

## Zastosowanie wskaźników do oceny geoekosystemu w południowo-zachodniej części Gór Świętokrzyskich

---

Using indicators in assessing geoecosystem  
in south-western part of the Świętokrzyskie Mountains

RAFAŁ KOZŁOWSKI, MAREK JÓŹWIAK

**Summary:** This paper evaluates the functioning of a geoecosystem located in the south-western part of the Świętokrzyskie Mountains, in the so-called White Basin, using selected indicators. For this purpose, precipitation quality indicators based on the classification proposed by Jansen et al. (1988) were used. Their use enabled a deeper cause-and-effect assessment of the environment in the studied geoecosystem. The analysis used test results covering the years 2004–2013. The analysis of the pH indicator showed that the weighted average precipitation for the period of the study was pH 5.37. Comparing this information to the results from the literature it should be noted that the pH value of water coming in the form of direct precipitation is slowly decreasing, which can be seen as a direct result of the reduction in emissions of particulate matter in the studied area. It should also be noted that the indicators used enable the evaluation of the changes in the functioning of a geoecosystem. They help confirm a number of processes and changes taking place in the environment. The studies show an observable regularity in that the water cycle is essential for the functioning of the geographical environment.

**Key words:** indicators, precipitations, Białe Zagłębie

**Słowa kluczowe:** wskaźniki, opad atmosferyczny, Białe Zagłębie

*Rafał Kozłowski, Marek Józwiak Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, Katedra Ochrony i Kształtowania Środowiska ul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce, e-mail: rafalka@ujk.edu.pl, marjo@ujk.edu.pl, rafalka@ujk.edu.pl*

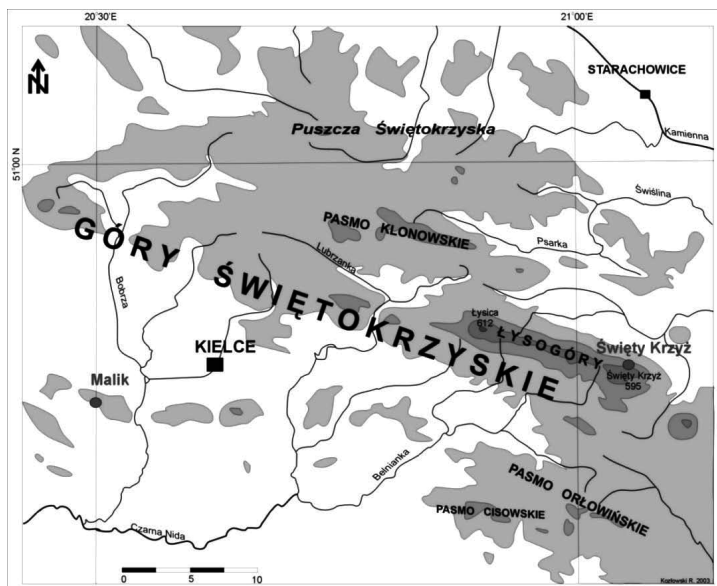
## WPROWADZENIE

Konsekwencją przemian ustrojowych w Polsce, jakie dokonały się w 1989 roku, stały się zmiany w różnych gałęziach przemysłu, w tym w przemyśle cementowo-wapienniczym. Objęły one m.in. modernizację zakładów, a zwłaszcza procesy technologiczne. Wprowadzano coraz skuteczniejsze instalacje służące ochronie powietrza atmosferycznego. Działania te wpłynęły na znaczne polepszenie stanu środowiska przyrodniczego. Dotyczy to również południowo-zachodniej części Gór Świętokrzyskich, gdzie teren tzw. Białego Zagłębia został zakwalifikowany do obszarów klęski ekologicznej. W chwili obecnej ta część regionu świętokrzyskiego nadal charakteryzuje się dynamicznym rozwojem przemysłu cementowo-wapienniczego, ale jego poziom, zwłaszcza przemysłu cementowego, pozwala zaliczyć go do przodujących w Europie pod względem technologicznym i organizacyjnym. Dzięki wprowadzeniu nowoczesnych metod zarządzania i kontroli procesów technologicznych znacznie ograniczono negatywny wpływ na środowisko przyrodnicze (Jędras, Romańska-Spaczyńska 2011).

Stąd też niezwykle istotne są długoterminowe i wieloaspektowe badania, które mają na celu rozpoznanie aktualnego stanu środowiska oraz mechanizmów jego funkcjonowania. Dane ilościowe gromadzone w bazie Stacji Geoekologicznej Malik, należącej do Katedry Ochrony i Kształtowania Środowiska Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach, mogą być kluczem do zdefiniowania wskaźników jakości środowiska geograficznego oraz określenia progów odporności środowiska na konkretne zagrożenia. Na podstawie wieloletnich serii pomiarowych możliwe jest również prognozowanie kierunku zmian oraz modelowanie funkcjonowania wybranych geosystemów. Do tego celu można wykorzystać tzw. geoindykatory (geowskaźniki) (Kostrzewski i in. 2011).

## OBSZAR I METODY BADAŃ

Badania prowadzono na terenie Stacji Geoekologicznej Malik, położonej w południowo-zachodniej części Gór Świętokrzyskich na terenie tzw. Białego Zagłębia (Kozłowski 2013) (ryc. 1). Obszar ten, określany również mianem Kieleckiego Okręgu Eksploatacji Surowców Węglanowych, obejmuje 1032 km<sup>2</sup> (Zajac 1979). Prócz trzech cementowni i zakładu wapienniczego zlokalizowano tu znaczną liczbę uciążliwych dla środowiska zakładów wydobywczo-przetwórczych kopalin skalnych (Kowalkowski, Rubinowski 1991), emitujących około 13% pyłów w skali województwa (Jędras, Romańska-Spaczyńska 2011). Stosowane metody badań (terenowe i laboratoryjne) były zgodne z wymaganiami Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (Kostrzewski i in. 2006).



Ryc. 1. Lokalizacja obszaru badań

Fig. 1. Location research area

W niniejszym opracowaniu zastosowano wybrane wskaźniki charakteryzujące wody opadu bezpośredniego całkowitego w warunkach alkalicznej emisji, obejmujące klasyfikację wód opadowych wg Jansen i in. (1988) (tab. 1).

Tabela 1. Klasyfikacja wód opadowych wg Jansen i in. (1988)

Table 1. Classification of rainwater by Jansen et al. (1988)

Kwasowość/Acidity		Przewodność/Conductivity	
Ocena/Rating	pH	Ocena/Rating	[mS*m-1]
Silnie obniżona <i>Strongly lower</i>	≤4,1	Bardzo silnie podwyższona <i>Very strongly higher</i>	≥10,0
Znacznie obniżona <i>Considerably lower</i>	4,1-4,6	Silnie podwyższona <i>Strongly higher</i>	6,0-10,0
Lekko obniżona <i>Somewhat lower</i>	4,6-5,1	Mocno podwyższona <i>Much higher</i>	4,5-6,0
Normalna <i>Normal</i>	5,1-6,1	Znacznie podwyższona <i>Considerably higher</i>	3,0-4,5
Lekko podwyższona <i>Somewhat higher</i>	6,1-6,5	Lekko podwyższona <i>Somewhat higher</i>	1,5-3,0
Znacznie podwyższona <i>Considerably higher</i>	≥6,5	Nieznaczna <i>Negligible</i>	≤1,5

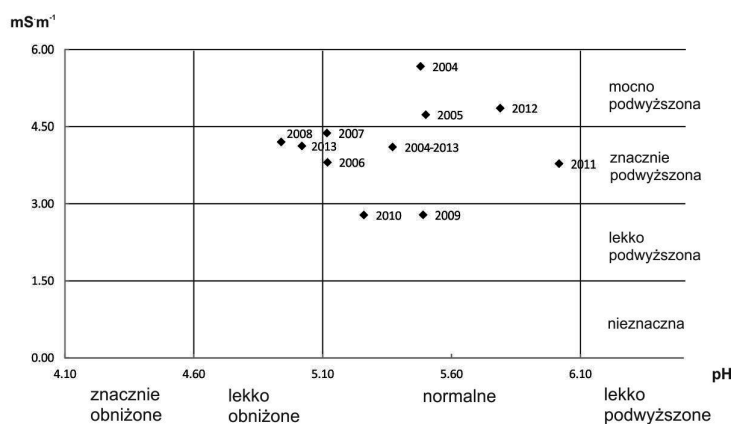
Do analizy wykorzystano dane pochodzące z lat 2004–2013 w zakresie pH i przewodności elektrolitycznej właściwej.

### ANALIZA I Dyskusja Wyników

Obecność zanieczyszczeń pochodzenia lokalnego i zdalnego w powietrzu atmosferycznym decyduje o właściwościach fizykochemicznych opadów atmosferycznych w badanym geosystemie. W analizowanym dziesięcioleciu średnia ważona wartość pH opadów atmosferycznych wyniosła 5,37. Zgodnie z klasyfikacją Jansena i in. (1988) wody opadów atmosferycznych zakwalifikować można pod względem pH jako normalne (ryc. 2). W analizowanych latach wody opadu atmosferycznego mieściły się w dwóch przedziałach. Lata 2008 i 2013 zaliczono jako lekko obniżone, a pozostałe jako normalne. W analizowanym dziesięcioleciu nie stwierdzono opadów, które można byłoby zakwalifikować pod względem wartości pH jako lekko podwyższone i znacznie obniżone.

Stwierdzono, że w analizowanych latach 2004–2013 nie wystąpiła istotna statystycznie tendencja zmian wartości pH w wodach opadu bezpośredniego ( $p = 0,625$ ) (ryc. 3). W analizowanym dziesięcioleciu wyróżnić można dwa okresy: pierwszy, obejmujący lata 2004–2008, w którym następował wyraźny spadek wartości pH, oraz lata 2008–2011, w którym stwierdzono wzrost wartości pH.

Odnosząc uzyskane wyniki do wielkości imisji na analizowanym obszarze, należy podkreślić, że w analizowanym dziesięcioleciu poza  $\text{NO}_2$  nie wystąpiły istotne

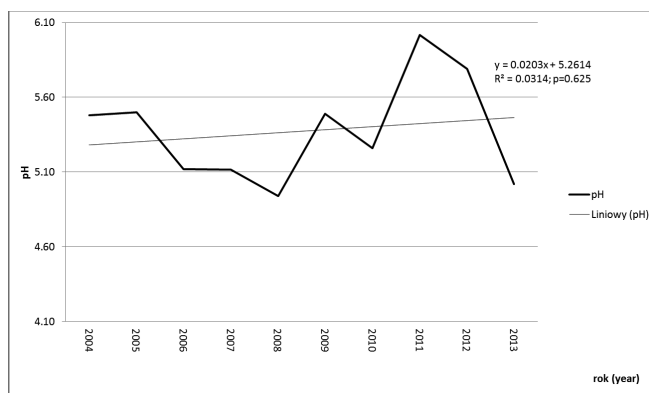


Ryc. 2. Klasyfikacja opadów atmosferycznych zgodnie z podziałem zaproponowanym przez Jansena i in. (1988)

Fig. 2. Classification of precipitation according to the division proposed by Jansen et al. (1988)

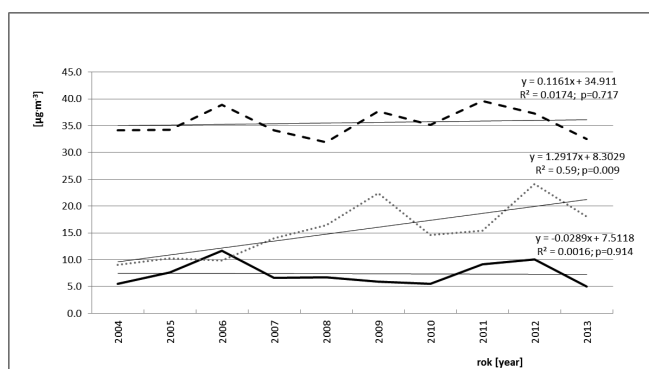
tendencje zmian w wielkości stężeń poszczególnych zanieczyszczeń (ryc. 4). Zjawisko to występuje pomimo stwierdzonego w ostatnich latach w województwie spadku emisji  $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_x$ . Na podstawie danych GUS stwierdzono, że w latach 2004–2013 nastąpiła redukcja emisji  $\text{SO}_2$  z 31,4 Mg w roku 2004 do 10,6 Mg w roku 2013, co stanowi spadek o ponad 20 Mg oraz w przypadku  $\text{NO}_x$  odpowiednio z 19,6 Mg w roku 2004 do 17,1 Mg w roku 2013 (GUS 2015).

Średnie stężenie  $\text{SO}_2$  w analizowanym okresie na terenie stacji WIOŚ w Nowinach wyniosło  $7,4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  z wahaniami od  $5,0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  do  $11,6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , a  $\text{NO}_2$  15,4



Ryc. 3. Dynamika średnich rocznych ważonych wartości pH wód opadu bezpośredniego w latach 2004–2013

Fig. 3. Dynamics of weighted average annual precipitation pH value of direct precipitation in 2004–2013



Ryc. 4. Dynamika wielkości stężeń  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  oraz pyłu  $\text{PM}_{10}$  na terenie stacji WIOŚ w Nowinach w latach 2004–2013 ([www.smjp.kielce.pios.gov.pl/](http://www.smjp.kielce.pios.gov.pl/))

Fig. 4. The dynamics of concentrations of  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  and dust  $\text{PM}_{10}$  in the WIOŚ (Environment Protection Inspectorate) station in Nowiny in 2004–2013 ([www.smjp.kielce.pios.gov.pl/](http://www.smjp.kielce.pios.gov.pl/))

$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  z wahaniami od  $9,0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  do  $24,1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Najwyższe wartości notowano w przypadku stężenia pyłu  $\text{PM}_{10}$  ze średnią  $35,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  i wahaniami w poszczególnych latach od  $31,9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  w 2008 roku do  $39,6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  w roku 2011.

Opady atmosferyczne cechują się zazwyczaj niską mineralizacją, a ich wielkość i skład chemiczny odzwierciedla jakość powietrza atmosferycznego. Wskaźnikiem wielkości mineralizacji jest przewodność elektrolityczna właściwa. Analiza tego wskaźnika jakości wód opadu bezpośredniego wykazała, że w analizowanym okresie średnia ważona wartość przewodności elektrolitycznej właściwej wyniosła  $4,10 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ , co zgodnie z klasyfikacją Jansen i in. (1988) pozwala je zakwalifikować jako znacznie podwyższone. W analizowanym dziesięcioleciu wskaźnik ten wahał się od lekko podwyższonego (w latach 2009–2010) do mocno podwyższonego w latach 2004–2005 i 2012. W pozostałych latach wartości przewodności elektrolitycznej właściwej pozwalają zakwalifikować opady bezpośrednie jako znacznie podwyższone.

W latach 2004–2013 notowano nieistotnie statystyczną wzrostową tendencję wartości przewodności elektrolitycznej ( $p = 0,246$ ) (ryc. 5).

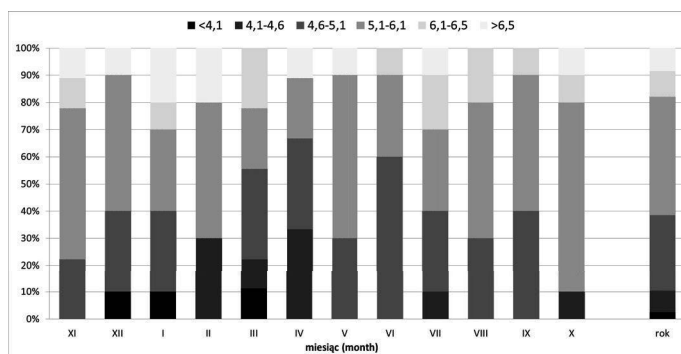


Ryc. 5. Dynamika średnich ważonych rocznych wartości przewodności elektrolitycznej właściwej (SEC) wód opadu bezpośredniego w latach 2004–2013

Fig. 5. Dynamics of weighted average annual values of specific electrolytic conductivity (SEC) of direct precipitation water in 2004–2013

Analiza częstotliwości występowania opadów o określonym pH wykazała, że w analizowanym dziesięcioleciu najczęściej występowały opady o wartości pH od 5,1 do 6,1 z 43,6-procentowym udziałem. Były to zatem opady, które można zakwalifikować jako normalne. Następnie były to opady określane jako lekko obniżone (pH 4,6–5,1) z 28,2-procentowym udziałem. Najrzadziej występowały opady, które

zakwalifikowano jako silnie obniżone ( $\text{pH} < 4,1$ ) z 2,6-procentowym udziałem. W analizowanym wieloleciu opady takie wystąpiły jedynie trzykrotnie w miesiącach grudzień–styczeń i marzec (ryc. 6).



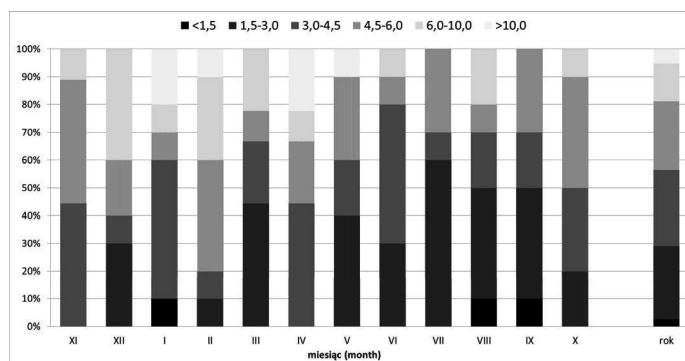
Ryc. 6. Częstotliwość występowania opadów atmosferycznych o określonym pH

Fig. 6. The incidence of precipitation of a given pH

Opady o odczynie normalnym ( $\text{pH}$  5,1–6,1) najczęściej występowały w październiku (70%), najrzadziej w marcu i kwietniu (22%). W analizowanym dziesięcioleciu w miesiącach wiosenno-letnich nie notowano opadów o  $\text{pH}$  poniżej 4,6, określanych jako znacznie i silnie obniżone, co należy wiązać z obecnością na tym terenie przemysłu wydobywczo-przetwórczego surowców skalnych. Porównując uzyskane wyniki do okresu z lat 2000–2003 (Jóźwiak, Kozłowski 2004), należy stwierdzić, że średnia ważona uległa obniżeniu o około 0,3 jednostki  $\text{pH}$ . Znacznie większe różnice wystąpiły jednak pomiędzy najniższymi i najwyższymi miesięcznymi wartościami  $\text{pH}$ . W latach 2000–2003 średnie miesięczne wartości  $\text{pH}$  wód opadu bezpośredniego wahały się bowiem od  $\text{pH}$  5,16 do  $\text{pH}$  6,83, podczas gdy w analizowanym wieloleciu od  $\text{pH}$  3,66 do  $\text{pH}$  7,65.

Analiza częstotliwości występowania opadów pod kątem przewodności elektrolitycznej właściwej wykazała, że w analizowanym dziesięcioleciu 27,4% przypadków stanowiły opady o przewodności określonej jako znacznie podwyższona ( $3,0\text{--}4,5 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ ), następnie jako lekko podwyższona ( $1,5\text{--}3,0 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) z 26,5-procentowym udziałem, oraz mocno podwyższona ( $4,5\text{--}6,0 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) z 24,8-procentowym udziałem. Najrzadziej notowano opady o przewodności w zakresie  $<1,5 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$  (przewodność nieznaczna) z 2,6-procentowym udziałem (ryc. 7).

Analizując miesięczną zmienność częstotliwości występowania opadów pod względem wielkości przewodności elektrolitycznej, należy stwierdzić, że



Ryc. 7. Częstość występowania opadów atmosferycznych o określonej przewodności (w  $\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$ )

Fig. 7. The incidence of precipitation of a given conductivity ( $\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$ )

w miesiącach jesienno-zimowych wzrasta udział opadów o przewodności od mocno do bardzo silnie podwyższonej ( $>4,5 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ ). Zmienność ta wynika ze wzrostu wielkości emisji gazów i pyłów w miesiącach jesienno-zimowych związanych z tzw. sezonem grzewczym. Z kolei w okresie wiosenno-letnim wzrasta udział opadów o przewodności określanej jako nieznaczna i lekko podwyższona.

Najrzadziej notowano opady o niskiej mineralizacji określanej jako nieznaczna ( $<1,5 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ ). Występowały jedynie po jednym przypadku w styczniu oraz lipcu i sierpniu. Z kolei we wszystkich miesiącach notowano opady określane jako lekko i znacznie podwyższone. Najczęściej występowały w czerwcu i lipcu z ponad 70-procentowym udziałem.

Uzyskane wyniki badań wskazują, że na terenie Białego Zagłębia nie występują istotnie statystyczne zmiany wartości pH i przewodności elektrolitycznej właściwej. Odnosząc uzyskane wyniki do lat ubiegłych, notuje się jedynie nieznaczny spadek średniej wieloletniej wartości pH opadu bezpośredniego. Wieloletni przebieg zmienności przewodności elektrolitycznej właściwej analizowany w Stacjach Bazowych Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego wskazuje na korzystny trend obniżania się zawartości składników rozpuszczonych w wodach opadowych. Jest on jednak istotny statystycznie jedynie dla geosystemów położonych w północno-zachodniej i północno-wschodniej Polsce (Storkowo i Puszcza Borecka) (Tylkowski 2013). Są to obszary podbarwione znaczących źródeł emisji. Warto również podkreślić, że podobnie jak w geosystemach położonych w Polsce północnej i północno-wschodniej (Storkowo, Puszcza Borecka), również na obszarze Białego Zagłębia zauważalna jest wzrostowa tendencja roli tlenków azotu w zakwaszaniu opadów atmosferycznych.



## PODSUMOWANIE

Przeprowadzona analiza wartości wskaźnika pH wykazała, że średnia ważona opadu atmosferycznego dla okresu badawczego wyniosła pH 5,37. Odnosząc uzyskane wyniki do danych literaturowych z analizowanego obszaru, należy stwierdzić, że następuje powolne obniżanie wartości pH wód opadu bezpośredniego, co wynika m.in. ze spadku wielkości emisji zanieczyszczeń pyłowych na analizowanym obszarze. Należy również podkreślić, że zastosowane wskaźniki umożliwiają ocenę zmian zachodzących w funkcjonowaniu geoekosystemu. Potwierdzają szereg procesów i przemian zachodzących w środowisku. Realizowane badania wykazują prawidłowość, że obieg wody posiada istotne znaczenie dla funkcjonowania środowiska geograficznego.

## LITERATURA

- GUS 2015: Ochrona środowiska, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa
- Jansen W., Block A., Knaack J., 1988: Acid rain. History, generation, results. *Aura* 4: 18–19.
- Jędras J., Romańska-Spaczyńska M., 2011: Powietrze. W: Stan środowiska w województwie świętokrzyskim w latach 2009–2010. Raport. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Kielce: 11–40.
- Jóźwiak M., Kozłowski R., 2004: Transformacja opadów atmosferycznych w wybranych geoekosystemach w Górach Świętokrzyskich, Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Vol. 5: 199–217.
- Kostrzewski A., Kruszyk R., Kolander R., 2006: Zasady organizacji, system pomiarowy, wybrane metody badań. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Online 30.04.2013-<http://www.staff.amu.edu.pl/~zmsp/dok.html>.
- Kostrzewski A., Szpikowski J., Szpikowska G., 2011: Stan geoekosystemów Polski – ocena na podstawie wybranych geoskaźników w programie Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. *Monitoring Środowiska Przyrodniczego* 12: 69–83.
- Kowalkowski A., Rubinowski Z., 1991: Ocena skutków oddziaływania przemysłu wydobywczo-przetwórczego surowców skalnych i komunalnej oczyszczalni ścieków w Sitkówce na środowisko przyrodnicze w centralnej części Kieleckiego Okręgu Eksploatacji, Synteza. KTN, Kielce: 101 pp.
- Kozłowski R., 2013: Funkcjonowanie wybranych geoekosystemów Polski w warunkach zróżnicowanej antropopresji na przykładzie gór niskich i pogórza. *Landform Analysis* 23: 1-150.

Tylkowski J., 2013: Stan geoeosystemów Polski w roku 2012 na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (<http://www.staff.amu.edu.pl/~zmsp/stan2012/ZMSP2012.pdf>).

10.([www.smjp.kielce.pios.gov.pl/](http://www.smjp.kielce.pios.gov.pl/))

Zajac R., 1979: Przyczyny i stan zagrożenia atmosfery w „Białym Zagłębiu”. Prace SGPiS 6, Warszawa.