

ZNACZENIE OSADÓW MGIELNYCH W DEPOZYCJI ZANIECZYSZCZEŃ W GEOEKOSYSTEMACH GÓRSKICH

Rafał Kozłowski

Kozłowski R., 2014: Znaczenie osadów mgielnych w depozycji zanieczyszczeń w geoekosystemach górskich (*The importance of fog deposits in pollutants deposition in mountains geoecosystems*), Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Vol. 16, s. 29–37.

Zarys treści: W artykule przedstawiono rolę osadów mgielnych w depozycji zanieczyszczeń. Rola tego źródła jest niezwykle istotna na terenach górskich, które odznaczają się wyższą częstotliwością występowania mgieł i chmur niskiego pułapu, w odniesieniu do obszarów niżej położonych. W artykule omówiono również urządzenia i metody służące do pomiaru wielkości depozycji pochodzącej z osadów mgielnych, dokonano przeglądu międzynarodowych projektów realizujących badania w tym zakresie.

Słowa kluczowe: kolektor osadów mgielnych, zanieczyszczenie, depozycja

Key words: cloud water collector, pollution, fog deposition

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

1. Wprowadzenie

Zanieczyszczenia emitowane do atmosfery w wyniku działalności człowieka oraz procesów naturalnych mogą być transportowane na odległości dochodzące nawet do 2000 km (Overrein (1976). Podlegają one różnym procesom chemicznym, ale ostatecznie powracają do ziemi na drodze **depozycji suchej** oraz **mokrej**, do której zaliczyć można *depozycję mgielną*, zwaną w literaturze anglojęzycznej: *moist deposition* (Kroll, Winkler 1989), *fog deposition* (Klemm, Wrzesinsky 2007), *occult deposition* (Beiderwieden i in. 2007) lub *cloud water deposition* (Murray i in. 2013). Osady mgielne efektywnie oczyszczają atmosferę z zanieczyszczeń, deponując je do geoekosystemów. Skuteczne przechwytywanie kropelek pary wodnej z chmur/mgieł przez roślinność,

zwłaszcza drzewa iglaste, stwarza niebezpieczeństwo dla ich stanu zdrowotnego, szczególnie w geoekosystemach górskich (Kroll, Winkler 1989).

Pierwsze badania naukowe dotyczące wielkości depozycji wody z mgły prowadzono pod koniec XIX w. w lasach USA położonych na wybrzeżu i w górach (Carpenter 1899) oraz na początku XX w. w Europie (Niemcy) (Marloth 1906, Linke 1916). W Europie badania składu chemicznego wód z osadów mgielnych prowadzono w Niemczech na przełomie lat 50. i 60. (Mrose 1966). Badania naukowe wykazały, że średnica kropelek pary wodnej zawartej w chmurach waha się zazwyczaj **od 1 do 100 μm** (Acker i in. 2003), z największym udziałem **od 1 do 20 μm** (Wieprecht i in. 2005). W zależności od kierunku napływu mas powietrza zawierają mogą **wysokie** stężenia m.in. **substancji zakwaszają-**

ych (Mohnen, Vong 1993) i są zazwyczaj **od 5 do 20 razy** bardziej kwaśne niż woda opadowa (Anderson i in. 1999). Zwrócono również uwagę, że szczególnie w ekosystemach górskich depozycja mgielna może **przewyższać** wielkość depozycji z opadem atmosferycznym (Mohnen, Vong 1993).

Jednym z czynników prowadzących do wymierania lasów w Europie Środkowej i USA w latach 70. ubiegłego stulecia (Blank 1985), była kwaśna depozycja mgielna (Lovett 1984). Również w rejonach uprzemysłowionych zachodzi potrzeba ciąglego monitorowania poziomu zanieczyszczeń występujących w powietrzu, ponieważ ich stężenia są dużo większe niż na innych obszarach.

Zamieranie lasów w górach Europy Środkowej oraz w Ameryce Północnej doprowadziło do zwrócenia większej uwagi na ich stan zdrowotny m.in w USA, Kanadzie oraz w Europie (np. w Niemczech). W związku z powyższym realizowano projekty dotyczące monitoringu chemizmu osadów mgielnych na obszarach górskich. W latach 80. XX w. w USA realizowano *Cloud Water Project* (CWP) (Wheaters i in. 1988; Weathers i in. 1995). W latach 1985–1991 w południowo-wschodniej części prowincji Quebec (Kanada) w lasach na obszarach górskich realizowano projekt *Chemistry of High Elevation Fog* (CHEF) (Schemenauer 1986). Z kolei w okresie od 1986 do 1989 roku na terenie wschodniej części USA (obszary górskie) realizowano *Mountain Cloud Chemistry Program* (MCCP), (Mohnen, Kadlec 1989, Anderson i in. 1999). W ramach *Integrated Forest Study* (IFS) od 1986 roku w Europie (Niemcy) oraz w USA prowadzono badania osadów mgielnych obejmujących obszary leśne (Lovett 1988). Od 1993 roku w USA (U.S. EPA) funkcjonuje program MADPro (*Mountain Acid Deposition Program*), obejmujący poza badaniami składu chemicznego osadów mgielnych, projektowanie oraz wdrażanie systemów automatycznego zbierania depozycji mgielnej (Anderson i in. 1999). Z kolei w latach 1994–1996 w Górach Harz (Niemcy) prowadzono badania w ramach projektu *Cloud Chemistry Measurements Programme* (Möller i in. 1996). Uzyskane wyniki w ramach realizacji ww. projektów, wykazały, że osadu mgielne stanowią istotne źródło dostawy substancji do ekosystemów leśnych.

2. Metody poboru i obliczania wysokości wody pochodzącej z osadów mgielnych

2.1. Kolektory pasywne

Jednym z pierwszych urządzeń wykorzystywanych do pomiaru osadów mgielnych był deszczomierz

Hellmana z nasadką Grunowa. Nasadka Grunowa ma kształt walca, o wysokości 20 cm, średnicy 10 cm, zbudowanego z siatki drucianej, przytwierdzonej do trzech sprężystych, stalowych drutów, które zaczeplone są na deszczomierzu Hellmanna. Grubość drutu wynosi 0,25 mm, wymiary oczek siatki 1,5x1,5 mm (Ermich i in. 1967, 1972; Ermich, Orlicz 1975; Feliksik, Smoła 1999). Innym typem urządzenia pasywnego są osadomierze, w których rolę receptora pełni sieć żyłek (Falconer, Falconer 1980; Schemeneuer 1986; Zier 1992) lub siatka nylonowa lub polipropylenowa (Schemenauer, Cereceda 1994). Takie kolektory pasywne wykorzystywano m.in. w Austrii (Kalin i in. 2002), Chile (Beiderwieden i in. 2005), Japonii (Watanabe i in. 2006), Niemczech (Munzert 1988; Zier 1992; Zimmermann, Zimmermann 2002; Lange i in. 2003), Polsce (Ermich i in. 1967; Błaś i in. 2010) oraz w Wielkiej Brytanii (Dore i in. 2001). Błaś i in. (2008) do pobierania próbek na szczycie górskim (Szrenica, Karkonosze) wykorzystali np. pasywny kolektor osadu ciekłego zbudowany z 130 żyłek o długości 16,5 cm, średnicy 0,45 mm i całkowitej powierzchni recepcyjnej 90 cm². Próbnik umieszczony został na wysokości 180 cm. W celu rozgraniczenia osadu ciekłego od opadu atmosferycznego zastosowano zadaszanie i wąską rynienkę zbierającą ściekający opad. Woda mgielna została przelana z próbniaka do pojemników wykonanych z polipropylenu lub polietylenu o pojemności 120 cm³. Istotnym problemem przy zastosowaniu tego typu urządzeń są m.in. niewielkie objętości zbieranych próbek, co wymaga zastosowania odpowiednich technik analitycznych. Poza obszarami górskimi kolektory do poboru prób osadów mgielnych stosowany jest na terenach nadmorskich. W Polsce takie badania prowadzone są np. na terenie wyspy Wolin w Stacji Geoekologicznej „Biała Góra” należącej do Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu (fot. 1).

Innym przykładem kolektorów pasywnych są siatki wykonane z propylenu. Tego typu kolektory wykorzystywano m.in. w Ameryce Południowej, Afryce oraz w Azji (Schemenauer 1994). Do poboru prób stosuje się kolektory, których powierzchnia przechwytyjąca wynosi nawet 40–48 m² zlokalizowana 2 m nad powierzchnią gruntu. Badania wykazały, że z każdego 1 m² pozyskać można nawet do 10 litrów wody na dzień, a w sprzyjających warunkach wartość ta wynosi nawet od 30 do 40 litrów z m² na dzień (Schemenauer 1994). W latach 1987–2002 w Chile (El Tofo) zainstalowano system 100 kolektorów mgielnych na obszarze, na którym roczna suma opadów wynosi poniżej 60 mm. Średnio każdego dnia w roku kolektory



Fot. 1. Kolektor pasywny do pobory prób osadów mgielnych (fot. J. Tylkowski)
Photo 1. Passive collector to collecting cloud/fog water (photo J. Tylkowski)

dostarczały do 15000 litrów wody pitnej, z maksimum powyżej 100 000 litrów na dzień (fot. 2).

Omawiając tego typu kolektory, należy również podkreślić rolę i znaczenie organizacji o nazwie *FogQuest* (www.fogquest.org). Jest ona organizacją charytatywną *non-profit*, założoną w 2000 roku, zare-



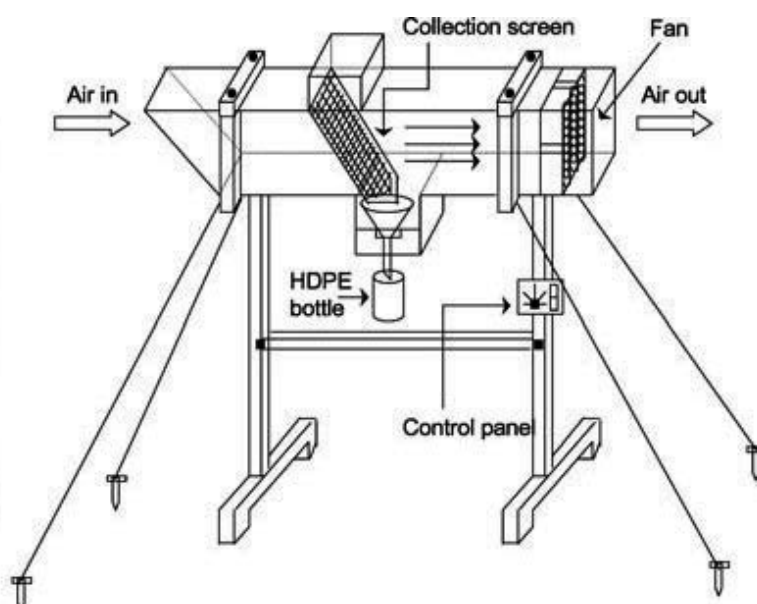
Fot. 2. Kolektor pasywny do poboru prób osadów mgielnych (Chile) (www.fogquest.org)
Photo 2. Passive collector to collecting cloud/fog water (Chile) (www.fogquest.org)

jestrowaną w Kanadzie do planowania i realizacji projektów wodnych z wykorzystaniem siatek na obszarach wiejskich w krajach rozwijających się.

2.2. Kolektory aktywne

Inna grupą urządzeń służących do poboru prób osadów mgielnych są kolektory aktywne (ryc. 3).

Do tej grupy zaliczyć można m.in. Caltech Active Strand Cloudwater Collector (CASCC), jego kompaktową wersję CASCC2 oraz Caltech Heated Rod Cloudwater Collector (CHRCC) (Demoz i in. 1996) (fot. 3). Ich niewątpliwą zaletą jest możliwość poboru próbek w różnych frakcjach wielkości kropli.



Ryc. 3. Schemat kolektora automatycznego do poboru prób osadów mgielnych (Man-Goo i in. 2006)
Fig. 3. Active collector to collecting cloud/fog water (Man-Goo et al. 2006)



Fot. 3. Kolektor CHRCC (po lewej) oraz CASCC2 (wersja 2) (po prawej) (Collet i in. 2002).

photo 3. The Caltech Heated Rod Cloudwater Collector (CHRCC) (left) and the Caltech Active Strand Cloudwater Collector version 2 (CASCC2) (right) (Collet i in. 2002).

W analizatorze CASCC2 powietrze zawierające krople wody jest zasysane przez wentylator do wnętrza urządzenia. Kropelki wody zbierane są na sześciu rzędach teflonowych nici o średnicy 508 μm . Urządzenie posiada 50% wydajność dla kropli o średnicy powyżej 3,5 μm i 80% dla kropli o średnicy powyżej 10 μm . W analizatorze CASCC pobór próby odbywa się w dwóch etapach. Pierwszy, tzw. wlot, składa się z czterech grup po osiem teflonowych prętów o średnicy 12,7 mm. Należy podkreślić, że są one przesunięte względem siebie, tak aby żaden nie znajdował się w cieniu poprzedniego. Na tym etapie urządzenie posiada 50% teoretyczną skuteczność w poborze kropli o średnicy do 23 μm . Drugi etap polega na poborze prób przez sześć rzędów zawierających po 102 teflonowe nici o średnicy 508 μm . Poprzez usunięcie z powietrza w pierwszym etapie kropli wody w drugim etapie istnieje możliwość gromadzenia próbek wody pochodzącej z mgły/chmury o średnicy kropli do 4 μm . Teoretyczna wydajność wynosi 50%. Należy podkreślić, że zarówno w kolektorze CASCC2, jak i CASCC teflonowe nici nachylone są pod kątem 35° od pionu w celu zwiększenia skuteczności przechwytywania kropel. Zebrane w ten sposób krople pod wpływem sił grawitacji spływają w dół do korytka wykonanego z teflonu, skąd przez rurkę trafiają do zbiorczego pojemnika polietylenowego. Caltech Heated Rod Cloudwater Collector (CHRCC) dzięki możliwości ogrzewania prętów (przepływ prądu we wnętrzu metalowego pręta otoczonego teflonem) daje również możliwość analizy sadzi (Demoz i in. 1996).

2.3. Obliczenie ilości osadów mgielnych na podstawie bilansu wodnego drzewostanu

Metoda polega na obliczeniu różnicy pomiędzy opadem podkoronowym i spływającym po pniach

drzew oraz intercepcją a opadem bezpośrednim (Lovett 1988; Shubzda i in. 1995).

Metoda ta ma kilka ograniczeń związanych z obliczaniem wielkości intercepcji, a w przypadku analizy składu chemicznego istnieje konieczność uwzględnienia suchej depozycji oraz procesów jonowymiennych w układzie woda-roślina. Wielkość depozycji mgielnej oblicza się według wzoru:

$$F = S + T + I - R$$

gdzie:

F – depozycja mgielna, S – spływ po pniach, T – opad podkoronowy, I – intercepcja, R – opad atmosferyczny.

Metoda ta wykorzystywana była w badaniach prowadzonych m.in. na Hawajach (Heath, Huebert 1999), w Czechach (Elias i in. 1995), Niemczech (Lange i in. 2003) oraz w Szwajcarii (Michna i in. 2015).

2.4. Obliczenie ilości osadów mgielnych na podstawie badań modelowych

Do obliczenia stosowano m.in. wzór zaproponowany przez Podzimka (1959):

$$dM = K \cdot A \cdot w \cdot u \cdot dt$$

gdzie:

dM – ilość wody, A – powierzchnia ciała, na którym zachodzi osadzanie, K – współczynnik (rodzaj powierzchni, struktura, kształt ciała), w – wodność mgły/chmury, u – prędkość wiatru, dt – czas pomiaru.

2.5. Model depozycji mgielnej Lovett (1984)

W obliczeniach uwzględnia się prędkość wiatru nad koronami drzew, pojemność wodną chmury, roz-

kład wielkości kropel oraz parametry roślinności (np. wskaźnik LAI). Model ten jest szeroko stosowany i modyfikowany dla różnych drzewostanów iglastych (Lovett, Reiners 1986; Pahl, Winkler 1995; Elias i in. 1995; Pahl 1996).

3. Znaczenie osadów mgielnych w przychodzie wody w geosystemach górskich

Dotychczasowe badania dowodzą, że w geosystemach górskich w bilansie wodnym poza opadem atmosferycznym istotne znaczenie mają osady mgielne.

W Polsce badania prowadzono, m.in. w:

- Tatrach (Ermich i in. 1967, Ermich, Orlicz 1975),
- Beskidzie Sądeckim (Feliksik, Smoła 1999),
- Beskidzie Małym i Gorcach (Ermich i in. 1972),
- Sudetach (Woźniak 1991, Sobik i in. 1998, Błaś, Sobik 2002, Błaś i in. 2008) oraz
- Górach Świętokrzyskich (Kozłowski 2003, 2009, 2013).

Potwierdziły one wyniki badań prowadzonych w innych częściach świata o znaczącym udziale tego źródła w przychodzie wody na obszarach górskich (m.in. Schemenauer i in. 1995; Dore i in. 2001; Lange i in. 2003; Aikawa i in. 2007). Prowadzone badania wykazały, że ilość wody pochodzącej z osadów mgielnych zależy m.in. od częstości występowania mgieł/chmur, rzeźby i topografii terenu (Feliksik, Smoła 1999), ekspozycji (Ermich, Orlicz 1975), wysokości nad poziomem morza (Lindberg, Owens 1993, Kozłowski 2003), zawartości wody w chmurze (Ermich, Orlicz 1975), wielkości kropli (Herckes i in. 2002), prędkości wiatru (Ermich i in. 1972, Błaś, Sobik 2002), pokrycia terenu (Ermich i in. 1972, Błaś, Sobik 2002) oraz tzw. „efektu brzegowego” lasu (Błaś, Sobik 2002, Kozłowski 2013). W Polsce roczny przychód wody z osadów mgielnych w Sudetach wynosić może **2250 mm**, a w Tatrach **2496 mm**, co stanowi ok. **150%** rocznej sumy opadów atmosferycznych (Błaś, Sobik 2002, Ermich, Orlicz 1975). Z kolei w Beskidzie Małym, Sądeckim oraz w Gorcach ilość wody z osadów mgielnych waha się od 473 mm do 495 mm, co stanowi odpowiednio 43 i 54% opadów atmosferycznych (Ermich i in. 1972). Badania Grunowa (1955), Baumgartnera (1958) oraz Lovetta i Kinsmana (1990) wykazały, że osady mgielne stanowią istotne źródło w bilansie wodnym na obszarach górskich położonych na wysokości powyżej **1000 m n.p.m.** Lange i in. (2003) podają, że w górach Erzgebirge (Niemcy) wysokość ta wynosi **800 m n.p.m.**, podobnie jak w górach Fichtelgebirge (Wrzesiński, Klemm 2000). Z kolei Elias i in. (1995) podają, że w górach Sumava (Czechy) wysokość

ta wynosi **600 m n.p.m.** Zdaniem Ermicha i in. (1972), Ermicha i Orlicza (1975), znaczące ilości wody z osadów mgielnych uzyskują obszary położone:

- w Tatrach powyżej **1000 m n.p.m.**,
- w Beskidach powyżej **750 m n.p.m.**

Według Woźniaka (1991) przychód wody z osadów mgielnych w Sudetach rozpoczyna się od wysokości **700 m n.p.m.**, ale występuje okresowo nawet od **500 m n.p.m.**

4. Rola osadów mgielnych w depozycji zanieczyszczeń

Na początku lat 80. ubiegłego stulecia Waldman i in. (1982) prowadząc badania w Południowej Kalifornii (780 m n.p.m.) stwierdzili, że woda pochodząca z mgły była **100 razy** bardziej kwaśna niż opad atmosferyczny. Hileman (1983) podaje, że woda pochodząca z mgły miała **pH 1,69**. Badania Schemenauer i in. (1995) wykazały, że najbardziej zakwaszone osady mgielne występują na terenach zurbanizowanych oraz w górach położonych w znacznej odległości od źródeł emisji. Z kolei badania m.in. Lin i Saxena (1991), Millera i in. (1993), Driscolla i in. (2001) oraz Andersona i in. (2006) w USA wykazały, że osady mgielne na obszarach górskich stanowią istotne źródło depozycji azotu oraz siarki. Udział ten waha się **od 25 do 50%**. Lovett (1984) prowadząc badania w USA stwierdził, że osady mgielne zwiększają depozycję zanieczyszczeń na obszarach górskich o **60%**. Pahl i in. (1994) na górze Kleiner Feldberg (840 m n.p.m.) wykazali, że ilość zanieczyszczeń deponowanych z osadami mgielnymi w lesie iglastym była nawet **6 razy** wyższa w porównaniu do opadu atmosferycznego. Fowler i in. (1988), prowadząc badania w północnej Anglii wykazali, że wraz ze wzrostem wysokości n.p.m. następuje wzrost stężeń badanych jonów. Na wysokości **847 m n.p.m.** notowane wartości były kilkakrotnie wyższe od zanotowanych na powierzchni zlokalizowanej na wysokości **250 m n.p.m.** Kalina i in. (2002) prowadząc badania w Alpach (Austria) stwierdzili wzrost ładunku azotu wraz z wysokością. Na powierzchni zlokalizowanej na wysokości **920 m n.p.m.** depozycja azotu wynosiła **18 kg•ha⁻¹**, w tym depozycja mgielna **1%**, a na wysokości **1758 m n.p.m.** **29 kg•ha⁻¹**, z **18%** udziałem depozycji mgielnej. Znacznie większe różnice w depozycji azotu z osadami mgielnymi zanotowali Miller i in. (1993) w Górach Whiteface (USA). Na wysokości 600 m n.p.m. depozycja wyniosła **7 kg•ha⁻¹**, a na wysokości 1275 m n.p.m. **30 kg•ha⁻¹**, z udziałem depozycji mgielnej odpowiednio **5 i 61%**.

5. Podsumowanie

Podsumowując, należy stwierdzić, że rola osadów mgielnych w depozycji zanieczyszczeń jest szczególnie ważna, zwłaszcza w geosystemach górskich. Wykazano, że w obszarach górskich woda pochodząca z osadów mgielnych jest wielokrotnie bardziej zanieczyszczona od opadu atmosferycznego w postaci deszczu lub śniegu, co w konsekwencji doprowadzić może do pogorszenia stanu zdrowotnego lub zamierania ekosystemów leśnych. Prowadzone badania w różnych częściach świata wykazały, że osady mgielne mogą stanowić ważną wodę pitną, szczególnie w obszarach z niskimi sumami opadów atmosferycznych.

Liczne doniesienia naukowe wykazują potrzebę prowadzenia badań obejmujących swym zasięgiem nie tylko depozycję suchą czy też moką, ale również tą związaną z osadami mgielnymi. Wyniki badań prowadzonych w Europie Centralnej, w tym i w wybranych obszarach w Polsce, wykazały znaczący udział osadów w mgielnych w bilansie wodnym. Prowadzone badania na obszarze Gór Świętokrzyskich wykazały, że również tu osady mgielne stanowią istotne źródło zarówno w depozycji zanieczyszczeń, jak i dostawie wody do geosystemów. Badania prowadzone w drzewostanie jodłowo-bukowym wykazały, że zwłaszcza w miesiącach jesienno-zimowo-wczesnowiosennych notuje się opadu podkoronowe, których wysokość przewyższa opad atmosferyczny (Kozłowski 2008). Wyniki te wskazują zatem na obecność dodatkowego źródła wody, jakim są osady mgielne (Kozłowski 2013). Niemniej jednak aby szczegółowo zanalizować to zjawisko, należy podjąć badania z wykorzystaniem nie tylko kolektora pasywnego, ale również przy zastosowaniu kolektorów aktywnych. Jedyną przeszkodą mogą być koszty zakupu tego typu urządzeń, których cena wynosi ok. 80 000 zł.

6. Literatura

- Acker K., Wieprecht W., Möller D., 2003:** *Chemical and physical characterization of low clouds: results from the ground based cloud experiment FEBUKO.* Archives of industrial hygiene and toxicology 54: 231–238.
- Aikawa M., Hiraki T., Shoga M., Tamaki M., Sumitomo S., 2007:** *Seven-year trend and the time and seasonal dependence of fog water collected near an industrialized area in Japan.* Atmospheric Research 83: 1–9.
- Anderson J.B., Baumgardner Jr., R.E., Grenville S.E., 2006:** *Trends in cloud water sulfate and nitrate as measured at two mountain sites in the Eastern United States: Regional contributions and temporal changes compared with regional changes in emissions, 1986–1999.* Atmospheric Environment: 4425–4437.
- Anderson J.B., Baumgardner R.E., Mohnen V.A., Bowser J.J., 1999:** *Cloud chemistry in the eastern United States, as sampled from three high-elevation sites along the Appalachian Mountains.* Atmospheric Environment 33: 5105–5114.
- Baumgartner A., 1958:** *Nebel und Nebelniederschlag als Standortfaktoren am Großen Falkenstein (Bayerischer Wald).* Forstwissenschaftliches Centralblatt 77: 257–320.
- Beiderwieden E., Schmidt A., Hsia Y.-J., Chang S.-C., Wrzesinsky T., Klemm O., 2007:** *Nutrient input through occult and wet deposition into a subtropical montane cloud forest.* Water Air Soil Pollution 186: 273–288.
- Beiderwieden, E., Wrzesinsky, T., Klemm, O., 2005:** *Chemical characterization of fog and rain water collected at the eastern Andes cordillera.* Hydrol. Earth Sys. Sci. Discuss. 2: 863–885.
- Blank L.W., 1985:** *A new type of forest decline in Germany.* Nature 314: 311–314.
- Błaś M., Polkowska Ż., Sobik M., Klimaszewska K., Nowiński K., Namieśnik J., 2010:** *Fog water chemical composition in different geographic regions of Poland.* Atmospheric Research 95: 455–469.
- Błaś M., Polkowska Ż., Sobik M., Klimaszewska K., Nowiński K., Namieśnik J., 2008:** *Wykorzystanie różnych form opadów i osadów atmosferycznych do oceny zanieczyszczenia środowiska w różnych regionach geograficznych Polski – część I – mgła.* Chemia. Dydaktyka. Ekologia. Metrologia 13 (1–2): 81–93.
- Błaś M., Sobik M., 2002:** *Znaczenie lasu w kształtowaniu przychodu wody z mgły w Sudetach.* Czasopismo Techniczne. Inżynieria Środowiska 5-Ś: 129–140.
- Carpenter F.A., 1999:** *The utilization of fog.* Mort. Weath. Rev. 27: 195–196.
- Collett Jr. J.L., Bator A., Sherman D.E., Moore K.F., Hoag K.J., Demoz B.B., Rao X., Reilly J.E., 2002:** *The chemical composition of fogs and intercepted clouds in the United States.* Atmospheric Research 64: 29–40.
- Demoz B.B., Collett Jr. J.L., Daube Jr. B.C., 1996:** *On the Caltech Active Strand Cloudwater Collectors.* Atmospheric Research 41: 47–62.

- Dore A.J., Choularton T.W., Inglis D.W.F., 2001:** *Monitoring studies of precipitation and cap cloud chemistry at Holme Moss in the Southern Pennines.* Water, Air, and Soil Pollution: Focus 1: 381–390.
- Driscoll C.T., Lawrence G.B., Bulger A.J., Butler T.J., Cronan C.S., Eagar C., Fallon Lambert K., Likens G.E., Stoddard J.L., Weathers K.C., 2001:** *Acidic deposition in the northeastern United States: sources and inputs, ecosystem effects, and management strategies.* BioScience 51 (3): 180–198.
- Elias V., Tesar M., Buchtele J., 1995:** *Occult precipitation: sampling, chemical analysis and process modelling in the Sumava Mts. (Czech Republic) and in the Taunus Mts. (Germany).* Journal Hydrology 166: 409–420.
- Ermich K., Bednarz Z., Feliksik E., 1967:** *Wstępne badania nad osadami z mgły w Karpackim Obszarze Leśnym.* Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich 3 (16): 123–143.
- Ermich K., Bednarz Z., Feliksik E., 1972:** *Badania nad ilością osadów z mgły w Beskidzie Małym, Sądeckim i w Gorcach.* Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich 10: 173–189.
- Ermich K., Orlicz M., 1969:** *Ilości wody dostarczane przez osady z mgły na Kasprowym Wierchu w Tatrach.* Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich 5 (18): 155–182.
- Ermich K., Orlicz M., 1975:** *Osady mgielne na Kasprowym Wierchu w Tatrach.* Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich 14: 81–116.
- Falconer R.E., Falconer D.D., 1980:** *Determination of cloud water acidity at a mountain observatory in the Adirondack Mountains of New York State.* Journal of Geophysical Research 85 (C12): 7465–7476.
- Feliksik E., Smoła D., 1999:** *Osady mgielne na Kopciowej koło Krynicy.* Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich 45: 19–28.
- Fowler D., Cape J.N., Leith I.D., Choularton T.W., Gay M.J., Jones A.: 1988:** *The influence of altitude on rainfall composition.* Atmospheric Environment 22: 1355–1362.
- Grunow J., 1955:** *Die Niederschlag in Bergwald.* Forstwiss Zentbl 74: 21–36.
- Heath J.A., Huebert B.J., 1999:** *Cloudwater deposition as a source of fixed nitrogen in a Hawaiian montane forest.* Biogeochemistry 44: 119–134.
- Hileman, B., 1983:** *Acid fog.* Environmental Sci. Technol. 17: 117A–120A.
- Kalina M.E., Stopper S., Zambo E., Puxbaum H., 2002:** *Altitude-Dependent Wet, Dry and Occult Nitrogen Deposition in an Alpine Region ESPR.* Environmental Science Pollution Research 9 Special Issue 2: 16–22.
- Klemm O., Wrzesinsky T., 2007:** *Fog deposition fluxes of water and ions to a mountainous site in Central Europe.* Tellus 59: 705–714.
- Kozłowski R., 2003:** *Przestrzenne zróżnicowanie opadu podkoronowego w drzewostanie jodłowo-bukowym w centralnej części Gór Świętokrzyskich.* Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego Vol. 4/03: 99–106.
- Kozłowski R., 2009:** *Określenie roli osadów mgielnych w kształtowaniu wysokości opadu podkoronowego.* Monitoring Środowiska Przyrodniczego 10: 51–58.
- Kozłowski R., 2013:** *Funkcjonowanie wybranych ekosystemów Polski w warunkach zróżnicowanej antropopresji na przykładzie gór niskich i pogórza.* Landform Analysis, Vol. 23: 1–150.
- Kroll G., Winkler P., 1989:** *Trace substance input to coniferous forests via cloud interception.* In: H.E. Georgii (ed.) Mechanism and effects of pollutant-transfer into forests, Kluwer Academic Publishers: 205–211.
- Lange C.A., Matschullat J., Zimmermann F., Sterzik G., Wienhaus O., 2003:** *Fog frequency and chemical composition of fog water — a relevant contribution to atmospheric deposition in the Eastern Erzgebirge, Germany.* Atmospheric Environment 37: 3731–3739.
- Lin N.H., Saxena V.K., 1991:** *Interannual variability in acidic deposition on the Mt. Mitchell area forest.* Atmospheric Environment 25A (2): 517–524.
- Lindberg S.E., Owens J.G., 1993:** *Throughfall studies of deposition to forest edges and gaps in montane ecosystems.* Biogeochemistry 19: 173–194.
- Linke F., 1916:** *Niederschlagsmessungen unter Bäumen.* Meteorologische Zeitschrift 33: 140–141.
- Lovett G.M., Reiners W., 1986:** *Canopy structure and cloud water deposition in subalpine coniferous forests.* Tellus 38B: 319–327.
- Lovett G.M., 1984:** *Rates and mechanisms of cloud water deposition to a subalpine balsam fir forest.* Atmospheric Environment 18: 361–371.
- Lovett G.M., 1988:** *A comparison of methods for estimating cloud water deposition to a New Hampshire (U.S.A.) subalpine forest.* In: M.H. Unsworth and D. Fowler (eds.), Acid Deposition at High Elevation Sites, Kluwer Academic Publishers, 309–320.
- Lovett G.M., Kinsman J.D., 1990:** *Atmospheric Pollutant Deposition to High-Elevation Ecosystems.* Atmospheric Environment 24A: 2767–2786.
- Man-Goo K., Bo-Kyoung L., Hyun-Jin K., 2006:**

- Cloud/Fog Water Chemistry at a High Elevation Site in South Korea*. Journal of Atmospheric Chemistry 55: 13–29.
- Marloth H., 1906:** *Über Wassermengen welche Sträucher und Bäume aus treibendem Nebel und Wolken auffangen*. Meteorologische Zeitschrift 23: 547–553.
- Michna P., Werner R.A., Eugster W., 2015:** *Does fog chemistry in Switzerland change with altitude?* Atmospheric Research 151: 31–44.
- Miller E.K., Friedland A.J., Arons E.A., Mohnen V.A., Battles J.J., Panek J.A., Kadlec J., Johnson A.H., 1993:** *Atmospheric Deposition Along an Elevational Gradient at Whiteface Mountain, New York, USA*. Atmospheric Environment 27A: 2121–2136.
- Mohnen V.A. Kadlec J.A., 1989:** *Cloud Chemistry Research at Whiteface Mountain*. Tellus 41B: 79–91.
- Mohnen V.A., Vong R.J., 1993:** *A climatology of cloud chemistry for the eastern United States derived from the mountain cloud chemistry project*. Environmental Review 1: 38–54.
- Möller D., Acker K., Wieprecht W., 1996:** *A relationship between liquid water content and chemical composition in clouds*. Atmospheric Research 41: 321–335.
- Mrose H., 1966:** *Measurements of pH and chemical analysis of rain-, snow- and fog water*. Tellus 18: 266–270.
- Munzert K., 1988:** *Chemistry of cloud water and precipitation at an Alpine Mountain Station*. In: M.H. Unsworth and D. Fowler (eds.), Acid Deposition at High Elevation Sites, Kluwer Academic Publishers 395–401.
- Murray G.L.D, Kimball K.D., Hill L.B., Hislop J.E., Weathers K.C., 2013:** *Long-Term Trends in Cloud and Rain Chemistry on Mount Washington, New Hampshire*. Water Air Soil Pollution 224:1653–1667.
- Overrein L., 1976:** *A presentation of the Norwegian Project “Acid precipitation – effects on forest and fish”*. Water, Air and Soil Pollution 6: 167–172.
- Pahl S., Winkler P., 1995:** *Height dependence of trace substance deposition onto forests via clouds (in German)*. Final Report. BMFT-Project Grant No 07EU726A8.
- Pahl S., 1996:** *Feuchte Deposition auf Nadelwälder in den Hochlagen der Mittelgebirge*. Berichte des Deutschen Wetterdienstes 198: 1–137.
- Pahl S., Winkler P., Schneider T., Arends B.G., Schell D., Maser R., Wobrock W., 1994:** *Deposition of trace substances via cloud interception on a coniferous forest at Kleiner Feldberg*. J. Atmos. Chem. 19: 231–252.
- Podzimek J., 1959:** *Fisika oblakú a srážek*. Praha.
- Schemenauer R.S., 1986:** *Acidic deposition to forest: the 1985 chemistry of high elevation fog (CHEF) project*. Atmosphere-Ocean, 24: 303–328.
- Schemenauer R.S., 1994:** *A Proposed Standard Fog Collector for Use in High-Elevation Regions*. Journal of Applied Meteorology, Vol. 33 (11).
- Schemenauer R.S., Banic C.M., Urquizo N., 1995:** *High elevation fog and precipitation chemistry in southern Quebec, Canada*. Atmospheric Environment 29: 2235–2252.
- Schemenauer R.S., Cereceda P., 1994:** *A proposed standard fog collector for use in high-elevation regions*. Journal of Applied Meteorology 33: 1313–1322.
- Shubzda J., Lindberg S.E., Garten C.T., Nodvin S.C., 1995:** *Elevational trends in the fluxes of sulphur and nitrogen in throughfall in the southern Appalachian Mountains: some surprising results*. Water, Air and Soil Pollution 85: 2265–2270.
- Sobik M., Błaś M., Quiel F., 1998:** *Udział osadów mgielnych w przychodzie wody z atmosfery i depozycji zanieczyszczeń w lasach Sudetów Zachodnich*. W: „Geoekologiczne Problemy Karkonoszy” – Materiały z sesji naukowej w Przesiece 15–18.X.1997, Poznań, 151–162.
- Waldman J.M., Munger J.W., Jacob D.J., Flagan R.C., Morgan J.J., Hoffmann M.R., 1982:** *Chemical composition of acid fog*. Science 218 (4573): 677–680.
- Watanabe K., Takebe Y., Sode N., Igarashi Y., Takahashi H., Dokiya Y., 2006:** *Fog and rain water chemistry at Mt. Fuji: a case study during the September 2002 campaign*. Atmospheric Research 82 (3–4): 652–662.
- Weathers K.C., Likens G.E., Bormann F.H., Eaton J.S., Kimball K.D., Galloway J.N., Siccama T.G., Smiley D., 1988:** *Chemical concentrations in cloud water from four sites in the Eastern United States*. In: M.H. Unsworth and D. Fowler (eds.), Acid Deposition at High Elevation Sites, Kluwer Academic Publishers, 345–357.
- Weathers K.C., Lovett G.M., Likens G.E., 1995:** *Cloud deposition to a spruce forest edge*. Atmospheric Environment 29 (6): 665–672.
- Wieprecht W., Acker K., Mertes S., Collett J.L., Jaeschke W., E.B., Brüggemann E., Möller D., Herrmann H., 2005:** *Cloud physics and cloud water sampler comparison during FEBUKO*. Atmo-

spheric Environment 39: 4267–4277.

Woźniak Z., 1991: *Osady z mgły w Sudetach (znaczenie osadów i sposób pomiaru przychodu wody z mgły)*. Badania Naukowe w Karkonoskim Parku Narodowym, tom 2, Karkonoskie Towarzystwo Naukowe, Jelenia Góra, 24–34.

Wrzesinsky, T., Klemm, O., 2000: *Summertime fog chemistry at a mountainous site in central Europe*. Atmospheric Environment 34 (9): 1487–1496.

www.fogquest.org

Zier M., 1992: *Über die Variabilität der Spurenstoffkonzentration im Nebelwasser im Verlauf einzelner Nebelereignisse auf dem Kamm des Erzgebirges*. Meteorologische Zeitschrift, Neue Folge 1: 221–228.

Zimmermann L., Zimmermann F., 2002: *Fog deposition to Norway spruce stands at high-elevation sites in the Eastern Erzgebirge (Germany)*. Journal of Hydrology 256: 166–175.

THE IMPORTANCE OF FOG DEPOSITS IN POLLUTANTS DEPOSITION IN MOUNTAINS GEOECOSYSTEMS

Summary

The article presents the role of the fog deposits in pollutants deposition. The role of this source is extremely important in mountainous regions which are characterized by higher frequency of fogs and low ceiling clouds in comparison to lower located areas. The equipment and methods used in measurement of the size of the depositions from fog deposits were discussed and the review of international projects with research on this scope was made.