

WPLYW PRZEMYSŁU CEMENTOWO-WAPIENNICZEGO NA WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNO-CHEMICZNE OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH NA TERENIE „BIAŁEGO ZAGŁĘBIA”

Rafał Kozłowski

Kozłowski R. 2012: Wpływ przemysłu cementowo-wapienniczego na właściwości fizyczno-chemiczne opadów atmosferycznych na terenie „Białego Zagłębia” (*Influence of cement-lime industry on the physico-chemical properties of precipitation in a „Biale Zagłębie” region*), *Monitoring Środowiska Przyrodniczego*, Vol. 13, s. 63–70.

Zarys treści: W pracy przeanalizowano wpływ przemysłu cementowo-wapienniczego na właściwości fizyczno-chemiczne wód opadowych. Do tego celu wytypowano obszar tzw. Białego Zagłębia, na terenie którego funkcjonują m.in. cztery zakłady cementowo-wapiennicze. Badania prowadzono na terenie Stacji Geoekologicznej Malik w ekosystemie leśnym. Analiza obejmowała transformację opadu w obrębie koron i pni drzew. Przeprowadzone badania wykazały, że pomimo spadku wielkości emisji pyłów do atmosfery w ostatnich 10 latach, funkcjonujący przemysł nadal oddziałuje na środowisko przyrodnicze tego obszaru, czego przykładem są utrzymujące się wysokie wartości pH wód opadowych.

Słowa kluczowe: alkalizacja, transformacja opadów, depozycja.

Key words: *alkalization, precipitation transformation, deposition.*

Rafał Kozłowski Uniwersytet Jana Kochanowskiego, Katedra Ochrony i Kształtowania Środowiska, ul. Świętokrzyska 15, bud. G, Kielce, e-mail: rafalka@ujk.edu.pl

1. Wprowadzenie

Prowadzone badania na terenie Białego Zagłębia, obejmujące zarówno elementy biotyczne, jak i abiotyczne wykazały, że wieloletnia emisja pyłów cementowo-wapienniczych znacznie wpłynęła na środowisko przyrodnicze tego obszaru, wywołując zmiany we właściwościach gleb, fizjonomii zbiorowisk leśnych i składzie chemicznym wód opadowych (Rzepa, 1982; Kowalkowski, Świercz, 1992, 1993; Kowalkowski i in., 1993; Kozłowski, 2000, 2005, 2006; Józwiak, Kozłowski, 2004; Świercz, 1997, 2005; Józwiak, Józwiak, 2009). Prowadzona eksploatacja surowców skalnych spowodowała również trwałe przekształcenia w krajobrazie, zaburzenia stosunków hydrologicznych oraz zajmowanie przestrzeni przez zwałowiska nadkładu i odpadów przerobczych (Szczepański, 1982; Kowalkowski, Rusinowski, 1991; Mochoń 1993; Szlagowski, 1993).

W wyniku przemian ustrojowych w naszym kraju również tu nastąpiły znaczące zmiany. Lata dziewięćdziesiąte ubiegłego stulecia przyniosły m.in. zmniejszenie produkcji materiałów budowlanych. Rozpoczęto również modernizację zakładów, a zwłaszcza zmodernizowano proces technologiczny oraz zastosowano coraz skuteczniejsze instalacje służące ochronie powietrza atmosferycznego. W związku z podjętymi działaniami teren ten przestał być uważany za obszar klęski ekologicznej.

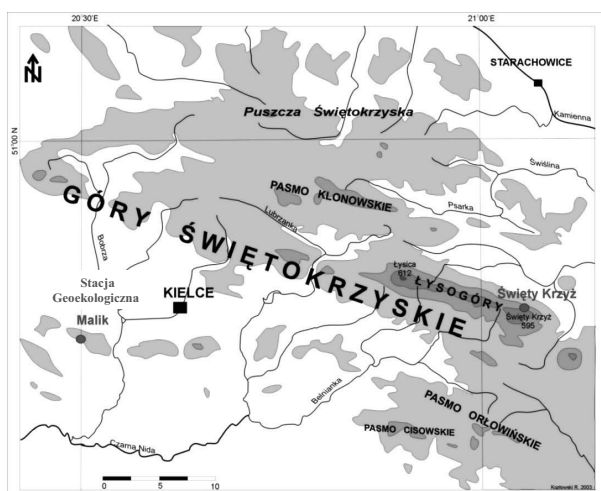
W chwili obecnej region świętokrzyski nadal charakteryzuje się dynamicznym rozwojem przemysłu cementowo-wapienniczego, ale jego poziom, zwłaszcza przemysłu cementowego, pozwala zaliczyć go do przodujących w Europie pod względem technologicznym i organizacyjnym. Dzięki wprowadzeniu nowoczesnych metod zarządzania i kontroli procesów technologicznych znacznie ograniczono negatywny wpływ na środowisko przyrodnicze (Raport, 2011).

Istotny wpływ na podjęte działania miały również badania prowadzone przez naukowców oraz instytucje zajmujące się ochroną środowiska. Dzięki nim w zakładach cementowo-wapienniczych zwrócono większą uwagę na problem negatywnego wpływu na otaczające tereny. Swój wkład miała również Stacja Geoekologiczna Katedry Ochrony i Kształtowania Środowiska Uniwersytetu Jana Kochanowskiego, która prowadzi badania na tym terenie od 1993 roku. Dzięki monitoringowi możliwe było śledzenie zmian zachodzących pod wpływem zmniejszającej się emisji pyłowej pochodzącej z zakładów cementowo-wapienniczych.

Celem niniejszej pracy jest określenie wpływu przemysłu cementowo-wapienniczego na właściwości fizyczno-chemiczne i chemiczne opadów atmosferycznych na terenie rezerwatu Jaskinia Raj, zlokalizowanego w odległości ok. 3 km od Cementowni Dyckerhoff, 5 km od Zakładów Przemysłu Wapienniczego Trzuskawica i ok. 15 od cementowni Lafarge w Małogoszczy. Do analizy wykorzystano dane z lat 2002–2011.

2. Obszar badań

Badania terenowe obejmujące pomiary jakości i ilości wód opadowych prowadzono na terenie Stacji Geoekologicznej Malik, będącej własnością Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach (ryc. 1). Stacja znajduje się na terenie Kieleckiego Okręgu Eksploatacji Surowców Węglanowych, zwanego również Białym Zagłębem (Zajac, 1979). Teren ten obejmuje rozległy obszar silnej koncentracji przemysłu wydobywczo-przetwórczego surowców węglanowych w regionie świętokrzyskim. Zlokalizowane są tu m.in. dwie cementownie (Dyckerhoff i Lafarge) oraz dwa zakłady wapiennicze (LHOIST Bukowa oraz ZPW Trzuskawica).



Ryc. 1. Lokalizacja obszaru badań
Fig. 1. Location of the research area

Analizowany obszar według regionalizacji fizyczno-geograficznej Kondrackiego (1988) należy do prowincji Wyżyny Polskie, podprowincji Wyżyna Małopolska i leży w obrębie dwóch makroregionów: południowo-wschodnia część należy do Wyżyny Kieleckiej, zaś północno-zachodnie partie obszaru znajdują się w obrębie Wyżyny Przedborskiej. Ponadto obszar ten położony jest w zasięgu dwóch mezoregionów: Pasma Przedborsko-Małogoskiego i Gór Świętokrzyskich, obejmując ich południowo-zachodnią część. Znaczna powierzchnia przynależy do subregionu Chęcińskiego i Łysogórskiego.

Średnia roczna temperatura powietrza w latach 1971–2005 wynosiła 7,8°C, a średnia roczna suma opadów atmosferycznych odpowiednio 654 mm na rok.

Poza ww. zakładami na analizowanym terenie zlokalizowane są również zakłady przemysłu wydobywczego, są to m.in. Kopalnia Jaźwica, należąca do Kieleckich Kopalni Surowców Mineralnych S.A., Zakład Górniczy Bolechowice, Kopalnia Wapienia Morawica S.A., kamieniołom w Kowali, Radkowicach oraz Nordkalk Sp. z o.o. Zakład Miedzianka.

3. Metody badań

Badania terenowe przeprowadzono w rezerwacie leśnym Jaskinia Raj w obrębie drzewostanu grabowo-bukowego i sosnowego. Pomiary wysokości opadu atmosferycznego wykonywano w przekroju pionowym: opad bezpośredni – opad podkoronowy – spływ po pniach. Opad bezpośredni pobierany był na wysokości 27 m, 1 m nad koronami drzew z wykorzystaniem deszczomierza Hellmana. Opad podkoronowy mierzono przy użyciu dziesięciu polietylenowych chwytaczy o średnicy 38 cm każdy, po 5 w każdym drzewostanie. Woda z chwytaczy zbierana była do kanistrów o pojemności 20 l. W celu uniemożliwienia przedostawania się materiału biologicznego do pojemnika, zastosowano siatkę muślinową. Chwytniki ustawiono w kształcie litery x, a wlot chwytacza znajdował się na wysokości 1 m nad powierzchnią gruntu. Do pomiaru ilości wody spływającej po pniach drzew zastosowano pierścienie gumowe zamontowane na wysokości pierśnicy. Badania te prowadzono na 5 sosnach, 3 grabach i 3 bukach o różnym obwodzie pni drzew.

Badania realizowano zgodnie z wytycznymi Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Polsce (Kostrzewski i in., 2006). Właściwości fizyczno-chemiczne (pH i SEC) oraz wysokość opadu mierzono w terenie w cyklu tygodniowym. Każdorazowo pobierano próbę wody, którą przewożono do labo-

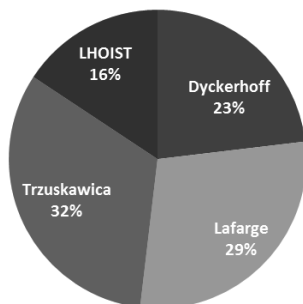
ratorium i przechowywano w temp. +4°C. W kumulowanych próbach miesięcznych analizowano skład chemiczny. Do analizy składu chemicznego wykorzystano metodę chromatografii jonowej.

Dane miesięczne z okresu 10 lat poddano opracowaniu statystycznemu z wykorzystaniem programu Statistica 10.0. Zgromadzone szeregi zmiennych analizowano na wstępie za pomocą testu W Shapiro-Wilka w celu określenia zgodności ich rozkładu z rozkładem normalnym. Następnie wyniki poddano analizie z zastosowaniem jednoczynnikowej analizy wariancji ANOVA oraz testowano *post-hoc* testem Tukeya. W obliczeniach średnich ważonych pH i konduktywności jako wagę wykorzystano sumę opadu.

Wielkość emisji pyłowej wyrażonej w Mg z czterech zakładów cementowo-wapienniczych (Lafarge w Małogoszczu, Dyckerhoff w Nowinach, ZPW w Trzuskawicy oraz LHOIST w Bukowie) uzyskano z Wojewódzkiego Banku Zanieczyszczeń Środowiska.

4. Analiza i dyskusja wyników

W latach 2002–2011 z czterech funkcjonujących zakładów cementowo-wapienniczych wyemitowano łącznie do atmosfery 4678,6 Mg pyłu. Procentowy udział poszczególnych zakładów przedstawiono na ryc. 2.



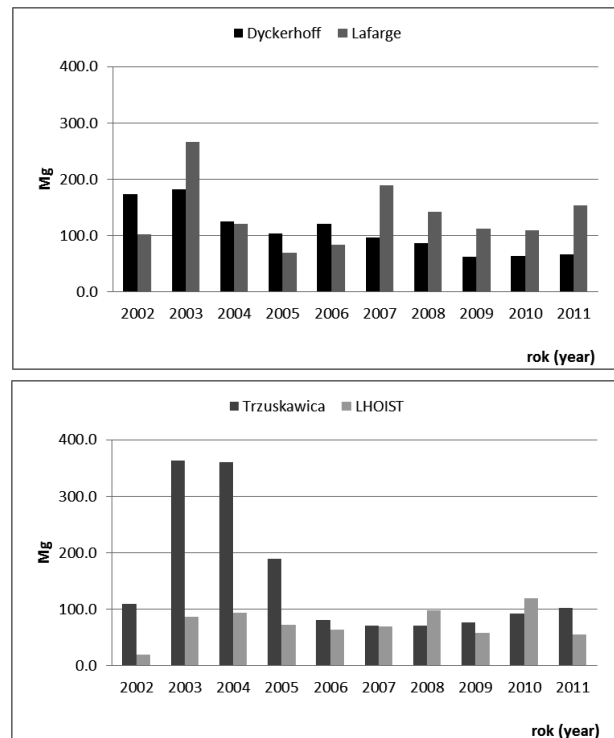
Ryc. 2. Procentowy udział zakładów w emisji pyłów cementowo-wapienniczych do atmosfery w latach 2002–2011

Fig. 2. The percentage of industrial plants in a emissions lime-cement dust into the atmosphere in the years 2002–2011

Spośród czterech rozpatrywanych zakładów przemysłowych w latach 2002–2011 największy udział w emisji pyłów cementowo-wapienniczych miał ZPW Trzuskawica – łącznie 1515,7 Mg. W tym samym okresie Lafarge Cement i Dyckerhoff Polska wypuściły do atmosfery odpowiednio 1345,64 i 1117,36 Mg pyłów. Najmniej, bo tylko 735,64 Mg, wyemitował LHOIST Bukowa.

Biorąc pod uwagę emisję pyłów cementowo-wapien-

niczych do powietrza atmosferycznego w poszczególnych latach, wart zauważenia jest fakt, że jedynie Dyckerhoff Polska systematycznie zmniejsza jej wielkość, zaś pozostałe zakłady odnotowują zarówno spadki, jak i wzrosty (ryc. 3).



Ryc. 3. Zmienność wielkości emisji pyłów w zakładach cementowo-wapienniczych w latach 2002–2011

Fig. 3. Variability of dust emissions in the cement and lime plants in the years 2002–2011

Badania prowadzone przez Mróz (2012) wykazały, że pyły pochodzące z tych zakładów cechowały się odczynem silnie alkalicznym – powyżej 11 jednostek pH. Najwyższe pH mierzone w wodzie miał pył pochodzący z cementowni Dyckerhoff Polska – 13,59. W przypadku polutantów z Lafarge Cement $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ wyniosło 11,82. Były to jednocześnie wartości najniższe. Zbliżone wyniki uzyskano z zakładu LHOIST Bukowa i ZPW Trzuskawica, wyniosły one odpowiednio $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 13,24 i 13,37. Zbliżone wartości pH pyłów zanotował Mandre (2009) w Estonii.

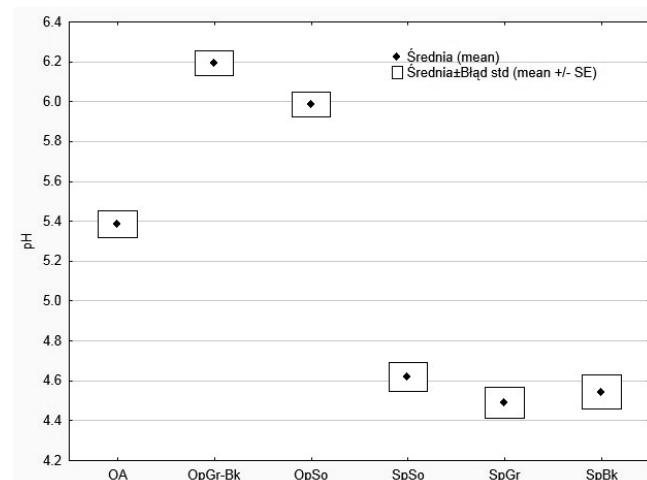
Jak wykazano w wielu badaniach, skutkiem kumulacji zorganizowanych, stale trwających emisji przemysłowych oraz niezorganizowanych, okresowych wtórnych zanieczyszczeń powietrza była i jest nadal (choć w mniejszym stopniu) alkalizacja wód opadowych. Są one jedną z dróg depozycji znacznych ilości składników nieorganicznych, m.in. do ekosystemów leśnych (Jóźwiak, Kozłowski, 2004). Badania prze-

prorowadzone przez tych autorów wykazały, że średnia ważona wartość pH wód opadu bezpośredniego w badanym geosystemie wynosiła 5,69 z wahaniami od pH 5,16 do pH 6,83, co było wartością o 0,61 jednostki pH wyższą od średniej zanotowanej w geosystemie narażonym na wielkoobszarowe zakwaszenie, zlokalizowanym w środkowej części Gór Świętokrzyskich. Znacznie wyższe wartości zanotował Tuulmets (1995) w Estonii w okolicach cementowni w miejscowości Kunda. W latach dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia w odległości od 0,5 do 5,0 km wartości pH opadu bezpośredniego zmieniały się w zakresie 7,5–7,7.

Przeprowadzona analiza wartości pH wykazała, że średnia ważona opadu atmosferycznego dla okresu badawczego wyniosła pH 5,39 (ryc. 4), z wahaniami wartości rocznej od 4,94 do 6,02. Dzięki przeprowadzonemu testowaniu statystycznemu z wykorzystaniem jednoczynnikowej analizy wariancji ANOVA, stwierdzono istotnie statystyczne różnice między wartościami pH opadów na terenie Stacji Geoekologicznej ($F = 6,49$; $p < 0,01$). Dzięki analizie *post-hoc* (test Tukeya) stwierdzono, że istotna różnica występuje w odniesieniu do opadów przenikających przez korony sosen, grabów i buków oraz spływających po pniach badanych drzew ($p < 0,001$). Brak jest natomiast istotnych statystycznie różnic pomiędzy wartością pH opadów podkoronowych w drzewostanie sosnowym i grabowo-bukowym ($p = 0,285$). Nie stwierdzono również istotnie statystycznych różnic pomiędzy wodami spływającymi po pniach drzew. Najwyższe średnie ważne wartości pH zanotowano w przypadku opadów przenikających przez korony drzewostanu grabowo-bukowego pH 6,18 oraz sosnowego pH 5,93. Znacznie niższe wartości stwierdzono w wodach spływających po pniach drzew, ze średnimi wahającymi się w wąskim zakresie od 4,42 do 4,64. Uzyskane wyniki, grupujące analizowane punkty na trzy grupy, świadczą o zróżnicowanych procesach kształtujących wartość pH opadów na analizowanym obszarze.

Stwierdzona alkalizacja opadów następująca po przejściu przez strefę koron uwarunkowana jest przez dwa czynniki. Pierwszy z nich to sucha depozycja na powierzchni liści pyłów cementowo-wapienniczych, które emitowane są przez pobliskie zakłady przemysłowe. Pyły te, charakteryzujące się wysokim pH, w chwili wystąpienia opadu zmywane są z powierzchni roślin, ostatecznie dostając się do gleby (Kozłowski, 2006). Stwierdzone różnice w wartościach pH opadu podkoronowego i spływu po pniach są zdecydowanie wyższe od tych między opadem przenikającym przez korony a opadem bezpośrednim. Uwarunkowane jest to faktem, że z całej sumy polutantów docierających

nad obszar badań, największa część pyłowych zanieczyszczeń alkalicznych przechwytywana jest przez korony drzew, zaś cząsteczki gazowe o działaniu zakwaszającym przedostają się do wnętrza lasu, co skutkuje wyraźnym obniżeniem pH wód spływających po pniach (Kozłowski, 2005).



Ryc. 4. Średnie miesięczne wartości pH wód opadowych w badanym drzewostanie (OA – opad atmosferyczny, OpGr-Bk – opad podkoronowy w drzewostanie grabowo-bukowym, OpSo – opad podkoronowy w drzewostanie sosnowym, SpSo – spływ po pniach sosny, SpGr – spływ po pniach grabu, SpBk – spływ po pniach buka)

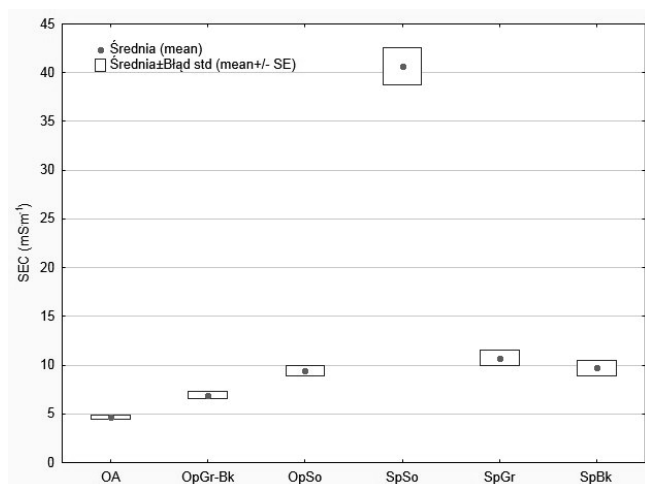
Fig. 4. Mean monthly values pH of precipitations in studied tree stand (OA – bulk precipitation, OpGr-Bk – throughfall in hornbeam-beech stand, OpSo – throughfall in pine stand, SpSo – stemflow pine, SpGr – stemflow hornbeam, SpBk – stemflow beech)

Roślinność pełni szczególną rolę na obszarach o znacznym wpływie antropopresji, ponieważ stanowi filtr dla zanieczyszczeń powietrza. Szacuje się, że zbiorowiska leśne redukują przemieszczanie się pyłów alkalicznych z ok. 15 km do ok. 1,4 km (Sporek, 1995). Spadek wielkości depozycji pyłów wraz z odległością zanotowali Mandre i in. (1995). Stwierdzili, że w odległości 1–2,5 km od zakładu roczna depozycja pyłów wynosiła 2,3–2,7 kg m⁻², podczas gdy w odległości 3–5 km od zakładu jedynie 0,3–1,0 kg m⁻². Poborowski i Staszewski (1996) zwracają uwagę, że całkowita powierzchnia liści (igieł) ma istotne znaczenie w zatrzymywaniu gazów i pyłów, ponieważ jest ona od kilku do kilkunastu razy większa niż powierzchnia gruntu zajmowanego przez drzewa. Mandre (2009) stwierdził, że długoterminowa depozycja pyłów znacząco wpływa na skład chemiczny igieł sosny zwyczajnej. W wyniku depozycji alkalicznej igły znajdujące się w górnej części korony drzewa odznaczały się wyższymi stężen-

niami N, C, Ca i Mg oraz niższymi K i P w stosunku do dolnej części korony. Wielu autorów wykazało również, że depozycja pyłów powoduje zaburzenia w metabolizmie i wzroście roślin (Klůšeiko, 2003). Ponadto w igłach następuje również obniżenie poziomu rozpuszczalnych cukrów w łodygach (Andre, 2002), degradacja chlorofilu (Kangur, 1988) oraz zmniejszenia glukozy i fruktozy w igłach (Klůšeiko, 2003). Ponadto depozycja pyłów do gleb doprowadzić może do ich alkalizacji (Jůźwiak, Kozłowski, 2004; Świercz, 2006). Nadmierny dopływ substancji odżywczych do ekosystemu wprowadzić może zakłócenia w procesach odżywiania roślin (Marschner, 2002).

Oprócz wspomnianego mechanicznego zatrzymywania pyłów, gromadzenie zanieczyszczeń gazowych może odbywać się przez adsorpcję, absorpcję oraz rozpuszczanie w roztworze wodnym. Pochłanianie koronowe może mieć istotne znaczenie przy krążeniu biogenów oraz zanieczyszczeń wewnątrz ekosystemu leśnego (Grodzińska, Laskowski, 1996).

Zarówno pH, jak i przewodność elektrolityczna wód opadowych po przejściu przez strefę koron i pni drzew ulegały znaczącym zmianom. W okresie badawczym średnie roczne wartości przewodności w opadzie bezpośrednim kształtowały się w zakresie od 2,61 do 5,48 mS m⁻¹ przy średniej wynoszącej 3,93 mS m⁻¹. Znacznie bardziej zmineralizowany był opad przenikający przez korony drzew (ryc. 5). Notowane wartości SEC w wodach opadu podkoronowego pod sosną były prawie dwukrotnie wyższe, a pod koronami grabów i buków 1,4 raza. Średnia ważona wyniosła odpowiednio 7,69 i 5,57 mS m⁻¹.

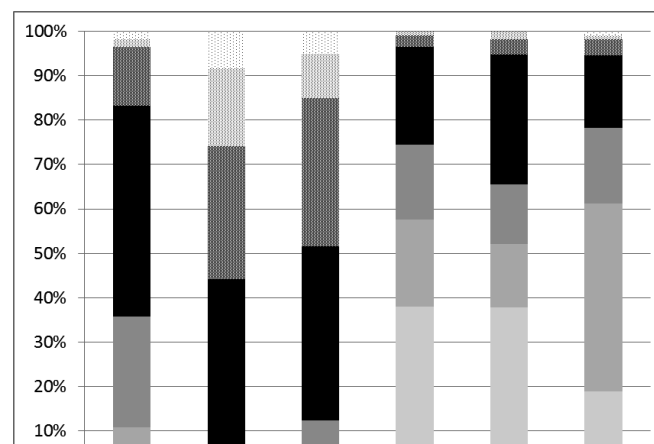


Ryc. 5. Średnie miesięczne wartości SEC wód opadowych w badanym drzewostanie
 Fig. 5. Mean monthly values of conductivity of precipitations in studied tree stand

Specyficzny charakter miały wody spływające po pniach drzew, gdzie zanotowane wartości SEC były wielokrotnie wyższe od wód na wejściu. W wodach spływających po pniach sosen stwierdzono ponad 9-krotny wzrost przewodności elektrolitycznej (35,97 mS m⁻¹), po pniach grabów i buków 1,8-krotny.

Wyniki testowania z wykorzystaniem jednoczynnikowej analizy wariancji ANOVA wykazały istotne statystyczne różnice pomiędzy wartościami SEC wód opadowych w obrębie analizowanego drzewostanu (F = 68,15; p < 0,01). Dzięki analizie *post-hoc* (test Tukeya) stwierdzono istotne różnice w wartościach dla opadów przenikających przez korony sosen (p = 0,002) oraz dotyczące spływu po pniach (p < 0,001). Brak natomiast istotnych różnic dla opadu podkoronowego w drzewostanie grabowo-bukowym (p = 0,462).

Przeprowadzona ocena opadów bezpośrednich pod względem pH i SEC (Jansen i in., 1988) pozwoliła je zakwalifikować do opadów o odczynie „normalnym” i przewodności „znacznie podwyższonej”. Opady o pH normalnym (pH 5,1–6,1) stanowiły 47,5% miesięcznych wartości (ryc. 6). Opady określone mianem „obniżone” (pH < 5,1) stanowiły łącznie 35,8%, a „podwyższone” (pH > 6,1) 16,7%.



Ryc. 6. Częstotliwość opadów o określonym pH
 Fig. 6. Precipitation frequency at a defined pH

Odmienne charakter miały wody opadu podkoronowego w obu drzewostanach. Największy udział miały tu bowiem opady o odczynie „podwyższonym”, odpowiednio pod koronami drzewostanu grabowo-bukowego 55,8% i sosnowego 48,4%. Najmniejszy udział w latach 2002–2011 miały opady o odczynie „obniżonym”. W drzewostanie grabowo-bukowym stanowiły one jedynie 6,7%, a w sosnowym 12,4%. Wartości te potwierdzają zdolność drzewostanów do zatrzymywania pyłów w koronach drzew. Zdolność ta jest powszechnie wykorzystywane w okolicach zakładów przemysłowych,

w których dochodzi do tzw. wtórnej emisji pyłów.

Odmienny charakter mają wody spływające po pniach drzew. W przypadku wód spływających po bukach 65,5% wyników pH zakwalifikowano jako opady o odczynie „obniżonym”. Udział tych opadów wzrasta w przypadku wód spływających po grabach i sosnach i wynosi odpowiednio 74,6% i 78,4%. Stwierdzona prawidłowość wynikać może m.in. z bardziej zróżnicowanej morfologicznie kory tych drzew. Zwłaszcza pień sosny z korą, w części dolnej, głęboko spękana, płytkowatą jest doskonałym miejscem deponowania znajdujących się w hylosferze gazów, powodujących zakwaszenie wód. Warto bowiem zwrócić uwagę, że w procesie technologicznym produkcji cementu poza pyłami do atmosfery emitowane są również znaczne ilości SO₂ (Małecki, 2000).

5. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonej analizy należy stwierdzić, że:

1. Przemysł cementowo-wapienniczy, pomimo zanotowanego w ostatnich 8–9 latach spadku wielkości emisji pyłów do atmosfery, nadal modyfikuje właściwości fizyczno-chemiczne wód opadowych.
2. Zgodnie z klasyfikacją Jansen i in. (1988) wody opadu bezpośredniego zaliczyć można do normalnych pod względem pH i znacznie podwyższonych pod względem przewodności elektrolitycznej.
3. W wodach opadu podkoronowego notuje się wzrost wartości pH w odniesieniu do wód opadu atmosferycznego. Zjawisko to wynika ze zmywania pyłów zdeponowanych w koronach drzew.
4. Wody spływające po pniach drzew ulegały zakwaszeniu, co wynikać może z obecności substancji zakwaszających (SO₂) w powietrzu atmosferycznym

6. Literatura

- Grodzińska K., Laskowski R., 1996:** *Ocena stanu środowiska i procesów zachodzących w lasach zlewni potoku Bratanica (Pogórze Wielickie, Polska południowa)*, PIOŚ, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
- Jansen W., Block A., Knaack J., 1988:** *Acid rain. History, generation, results*. Aura, 4: 18.
- Jóźwiak M., Kozłowski R., 2004:** *Transformacja opadów atmosferycznych w wybranych ekosystemach w Górach Świętokrzyskich*, Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Vol. 5: 199–217.

Jóźwiak M.A., Jóźwiak M., 2009: *Influence of cement industry on accumulation of heavy metals in bioindicators*. Ecological Chemistry and Engineering S, Vol. 16 (3): 323–334.

Kangur A., 1988: *Changes of chlorophyll content in pine needles in the industrial region of northern Estonia*. W: Frey T. (eds.) *Problems of contemporary ecology*, Tartu State University, Tartu: 53–57.

Klößeiko J., 2003: *Carbohydrate metabolism of conifers in alkalised growth conditions*. Tartu: Estonian Agricultural University: 1–183.

Kondracki J., 1988: *Geografia fizyczna Polski*, PWN, Warszawa

Kostrzewski A., Kruszyk R., Kolander R., 2006: *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Zasady organizacji, system pomiarowy, wybrane metody badań*. <http://www.staff.amu.edu.pl/~zmsp/dok.html>.

Kowalkowski A., Rubinowski Z., 1991: *Ocena skutków oddziaływania przemysłu wydobywco-przetwórczego surowców skalnych i komunalnej oczyszczalni ścieków w Sitkowiec na środowisko przyrodnicze w centralnej części Kieleckiego Okręgu Eksploatacji*. Synteza, KTN, Kielce: 1–101.

Kowalkowski A., Świercz A., 1992: *Skąły macierzyste gleb litogenicznych i autogenicznych Góry Malik w Paśmie Bolechowickim w Górach Świętokrzyskich*, Rocznik Świętokrzyski, 19, KTN, Kielce: 91–105.

Kowalkowski A., Świercz A., 1993: *Zmiana kwasowości gleb leśnych pod wpływem emisji przemysłu wapienniczo-cementowego w zlewni rzeki Bobrzyzki*. Monitoring Środowiska Regionu Świętokrzyskiego, KTN, Kielce 1: 109–115.

Kowalkowski A., Świercz A., Wieczorek E., 1993: *Zmiany warunków glebowych w borach sosnowych pod wpływem emisji alkalicznych na terenie Kieleckiego Okręgu Eksploatacji Surowców Węglanowych*. Monitoring Środowiska Regionu Świętokrzyskiego KTN, Kielce, 1: 117–121.

Kozłowski R., 2000: *Przyczynek do poznania zmian właściwości chemicznych wód opadowych w ekosystemie leśnym pod wpływem emisji alkalicznej*, Materiały 49 Zjazdu PTG, Szklarska Poręba 20–24.09.2000: 133–135.

Kozłowski R., 2005: *Dynamika chemizmu wód opadowych w ekosystemie w południowo-zachodniej części Gór Świętokrzyskich*. W: Kostrzewski A., Kolander R. (red.), *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Funkcjonowanie ekosystemów Polski w warunkach zmian klimatu i różnokierunkowej antropopresji*, BMS, Poznań: 143–158.

- Kozłowski R., 2006:** *Właściwości fizykochemiczne i chemizm opadu podkoronowego na terenie „Białego Zagłębia”*, Monitoring Środowiska Przyrodniczego, vol. 7: 41–49.
- Malecki Z., 2000:** *Ochrona i zarządzanie środowiskiem*, Wyd. Śląskiej Wyższej Szkoły Zarządzania, Katowice.
- Mandre M., 2002:** *Relationship between lignin and nutrients in Picea abies L. under alkaline air pollution*. Water, Air and Soil Pollution, 133: 361–377.
- Mandre M., 2009:** *Vertical gradients of mineral elements in Pinus sylvestris crown in alkalized soil*. Environ. Monit. Assess., 159: 111–124.
- Mandre M., Rauk J., Poom K., Pöör M., 1995:** *Estimation of economical losses of forests and quality of agricultural plants on the territories affected by air pollution from cement plant in Kunda*. W: Kommonen F., Estlander A., Roto P. (eds.), Economic evaluation of major environmental impacts from the planned investments at Kunda Nordic Cement Plant in Estonia. Report IFC, App. 1. Washington: Soil and Water Ltd., Tampere Regional Institute of Occupational Health, International Finance Corporation.
- Marschner H., 2002:** *Mineral nutrition of higher plants*. London Academic: 1–889.
- Mochoń A., 1993:** *Zdjęcie hydrochemiczne górnej części zlewni Bobrzyczki w Górach Świętokrzyskich*, Monitoring Regionu Świętokrzyskiego 1: 91–100.
- Poborski P. S., Staszewski T., 1996:** *Przepływ zanieczyszczeń powietrza w ekosystemie leśnym*. W: Siwecki R. (red.), Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe, III Krajowe Sympozjum Kórnik, 23–26 maja 1994, T. II: 505–512
- Raport 2011:** *Stan środowiska w województwie świętokrzyskim w latach 2009–2010*. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Kielce.
- Rzepa C., 1982:** *Wpływ przemysłowych zanieczyszczeń atmosfery i powierzchni terenu na właściwości fizyczno-chemiczne wód krasowych na przykładzie rezerwatu przyrody „Jaskinia Raj”*, Rocznik Świętokrzyski, T. X: 49–67.
- Sporek K., 1995:** *Odczyn kory sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris L.) wskaźnikiem zanieczyszczeń atmosfery pyłami alkalicznymi*, Sylwan, R. 139, 9: 97–104.
- Szczepański A., 1982:** *Prognoza wpływu głębokiej eksploatacji odkrywkowej surowców skalnych na stosunki wodne w południowo-zachodniej części Gór Świętokrzyskich*. Rocznik Świętokrzyski, t. X: 23–38, KTN, Kielce.
- Szlagowski A., 1993:** *Zmiany środowiska przyrodniczego spowodowane działalnością górnictwem w monitoringu regionalnym i lokalnym*. Monitoring Środowiska Regionu Świętokrzyskiego 1: 39–46.
- Świercz A., 1997:** *Wpływ emisji alkalicznej na gleby i bory sosnowe w „Białym Zagłębiu”*, KTN, Kielce: 1–205.
- Świercz A., 2005:** *Analiza procesów glebowych i przekształceń roślinnych w zakwaszonych siedliskach leśnych regionu świętokrzyskiego*, Zeszyty Naukowe Komitetu „Człowiek i Środowisko” przy Prezydium PAN, 36: 1–215.
- Świercz A., 2006:** *Suitability of pine bark to evaluate pollution caused by cement-lime dust*. Journal of Forest Science, 52: 93–98.
- Tuulmets L., 1995:** *Chemical composition of precipitation*. W: Mandre M. (eds.), Dust pollution and forest ecosystems. A study of conifers in an alkalized environment. Publ. 3. Tallinn Institute of Ecology: 23–32.
- Zajac R., 1979:** *Przyczyny i stan zagrożenia atmosfery w „Białym Zagłębiu”*, Prace Mater. Inst. Gosp. SGPiS 6, Warszawa.

INFLUENCE OF CEMENT-LIME INDUSTRY
ON THE PHYSICO-CHEMICAL
PROPERTIES OF PRECIPITATION
IN A „BIAŁE ZAGŁĘBIE” REGION

Summary

This paper presents the impact of cement-lime industry on the physico-chemical properties of precipitation. Were selected the area of “Białe Zagłębie”, where operate 4 cement-lime plants and Geoecological Station. The study was conducted in forest ecosystem and analyzed the precipitation transformation within the crowns and trunks of trees in the period 2002–2011. It was found that the maximum dust emission from cement-lime plants occurred in 2003, it was 898,7 Mg. The study showed, that emissions of dust into the atmosphere decrease in the last 10 years, but the industry still affects the natural environment of this area, as evidenced by the high value of pH in rainwater. The weighted average annual pH value on precipitation was 5,35, with annual fluctuations from 4,94 to 6,02. Significantly higher pH values were observed in the troughfall, in the hornbeam-beech stand this value was 6,16 and 5,93 in the pine stand.