

# WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOCHEMICZNE I CHEMIZM OPADU PODKORONOWEGO NA TERENIE „BIAŁEGO ZAGŁĘBIA”

Rafał Kozłowski

**Kozłowski R., 2006:** Właściwości fizykochemiczne i chemizm opadu podkoronowego na terenie „Białego Zagłębia” (*The physico-chemical propriety and chemistry of throughfall on „Białe Zagłębie” region*), Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Nr 7, s. 41-49, Kieleckie Towarzystwo naukowe, Kielce

**Zarys treści:** W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań dotyczących przestrzennego zróżnicowania właściwości fizykochemicznych i składu chemicznego opadu podkoronowego. W trakcie pomiarów analizowano ilość opadu, pH, przewodność elektrolityczną oraz skład chemiczny na zawartość K i Na. Do tego celu wykorzystano 40 opadomierzy ustawionych na planie siatki prostokątnej zlokalizowanych w obrębie drzewostanu grabowo-bukowo-sosnowego. Na podstawie uzyskanych wyników wyliczono niezbędną ilość punktów pomiarowych, które można stosować w dalszych badaniach ilości i jakości opadu podkoronowego.

**Słowa kluczowe:** opady podkoronowe, liczba deszczomierzy, geoekosystem

Rafał Kozłowski, Akademia Świętokrzyska, Samodzielny Zakład Ochrony i Kształtowania Środowiska, ul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce, rafalka@pu.kielce.pl

## 1. Wprowadzenie

Dotychczasowe badania przeprowadzone w rezerwacie jaskinia „Raj” koncentrowały się wyłącznie na transformacji ilości i jakości wód opadowych w układzie pionowym; opad bezpośredni – podkoronowy – spływ po pniach – roztwory glebowe. Brak natomiast szczegółowych opracowań dotyczących przestrzennego zróżnicowania właściwości fizyko-chemicznych i chemicznych opadu podkoronowego. Wiadomo, że opad ten, poza spływem wód opadowych po pniach oraz opadem organicznym stanowi w lesie zasadniczą drogę dopływu substancji do gleb (Grodzińska, Lasowski 1996). Ponadto wody opadowe docierające do powierzchni gleb nie są rozłożone równomiernie, dość wyraźnie zaznacza się ich plamistość oraz mikromozajkowość. Zjawisko to determinowane jest przez strukturę i skład gatunkowy drzewostanu oraz zwarcie koron, wiek drzewostanu, wzniesienie nad

poziom morza porę roku i wielkość opadu bezpośredniego, odległość od pnia drzewa, stopień zagęszczenia organów asymilacyjnych w koronach drzew oraz od rodzaju i wielkości emisji (Ermich i wsp. 1967, Białobok 1990, Whelan i wsp. 1998, Kruszyk 2002, Kozłowski 2003a, b). Gleby pozostające pod osłoną koron drzew otrzymują nie tylko zróżnicowane sumy opadów, ale również zróżnicowany ładunek substancji chemicznych zawartych w wodach opadowych. Najbardziej wpływ ten zaznacza się w pobliżu pni drzew i zmniejsza się w miarę oddalania się od pnia (Koćmit, Raczkowski 1993, Kozłowski 2003b, Józwiak, Kozłowski 2004).

Prowadzone badania w SW części Gór Świętokrzyskich wykazały, że w geoekosystemie tym następuje proces jakościowej transformacji wód opadu atmosferycznego (Kozłowski 2005). Pomimo znacznej redukcji emisji pyłowej przez zakłady produkcyjne, zwłaszcza w wodach opadu podkoronowego zaznacza się wyraźny wzrost wartości pH oraz

pojemności zobojętniania kwasów  $ANC_{aq}$  w stosunku do wód opadu bezpośredniego. Zjawisko to związane jest z depozycją alkalicznych pyłów na powierzchni roślin. W chwili wystąpienia opadów, pyły i aerozole splukiwane są z roślin i wraz z opadem dostają się do gleb. W literaturze zjawisko to opisywane jest jako regionalne i dotyczy niewielkich obszarów np. w Hiszpanii (Avila, Roda 2002) oraz Tajlandii (Luan-gjame i wsp. 2001).

Celem niniejszej pracy jest określenie niezbędnej liczby punktów pomiarowych (opadomierzy) w celu optymalizacji rozmieszczenia punktów poboru opadu podkoronowego z jak najniższym błędem. Jest to istotny problem w badaniach terenowych eksperymentalnych. Ile prób powinno być pobranych z analizowanej powierzchni doświadczalnej do obliczenia danej cechy, a także, w jaki sposób powinny być rozmieszczone chwytacze tak, aby uzyskiwane wyniki były reprezentatywne. Ponadto istotnym z punktu widzenia metodyki poboru prób opadu podkoronowego jest nie tylko analiza zróżnicowania ilości i jakości wód pomiędzy poszczególnymi punktami, ale również istotność statystyczna obserwowanych zależności. W niniejszej pracy poddano również analizie przestrzenną zmienność wybranych cech fizykochemicznych oraz chemicznych w ekosystemie leśnym wzgórze Malik zlokalizowanego w Górach Świętokrzyskich.

## 2. Obszar i metody badań

Badania prowadzono w okresie od 1 listopada 2004 roku do 31 lipca 2005 r. na terenie Stacji Geoekologicznej „Malik” (ryc.1) w rezerwacie leśnym „Jaskinia Raj, znajdującej się w zasięgu tzw. „Białego Zagłębia” (Zajac 1979). Badania Świercz (1997) wykazały, że zbiorowisko to ma charakter borowy. Świadczy o tym warstwowa budowa drzewostanu, w którym dominuje sosna wraz z towarzyszącą roślinnością krzewinkowo-mszystą tworzącą charakterystyczną kombinacją gatunków dla zbiorowisk borowych. Dlatego też analizowane zbiorowisko zaliczono do degeneracyjnej postaci boru sosnowego ze związku *Dicrano-Pinion*. Analizowany drzewostan buduje głównie sosna, z domieszką graba i buka, tworząc jednowarstwowy drzewostan o zwarciu powyżej 75%.

Bezpośrednim następstwem zmian właściwości gleb spowodowanych przez imisję pyłów alkalicznych, stały się przekształcenia w strukturze ilościowej i jakościowej badanego zbiorowiska leśnego. Skład

gatunkowy drzewostanu w badanym geosystemie uległ daleko idącej ruderalizacji i synantropizacji, a gatunki z klasy *Vaccinio-Piceetea*, które powinny dominować w zbiorowiskach borowych tego związku, odznaczały się niską systematyczną wartością, wynoszącą od 1,0 do 3,1 (Świercz 1997).

Dane charakteryzujące badany obszar przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1 Charakterystyka fizyczno-geograficzna powierzchni pomiarowej (Józwiak, Kozłowski 2004)

Tab. 1. *Physical and geographical characterization a measurement plot (Józwiak, Kozłowski, 2004)*

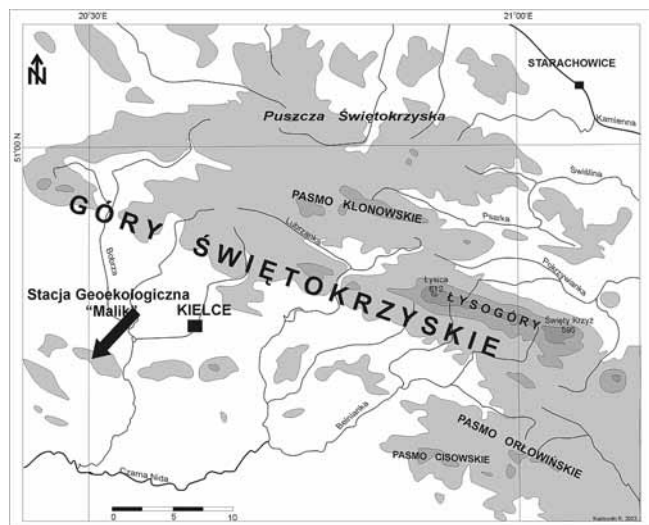
	Stacja Geoekologiczna Malik Geosystem w SW części Gór Świętokrzyskich <i>Geosystem Malik in south-western part of Świętokrzyskie Mountains</i>
Położenie <i>Location</i>	20°30' 00"E, 50°49' 30"N
Powierzchnia <i>Area</i>	0,4 km <sup>2</sup>
Wysokość <i>Height</i>	248 – 267,6 m n.p.m.
Opad (TF+SF/BP) <i>Precipitation</i>	414,3/688,2 mm a <sup>-1</sup> <sup>a</sup>
Temperatura <i>Temperature</i>	8,9° C <sup>b</sup>
Gleby <i>Soils</i>	rędziny
Geologia <i>Geology</i>	wapień dewoński
Roślinność <i>Vegetation</i>	<i>Dicrano-Pinion</i> [Sosna ( <i>Pinus sylvestris</i> ), Buk ( <i>Fagus sylvatica</i> ), Grab ( <i>Carpinus betulus</i> )]

<sup>a</sup> = RH 2000-2003 lata hydrologiczne,

<sup>b</sup> = RH 2000-2002 lata hydrologiczne

W wyniku trwającej ponad 35 letniej emisji alkalicznej, nastąpiły na tym obszarze znaczne zmiany właściwości w profilu glebowym, wodach gruntowych i opadowych oraz w składzie florystycznym zbiorowisk leśnych (Rzepa 1982, Kowalkowski, Świercz 1992, Mochoń 1993, Świercz 1997, Kozłowski 2000). Prócz trzech cementowni i zakładu wapienniczego emitujących około 21% pyłów w skali województwa (Raport 2002), zlokalizowano na tym obszarze znaczną ilość uciążliwych dla środowiska zakładów wydobywco-przetwórczych kopalin skalnych (Kowalkowski, Rubinowski 1991). Jednakże, jak wykazały najnowsze badania (Józwiak, Kozłowski 2004, Kozłowski 2005), w związku ze znaczną redukcją w ostatnich latach emisji pyłowych z zakładów cementowo-wapienniczych, w miesiącach jesienno-

zimowych na tym obszarze występują coraz częściej opady z pH poniżej wartości 5,0.



Ryc. 1. Lokalizacja geosystemu wzgórza Malik w SW części Gór Świętokrzyskich

Fig. 1. Location geosystems Malik hill in SW part of Świętokrzyskie Mountain

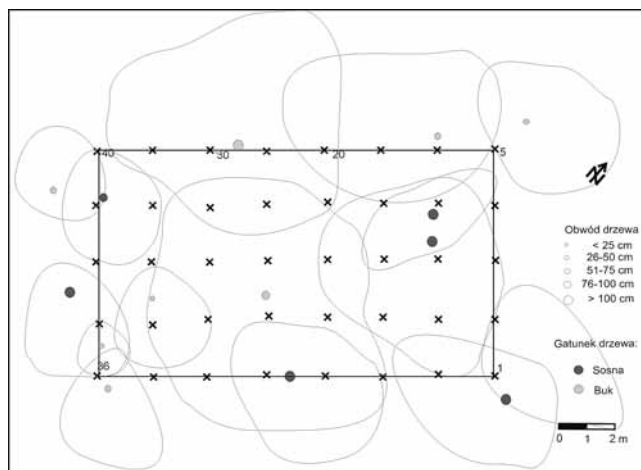
## 2.1 Badania terenowe

W związku z nierównomiernym powierzchniowym rozkładem opadu podkoronowego, założono poletko eksperymentalne mające na celu poznanie ilościowego i jakościowego zróżnicowania opadu docierającego do dna lasu. Do tego celu wykorzystano 40 opadomierzy, ustawionych na planie siatki prostokątnej w odległości, co 2 m, w pięciu rzędach po 8 na powierzchni obejmującej 112 m<sup>2</sup> (ryc.2). Próby opadu pobierano na wysokości 1 m n.p.g., do lejeków polietylenowych o średnicy 12 cm, których wlot zabezpieczono siatką muślinową. Woda z opadomierzy zbierana była w butlach polietylenowych o objętości 1 dm<sup>3</sup> ustawionych wewnątrz stojaka.

Bezpośrednio w terenie, w cyklu tygodniowym, badano wielkość opadów oraz właściwości fizykochemiczne, tj. pH i przewodność elektrolityczną, indywidualnie dla każdego punktu pomiarowego. Do tego celu wykorzystywano pH-metr CP-103 i konduktometr CC-101 firmy Elmetron, kalibrowane każdorazowo przed serią pomiarową.

## 2.2. Badania laboratoryjne

Każdorazowo pobrane próby w terenie tego samego dnia przewożono do laboratorium i przechowywano w temperaturze +4°C. Kolejnego dnia przy użyciu fotometru płomieniowego firmy Sherwood 420 analizowano skład chemiczny na zawartość K<sup>+</sup> i Na<sup>+</sup>.



Ryc.2. Rozmieszczenie deszczomierzy opadu podkoronowego na poletku pomiarowym w drzewostanie z usytuowaniem drzew i rzutem koron (odległości między poszczególnymi opadomierzami, co 2m)

Fig. 2. Distribution the throughfall collection the measurement plot in tree stand to locate the trees and the projection onto canopy (the distance between separate the throughfall collection, every 2m)

## 2.3. Metody kameralne

Zebrany materiał poddano opracowaniu statystycznemu oraz graficznemu. Do tego celu wykorzystano programy Statistica 6.0 PL (metoda aglomeracji), Origin 7.0 oraz Surfer 8.0. Rozkład przestrzenny zróżnicowania mierzonych parametrów przedstawiono za pomocą przebiegu izolinii, które wykreślono za pomocą interpolacji metoda krigingu.

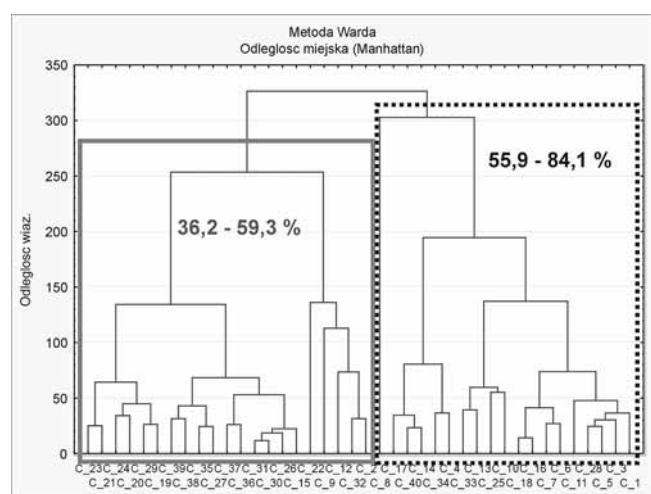
Określono również minimalną liczebność próby do określenia danego zjawiska z określonym błędem (Józwiak J. 1997) oraz współczynnik zmienności poszczególnych cech (CV).

## 3. Analiza uzyskanych wyników

### 3.1. Przestrzenny rozkład wielkości opadu podkoronowego

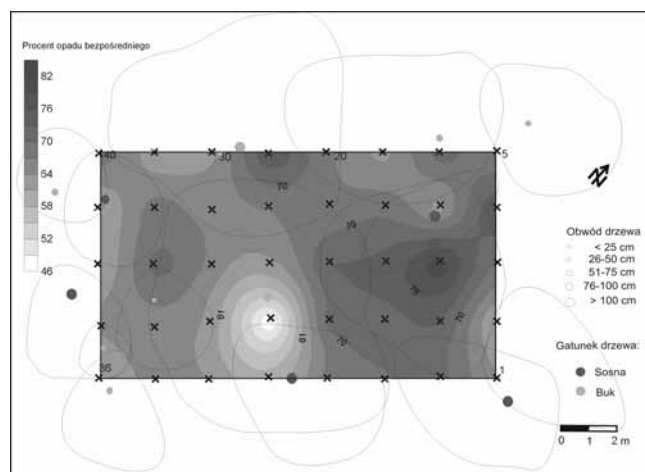
W celu wyodrębnienia grup opadomierzy różniących się od siebie rozkładem wielkości opadu zebrane dane, po uprzedniej standaryzacji, poddano analizie grupowania metodą Warda, przy zastosowaniu odległości miejskiej Manhattan. W procedurze aglomeracji uzyskano dwie główne grupy i szereg podgrup opadomierzy. Pierwsza grupa obejmuje punkty pomiarowe zlokalizowane w zasięgu oddziaływania koron sosen, gdzie średni opad stanowił 62,2% opadu bezpośredniego. Maksymalna sumę odnotowano w

punkcie pomiarowym nr 8 zlokalizowanym bezpośrednio pod koronami dwóch sosen, gdzie opad podkoronowy stanowił 72,2% opadu ponad lasem. Druga grupa obejmuje opadomierze zlokalizowane pod i na skraju koron buków oraz w lukach między koronami drzew. Stwierdzone w tej grupie wartości są niższe od obliczonych dla całej powierzchni testowej i wynoszą 53,1% opadu bezpośredniego. Najniższe wartości odnotowano w punkcie pomiarowym nr 22, zlokalizowanym w pobliżu pnia buka, gdzie opad podkoronowy stanowił jedynie 40,9% opadu bezpośredniego (ryc.3).



Ryc.3. Wyniki grupowania sum opadów podkoronowych metodą aglomeracji (metoda Warda, odległość miejska Manhattan)  
 Fig.3. Results classify throughfall sum of agglomeration method (Ward method, the urban distance Manhattan).

Jak wykazały badania dotyczące przestrzennego zróżnicowania wielkości opadu podkoronowego, średnio w okresie badawczym do dna lasu dotarło 238,4 mm opadu, co stanowiło 59,2% opadu bezpośredniego. Najniższe wartości stwierdzono w punkcie pomiarowym zlokalizowanym przy pniu buka, gdzie łączny opad docierający do dna lasu wynosił 164,6 mm (40,9% opadu ponad lasem). Odpowiednio najwyższe wartości stwierdzono w opadomierzach umiejscowionych pod koronami sosen, z maksimum wynoszącym 290,9 mm (72,2 % opadu bezpośredniego). Uzyskany rozkład ilości opadu określany jest w literaturze mianem „efektu parasola” (Olszewski 1994). Najwięcej opadu dociera na skraju korony, następnie w lukach między koronami i w środku odległości między pniem a skrajem korony, a najmniej tuż przy pniu drzewa (ryc. 4).

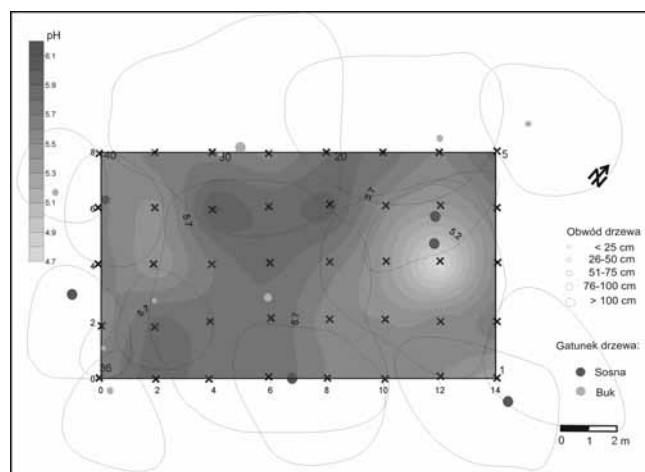


Ryc.4. Powierzchniowe zróżnicowanie opadów podkoronowych w % opadu bezpośredniego w drzewostanie bukowo-sosnowym

Fig. 4. Variability surface of throughfall in % rainfall in stand of oak-pine

### 3.2. Właściwości fizyko-chemiczne i chemizm

Badania prowadzone w geokosystemie wykazały, że średnia ważona wartość pH opadu atmosferycznego w analizowanym okresie wyniosła 5,76, z wahaniami pH od 4,50 do 7,22. Pomimo stwierdzonej w ostatnich latach w regionie „Białego Zagłębia” znacznej redukcji emisji pyłów pochodzących z atmosfery, poza miesiącami zimowymi, badany obszar charakteryzuje się opadami, których pH świadczy o trwającym nadal procesie alkalizacji.



Ryc.5. Powierzchniowe zróżnicowanie wartości pH w opadach podkoronowych badanego drzewostanu

Fig. 5. Variability surface pH value in throughfall of trees stand research

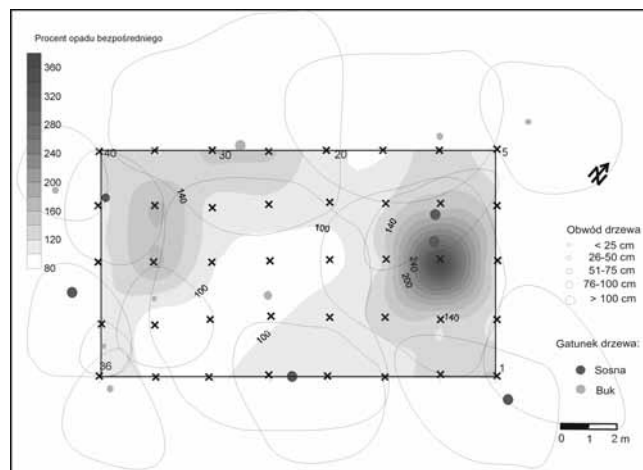
Jak wykazały dotychczasowe badania opad docierający do dna lasu nawiązuje do składu gatunkowego drzewostanu. Wyliczone średnie ważone wartości pH w analizowanym okresie, wskazują, że najniższe pH notowano w wodach opadów podkoronowych w opadomierzach zlokalizowanych pod koronami sosen z minimum pH 4,69, najwyższe zaś pod koronami buków z maksymalną wartością pH 6,04 (ryc.5).

Jak podają Draaijers i wsp. (1997), Kozłowski (2003a, b) oraz Kruszyk (2002) wzrost wartości pH pod koronami buków w porównaniu do opadu bezpośredniego należy wiązać m.in. z wymywaniem jonów zasadowych w strefie koron. Przyczyną są przede wszystkim reakcje jonowymiennie rośliny – faza ciepła, które w badanym geosystemie zachodzą intensywniej w strefie koron sosen. Wiadomo, że drzewostany iglaste są znacznie lepszymi receptorami w przechwytywaniu zanieczyszczeń z powietrza, w tym kwaśnych aerozoli, niż gatunki liściaste. Ponadto, w okresie jesienno – zimowym drzewa liściaste pozbawione są organów asymilacyjnych. Jak podaje Potter i wsp. (1991), od 40 do 60 % jonów zasadowych w opadach podkoronowych pochodzi z reakcji ich wymiany jonami wodoru w strefie koron. W wyniku uwalniania jonów wodoru w koronach drzew z fazy ciepłej, i następczych reakcji jonowymiennych, następuje intensywne wymywanie z organów asymilacyjnych, zwłaszcza jonów potasu, które są znacznie bardziej mobilne niż dwuwartościowe jony wapnia i magnezu (Ukonmaanaho, Starr 2002, Kozłowski 2003a).

Badania przestrzennego zróżnicowania ładunku potasu w opadzie podkoronowym wykazały, że największy ładunek notowano w chwytaczach zlokalizowanych pod koronami sosen (ryc. 6). Maksymalny ładunek wynoszący  $1,66 \text{ g K} \cdot \text{m}^{-2}$ , stwierdzono w chwytaczu zlokalizowanym bezpośrednio pod sosnami. Wartość ta stanowiła 376,5 % ładunku potasu dostarczonego z opadem bezpośrednim, przy średniej dla całej powierzchni doświadczalnej wynoszącej 123,6% ( $0,54 \text{ g K} \cdot \text{m}^{-2}$ ). Najniższe wartości (83,2 %) stwierdzono w opadomierzach zlokalizowanych w lukach między koronami drzew, oraz pod koroną buka.

Przeprowadzone przez autora obliczenia dotyczące oszacowania wielkości ładunku jonów potasu, wapnia i magnezu pochodzących z wymywania z roślin, z wykorzystaniem modelu „Budżetu sklepienia koron” (Ulrich 1983, Van der Mass, Pape 1991) wykazały różnice pomiędzy drzewostanami. W latach 2000 – 2002 udział jonów potasu pochodzących z wymywa-

nia w drzewostanie iglastym wynosił średnio 64,7 % i 68,9% w drzewostanie liściastym (Kozłowski 2003b). Stwierdzono, że proces ten nie przebiegał równomiernie przez cały rok. Intensywniej zachodził w okresie wegetacyjnym. Wówczas nawet 100 % ładunku potasu pochodziło z wymywania z drzew. Jak wykazały badania jony magnezu i wapnia, wymywane były jedynie z roślin w miesiącach przypadających na początek i koniec sezonu wegetacyjnego, oraz w trakcie trwania sezonu grzewczego (styczeń).



Ryc. 6. Powierzchniowe zróżnicowanie ładunku potasu w opadach podkoronowych wyrażonego w procentach w opadzie bezpośrednim

Fig. 6. Variability surface of potassium load in throughfall express in percent in rainfall

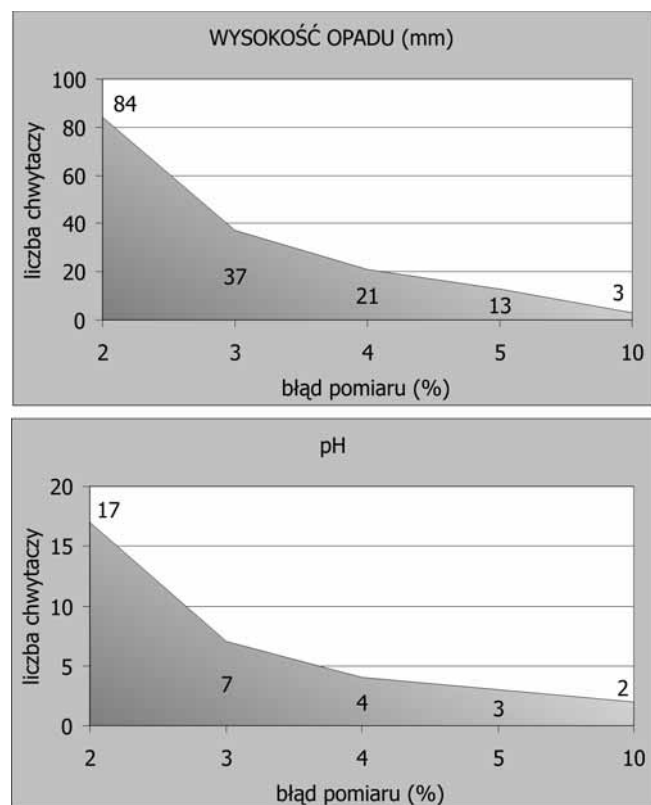
#### 4. Określenie niezbędnej liczby opadomierzy do oszacowania analizowanych cech.

Na podstawie danych pochodzących z 40 punktów pomiarowych dla analizowanych cech określono niezbędną liczbę opadomierzy, która przy określonym błędzie i poziomie istotności statystycznej odzwierciedlałaby ich zmienność. Do tego celu wykorzystano wzór na minimalną liczebność próby. Uzyskane w ten sposób informacje mogłyby posłużyć do doboru reprezentatywnej ilości punktów pomiarowych w danym drzewostanie. Ustalenie optymalnej liczebności spadomierzy ma istotne znaczenie nie tylko teoretyczne, ale i praktyczne.

W trakcie badań w drzewostanie grabowo-bukowo-sosnowym, zespołu *Dicrano-Pinion* stwierdzono, że wśród badanych parametrów, można wydzielić dwie grupy.

Pierwszą z nich stanowią cechy słabo zmienne, do których zaliczono pH oraz ilość opadu. Do ich obli-

czenia wystarczy zastosowanie niewielkiej liczby punktów pomiarowych (ryc.7).



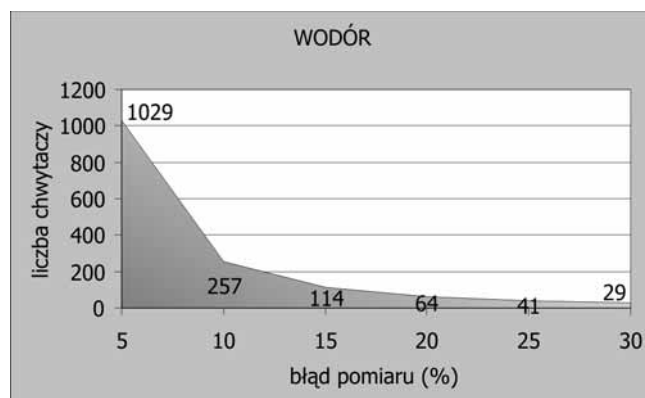
Ryc. 7. Liczba punktów pomiarowych niezbędna do określenia wielkości opadu i wartości pH z określonym błędem - cechy słabo zmienne

Fig. 7. The numbers point measurments essential to determine quantity fall and valuable pH with determine mistakes.

W przypadku pomiarów pH zastosowanie np. jedynie 4 opadomierzy pozwala nam na uzyskiwanie wyników, przy którym błąd pomiaru wynosi jedynie 4%, przy założonym poziomie istotności  $\alpha=0,05$ . W przypadku pomiarów wielkości opadu, aby uzyskać 4% błąd, przy poziomie istotności  $\alpha=0,05$ , należałoby zastosować już 21 opadomierzy. Uzyskane wyniki korelują z wyliczonym stopniem zmienności analizowanych cech wyrażonym poprzez wskaźnik zmienności (CV). Najniższe wartości charakteryzują rozkład pH – 4% oraz wielkość opadu – 9%. Badania Kruszyka (2002) w zlewni jeziora Czarnego w obrębie boru mieszanego wykazały, że współczynnik zmienności dla wielkości opadu był wyższy i wynosił 19%.

Analiza danych ładunku potasu, wodoru, sodu oraz przewodności elektrolitycznej wykazała znaczną ich zmienność. Do uzyskania reprezentatywnych danych dotyczących przestrzennego zróżnicowania tych war-

tości wydaje się koniecznym, zastosowanie znacznej liczby punktów pomiarowych (ryc. 8-9).



Ryc. 8. Liczba punktów pomiarowych niezbędna do określenia ładunku wodoru z określonym błędem - cecha bardzo silnie zmienna

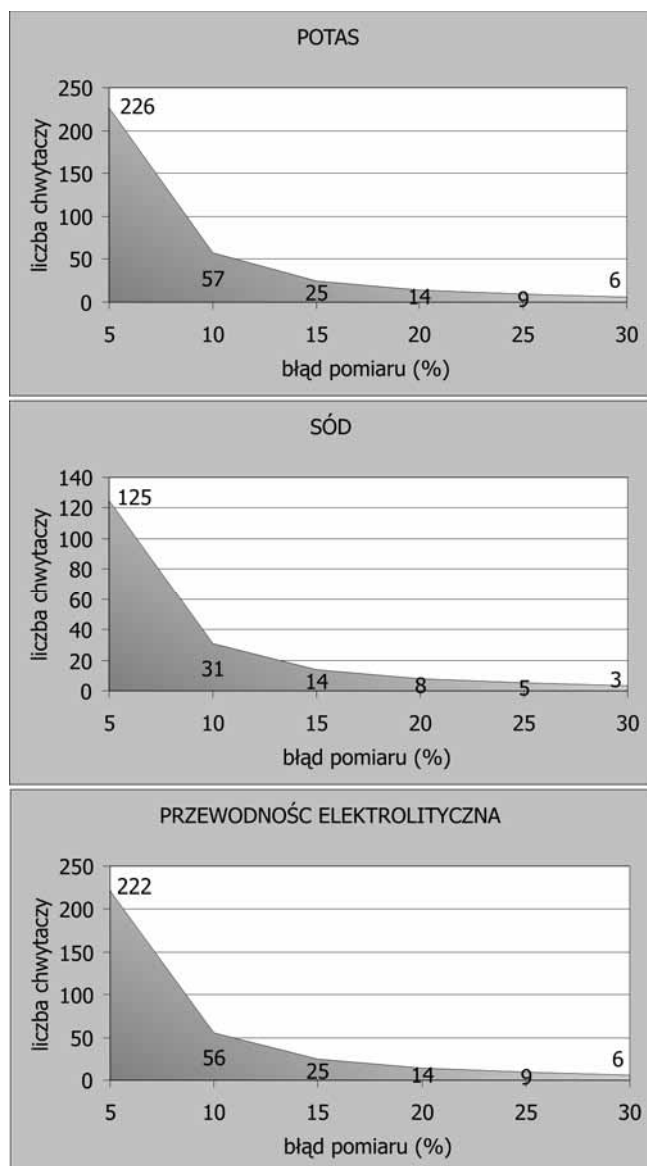
Fig. 8. The numbers point measurments essential to determine of hydrogen load with determine mistakes – the quality strong variability.

W grupie tej, określonych jako cechy silnie i bardzo silnie zmienne można wydzielić dwie podgrupy. Bardzo silnie zmienną cechą jest jon wodoru, do obliczenia, którego należałoby zastosować, przy błędzie 30 % - 29 i przy 25% odpowiednio 41 punktów pomiarowych. Aby uzyskać wyniki obarczone jedynie 10 % błędem konieczne byłoby zastosowanie aż 257 punktów pomiarowych. Nieco niższe ilości opadomierzy odnotował Kruszyk (2002) w drzewostanie sosnowym w zlewni jeziora Gardno (Pomorze Zachodnie), gdzie do uzyskania wyników z 10% błędem konieczne byłoby zastosowanie 52 sztuk. Podawane przez tego autora współczynnik zmienności określający stopień powierzchniowego zróżnicowania wielkości danej cechy był jednak niższy dla jonów wodoru niż w badanym geosystemie i wyniósł 66% wobec 79% w SW części Gór Świętokrzyskich.

Drugą podgrupę, silnie zmienną, stanowią wartości ładunków jonów potasu i sodu oraz przewodności elektrolitycznej (ryc.9). Zastosowanie w przypadku ładunku potasu oraz wielkości przewodności elektrolitycznej 26 opadomierzy daje błąd 15% wyniku przy poziomie istotności  $\alpha=0,05$ . W przypadku ładunku sodu przy 10% błędzie wystarczające będzie zastosowanie jedynie 14 punktów pomiarowych.

Wyniki uzyskane w trakcie badań wykazały, podkreślany często w literaturze fakt, znacznej zmienności przestrzennej mierzonych cech opadu podkorono-

wego na dnie lasu (Kruszyk 2002) wynikający ze znacznego zróżnicowania danego drzewostanu.



Ryc. 9. Liczba punktów pomiarowych niezbędna do określenia ładunku sodu i wielkości przewodności elektrolitycznej z określonym błędem – cechy silnie zmienne

Fig. 9. The numbers point measurements essential to determine of sodium load and quantity electrical conductivity with determine mistakes – the quality's strong variability.

Wydaje się, że pomiar właściwości fizykochemicznych oraz składu chemicznego opadu podkoronowego przy użyciu kilku chwytaczy nie oddaje faktycznego zróżnicowania mierzonej cechy w obrębie drzewostanu. Uzyskiwane w ten sposób wyniki w dużej mierze zależą od czynnika losowego związanego ze strukturą, zwarcieniem i piętrowością drzewostanu oraz odległością chwytacza od pnia drzewa. Ponadto

należy zwrócić uwagę na poruszany już w literaturze „efekt parasola”, (Olszewski 1984), który w znaczny sposób modyfikuje ilość wody docierającej do powierzchni gleby.

Uzyskane w niniejszej pracy wyniki wskazują, że zastosowanie, np. co najmniej 10–15 opadomierzy, ustawionych w sposób regularny na planie siatki prostokątnej lub krzyża dają możliwość uzyskania reprezentatywnego wyniku. Taka ekspozycja chwytaczy uwzględnić powinna zarówno opad, który przenika przez korony drzew liściastych bądź/i iglastych, opad w lukach między koronami, jak też na skraju koron. Taki „sztywny” sposób ekspozycji chwytaczy, np. w odległości co 3 m, pozwala na uniknięcie przypadkowości lub/i celowości ustawienia punktów pomiarowych jedynie pod koronami drzew lub tylko w lukach.

Istotnym wskaźnikiem przy planowaniu optymalnej liczby punktów pomiarowych powinna być również analiza współczynnika zmienności dla poszczególnych parametrów. Przy niewielkich wartościach CV możliwe jest stosowanie mniejszej liczebności chwytaczy, których liczba powinna jednak zwiększać się wraz ze wzrostem jego wartości.

## 5. Podsumowanie

Podsumowując należy stwierdzić, że przeprowadzona procedura aglomeracji metodą Warda wykazała dwa główne charakterystyczne obszary pod koronami drzew w obrębie badanego drzewostanu. Punkty pomiarowe zaliczone do grupy I zlokalizowane były w zasięgu oddziaływania koron sosen. Charakteryzowały się większymi wielkościami opadów podkoronowych. Grupa II obejmowała punkty zlokalizowane pod i na skraju koron buków oraz w lukach między koronami drzew i odznaczała się niższymi wielkościami opadów docierających do dna lasu.

W trakcie badań stwierdzono, że wśród badanych właściwości, można wydzielić dwie grupy cech. Do grupy cech słabo zmiennych zaliczono pH oraz wielkość opadu. Drugą grupę stanowią cechy silnie i bardzo silnie zmienne, do których zaliczono pomiary ładunku potasu, wodoru, sodu oraz wielkości przewodności elektrolitycznej.

Analiza uzyskanych wyników wykazała, że zastosowanie, np. co najmniej 10–15 opadomierzy, ustawionych w sposób regularny na planie siatki prostokątnej lub krzyża pozwala na uchwycenie przestrzennego zróżnicowania opadu podkoronowego.

Taka liczba punktów pomiarowych odzwierciedlać powinna całe spektrum zmian, jakie występują w obrębie drzewostanu, związanych z piętrowością, zwarciem i miąższością koron drzew, odległością od pni drzew oraz lukami pomiędzy koronami. Należy jednocześnie zaznaczyć, że dotychczas przeprowadzone badania powinny być dalej kontynuowane w celu lepszego rozpoznania i śledzenia zmian, jakie zachodzą w obrębie drzewostanu, związanymi nie tylko z jego budową, ale również ze zmieniającą się wielkością imisji zanieczyszczeń w obrębie „Białego Zagłębia”.

## 6. Literatura:

- Àvila A., Rodà F., 2002:** *Assessing decadal changes in rainwater alkalinity at a rural Mediterranean site*, Atmospheric Environment, 36: 2881-2890
- Białobok St. (red.), 1990:** *Buk zwyczajny*, PWN, Warszawa-Poznań: 1-654
- Draaiers G.P.J., Erisman J.W., van Leuven N.F.M., Romer F.G., Te Winkel B.H. et al., 1997:** *The impact of canopy exchange on differences observed between atmospheric deposition and throughfall fluxes*. Atmospheric Environment, 3: 387-397
- Ermich K., Bednarz Z., Feliksik E., 1967:** *Wstępne badania nad osadami z mgły w karpackim obszarze leśnym*, Probl. Zagosp. Ziem Górskiej PAN, 3 (16): 123-143
- Ermich K., Orlicz M. 1975:** *Osady mgielne na Kasprowym Wierchu w Tatrach*, Probl. Zagosp. Ziem Górskich PAN, 14: 81-116
- Grodzińska K., Laskowski R., 1996:** *Ocena stanu środowiska i procesów zachodzących w lasach zlewni Potoku Ratanica (Pogórze Wielickie, Polska Południowa)*, PIOŚ, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 1-139
- Józwiak J., 1997:** *Statystyka od podstaw*, Polskie Wydaw. Ekonomiczne, Warszawa
- Józwiak M., Kozłowski R., 2004:** *Transformacja opadów atmosferycznych w wybranych geosystemach w Górach Świętokrzyskich*, Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce: 199-218
- Koćmit A., Raczkowski B., 1993:** *Wpływ drzewostanu bukowego i zanieczyszczeń atmosferycznych na zróżnicowanie właściwości chemicznych gleb w warunkach Pomorza Zachodniego*. W ZMŚP - Monitoring ekosystemów, W: Kostrzewski A. (red.), Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 128 - 139
- 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: 1-101
- Kowalkowski A., Świercz A., 1992:** *Skąły macierzyste gleby litogeniczne i autogeniczne Góry Malik w Paśmie Bolechowickim w Górach Świętokrzyskich*, Roczn. Świēt.19, KTN, Kielce: 91-105
- Kozłowski R., 2000:** *Przyczynki do poznania zmian właściwości chemicznych wód opadowych w ekosystemie leśnym pod wpływem imisji alkalicznej*, Materiały 49 Zjazdu PTG, Szklarska Poręba 20-24.09.2000: 133-135
- Kozłowski R., 2003a:** *Przestrzenne zróżnicowanie opadu podokapowego w drzewostanie jodłowo-bukowym w centralnej części Gór Świętokrzyskich*, Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce: 99-106
- Kozłowski 2003b:** *Uwarunkowania i zmienność chemizmu opadów atmosferycznych i ich skutki w wybranych geosystemach Gór Świętokrzyskich*, Rozprawa doktorska, Akademia Świętokrzyska, maszynopis, Kielce: 1-212
- Kozłowski R., 2005:** *Dynamika chemizmu wód opadowych w geosystemie w południowo-zachodniej części Gór Świętokrzyskich*, W: Kostrzewski A., Kolander R., (red.) Zintegrowany Monitoring środowiska Przyrodniczego, Funkcjonowanie geosystemów Polski w warunkach zmian klimatu i różnokierunkowej antropopresji, BMŚ Poznań: 143-158
- Kruszyk R., 2002:** *Zróżnicowanie przestrzenne chemizmu opadu podokapowego na dnie boru mieszanego na przykładzie rozkładu odczynu i przewodności elektrolitycznej (zlewnia jeziora Czarnego, Pomorze Zachodnie)*, W: Siwecki R., (red.), Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe, IV Krajowe Sympozjum, Poznań-Kórnik, 29.05-1.06.2001: 825-853
- Luangjame J., Boontawee B., Kliangpibool N., 2001:** *Determination of deposition and leaves in teak plantations in Thailand*, Water, Air and Soil Poll., 130: 935-940
- Mochoń A., 1993:** *Zdjęcie hydrochemiczne górnej części zlewni Bobrzyczki w Górach Świętokrzyskich*, Monitoring Regionu Świętokrzyskiego 1, KTN, Kielce: 91-100
- Olszewski J.L., 1984:** *Intercepcja i jej wpływ na wysokość opadów atmosferycznych docierających do powierzchni gruntu w lesie*, Zeszyty Postępów Nauk Rolniczych, z. 288: 245-270



- Ulrich B., 1983:** *Interaction of forest canopies with atmospheric constituents: SO<sub>2</sub>, alkali and earth alkali cations and chloride*, W: Ulrich B., Pankrath J., *Effect of Accumulation of Air Pollutants in Forest Ecosystems*: 33-45
- Ukonmaanaho L., Starr M., 2002:** *Major nutrients and acidity: budgets and trends at four remote boreal stands in Finland during the 1990s*, *The Sci. of Tot. Envir.*, 297: 21-41
- Van der Mass M.P., Pape Th., 1991:** *Hydrochemistry of two Douglas fir stands in the Netherlands*. Internal publication, Department of Science and Geology, Agricultural University of Wageningen
- Whelan M.J., Sanger L.J., Baker M., Anderson J.M., 1998:** *Spatial patterns of throughfall and mineral ion deposition in a Lowland Norway spruce (Picea Abies) plantation at the plot scale*, *Atmospheric Environment*, 20: 3493-3501
- Raport 2002:** *Stan środowiska w województwie świętokrzyskim w roku 2001*, PIOŚ, Kielce
- Rzepa Cz., 1982:** *Wpływ przemysłowych zanieczyszczeń atmosfery i powierzchni terenu na właściwości fizykochemiczne wód krasowych na przykładzie rezerwatu przyrody "Jaskinia Raj"*, *Roczn. Święt.*, t. X: 49-67
- Świercz A., 1997:** *Wpływ emisji alkalicznej na gleby i bory sosnowe w "Białym Zagłębiu"*, KTN, Kielce: 1-205
- Zajac R., 1979:** *Przyczyny i stan zagrożenia atmosfery w „Białym Zagłębiu”*, *Prace Mater. Inst.Gosp. SGPiS 6*, Warszawa

## THE PHYSICO-CHEMICAL PROPRIETY AND CHEMISTRY OF THROUGHFALL ON „BIAŁE ZAGŁĘBIE” REGION

### Summary

In present work the results of investigations were introduced relating spatial the differentiation of propriety physico-chemical and chemical constitution of rainfall. It the quantity of fall, pH, electrolytical conductivity as well as chemical constitution in track of measurements was analysed on content K and Na. For thus purpose 40 throughfalls put on plan of rectangular mesh situated in grounds of hornbeam – beech – pine stand were used.

In track of investigations affirm, that among studied proprieties, it was been possible to deal out two groups of features. To the group of the faintly variables guild was numbered the pH as well as size of fall. The second group of the guilds make up the strongly and very strongly variables, with the measurements of the potassium load, the hydrogen load, the sodium load as well as size of electrolytical conductivity.

The analysis of got results show, that the use, for example at least 10 - 15 throughfalls, put in regular way on plan of rectangular mesh or cross permits on catch the differentiations spatial rainfall. Such number of measuring points should reflect the whole spectra of changes, what step out in grounds of stand, connected with storey, short-circuit and thickness of the trees' crowns, distance from the trees' trunks as well as the hatches among crowns.

The important indicator for planning the optimum number of measuring points should be also the analysis of changeability coefficient for individual parameters. Near small values CV is possible usage smaller number catchers, whose number should to grow larger with growth its value together however