



Zawartość metali ciężkich w wodach opadowych spływających z dachów o różnych pokryciach

*Jakub Sikora, Marcin Niemiec, Anna Szeląg-Sikora, Maciej Kuboń
Uniwersytet Rolniczy, Kraków*

1. Wstęp

Urbanizacja i uprzemysłowienie jest jedną z najważniejszych przyczyn przekształcania stosunków wodnych. Zabudowa mieszkalna i infrastruktura towarzysząca wiąże się z odwadnianiem gruntów i utwardzaniem znacznych powierzchni. Prowadzi to do degradacji wód podziemnych, zmniejszenia wodnej retencji dolinowej oraz zwiększenia strat wody przez parowanie. W warunkach ciągłego zmniejszania się zasobów wody, należy poszukiwać metod racjonalizacji jej wykorzystania na wszystkich poziomach działalności człowieka. Wprowadzanie obiegów zamkniętych w przemyśle oraz efektywnej fertygacji w produkcji rolniczej stanowi strategiczny element zarządzania zasobami wodnymi, zgodny z ideą zrównoważonego rozwoju. Jednym z najważniejszych działań związanych z ochroną zasobów wodnych i przeciwdziałającym negatywnym skutkom antropopresji jest ograniczanie odpływu wody z obszaru zlewni (Bressy i in. 2014, Szeląg-Sikora i in. 2016, Zawieja 2013). Narzędziem ograniczającym deficyty wody jest mała retencja, która polega na wykorzystywaniu naturalnych lub sztucznych elementów środowiska w celu zatrzymywania wody opadowej w miejscu powstawania opadu. Na terenach zurbanizowanych o dużej powierzchni utwardzonej naturalne możliwości retencyjne związane z retencją gleby, są ograniczone. Woda opadowa spływająca z ulic, chodników oraz dachów, jest bardzo szybko odprowadzana kanalizacją deszczową co generuje zagrożenie powodziowe. Z drugiej strony obszary o dużym udziale powierzchni utwardzonej są mniej wrażliwe na przedłużające się okresy suszy. Zbie-

ranie i magazynowanie wody deszczowej z terenów miast jest korzystne z punktu widzenia ograniczania skutków nawalnych deszczy oraz okresów suszy. Ponadto zbiorniki gromadzące wody opadowe mogą być cennymi przyrodniczo siedliskami, wpływając na zwiększenie bioróżnorodności ekosystemów miast (Wiśniowska-Kielian i in. 2013). W wielu miejscach taka organizacja zarządzania wodami opadowymi jest jednak problematyczna ze względu na brak odpowiednich zbiorników w których można gromadzić wodę. Problemem, który może pojawić się w sytuacji zbierania wykorzystywania wód opadowych z terenów utwardzonych jest ich jakość. Mogą one zawierać ilości zanieczyszczeń wywierające negatywny wpływ na środowisko (Niemiec 2015, Ociepa i in. 2015, Pokrývková 2016). Wśród najczęściej wskazywanych problemów związanych z jakością wód spływających z dachów są metale ciężkie WWA oraz skażenia mikrobiologiczne (Ahmed i in. 2008). Z tego względu od kilku lat obserwuje się coraz większe zainteresowanie możliwością lokalnej retencji wody zbieranej dachów. Taka woda może być gromadzona w niewielkich zbiornikach i wykorzystywana do celów sanitarnych nawadniania upraw, mycia lub przeznaczana do pojenia zwierząt gospodarskich (Mendez i in 2011). Takie praktyki są od dawna z powodzeniem stosowane na obszarach o okresowym deficycie wody (Hajani & Rahman 2014). Decyzja o sposobie wykorzystania wody deszczowej zbieranej z dachów powinna być jednak poprzedzona gruntownymi badaniami mającymi na celu określenie jakości wody spływającej z dachów. Skład chemiczny takich wód zależy od wielu czynników, takich jak rodzaj pokrycia, stan skorodowania powierzchni spływu, odczynu wody deszczowej, warunków klimatycznych oraz zanieczyszczenia powietrza w całym okresie roku hydrologicznego (Mendez i in. 2011, Gwenzi i in. 2015, Steward i in. 2016). Simmons i in. (2011) oraz Niemiec (2012) stwierdzili znaczne różnice zawartości pierwiastków spływających z dachów o różnych pokryciach. W wielu rejonach świata, woda zbierana z dachów, w warunkach kryzysowych jest przeznaczana na cele spożywcze dlatego też zakres prowadzonych badań związanych z jakością wody na etapie zbierania z dachów oraz jej przechowywania, powinien być szerszy na co zwracają uwagę Gwenzi i in. (2015) oraz Steward i in. (2016).

Celem pracy było określenie zawartości metali ciężkich wód spływających z dachów domów z różnym pokryciem na tle ich zawartości w wodzie deszczowej.

2. Materiał i metody

W ramach realizacji założonego celu, pobrano wodę do badań w lipcu i sierpniu 2016 roku z 42 dachów z budynków domów jednorodzinnych lub zabudowań gospodarczych oraz obiektów sakralnych zlokalizowanych na terenie gminy Zakliczyn nad Dunajcem Pleśna oraz Wojnicz, zlokalizowanych w powiecie tarnowskim w województwie małopolskim. Badany teren znajduje się w obszarach o małej antropopresji aby w jak największym stopniu uchwycić wpływ pokrycia dachowego na zmianę chemizmu wody deszczowej. Do badań wybrano budynki pokryte: dachówką cementową, dachówką ceramiczną, materiałem bitumicznym, blachą galwanizowaną cynkiem, blachą powlekaną oraz pokryte eternitem falistym. Wybrane dachy zbudowane były pod kątem około 45° i pokrywały budynki domów jednorodzinnych lub budynków gospodarczych oraz obiektów sakralnych w przypadku dachów z blachy miedzianej. Jako tło wykorzystano wodę deszczową zbieraną bezpośrednio do naczyń polietylenowych w dwóch losowo wybranych miejscach. Wodę zbierano w okresie deszczowym, po długotrwałych deszczach aby wyeliminować wpływ warstwy skorodowanej oraz pyłów osiadłych na dachu na chemizm wody. Mendez i in. (2011) podają, że zawartość metali w wodzie spływającej z dachów zmienia się nawet o kilkaset procent w trakcie trwania opadu. Zebraną wodę sączo oraz utrwalono za pomocą kwasu azotowego (V) przez dodanie do wody kwasu w ilości 2 cm³ na każde 100 cm³ wody. W laboratorium zagęszczono próbki czterdziestokrotnie przez odparowanie a następnie oznaczano zawartość badanych pierwiastków metodą spektrometrii emisji atomowej w indykatywnie wzbudzonej plazmie argonowej na aparacie Opima 6700 DV Firmy Perkin Elmer. Długości fali wykorzystane w analizie a także parametry jakości metod analitycznych zostały przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry wykorzystanej metody analitycznej
Table 1. Parameters of the applied analytical method

	Cd	Cr	Cu	Fe
Długość fali (nm)	228,802	267,707	327,393	238,204
Limit detekcji ($\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$)	0,068	0,178	0,243	0,115
	Mn	Ni	Pb	Zn
Długość fali (nm)	257,608	231,604	220,353	206,200
Limit detekcji ($\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$)	0,035	0,263	1,050	0,148

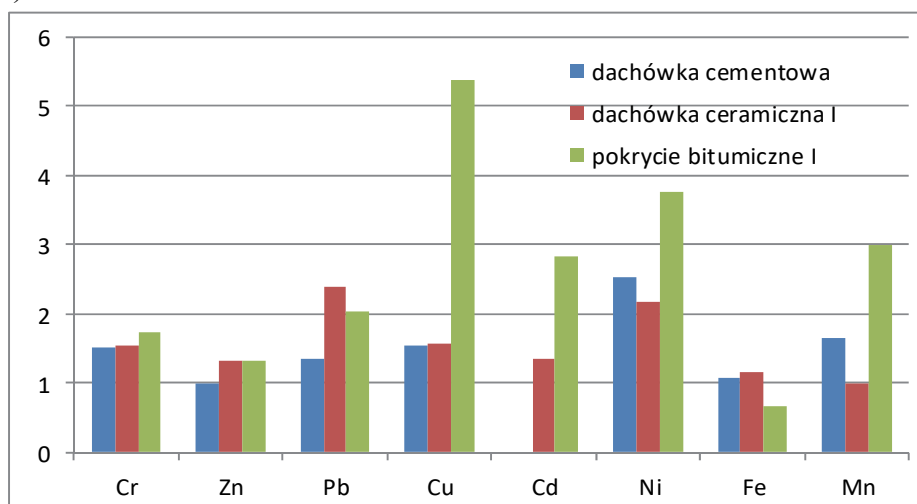
3. Wyniki i dyskusja

Średnia wartość pH wody deszczowej wynosiła 5,73 i jest to typowy odczyn dla opadów atmosferycznych terenów o małej antropopresji. Przy takim odczynie nie stwierdza się wpływu zakwaszających zanieczyszczeń powietrza ani alkalicznych pyłów. Zmiana odczynu wody spływającej z dachu związana jest z wypłukiwaniem alkalicznych jonów z powierzchni dachu. Istotną statystycznie zmianę odczynu wody stwierdzono w przypadku wody z dachu z dachówki cementowej, eternitu i blachy miedzianej. Średnie wartości pH tych wód wynosiły odpowiednio 7,54; 6,88 i 6,68. Odczyn pozostałych próbek kształtował się na niższym poziomie i nie wykazano istotnych statystycznie różnic w stosunku do wody deszczowej (tabela 2). Farreny i in. (2011) stwierdzili podobne zależności odczynu i rodzaju pokrycia dachowego. Autorzy ci stwierdzili wyższe pH w wodzie z dachów o pokryciu betonowym o jedną jednostkę w porównaniu do dachów pokrytych dachówką ceramiczną czy blachą. Podobnie Mendez i in. (2011) zaobserwowali, że woda deszczowa spływająca z dachu pokrytego blachą cechowała się odczynem 6,5, natomiast spływające z dachówek wartość ta wynosiła powyżej 7,5. Odczyn wody jest ważnym parametrem jakości wody z punktu widzenia jej wykorzystania.

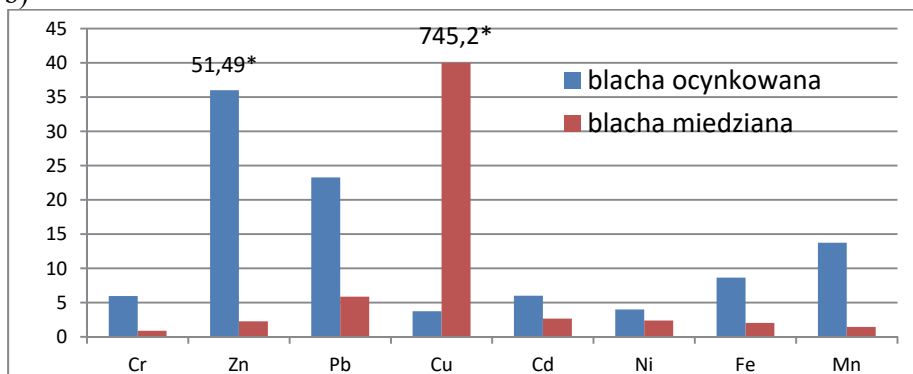
Cynk jest metalem powszechnie występującym w środowisku. Wody spływające z terenów antropogenicznie przekształconych z reguły zawierają podwyższone ilości tego metalu. Woda spływająca z dachu pokrytego eternitem falistym zawierała $75,13 \mu\text{g Zn}\cdot\text{dm}^{-3}$ (tabela 2) i stanowiło to około 60% ilości cynku stwierdzonego w wodzie deszczowej. Zmniejszenie ilości cynku w wodzie najprawdopodobniej było spowodowane zmianą odczynu wody w spływającej po powierzchni eternitu.

Na taką zależność zwracają uwagę Niemiec (2012) oraz Mendez i in. (2011). Średnie ilości tego pierwiastka w wodzie spływającej z dachów pokrytych dachówką cementową nie różniło się od ilości tego pierwiastka stwierdzonej a wodzie deszczowej. Największe ilości cynku na poziomie $5754 \mu\text{g Zn}\cdot\text{dm}^{-3}$ zaobserwowano w wodzie z dachu pokrytego blachą ocynkowaną (tabela. 2). Stwierdzone ilości cynku w tych próbkach były prawie trzykrotnie wyższe od krytycznych zawartości tego pierwiastka w ściekach odprowadzanych do wód lub ziemi (Rozporządzenie 2014). W wyniku spływu wody z dachów pokrytych blachą miedzianą oraz blachą powlekaną zawierały około trzykrotnie więcej cynku w porównaniu ze stwierdzoną ilością tego pierwiastka w wodzie deszczowej. Wartość współczynnika wzbogacenia wody w cynk w przypadku dachów z pokryciem blachą galwanizowaną wynosił 51,4926 (rysunek 1). Tobiszewski i in. (2010) podają zawartości tego pierwiastka w wodzie z dachów pokrytych blachą galwanizowaną cynkiem z terenu Gdańska na poziomie $9600 \mu\text{g Zn}\cdot\text{dm}^{-3}$. Z kolei Mendez i in. (2011) stwierdzili zawartości tego metalu w wodzie spływającej z dachów pokrytych blachą galwanizowaną glinem i cynkiem na poziomie poniżej $300 \mu\text{g Zn}\cdot\text{dm}^{-3}$.

a)

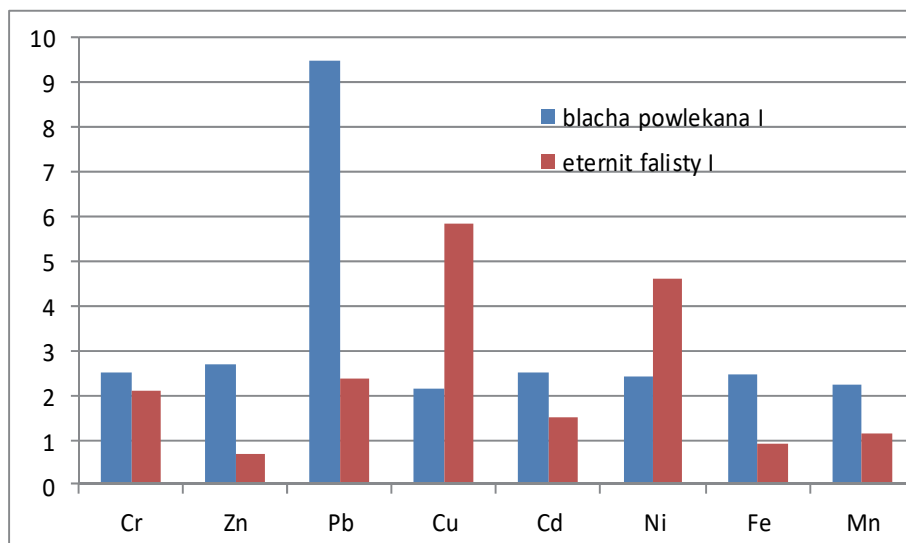


b)



* zamieszczono skrajne górne wartości współczynnika wzbogacenia wody w przypadku pokrycia blachą ocynkowaną oraz miedzianą

c)



Rys. 1. Współczynnik wzbogacenia wody w zależności od pokrycia dachowego (a,b,c)

Fig. 1. Coefficient of water enrichment in relations to roof type

Tabela 2. Średnia zawartość pierwiastków w wodzie spływających z dachów ***Table 2.** Average element content in water flowing down from roofs

	pH	Cr	Zn	Pb	Cu	Cd	Ni	Fe	Mn
	($\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$)								
dachówka cementowa	7,54c	1,360b	111,6b	1,450a	4,988b	ślady	1,206b	126,1a	19,67
±	0,92	0,245	25,92	0,361	0,203	-	0,161	30,55	6,977
dachówka ceramiczna	6,27ab	1,383b	148,7c	2,567b	5,092b	0,067	1,042b	133,8a	11,68a
±	0,64	0,113	26,90	0,166	0,445	0,014a	0,095	24,71	3,217
pokrycie bitumiczne	6,11ab	1,550b	148,8c	2,175b	17,46c	0,142	1,800c	77,23a	35,55c
±	0,88	0,164	27,58	0,180	3,448	0,014a	0,087	29,84	4,858
blacha ocynkowana	5,45a	5,363d	5754f	25,01e	12,14c	0,300	1,913c	1009c	163,6d
±	0,56	0,014	1378	2,029	2,380	0,054b	0,400	332,6	4,377
blacha miedziana	6,68b	0,800a	254,9d	6,317c	2422d	0,133c	1,142b	236,9b	17,41b
±	0,41	0,066	8,38	0,058	263,2	0,029	0,095	8,01	3,152

Tabela 2. cd.
Table 2. cont.

	pH	Cr	Zn	Pb	Cu	Cd	Ni	Fe	Mn
blacha powlekana	5,52a	2,250c	300,7e	10,20d	6,883b	0,125c	1,158b	286,7b	26,48b
±	0,62	0,025	37,52	1,791	0,350	0,000	0,101	40,32	5,223
etermit falisty	6,88b	1,875c	75,13a	2,558b	18,99c	0,075b	2,200c	105,7a	13,42a
±	0,75	0,025	20,38	0,383	11,05	0,025	0,499	18,02	4,292
woda deszczowa tło	5,73a	0,913a	111,8b	1,075a	3,250a	0,050b	0,479a	116,8a	11,91a
±	0,22	0,035	14,14	0,035	0,707	0,000	0,005	8,839	0,230

*Różne litery przy wartościach średnich oznaczają różnice statystycznie istotne pomiędzy próbkami z szczególnych rodzajów dachów poziomie istotności $p = 0,05$,
a,b,c,d – literami oznaczono grupy jednorodne.

Rodzaj materiału, z jakiego jest wykonany dach może w znacznym stopniu kształtować chemizm wody co przekłada się na możliwości jej wykorzystania. Stwierdzona w badaniach własnych średnia zawartość miedzi w wodzie spływającej z dachów pokrytych blachą miedzianą wynosiła $2422 \mu\text{g Cu}\cdot\text{dm}^{-3}$ (tabela 2), natomiast współczynnik wzbogacenia wody deszczowej w ten pierwiastek wynosił 745,2 (rysunek 1). W przypadku pozostałych dachów wartości współczynnika wzbogacenia wody w miedź wahały się w zakresie od 1,33 do prawie 6 dla eternitu falistego. Tobiszewski i in. (2010) stwierdzili bardzo wysokie zawartości miedzi w wodzie z dachów pokrytych blachą ocynkowaną z terenu Gdańska, na poziomie około $600 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$. Podobne do uzyskanych w badaniach własnych wyniki uzyskali Zhang i in. (2014), którzy w warunkach doświadczalnych stwierdzili ilości miedzi w wodzie spływającej z pokrycia bitumicznego i ceramicznego na poziomie do $10 \mu\text{g Cu}\cdot\text{dm}^{-3}$. Z kolei Mendez i in. 2011 wykryli miedź w spływach z dachu z gontu drewnianego na poziomie około $400 \mu\text{g Cu}\cdot\text{dm}^{-3}$. Najmniejszy współczynnik wzbogacenia stwierdzono w przypadku dachów pokrytych dachówką i blachą powlekaną. Stwierdzone ilości miedzi w wodzie z dachów pokrytych blachą z tego pierwiastka są bardzo wysokie i mogą stwarzać zagrożenie dla naturalnych ekosystemów. Naturalne zawartości tego pierwiastka w wodach słodkich wynoszą około $1 \mu\text{g Cu}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Kabata-Pendias i Pendias, 1999), natomiast ilość tego pierwiastka powyżej $35 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ może być szkodliwe dla życia biologicznego. W przypadku wykorzystania takiej wody do zasilania oczek wodnych może dojść do zatrucia ryb (Niemiec i Wiśniowska-Kielian, 2013). Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska (Rozporządzenie, 2014) najwyższa dopuszczalna zawartość miedzi w ściekach odprowadzanych do wód lub ziemi, wynosi $500 \mu\text{g Cu}\cdot\text{dm}^{-3}$. W wodzie spływającej z dachu pokrytego blachą miedzianą zaobserwowano prawie pięciokrotne przekroczenie tej wartości.

Żelazo i mangan są pierwiastkami który z reguły występują w dużych ilościach w spływach z terenów utwardzonych, pomimo słabej ich rozpuszczalności w wodzie. Żelazo stanowi największą część masy blach stosowanych w pokryciach dachów, ponadto zarówno budynki jak i elementy konstrukcyjne wykonane są z tego pierwiastka. Zawartość żelaza i manganu w wodzie deszczowej w niniejszych badaniach wynosiła odpowiednio $8,839$ i $11,91 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ (tabela 2). W przypadku dachów pokrytych blachą ocynkowaną, miedzianą i powlekaną, stwierdzono wzbo-

gacenie wody w żelazo w wyniku spływu na poziomie odpowiednio 8,642; 2,454 i 2,028 (rysunek 1). Największym, na poziomie 13,73, współczynnikiem wzbogacenia w mangan cechowała się woda z dachu blachą ocynkowaną (rysunek 1). Ponad dwukrotnie więcej manganu w porównaniu do jego ilości w wodzie deszczowej, zawierała woda z dachów bitumicznych i pokrytych blachą powlekaną (rysunek 1). W pozostałych przypadkach nie stwierdzono statystycznie istotnego wpływu rodzaju pokrycia na zawartość żelaza i manganu w wodzie. Stwierdzone w badanej wodzie ilości tych pierwiastków nie są wysokie i nie stwarzają zagrożenia dla organizmów żywych.

Ołów i kadm są zaliczane do pierwiastków toksycznych, których roli fizjologicznej dotychczas nie odkryto. Z kolei nikiel i chrom należą do pierwiastków potencjalnie toksycznych, których toksyczne oddziaływanie na organizmy żywe uzależnione jest od ich ilości w środowisku. Metale te występują powszechnie w środowisku, dlatego też zwykle stwierdza się ich większe zawartości w spływach z terenów antropogenicznie (Niemiec i Wiśniowska-Kielian, 2011). W wodach występują w małych ilościach ze względu na jego silne sorbowanie przez materię organiczną oraz cząstki mineralne. Zawartości tych pierwiastków w wodzie deszczowej są niskie i nie wskazują na antropogeniczne wzbogacenie (Kabata-Pendias i Pendias, 1999). Nie stanowią składnika materiałów pokryć dachów wykorzystanych w badaniach. Największe wartości współczynnika wzbogacenia wody w te metale stwierdzono w przypadku blachy ocynkowanej. W wodzie spływającej z tych dachów, ilość ołowiu była ponad 23 razy większa, chromu i kadmu prawie 6 razy większa, natomiast niklu prawie 4 razy większa w porównaniu do wody deszczowej (rysunek 1). W przypadku blachy powlekanej wartość współczynnika wzbogacenia wody w ołów wynosiła powyżej 9, natomiast w przypadku pozostałych pierwiastków wartość ta kształtowała się na poziomie około 2 (rysunek 1). W wodzie z dachów pokrytych materiałem bitumicznym stwierdzono nieznacznie więcej ołowiu w porównaniu z wodą deszczową. Inne wyniki prezentują Tobiszewski i in. (2010), którzy podają zawartości ołowiu w wodzie z dachów bitumicznych na poziomie $88 \mu\text{g Pb} \cdot \text{dm}^{-3}$. Woda spływająca z dachu bitumicznego zawierała ponad pięć razy więcej miedzi i prawie cztery razy więcej niklu w porównaniu do wody deszczowej (rysunek 1). W przypadku dachów pokrytych eternitem falistym stwierdzono współczynnik wzbogacenia wody w nikiel na

poziomie około 4,5. Stwierdzone zawartości kadmu, ołowiu, niklu i chromu, zarówno w wodzie deszczowej jak i w wodach spływających z dachów nie były wysokie i nie przekraczają dopuszczalnych ich zawartości w wodach pitnych, pomimo dużych współczynników wzbogacenia wody deszczowej we wskazanych wyżej przypadkach. Metale ciężkie są z reguły ługowane z powierzchni dachów przez wody deszczowe, na co zwracają uwagę Oluwasola i in. (2014). Mendez i in. 2011 stwierdzili zawartości ołowiu w wodzie z dachów na poziomie kilku $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$, natomiast ilość żelaza w tych wodach kształtowała się na poziomie około $400 \mu\text{g Fe}\cdot\text{dm}^{-3}$. Autorzy ci, nie stwierdzili znaczących różnic w ilości tego pierwiastka w wodzie w zależności od rodzaju pokrycia dachowego, natomiast podkreślają, że w pierwszej fazie opadów stężenia tych pierwiastków mogą być kilkukrotnie większe.

Przedstawione wyniki badań własnych oraz dane literaturowe wskazują, na potencjalne zagrożenie nadmiernej akumulacji pierwiastków śladowych w wodach spływających z dachów. Dotyczy to szczególnie pokryć dachowych wykonanych z blach galwanizowanych oraz blach miedzianych. W przypadku odprowadzania tych wód do środowiska, następuje rozcieńczenie zawartych w wodzie zanieczyszczeń, dlatego też nie obserwuje się toksykologicznych skutków w środowisku (Scholtz 2016). Jednakże konieczność racjonalizacji gospodarowania zasobami wodnymi, wymusza wprowadzanie metod ograniczania spływu powierzchniowego z terenu zlewni oraz wykorzystania wód opadowych, które z racji sposobu zagospodarowania zlewni nie mogą podlegać naturalnej retencji. Systemy zbierania i magazynowania wód spływających z dachów są powszechnie stosowane w wielu krajach. Liderami w tym zakresie są Niemcy, Dania, Indie, Japonia i Australia (Albrechtsen 2002). Krajowe organy ustawodawcze wielu z tych państw tworzą przepisy, wymagając, aby wszystkie nowe budynki posiadały system zbierania wody oraz włączenie systemów zbierania wód opadowych do celów sanitarnych i zastosowań zewnętrznych. W krajach ubogich w zasoby wodne, wody z dachów często wykorzystuje się w celach pitnych jak na przykład w Australii czy Nowej Zelandii (Shirey i in. 2008). Ważne jest zatem aby monitorować jakość wody zbieranej z powierzchni utwardzonych ze względu na parametry fizykochemiczne, chemiczne i biologiczne. Wyniki monitoringu powinny stanowić dane wejściowe procesu decyzyjnego odnośnie sposobu wykorzystania tych wód lub zastosowania określonych

metod ich uzdatniania (Oluwasola i in. 2014, Scholtz 2016). Aby stworzyć możliwość oceny przydatności wody zbieranej z dachu, na podstawie informacji o rodzaju materiału z którego jest wytworzony, należy kontynuować badania związane z wpływem rodzaju materiału z którego zbudowany jest dach oraz innych czynników na kształtowanie się chemizmu wód deszczowych.

4. Wnioski

1. Zawartości badanych pierwiastków śladowych w wodzie deszczowej nie były wysokie i nie wskazywały na antropogeniczne wzbogacenie. Właściwości chemiczne wody deszczowej spływającej po powierzchni dachów ulegały zmianom to znaczy zwiększała się w nich zawartość metali ciężkich.
2. Woda spływająca z dachów pokrytych blachą ocynkowaną zawierała trzykrotnie więcej cynku niż wynosi dopuszczalna zawartość tego pierwiastka w ściekach odprowadzanych do wód lub ziemi.
3. Woda spływająca z dachów pokrytych blachą miedzianą zawierała pięciokrotnie więcej miedzi niż wynosi dopuszczalna zawartość tego pierwiastka w ściekach odprowadzanych do wód lub ziemi.
4. Najmniejsze zmiany zawartości badanych pierwiastków w wodzie deszczowej stwierdzono w przypadku dachów pokrytych dachówką ceramiczną, oraz cementową.
5. Przy projektowaniu systemu recyklingu wody deszczowej należy brać pod uwagę rodzaj pokrycia, z którego woda będzie zbierana.

Literatura

- Ahmed, W., Huygens, F., Goonetilleke, A., Gardner, T. (2008). Real-time PCR detection of pathogenic microorganisms in roof-harvested rainwater in southeast Queensland, Australia. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(17), 5490-5496.
- Albrechtsen, H.J. (2002). Microbiological investigations of rainwater and graywater collected for toilet flushing, *Water Sci. Technol.*, 46(6-7), 311-316.
- Bressy, A., Gromaire, M.Ch., Lorgeoux, C., Saad, M., Leroy, F., Chebbo, G. (2014). Efficiency of source control systems for reducing runoff pollutant loads: Feedback on experimental catchments within Paris conurbation. *Water Research*, 57, 234-246. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2014.03.040>.

- Farreny, R., Morales-Pinzon, T., Guisasaola, A., Taya, C., Rieradevall, J., Gabarrell, X. (2011). Roof selection for rainwater harvesting: Quantity and quality assessments in Spain. *Water Res.* 45, 3245-3254.
- Gwenzi, W., Dunjanab, N., Pisab, Ch., Taurob, T., Nyamadzawoa, G. (2015). Water quality and public health risks associated with roof rainwater harvesting systems for potable supply: Review and perspectives. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 6, 107-118, <http://dx.doi.org/10.1016/j.swaq.2015.01.006>.
- Hajani, E., Rahman, A. (2014). Rainwater utilization from roof catchments in arid regions: A case study for Australia. *Journal of Arid Environments*, 111, 35-41. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.07.007>
- Kabata-Pendias, A., 1 Pendias, H. (1999). *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa, 352.
- Lee, J.Y., Bak, G., Han, M., (2012). Quality of roof-harvested rainwater – Comparison of different roofing materials. *Environmental Pollution*, 162, 422-429, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2011.12.005>.
- Niemiec, M., 1 Wiśniowska-Kielian, B. (2011). Assessment of heavy metals pollution of rainwaters flowing down the road No. 4 taken from retention reservoirs. *Ecol. Chem. Eng.*, 18(2), 235-240.
- Niemiec, M. (2012). Zawartość wapnia, magnezu, sodu, fosforu i potasu w wodzie spływającej z dachów o różnych pokryciach. *Proceedings of ECO-pole*, 6(2), 763-767.
- Niemiec, M., 1 Wiśniowska-Kielian, B. (2013). Accumulation of copper in selected elements of a food chain in a pond ecosystem. *Journal of Elementology*, 18(3), 425-436.
- Niemiec, M. (2015). The content of lead, cadmium and mercury in sediments from rainwater reservoirs situated along the national Road 4. *Chemistry-Didactics-Ecology-Metrology* 20, 1-2, 75-83. DOI 10.1515/cdem-2015-0008.
- Mendez, C.B., Klenzendorf, J.B., Afshar, B.R., Simmons, M.T., Barrett, M.E., Kinney, K.A., Kirisits, M.J. (2011). The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater. *Water Res.* 45(5), 2049-59. doi: 10.1016/j.watres.2010.12.015. Epub 2010 Dec 22.
- Ociepa, E., Mrowiec, M., Deska, I., Okoniewska, E. 2015. (2015). Pokrywa śnieżna jako ośrodek depozycji zanieczyszczeń. *Annual Set The Environment Protection. Rocznik Ochrona Środowiska*, 17, 560-575.
- Oluwasola, E.I., Ogunbusola, E. M. Famurewa, J.A.V. (2014). Rain Water from Different Roofings in Osogbo, South West Nigeria. *International Journal of Environmental Science and Development*, 5(6), 547-550.

- Pokřívková, J., Lackóová, L., Fuska, J., Tátošová, L., Policht-Latawiec, A. (2016). The Impact of Air Pollution on Rainwater Quality. *Annual Set The Environment Protection. Rocznik Ochrona Środowiska*, 18(1), 303-321.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego Dz.U. 2014 poz. 1800.
- Simmons, G., Hope, V., Lewis, G., Whitmore, J., Gao, W. (2011). Contamination of potable roof-collected rainwater in Auckland, New Zealand. *Water Res.*, 35, 1518-1524. doi: 10.1016/S0043-1354(00)00420-6.
- Stewart, C., Kim, N.D., Johnston, D.M., Nayyerloo, M. (2016). Health Hazards Associated with Consumption of Roof-Collected Rainwater in Urban Areas in Emergency Situations. *Int J Environ Res Public Health*, 13(10) pii: E101. doi: 10.3390/ijerph13101012.
- Scholz, M. (2016). *Wetland Systems to Control Roof Runoff*. Wetlands for Water Pollution Control (Second Edition), 191-207. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-63607-2.00023-X>.
- Shirley, E., Clark, P.E., Steele, K.A., Spicher, J., Siu, C.Y.S., Lator, M.M., Pitt, R., Jason, T. Kirby, J.T. (2008). Roofing Materials' Contributions to Storm-Water Runoff Pollution. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 134(5), 638-645.
- Szeląg-Sikora, A. Niemiec, M., Sikora, J. (2016). Assessment of the content of magnesium, potassium, phosphorus and calcium in water and algae from the Black Sea in selected bays near Sevastopol. *Journal of Elementology*, 21(3). 915-26
- Tobiszewski, M., Polkowska, Ż., Konieczka, P., Namieśnik, J. (2010). Roofing Materials as Pollution Emitters Concentration Changes during Runoff. *Polish J. of Environ. Stud.*, 19(5). 1019-1028.
- Wiśniowska-Kielian, B., Niemiec, M., Arasimowicz, M. 2013. Przydrożne zbiorniki ścieków opadowych jako element ochrony jakości wód. *Inżynieria Ekologiczna*, 34, 62-75.
- Zawieja, I. (2016). Characteristics of Excess Sludge Subjected to Disintegration. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 18, 124-136.
- Zhang, Q., Wang, X., Hou P., Wan, W., Li R., Ren, Y., Ouyang, Z. (2014). Quality and seasonal variation of rainwater harvested from concrete, asphalt, ceramic tile and green roofs in Chongqing, China. *Journal of Environmental Management*, 132, 178-187.

The Content of Heavy Metals in Rainwater Flowing from Roofs with Different Coatings

Abstract

The objective of the paper was to determine the chemical composition of water flowing down from different types of roofs of houses in comparison to their content in rainwater. The research covered 42 roofs of single-family houses, inventory buildings or sacral facilities. Rainwater collected in six randomly selected sites on the investigated area was used for research. The research was carried out in the areas with low anthropoppression. Various types of roofs occurring in the investigated area were used in the study: cement tile, ceramic tile, bituminous roof, galvanized sheet metal, copper sheet metal, eternit. The content of Cr, Zn, Pb, Cu, Cd, Ni, Fe, and Mn was calculated in the investigated water samples. Additionally pH of water was determined. The results show that the water flowing down from roofs included more investigated elements than rainwater. The average coefficient of enrichment in iron of water flowing down from the galvanized sheet metal roof was 8 and the average amount of zinc flowing down from the roof was more than forty times higher than in comparison to rainwater, and of lead over twenty times higher. The content of manganese in water falling down from galvanized sheet metal roofs was almost thirteen times higher in comparison to rainwater. In case of water from copper roofs the admissible content of copper in sewage introduced to surface water or ground was exceeded. Zink content was exceeded in case of water from galvanized sheet metal roofs. In case of the remaining samples, no inadmissible amounts were reported. Water from roofs covered with cement tile, eternit and copper sheet metal had higher pH content in comparison to rainwater. In the remaining cases no statistically significant differences were reported.

Streszczenie

Celem pracy było określenie zawartości metali ciężkich wód spływających z dachów domów z różnym pokryciem na tle ich zawartości w wodzie deszczowej. Badaniami objęto 42 dachy domów jednorodzinnych, budynków inwentarskich lub obiektów sakralnych. Jako tło do badań użyto wody opadowej zebranej w sześciu losowo wybranych miejscach na terenie obszaru badań. Badania przeprowadzono na terenach o niskiej antropopresji. W badaniach wykorzystano najczęściej wykorzystywane rodzaje pokryć dachowych na badanym terenie: dachówka cementowa, dachówka ceramiczna, pokrycie bitumiczne, blacha ocynkowana, blacha miedziana oraz także eternit. W badanych próbkach wód oznaczono zawartość Cr, Zn, Pb, Cu, Cd, Ni, Fe, i Mn. Dodatkowo ozna-

czono pH wody. Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że woda spływająca z badanych dachów generalnie zawierała większe ilości analizowanych pierwiastków w porównaniu z wodą deszczową. Średni współczynnik wzbogacenia wody w żelazo spływającej w dachu pokrytego blachą ocynkowaną wynosił ponad 8 natomiast średnia ilość cynku spływająca z tych dachów była ponad 40 razy większa w porównaniu z wodą deszczową a ołowiu ponad 20 razy większa. Zawartość manganu w wodzie spływającej z dachów pokrytych blachą ocynkowaną była ponad 13 razy większa w porównaniu z tłem jaki stanowiła woda deszczowa. W przypadku wody spływającej z dachów miedzianych stwierdzono przekroczenie zawartości dopuszczalnych miedzi określonej przepisami dla ścieków wprowadzanych do wód powierzchniowych lub ziemi. W wodzie spływającej z dachów pokrytych blachą ocynkowaną stwierdzono przekroczenie dopuszczalnych zawartości cynku. W przypadku pozostałych próbek nie stwierdzono przekroczenia krytycznych zawartości dla ścieków odprowadzanych do wód lub ziemi. Spływy z dachów: z dachówki cementowej, eternitu falistego oraz blachy miedzianej odznaczały się większą wartością pH w porównaniu do wody deszczowej. W pozostałych przypadkach nie stwierdzono różnic istotnych statystycznie.

Słowa kluczowe:

pokrycia dachowe, spływy z dachów, pierwiastki śladowe, ścieki

Keywords:

roofs, water from roofs, trace elements, sewage