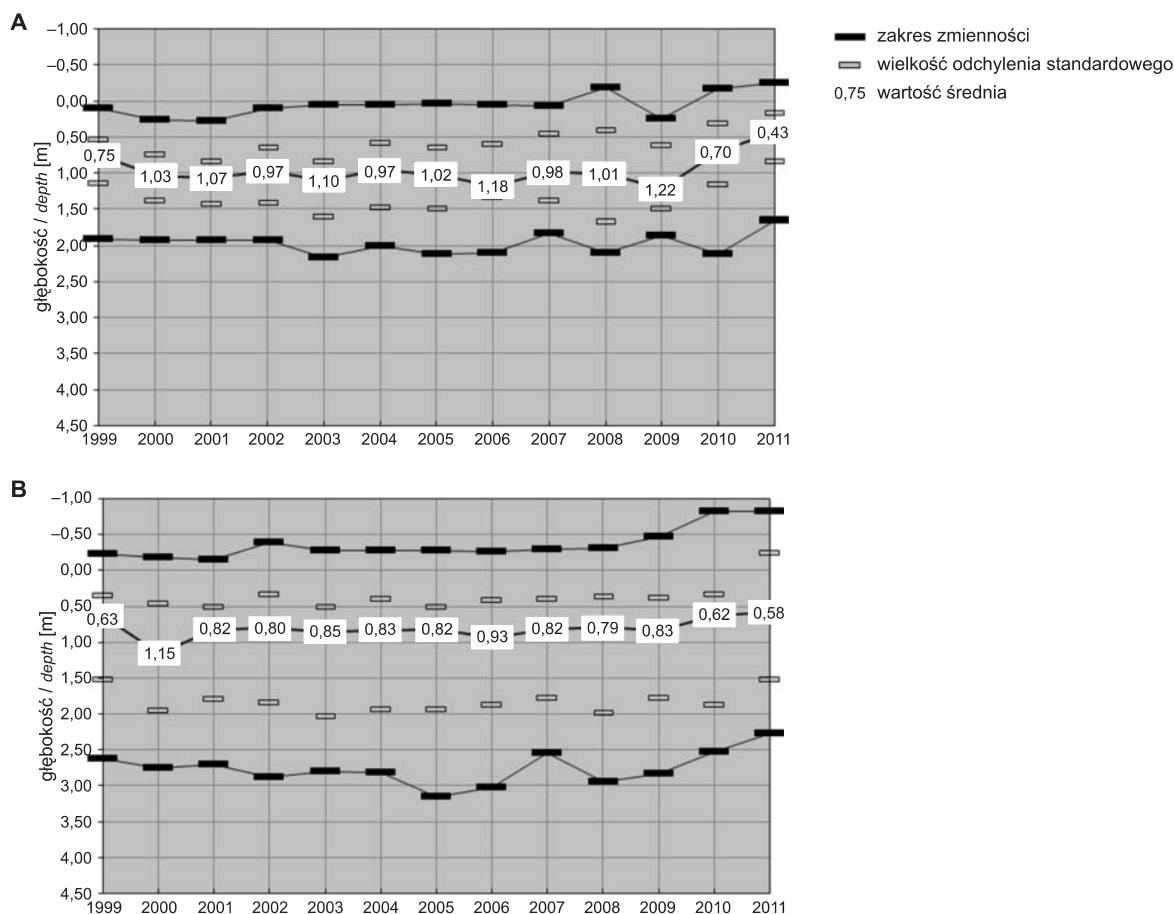


Fig. 2. Zmiany stanów wód podziemnych w okresie 1999–2011

A – północny pas bagienny, B – południowy pas bagienny

Changes in groundwater levels in period 1999–2011

A – northern wetland zone, B – southern wetland zone

Tabela 2

**Stany wód podziemnych w pasach bagiennych – wyniki z modelowania geostatystycznego**  
Groundwater conditions in marsh belts – result of geostatistical modelling

Głębokość punktów monitoringu w latach 1999–2011 [m]	Północny pas bagienny	Południowy pas bagienny
Średnia	1,23	1,59
Max	13,14	15,09
Min	-0,81	-2,22
Odchylenie standardowe	1,10	2,59
Powierzchnia [km <sup>2</sup> ]	155,68	86,62

podstawie zasięgu gleb hydrogenicznych. Analizowane mapy glebowe były wynikiem badań prowadzonych w latach 2008 i 2009 (Kucharski i in., 2010). Obszar ten był mniejszy niż zasięgi hydrostref, których delimitacja uwzględniała szereg cech środowiskowych (Krogulec, 2004). W tych latach wykonano mapę roślinności rzeczywi-

stej w skali 1:10 000 kartując wszystkie biochory o powierzchni powyżej 500 m<sup>2</sup> (Kopeć i in., 2008). Mapy roślinności rzeczywistej wykonane na podstawie obserwacji terenowych, były podstawą do obliczenia wskaźnika wilgotności pokrywy roślinnej.

## METODY BADAŃ

Po analizie reprezentatywności obserwacji monitoringowych stanów wód podziemnych oraz siedlisk roślinnych, przeprowadzono analizę statystyczną zależności wilgotności siedlisk roślinnych od położenia zwierciadła wód podziemnych w pasach bagiennych. W naturalnych warunkach stan zbiorowisk roślinnych hydrogenicznych zależy od głębokości do zwierciadła wód podziemnych oraz intensywności zasilania infiltracyjnego. W warunkach antropopresji istnieją inne czynniki niż woda decydujące o stanie zachowania roślinności.

Obliczenia statystyczne przeprowadzono dla danych dyskretnych. Wielkość przyjętego kroku siatki dyskretyzacyjnej ( $\Delta x = \Delta y = 100$  m) była wynikiem stopnia rozpoznaniu warunków hydrogeologicznych i siedlisk roślinnych. Wybrany krok dyskretyzacji przestrzeni odpowiadał także dotychczasowym hydrodynamicznym badaniom modelowym prowadzonym w KPN.

Rozkład statystyczny umożliwia określenie stanów wód podziemnych w punktach siatki dyskretyzacyjnej obejmującej pasy bagienne. Na podstawie analizy geostatystycznej określono wartości dyskretne średniej z wielolecia

głębokości do zwierciadła wody we wszystkich blokach siatki dyskretyzacyjnej.

Na podstawie mapy roślinności rzeczywistej dla każdego z pól dyskretyzacyjnych obliczono wskaźnik wilgotności pokrywy roślinnej. Sposób identyfikacji wilgotności dla poszczególnych siedlisk roślinnych w blokach opisał Kopeć i inni (2013). Ostatecznie analizę tę przeprowadzono w 11331 polach, uzyskując zbiór danych dyskretnych (Kopeć i in., 2013).

Na podstawie danych dotyczących stanów wód podziemnych i wilgotności siedlisk roślinnych wyznaczono obszary, w których występuje wysoka korelacja liniowa obu analizowanych czynników. W obszarach, w których nie stwierdzono zależności czynników, celem pracy było wskazanie obszarów o zaburzonych zależnościach między poziomem wody a roślinnością, tzn. głównie takich, w których występowała roślinność siedlisk suchszych niż wynikałoby to z poziomu wód podziemnych. Za takie obszary uznano te, dla których wskaźnik wilgotności roślinności jest mniejszy o ponad 1 wartość odchylenia standardowego od wartości przewidywanej.

## PODSUMOWANIE

Obszary dla których stwierdzono wysoką korelację pomiędzy stanami wód podziemnych, a wilgotnością siedlisk roślinnych uznano za takie, w których wpływ czynników antropogenicznych na warunki środowiskowe jest znikomym. Najwyższe korelacje wyznaczone zostały dla zlewni Kanału Olszowieckiego (zachodnia część południowego pasa ba-

giennego) oraz dla zlewni Wilczej Strugi (wschodnia część południowego pasa bagiennego), których powierzchnia wynosi około 45 km<sup>2</sup>, co stanowi mniej niż 20% obszarów mokradłowych w obrębie KPN. Wysoki współczynnik korelacji pomiędzy badanymi elementami jest typowy dla obszarów w niewielkim stopniu zmienionych antropogenicznie.



Obliczenia statystyczne umożliwiły wskazanie obszarów o zaburzonych zależnościach między poziomem wód podziemnych a roślinnością, tzn. takich w których występowała roślinność siedlisk suchszych niż wynikałoby to z poziomu wód podziemnych. W obszarach, w których obliczona korelacja nie była wysoka, określono i zdefiniowano przyczyny stwierdzonego stanu identyfikując rolę czynników antropogenicznych. Największe nagromadzenie obszarów o stwierdzonym braku korelacji pokrywa się z obszarami o zagęszczonej sieci rowów melioracyjnych i zabudowie wiejskiej a tym samym o dominującym czynnikiem antropopresji. Obszary te powinny podlegać szczególnie wnikliwej analizie w programach ochrony ekosystemów zależnych od wód podziemnych; działania renaturalizacyjne powinny zostać opracowane poprzez zmiany stanów wód podziemnych. Analiza statystyczna może być podstawą wniosku w zakresie propozycji ochrony ekosystemów zależnych od

wód podziemnych, między innymi w celu wskazania najlepszej i najmniej kosztownej renaturalizacji ekosystemów.

Czynniki środowiskowe zdefiniowane jako stany wód podziemnych i wilgotność siedlisk roślinnych, ze względu na łatwość obserwacji i stosunkowo niewysokie koszty monitorowania, mogą być podstawą do analizy wykorzystywanej w decyzjach dotyczących ochrony badanych ekosystemów. Ze względu na silną korelację obu badanych czynników, możliwe jest bezpośrednio wnioskowanie dotyczące stanów wód podziemnych na podstawie analizy siedlisk roślinnych. Kluczowym elementem jest ocena reprezentatywności danych monitoringowych/ obserwacyjnych w zakresie identyfikacji roślinności rzeczywistej i jej zmian oraz dynamiki stanów wód podziemnych.

**Podziękowanie.** Obliczenia statystyczne stanów wód podziemnych wykonał mgr S. Zabłocki w ramach projektu N N525253940.

## LITERATURA

- KOPEĆ D., HALLADIN-DĄBROWSKA A., CHMIELECKI B., KUCHARSKI L., 2008 — Human impact on wetland flora of the Warsaw-Berlin proglacial Valley. *Biodiv. Res. Conserv.* **9/10**: 57–62.
- KOPEĆ D., MICHALSKA-HEJDUK D., KROGULEC E., 2013 — Relationship between vegetation and groundwater levels as indicators of spontaneous wetland restoration. *Ecological Engineering* [2013].
- KROGULEC E., 2004 — Ocena podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia w jednostce dolinnej w aspekcie warunków hydrodynamicznych, Wyd. UW, Warszawa.
- Krogulec E., 2010 — Evaluation of infiltration rates within the Vistula River valley, central Poland. *Acta Geol. Pol.*, **60**, 4: 617–628.
- KROGULEC E., SAWICKA K., 2012 — Hydrogeologiczny aspekt w identyfikacji i ochronie ekosystemów zależnych od wód podziemnych. *Prz. Geol.* **60**, 3: 164–174.
- KROGULEC E., FURMANKOWSKA A., TRZECIAK J., ZABŁOCKI S., 2010 — Range determining factors and tendencies of groundwater level changes in wetland areas. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **441**: 73–82.
- KUCHARSKI L., MICHALSKA-HEJDUK D., KOPEĆ D., DEMBEK A., KĘBŁOWSKA A., KOLSS M., OTRĘBA A., 2010. — Mapa roślinności rzeczywistej pasów bagiennych Kampińskiego Parku Narodowego. Eko-Graf, Łódź.

## SUMMARY

Based on regular monitoring observations the characteristic values, averages and range of changes of groundwater levels in ecosystems dependent on groundwater were specified. The correlation between environmental factors such as plant habitats and groundwater levels was calculated. The areas on which a high correlation between the groundwater

levels and humidity of habitats was considered have been identified as such, in which the influence of anthropogenic factors is negligible. Statistical calculations indicate areas of disturbed relationships between groundwater level and vegetation. The role of anthropogenic factors was defined in these areas.