

# ZRÓŻNICOWANIE WIELKOŚCI I JAKOŚCI SPŁYWU WÓD OPADOWYCH PO PNIACH DRZEW W WYBRANYCH EKOSYSTEMACH LEŚNYCH W GÓRACH ŚWIĘTOKRZYSKICH

Rafał Kozłowski

**Kozłowski R.**, 2002: Zróżnicowanie wielkości i jakości spływu wód opadowych po pniach drzew w wybranych ekosystemach leśnych w Górach Świętokrzyskich (*Differentiation of sizes and qualities of stemflow waters in chosen forest ecosystems in the Świętokrzyskie Mountains*), Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego, nr 3, s. 95-102, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce.

**Zarys treści:** Badania ilości i jakości opadu spływającego po pniach drzew prowadzono na wybranych, dominujących gatunkach w dwóch odmiennych pod względem presji przemysłowej geosystemach w Górach Świętokrzyskich (Kowalkowski 1994). Pomiary prowadzono na jodłach, sosnach oraz bukach i grabach. W opracowaniu wykorzystano ilościowy wskaźnik koncentracji wody wokół pnia drzewa tzw. *funelling ratio* (FR) oraz pojemność zobojętniania kwasów ANC aq.

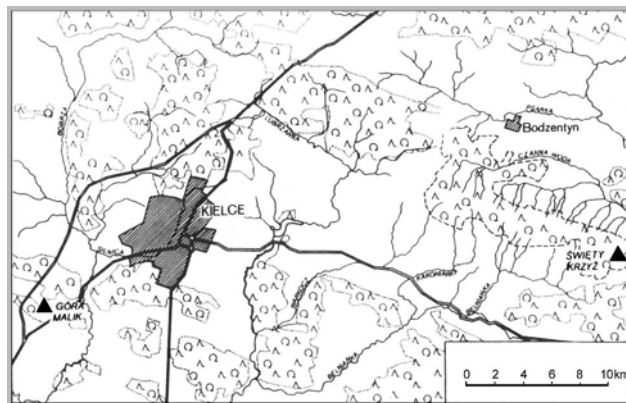
Rafał Kozłowski, Zakład Ochrony i Kształtowania Środowiska Instytutu Geografii, Stacja Monitoringu Akademii Świętokrzyskiej, ul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce, rafalka@pu.kielce.pl

## 1. Wprowadzenie

Ekosystemy leśne są ważnymi przejściowymi warstwami w systemie krążenia wód pomiędzy atmosferą i pedosferą. Do dna lasu opad atmosferyczny dociera w postaci opadu podokapowego oraz spływając po pniach, tworząc na nich „ścieżki” odprowadzenia strumieni wody do gleb. W zależności od gatunku drzewa odmiennie kształtuje się zarówno ilość jak i jakość wód spływających po pniach drzew (Butler, Likens 1995, Bálazs Á. 1998, Kruszyk 2001, Kozłowski 2001). Udział spływu po pniach w ogólnym dopływie substancji chemicznych do dna lasu jest największy w drzewostanach liściastych, znacznie niższy, nie przekraczający zazwyczaj 5% w drzewostanach iglastych (Grodzińska i wsp. 1996). Zjawisko to należy niewątpliwie wiązać z budową korony, wiekiem drzew oraz morfologią kory (Tomanek 1972, Bredemeier 1988). Pomimo notowanych niewielkich wartości, rola tego źródła jest niepoślednia - zasila bowiem system korzeniowy drzew w miejscach, gdzie opad podokapowy jest najmniejszy (Olszewski 1965, 1984, Głogowska, Olszewski 1967, Klein 1979). Wody spływając po pniach drzew zmywają aerozole osadzone na korze powodując jednoczesny wzrost stężeń badanych substancji w roztworze (Grodzińska i wsp. 1996, Kruszyk 2001, Kowalkowski i wsp. 2002b).

## 2. Obszar badań

Badania ilości i jakości opadu spływającego po pniach prowadzono na wybranych, dominujących gatunkach drzew w dwóch odmiennych geosystemach w Górach Świętokrzyskich (ryc. 1).



Ryc. 1. Lokalizacja wybranych geosystemów w Górach Świętokrzyskich (Kowalkowski, Piskorz 1994)

Fig. 1. Location of chosen geosystems in the Świętokrzyskie Mountains (Kowalkowski, Piskorz 1994)

W geosystemie będącym pod wpływem emisji kwaśnej – Świętokrzyski Park Narodowy – badania prowadzono na pięciu bukach (*Fagus sylvatica* L.) o obwodzie pnia na wysokości pierśnicy wynoszącym od 108 cm do 160 cm, oraz pięciu jodłach (*Abies alba* Mill.) o obwodzie pnia od 116 cm do 218 cm zlokalizowanych na terenie

Stacji Bazowej Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego „Święty Krzyż”.

Stacja zlokalizowana jest na północnym stoku Łysej Góry, w ekosystemie leśnym, lasu jodłowo-bukowego utożsamianego z górską formą zespołu buczyny karpaczej *Dentario glandulosae Fagetum* (Bróz, Kapuściński 1990, Głazek, Wolak 1991). Indywidualizm termiczny, zdeterminowany głównie rzeźbą Głównego masywu Łysogór powoduje, że panujące tu warunki dużej wilgotności powietrza, wysokich na ogół sum rocznych opadów oraz stosunkowo długich okresów z małą prędkością wiatrów i ciszami atmosferycznymi stwarzają możliwość częstego i długotrwałego bezpośredniego oddziaływania zanieczyszczonych mas powietrza atmosferycznego na elementy hyllo-, pedo- i hydrosfery. Wg Olszewskiego (1992) szczytowe partie Łysogór otrzymują w roku średnio od 800 – 850 mm. Opady te są jednak znacznie wzbogacone dzięki osadom mgielnym, które dostarczają do ekosystemu leśnego dodatkowe ilości wody. Średnia wartość wilgotności względnej powietrza wynosi 83,3%, z maksimum w listopadzie (91,8%), i minimum w maju (76,1%) (Pielański 1989). Obszar ten ze względu na wyniesienie ok. 400 m ponad otaczające tereny znajduje się pod wpływem zarówno lokalnych jak i zdalnych emisji przemysłowych i transportowych, szczególnie z kierunków dominujących wiatrów zachodnich oraz północno- i południowo-zachodnich (Toffel, Wolski 1996, Józwiak, 2000, 2001).

W geosystemie będącym pod wpływem emisji alkalicznej – Stacja Geoekologiczna Malik – badaniom poddano 4 sosny (*Pinus sylvestris* L.) na wysokości pierśnicy o obwodzie pnia od 94 cm do 118 cm oraz 3 graby (*Carpinus betulus* L.) o obwodzie od 49 cm do 65 cm. Stacja położona jest w SW części Gór Świętokrzyskich, w obrębie tzw. Białego Zagłębia. Zlokalizowano tu znaczną ilość uciążliwych dla środowiska zakładów wydobywczo-przetwórczych kopalni skalnych (Kowalkowski, Rubinowski 1991). 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, 1993, Kowalkowski i in. 1993, Mochoń 1993, Świercz 1997). Jak wykazały badania Kozłowskiego (2000), średnia ważona wartość pH wód opadu bezpośredniego wyniosła na tym obszarze pH 7,05, ze skrajnymi wartościami pH 5,95 i 8,05. W „Białym Zagłębiu” średnia roczna temperatura powietrza wynosi 7,5°C. Wysoka średnia roczna amplituda temperatury, wynosząca 22,5°C, świadczy o kontynentalnych cechach klimatu tego obszaru. Badany rejon odznacza się stosunkowo wysokimi opadami rocznymi, wynoszącymi 620–670 mm, z maksimum w lipcu i minimum w marcu. Opady przeważają nad parowaniem i występują przez 120–190 dni w roku (Kowalkowski, Rubinowski 1991).

### 3. Metody badań

Podstawowym założeniem zorganizowanego systemu pomiarowego było poznanie funkcjonowania wybranych ekosystemów leśnych poprzez monitoring wybranych parametrów w wybranych przedziałach czasowych. Pomiar wielkości spływu po pniach wykonywano na gatunkach drzew należących do dominujących w wybranych

geosystemach. Spływającą po pniach wodę zbierano w przypadku drzew iglastych do 60 litrowych, a w przypadku gatunków liściastych do 120 l pojemników, co zapewniało pobór całej ilości próby nawet przy dużych opadach. Wodę do kolektorów doprowadzano z zamocowanych pierścieniowo na pniach kołnierzy.

Badania terenowe obejmujące pomiar właściwości fizykochemicznych oraz wielkości wód spływających po pniach realizowano w cyklu tygodniowym, bezpośrednio w terenie. Przewodność, temperaturę oraz odczyn badano przy użyciu przenośnego czujnika jakości wody U-10 firmy Horiba. Każdorazowo pobierano próbę wody z poszczególnych punktów, którą następnie przewożono do laboratorium i przechowywano w temperaturze +4°C. W kumulowanych próbach miesięcznych oznaczano skład chemiczny przy użyciu spektrofotometru UV-vis i fotometru płomieniowego. Przedstawiony materiał badawczy obejmuje okres dwóch lat hydrologicznych 2000 – 2001.

Przy wyliczaniu pojemności zobojętniania kwasów ( $ANC_{aq}$ ); będącej lepszym od pH wskaźnikiem stanu kwasowości wód opadowych, uwzględnia się kationy zasadowe oraz aniony silnych kwasów. Według Fegera (1994), Heinrichsa i wsp. (1994) oraz Lorza (1999) pojemność zobojętniania kwasów  $ANC_{aq}$   $\mu\text{mol}\cdot\mu\text{mol l}^{-1}$  oblicza się wg wzoru:

$$ANC_{aq} \mu\text{mol}\cdot\mu\text{mol l}^{-1} = (K^+) + (Na^+) + (2Mg^{2+}) + (2Ca^{2+}) - (NO_3^-) - (Cl^-) - (2SO_4^{2-})$$

W niniejszym opracowaniu przy obliczeniu wielkości wody spływającej po pniach drzew w mm opadu zastosowano następujący wzór (de Vries i wsp. 2000):

$$A = S \cdot \frac{P_{wp}}{P_{bd}} : P_p$$

A – spływ w mm opadu

S – spływ po pniu (w l)

$P_{wd}$  – powierzchnia (przekrój poprzeczny) wszystkich drzew na poletku w  $\text{m}^2$

$P_{bd}$  – powierzchnia (przekrój poprzeczny) drzew na których badany jest spływ w  $\text{m}^2$

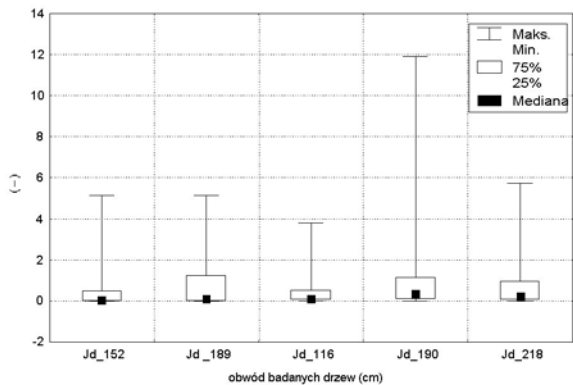
$P_p$  – powierzchnia poletka w  $\text{m}^2$

### 4. Wyniki

Ilościowym wskaźnikiem koncentracji wody wokół pnia drzewa jest tzw. *funelling ratio* (FR), będący stosunkiem wysokości opadu w przeliczeniu na przekrój poprzeczny pnia do opadu na terenie otwartym (Kostrzewski i wsp. 1994, Kruszyk 2001). W okresie przyjętym do badań najwyższe wartości tego wskaźnika notowano w przypadku drzew o największych średnicach, zarówno dla gatunków liściastych jak i iglastych. W przypadku jodeł wartości współczynnika FR kształtowały się w zakresie od 0 do 3,9 w przypadku drzewa o obwodzie 116 cm do prawie 12 w przypadku jodły o obwodzie pnia wynoszącym 218 cm (ryc. 2). Wielokrotnie wyższe wartości zanotowano u buków, gdzie maksymalne wartości współczynnika FR przekraczały 50 (ryc. 3).

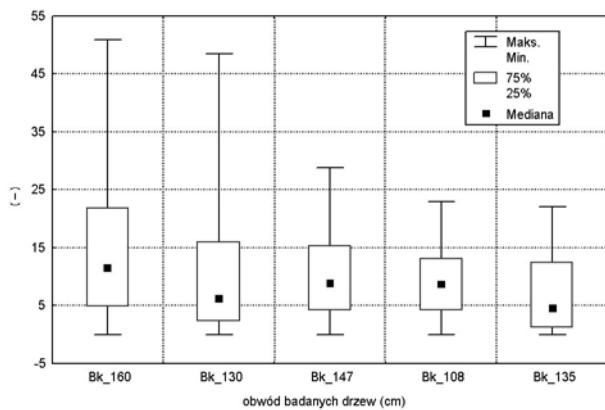
Zjawisko to należy wiązać zarówno z większą powierzchnią chwytną drzew najstarszych, jak i budową koron drzew, która dostarcza znaczącą ilość wody do pnia drzewa. Związek ten widoczny jest również w zależności

pomiędzy objętością opadu spływającego po pniach drzew a ich obwodem. Notowane zależności mają postać funkcji wielomianowej. Obserwowane tendencje dotyczą zarówno gatunków iglastych jak i liściastych (ryc. 4, 5, 6).



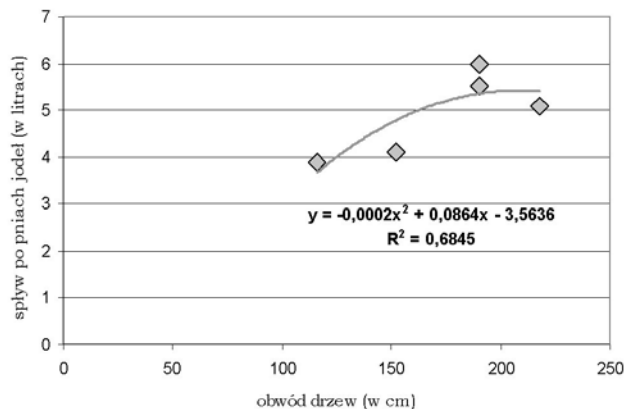
Ryc. 2. Wartości współczynnika funelling ratio dla jodły w Świętokrzyskim Parku Narodowym

Fig. 2. Value of the coefficient funelling ratio for fir in the Świętokrzyski National Park



Ryc. 3. Wartości współczynnika funelling ratio dla buka w Świętokrzyskim Parku Narodowym

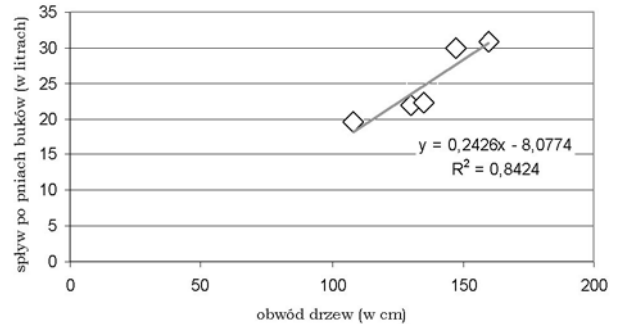
Fig. 3. Value of the coefficient funelling ratio for beech in the Świętokrzyski National Park



Ryc. 4. Zależność między objętością opadu spływającego po pniach jodeł a ich obwodem

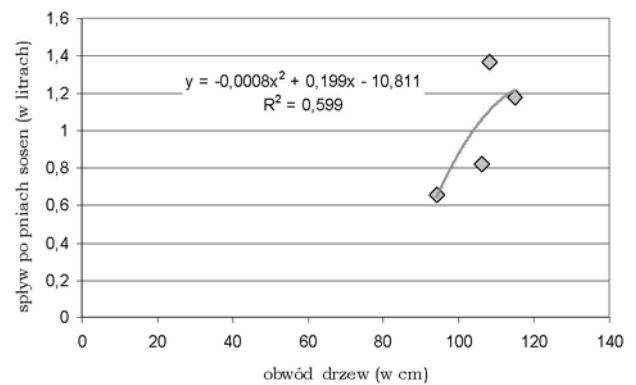
Fig. 4. Dependence between the volume of stemflow of fir trees and their circumference

W przypadku wszystkich gatunków najwyższe wartości notowano na drzewach o największym obwodzie. Również zależność między objętością opadu spływającego po pniach a opadem bezpośrednim wskazuje na niewątpliwy wpływ wieku drzewa na ilość wody dostarczanej po pniu do gleby (ryc. 7, 8, 9, 10). Wskazują na to uzyskane krzywe, których kąt nachylenia wzrasta wraz z obwodem drzewa (jego wiekiem). Tendencja ta dotyczy zarówno drzew iglastych jak i liściastych.



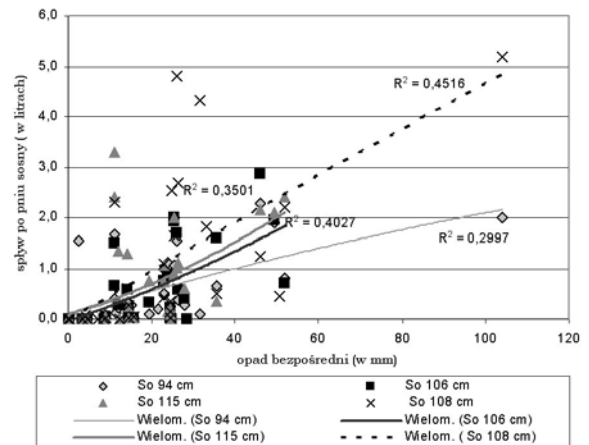
Ryc. 5. Zależność między objętością opadu spływającego po pniach buków a ich obwodem

Fig. 5. Dependence between the volume of stemflow of beech trees and their circumference



Ryc. 6. Zależność między objętością opadu spływającego po pniach sosien a ich obwodem

Fig. 6. Dependence between the volume of stemflow of pine trees and their circumference

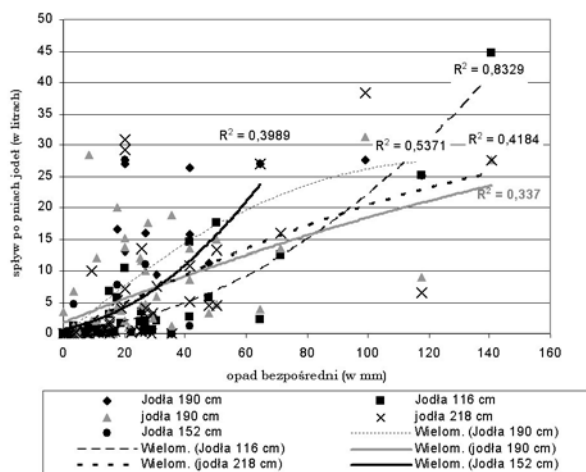


Ryc. 7. Zależność między objętością opadu spływającego po pniach sosien a opadem bezpośrednim

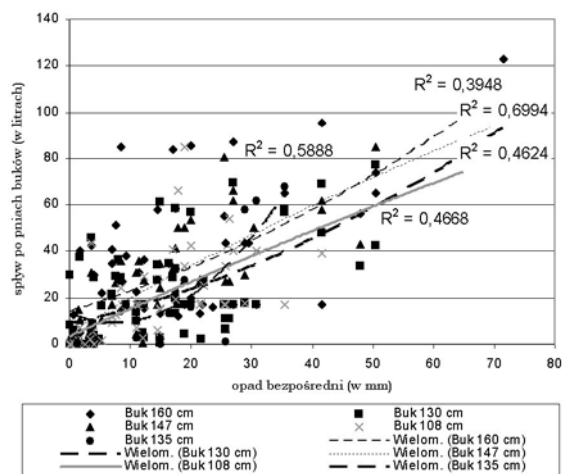
Fig. 7. Dependence between the volume of pine stemflow and direct rainfall

W okresie przyjętym do badań odmiennie kształtowały się wartości pH w badanych geosystemach. Jak już wcześniej wspomniano dominujący wpływ na właściwości fizykochemiczne badanych wód ma lokalizacja obu powierzchni badawczych, ze względu na diametralnie różne oddziaływanie człowieka. W okresie przyjętym do badań najniższe wartości pH zanotowano w wodach spływających po pniach drzew zlokalizowanych w geosystemie ŚPN (ryc. 11). Roztwory te spływając np. po gładkiej korze buka powodowały w miejscach spływów ich strumieni, powstawanie szaropopielatych i popielatych smug. Można zatem z dużym prawdopodobieństwem stwierdzić, że wokół pni drzew funkcjonują obszary, które poddawane są oddziaływaniu roztworów wodnych odbiegających od poziomu średniego. Jak podaje Sverdrup i Warfvinge (1995) w wyniku rosnącego dopływu z pni drzew kwaśnych i bardzo kwaśnych roztworów miejsce kationów  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  i  $\text{K}^{+}$  zajmują w rosnących stężeniach kationy  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  i  $\text{H}^{+}$ , co powoduje zmiany glebowych stosunków  $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{K}:\text{Al}$ . Zjawisko to dotyczy szczególnie najbliższego otoczenia pni drzew, gdzie kształtują się nowe chemiczne warunki środowiska glebowego (Koćmit, Raczkowski 1993, Scheu, Poser, 1996, Neumeister i wsp. 1997, Kowalkowski Józwiak 1999, Kowalkowski i wsp. 2001, Kowalkowski i wsp. 2002b).

W geosystemie będącym pod wpływem emisji kwaśnej notowane wartości pH kształtowały się w zakresie od 2,45 do 4,63 – spływ po pniach jodeł, natomiast w spływie po pniach buków od 2,70 do 5,43 pH. Wartości te wskazują na znaczne zakwaszenie tych roztworów. Nieco wyższe wartości pH zanotowano w wodach spływających po pniach sosen i grabów w geosystemie będącym pod presją emisji alkalicznej. W wodach spływających po pniach sosen wartości pH kształtowały się w zakresie od 3,69 do 6,59 pH, natomiast po pniach grabów od 3,09 do 5,63 pH (ryc. 11).

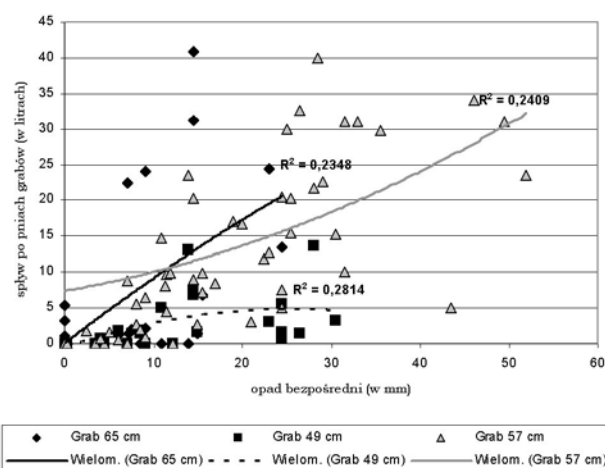


Ryc. 8. Zależność między objętością opadu spływającego po pniach jodeł a opadem bezpośrednim  
Fig. 8. Dependence between the volume of fir stemflow and direct rainfall



Ryc. 9. Zależność między objętością opadu spływającego po pniach buków a opadem bezpośrednim

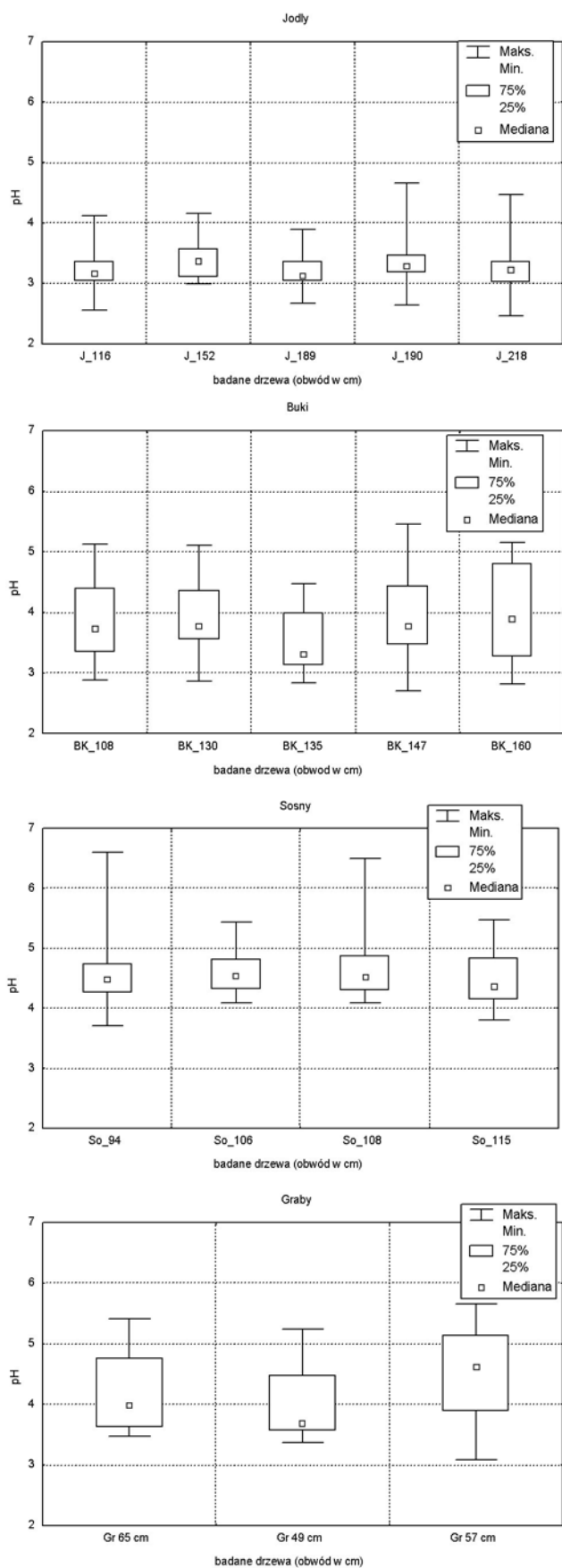
Fig. 9. Dependence between the volume of rain beech stemflow and direct rainfall



Ryc. 10. Zależność między objętością opadu spływającego po pniach grabów a opadem bezpośrednim

Fig. 10. Dependence between the volume of hornbeam stemflow and direct rainfall

Przy przewodzie anionów silnych kwasów wartości  $\text{ANC}_{\text{aq}}$  są ujemne, zaś w warunkach przewagi jonów o zasadowym działaniu wartości tego wskaźnika są pozytywne. Jak wykazały badania prowadzone w okresie od 2000 do 2001 roku w wodach opadu bezpośredniego w geosystemie w centralnej części Gór Świętokrzyskich istniała stała równowaga wartości  $\text{ANC}_{\text{aq}}$  z przewagą średnich ujemnych wartości nieco poniżej zera. W wodach spływających po pniach drzew, wyraźnie natomiast zaznaczają się ujemne wartości tego wskaźnika, szczególnie w przypadku spływu po pniach jodeł (Kowalkowski i wsp. 2002b) (ryc. 12, tab.1).



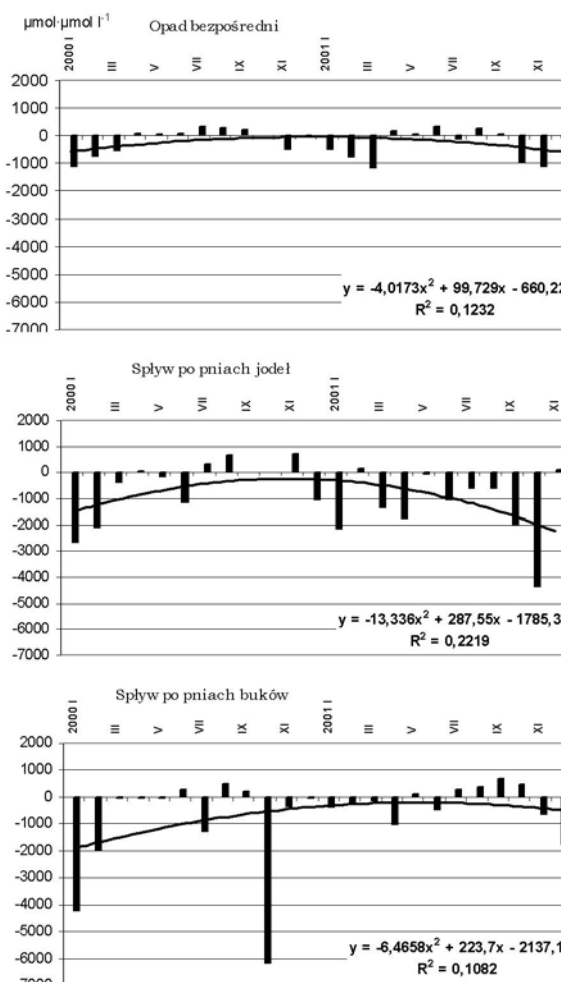
Ryc. 11. Średnie ważone wartości pH w wodach spływających po pniach drzew w wybranych geosystemach w Górach Świętokrzyskich  
 Fig. 11. Averages weighed values of pH in stemflow in chosen geosystems in the Świętokrzyskie Mountains

Tab.1. Średnie roczne wartości  $ANC_{aq}$   $\mu\text{mol} \cdot \mu\text{mol}^{-1}$  w wodach opadowych na Stacji Monitoringu Św. Krzyż oraz Stacji Malik w latach 2000-2001

Tab.1. Averages of annual values  $ANC_{aq}$   $(\mu\text{mole} \cdot \mu\text{mole}^{-1})$  in rainfall waters at the Św. Krzyż Monitoring Station as well as at the Malik Station in the years 2000-2001.

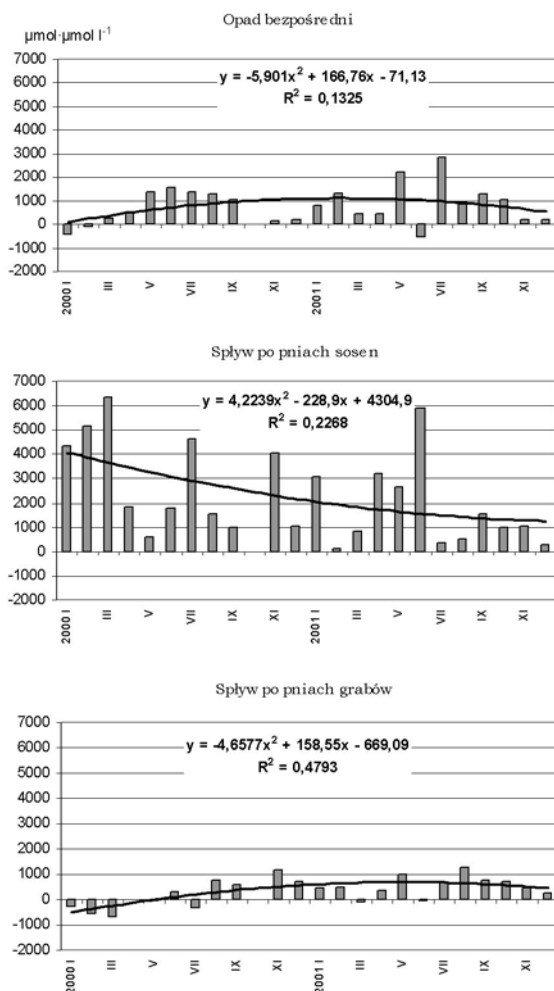
Rok	Święty Krzyż			Malik		
	Opad bezpośredni	Spyływ po buku	Spyływ po jodle	Opad bezpośredni	Spyływ po sosnie	Spyływ po grabie
2000	-168,17	-1105,03	-519,58	584,29	2937,96	162,02
2001	-313,43	-216,95	-1240,59	727,26	1446,96	561,76

Odmienne kształtują się wartości  $ANC_{aq}$  w opadzie bezpośrednim w geosystemie zlokalizowanym w obrębie wzgórza Malik. W okresie badań stwierdzono, iż średnia wartość tego wskaźnika dla opadu bezpośredniego wyniosła odpowiednio w latach 2000-2001; 584,29  $\mu\text{mol} \cdot \mu\text{mol}^{-1}$  i 727,26  $\mu\text{mol} \cdot \mu\text{mol}^{-1}$ . W wodach spływających po pniach sosny wartość tego wskaźnika wzrosła osiągając prawie 3000  $\mu\text{mol} \cdot \mu\text{mol}^{-1}$  w roku 2000 i ponad 1400  $\mu\text{mol} \cdot \mu\text{mol}^{-1}$  w roku 2001. znacznie niższe wartości zanotowano w wodach spływających po pniu grabu - 162  $\mu\text{mol} \cdot \mu\text{mol}^{-1}$  w roku 2000 i 562  $\mu\text{mol} \cdot \mu\text{mol}^{-1}$  w roku 2001 (ryc. 13, tab.1).



Ryc. 12. Dynamika alkaliczności  $ANC_{aq}$  ( $\mu\text{mol} \cdot \mu\text{mol}^{-1}$ ) w wodach opadu bezpośredniego oraz spływającego po pniach jodeł i buków w drzewostanie Świętokrzyskiego Parku Narodowego w latach 2000-2001

Fig. 12. Alkali dynamics  $ANC_{aq}$  ( $\mu\text{mole} \cdot \mu\text{mole}^{-1}$ ) of direct rainfall as well as beech and fir stemflow in the stand of Świętokrzyski National Park in the years 2000-2001



Ryc. 13. Dynamika alkaliczności  $ANC_{aq}$  ( $\mu\text{mol}\cdot\mu\text{mol}^{-1}$ ) w wodach opadu bezpośredniego oraz spływającego po pniach sosen i grabów w drzewostanie na terenie Stacji Malik w latach 2000–2001

Fig. 13. Alkali dynamics  $ANC_{aq}$  ( $\mu\text{mole}\cdot\mu\text{mole}^{-1}$ ) of direct rainfall as well as pine and hornbeam stemflow in the stand on the area of the Malik Station in the years 2000–2001

W literaturze dotyczącej omawianego zagadnienia, niewiele miejsca poświęca się metodzie przeliczenia wielkości wód spływających po pniach drzew wyrażoną w litrach na % opadu bezpośredniego. Podawane wartości dotyczące wielkości spływu po pniach drzew tego samego gatunku różnią się od siebie nawet kilkukrotnie. Jak podaje Grodzińska (1996) za Bredemeier (1988) w lasach bukowych spływ po pniach może osiągać nawet 30% opadu ponad lasem. Zbliżone wartości zanotował Tomanek (1972) w Puszczy Białowieskiej – 14,1–16,8%, Balázs (1998) w Niemczech (Hessen) – ok. 14%, oraz Zdrubecký (1964) w środkowych Czechach, dla dębu – 11% i lipy – 13,8%. W Ojcowskim Parku Narodowym i w lasach LZD w Krynicy Małek, Wężyk (2000) zanotowali spływ po pniach buków w wysokości 2,0–3,5% opadu bezpośredniego zaś Klein (1979) w Puszczy Niepołomickiej stwierdził spływ w wysokości 1,48% dla dębów, 3,40% – dla lipy oraz dla graba – 4,19% opadu bezpośredniego.

W lasach iglastych Grodzińska (1996) za Likensem i wsp. (1977) oraz Zielińskim (1984) wykazuje, iż udział spływu po pniach drzew iglastych stanowi poniżej 5% opadu bezpośredniego. Zbliżone wartości w Puszczy Niepołomickiej zanotował Klein (1979) dla sosny – 2,52%,

Zdrubecký (1964) w lasach w Czechach – 2,4% oraz Balázs (1998) w Niemczech – ok. 1%. Przytoczone wartości wskazują na znaczące różnice jedynie w przypadku gatunków liściastych, które mogą wynikać z odmiennych metod przeliczania ilości wody spływającej po pniach na mm opadu bezpośredniego, oraz pomiarem wielkości spływu na odmiennych pod względem wieku drzewach.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono znacznie wyższe wartości spływu wód po pniach drzew liściastych na obu powierzchniach badawczych w odniesieniu do gatunków iglastych.

W wytypowanym geosystemie w ŚPN w okresie badawczym, średnio po pniach buków spłynęło 22,9% opadu bezpośredniego, zaś w geosystemie na wzgórzu Malik jedynie 14%. Nieco niższe wartości zanotowano w przypadku grabów – 11,2%. Różnice w wielkości wody dostającej się do dna lasu po wybranych gatunkach drzew, należy powiązać m.in. z różnicami w wielkości drzew w wytypowanych geosystemach oraz odmiennymi warunkami klimatycznymi. Średni obwód buków na Świętym Krzyżu wynosi mianowicie 126 cm, z wahaniami od 108 do 160 cm, natomiast na wzgórzu Malik jedynie 83 cm ze skrajnymi od 72 do 88 cm. Średni obwód pnia grabów, który wynosi średnio jedynie 57 cm z wahaniami od 49–65 cm potwierdza te obserwacje, jednakże na mniejszy spływ po pniu tego gatunku może mieć również wpływ bardziej szorstka powierzchnia kory.

W przypadku drzew iglastych spływ po pniach jodeł wyniósł średnio 2,0% opadu bezpośredniego, natomiast po pniach sosen 0,5%. Są to wartości zbliżone do podawanych w literaturze. Obserwowane zróżnicowanie należy wiązać przede wszystkim z większymi stratami na zwilżenie pni drzew, związanymi z odmienną morfologią kory tych gatunków.

Dysproporcje w wielkości wody docierającej do dna lasu po strzałach drzew wybranych gatunków drzew iglastych i liściastych można zatem wytłumaczyć różną budową kory, „kielichową” budową korony buka i graba, co w znaczący sposób ułatwia przepływ wody z gałęzi do pnia, oraz odmiennymi warunkami meteorologicznymi panującymi w wybranych geosystemach.

Maksymalne wartości spływu po pniu buka na Świętym Krzyżu notowano w miesiącach II–III, kiedy brak jest liści – mniejsza intercepcja. W okresie tym wielkość wody spływającej po pniu osiągała wartości 20–40% opadu bezpośredniego. Podobne zależności obserwowano na wzgórzu Malik, jednakże notowane wartości były nieco niższe.

## 5. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można zatem sformułować następujące wnioski:

- drzewa liściaste charakteryzują się wyższym współczynnikiem FR niż iglaste, zjawisko to związane jest z odmiennymi cechami morfologicznymi kory oraz kielichowatą budową koron, maksymalne wartości współczynnika FR dla jodły kształtowały się w przedziale od 0 do 3,9, zaś dla buka od 0 do 51;
- wiek i gatunek drzewa oraz wysokość opadu bezpośredniego decydują o wielkości opadu spływającego po pniach drzew oraz o wartości współczynnika FR (*funelling ratio*);

- drzewa iglaste z bardziej zróżnicowaną morfologicznie korą odznaczają się wyższą mineralizacją roztworów spływających po pniach;
- dotychczasowe badania wskazują na obniżenie pH wód spływających po pniach drzew zlokalizowanych w geosystemie w ŚPN w odniesieniu do wód spływających po pniach drzew w geosystemie wzgórze Malik;
- w okresie przyjętym do analizy wyraźnie niższe wartości współczynnika  $ANC_{aq}$  zanotowano w geosystemie w ŚPN;
- w dynamice alkaliczności  $ANC_{aq}$  opadów zaznacza się wyraźna dominacja kwasowych składników w okresach zimnych;
- w geosystemie wzgórze Malik dominują pozytywne wartości współczynnika  $ANC_{aq}$ , co wynika z presji zakładów cementowo - wapienniczych zlokalizowanych w otoczeniu badanego geosystemu;
- spływ po pniach buków wyniósł w wybranych geosystemach 14% (wzgórze Malik) i 22,9% (ŚPN), zaś grabu 11,2% (wzgórze Malik). Najwyższe wartości notowano w okresie późno zimowym oraz wczesno wiosennym (II-III), co związane jest z mniejszą intercepcją;
- w przypadku gatunków iglastych, większy spływ zanotowano po pniach jodeł, niż sosen i wyniósł on odpowiednio: 2,0% oraz 0,5%.

## 5. Literatura

- Bálazs Á., 1998:** 14 Jahre Niederschlagsdeposition in Hessischen Waldgebieten, Hann, Münden: 129.
- Bredemeier M., 1988:** Forest canopy transformation of atmospheric deposition, Water, Air and Soil Pollution, 40:121-138.
- Bróz E., Kapuściński R., 1990:** Chronione i zagrożone gatunki roślin naczyniowych Świętokrzyskiego Parku Narodowego oraz projektowanego Zespołu Parków Krajobrazowych Gór Świętokrzyskich, Rocznik Świętokrzyski XVII PWN Warszawa, Kraków :107-133.
- Butler T.J., Likens G.E., 1995:** A direct comparison of throughfall plus stemflow to estimates of dry and total deposition for sulfur and nitrogen, Atmospheric Environment, vol. 29, No. 11: 1253-1265.
- Feger K.H., 1994:** Influence of soil development and management practices on freshwater acidification in Central European forest ecosystems, In: C.Steinberg, R.F. Wright (Eds.): Acidification of Freshwater Ecosystems. Envir.Sci.Res.Rep. 14, London: 68-82.
- Głazek T., Wolak J., 1991:** Zbiorowiska roślinne Świętokrzyskiego Parku Narodowego i jego strefy ochronnej, Monographiae Botanicae 72, Warszawa.
- Głogowska J., Olszewski J.L., 1967:** Opad deszczu w lesie liściastym, Sylwan, 111, 5: 55-64.
- 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.
- Heinrichs H., Siewers U., Böttcher G., Matschullat J., Roostai A.H., Schneider J., Ulrich B., 1994:** Auswirkungen von Luftverunreinigungen auf Gewässer im Einzugsgebiet der Seetalsperre, In: J.Matschullat, H.Heinrichs, J.Schneider, B.Ulrich (Eds.): Gefahr für Ökosysteme und Wasserqualität. Springer Verl., Berlin: 233-259.
- Jóźwiak M., 2000:** Zanieczyszczenie powietrza w środkowej części Gór Świętokrzyskich, Studia Kieleckie, nr 4, KTN, Kielce: 67-80.
- Jóźwiak M., 2001:** Funkcjonowanie wybranego geosystemu w Górach Świętokrzyskich w warunkach kwaśnej imisji, Przegląd Geologiczny, 49, 9: 775-779.
- Klein J., 1979:** Przenikanie opadów atmosferycznych do dna lasu grądowego Tilio-Carpinetum w północnej części Puszczy Niepotomickiej, Fragmenta Floristica, XXV: 563-578.
- Koćmit A., Raczkowski B., 1993:** Wpływ drzewostanu bukowego i zanieczyszczeń atmosferycznych na zróżnicowanie właściwości chemicznych gleb leśnych w warunkach Pomorza Zachodniego, PIOŚ, Warszawa, 128-139.
- Kostrzewski A., Dzbanuszek J., Stach A., 1994:** Wpływ lasu na proces ługowania gleb na obszarze Wielkopolskiego Parku Narodowego, W: Kozacki L. (red.) Geosystem Wielkopolskiego parku Narodowego jako obszaru chronionego podlegającego antropopresji: 55-88.
- Kowalkowski A., Rubinowski Z., 1991:** Ocena skutków oddziaływania przemysłu wydobywco-przetwórczego surowców skalnych i komunalnej oczyszczalni ścieków w Sitkówe na środowisko przyrodnicze w centralnej części Kieleckiego Okręgu Eksploatacji, Synteza, KTN, Kielce:101.
- Kowalkowski A., Świercz A., 1992:** Skąty macierzyste gleb litogenicznych i autogenicznych Góry Malik w Paśmie Bolechowickim w Górach Świętokrzyskich, Roczn. Święt.19, KTN, Kielce: 91-105.
- Kowalkowski A., Świercz A., 1993:** Zmiany kwasowości gleb leśnych pod wpływem emisji przemysłu cementowo-wapienniczego w zlewni rzeki Bobrzyzki, Monitoring Regionu Świętokrzyskiego 1, KTN, Kielce: 109-115.
- Kowalkowski A., Świercz A., Wieczorek E., 1993:** Zmiany warunków glebowych w borach sosnowych pod wpływem emisji alkalicznej na terenie Kieleckiego Okręgu Eksploatacji Surowców Węglanowych, Monitoring Regionu Świętokrzyskiego 1, KTN, Kielce: 117-151.
- Kowalkowski A. Piskorz St., 1994:** Koncepcja monitoringu środowiska przyrodniczego regionu Świętokrzyskiego, W: Kowalkowski A. (red.) Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Stacja Bazowa Święty Krzyż, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa, 7-33.
- Kowalkowski A., Jóźwiak M., 1999:** Wpływ kwaśnych deszczów na środowisko glebowe w Świętokrzyskim Parku Narodowym, W: Dębicki R., Chodorowski J. (red.), Mat. Konf. Pol. Tow. Gleb., 07-10.09.1999 r. 224.
- Kowalkowski A., Jóźwiak M., Kozłowski R., 2001:** Pedogeniczne czynniki procesów zakwaszania wód w ekosystemie leśnym Świętokrzyskiego Parku Narodowego. W: M. Jóźwiak, A.Kowalkowski (red.). Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Bibl. Monitoringu Środowiska. Kielce: 253-270.
- Kowalkowski A., Jóźwiak M., Kozłowski R., 2002a:** Metoda badania wpływu wód opadowych na właściwości gleb leśnych, Monitoring Środowiska Regionu Świętokrzyskiego, nr 3, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce.
- Kowalkowski A., Jóźwiak M., Kozłowski R., 2002b:** Zmiany jakości wód opadowych w ekosystemie leśnym w Świętokrzyskim Parku Narodowym, Czasopismo Techniczne Inżynieria Środowiska, Zeszyt 4-5/2002.
- Kozłowski R., 2000:** Przyczynek 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., 2001:** Dopytywanie składników mineralnych z opadem atmosferycznym do dna lasu na Stacji Bazowej Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego Święty Krzyż (Góry Świętokrzyskie), W: M. Jóźwiak, A. Kowalkowski (Red.) Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie i monitoring geosystemów z uwzględnieniem zanieczyszczenia powietrza. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Kielce:207-218.
- Kruszyk R., 2001:** Zróżnicowanie przestrzenne właściwości fizykochemicznych spływu po pniach sosny zwyczajnej w zespole Pino-Quercetum, zlewnia Jeziora Czarnego, Pomorze Zachodnie, W: M. Jóźwiak, A. Kowalkowski (Red.) Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie i monitoring geosystemów z uwzględnieniem zanieczyszczenia powietrza. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Kielce: 191-206.

- Likens G.E., Bormann F.H., Pierce R.S., Eaton J.S., Johnson N.M., 1977: *Biogeochemistry of a forested ecosystem*, Springer-Verlag, New York-Heidelberg-Berlin, 146.
- Lorz C., 1999: *Gewässerversauerung und Bodenzustand in Westerzgebirge*, UFZ - Bericht Nr 14. Dissertation, Leipzig.
- Małek St., Wężyk P., 2000: *Zmiany ilościowe i jakościowe opadów atmosferycznych na powierzchniach doświadczalnych w drzewostanach bukowych Ojcowskiego Parku Narodowego i Leśnego zakładu Doświadczalnego w Krynicy w latach 1997 i 1998*, W: Małek St., Wężyk P. (red.) *Monitoring procesów zachodzących w drzewostanach bukowych, w zmieniających się warunkach środowiska przyrodniczego, na przykładzie Ojcowskiego Parku Narodowego i Leśnego zakładu Doświadczalnego w Krynicy*, Kraków-Nowy Sącz: 69-86.
- Mochoń A., 1993: *Zdjęcie hydrochemiczne górnej części zlewni Bobrzyckiej w Górach Świętokrzyskich*, Monitoring Regionu Świętokrzyskiego 1, KTN, Kielce: 91-100.
- Neumeister H., Haase D., Regber R., 1997: *Methodische Aspekte zur Ermittlung von Versauerungstendenzen und zur Erfassung von pH-Werten in Waldböden*, Peterm. Geogr. Mitt., 141, Gotha: 385-399.
- Olszewski J.L., 1965: *Pomiary opadu deszczu w grądzie (Quercus-Carpinetum medioeuropaeum Tüxen 1936) w Białowieskim Parku Narodowym*, Sylwan, 109, 3: 27-32.
- 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.
- Olszewski J.L., 1992: *Indywidualizm klimatyczny Gór Świętokrzyskich*, Rocznik Świętokrzyski XIX W-wa, Kraków: 153-165.
- Pielaciński J., 1989: *Temperatura powietrza w partii grzbietowej Łysogór w Świętokrzyskim Parku Narodowym według pomiarów na Św. Krzyżu*, maszynopis pracy mgr WSP, Kielce.
- Rzepa Cz., 1982: *Wpływ przemysłowych zanieczyszczeń atmosfery i powierzchni terenu na właściwości fizyczno-chemiczne wód krasowych na przykładzie rezerwatu przyrody: Jaskinia „Raj”*, Roczn. Święt., t. X: 49-67.
- Scheu S., Poser G., 1996: *The soil macrofauna (Diplopoda, Isopoda, Lumbricidae and Chilopoda) near tree trunks in a beechwood on limestone | : indications for stemflow induced changes in community structure*, Applied Soil Ecology, 3: 115-125.
- Sverdrup H., Warfvinge P., 1995: *The (Ca+Mg+K)/Al- ratio as an indicator of soil acidification effects on tree growth*, In: L.O. Nilsson, R.F. Hüttel, U.F. Johansson, P. Mathy (Eds.). *Nutrient uptake and cycling in forest ecosystems*, Ecosystem Res. Rep. No. 2, Brussels: 235-249.
- Świercz A., 1997: *Wpływ emisji alkalicznej na gleby i bory sosnowe w „Białym Zagłębiu”*, KTN, Kielce: 1 - 205.
- Toffel A., Wolski K., 1996: *Migracje zanieczyszczeń przemysłowych nad Kielecczyzną*, Aura 6: 10 - 12.
- Tomanek J., 1978: *Meteorologia i klimatologia dla leśników*, PWRiL, Warszawa.
- Zdrubecký J., 1964: *Vyzkum intercepce lesnich dřevin*, Vodohospod. Časopis 12 (3): 278-302.
- Zieliński J., 1984: *Decomposition in the pine forest of Niepołomice*, W: W. Grodziński, J.
- Weiner, P.F. Maycock (red.) *Forest ecosystems in industrial regions*, Springer-Verlag, Berlin- Heidelberg - New York - Tokyo: 149-166.

## DIFFERENTIATION OF SIZES AND QUALITIES OF STEMFLOW WATERS IN CHOSEN FOREST ECOSYSTEMS IN THE ŚWIĘTOKRZYSKIE MOUNTAINS

### Summary

In the period comprising the years 2000-2001 an investigation was carried out into the sizes and qualities of stemflow waters. On the basis of calculations with the use of coefficient FR, higher values of this coefficient were found in the case of the largest diameter trees, both in case of deciduous and coniferous species. The recorded values of the coefficient ANCaq showed unambiguously two kinds of industrial influence on the chosen geoecosystems. The geoecosystem of Malik Hill is under the influence alkaline ambient concentration, while the geoecosystem situated in Świętokrzyski National Park is influenced by acid ambient concentration, caused, among others, by remote transportation. This is indicated by registered ANCaq values, both in direct fall and stemflow waters. On the basis of the investigation significant differences were found in the size of deciduous tree stemflow water on both investigated sides in comparison with coniferous species. In the chosen geoecosystem in Świętokrzyski National Park in the investigated period, the average beech stemflow was 22.9% of direct rainfall, whereas in the geoecosystem on Malik Hill it was only 14%. A little lower values were recorded for hornbeam - 11.2%. In the case of coniferous trees fir stemflow was on average 2.0% of direct fall, while pine stemflow was 0.5%.