



POWIĄZANIE NATĘŻENIA SPŁYWU POWIERZCHNIOWEGO Z DRÓG LEŚNYCH Z NATĘŻENIEM OPADU

Janusz Gołąb

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

Streszczenie. Spływ powierzchniowy, ze względu na odmienną formę pokrycia terenu (las, użytkowanie rolnicze, obiekty miejskie), stanowi różną część bilansu wodnego. Przedmiotem pracy jest spływ powierzchniowy z nawierzchni dróg leśnych. Jej celem było opisanie zależności między intensywnością spływu powierzchniowego z leśnych dróg w górach a intensywnością opadu. Spływ mierzono na sześciu odcinkach drogi, w trzech sesjach, przy opadach odpowiednio: 9,6, 5,2 i 2,8 mm. Określono korelację między natężeniem spływu a natężeniem opadu przy różnych opóźnieniach tej relacji (0, 15, 30, 45 i 60 min). Dla najlepiej skorelowanych układów podano funkcję opisującą tę zależność. Opóźnienie ekstremalnych spływów w stosunku do ekstremalnych opadów można uzasadniać cechami terenu, pokrywy roślinnej, stanem nawierzchni oraz stopniem wysycenia wodą gruntu w nawierzchni. Uzyskane korelacje muszą być interpretowane na tle sumy opadów z okresu około dwóch dni przed pomiarem spływu. Najlepsze skorelowanie dla większych i dłuższych opadów obserwuje się dla opóźnienia ok. 0–15 min. Decyduje tu wysycenie gruntu w nawierzchni spowodowane wcześniejszymi opadami. Mniejsze opady, po okresach bezdeszczowych, uzyskują najlepsze skorelowanie po ok. 60 min. Funkcje opisujące zależność mają postać wielomianu drugiego stopnia z dość wysokimi współczynnikami determinacji.

Słowa kluczowe: leśne drogi stokowe, natężenie spływu powierzchniowego, natężenie opadu

WSTĘP

Spływ powierzchniowy, jako ważny element bilansu wodnego zlewni, jest przedmiotem wielu interesujących badań (Słupik, 1972; Gil, 1990; Midriak, 1990; Brodowski

Corresponding author – Adres do korespondencji: Dr inż. Janusz Gołąb, Instytut Ochrony Ekosystemów Leśnych, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków, e-mail: rlgolab@cyf-kr.edu.pl

i Rejman, 2004; Martínez-Zavala i in., 2008; Zydrón i in., 2014). Ze względu na odmienną charakterystykę pokrycia terenu (las, użytkowanie rolnicze, obiekty miejskie) spływ powierzchniowy stanowi różną część procentową bilansu, ale zawsze wpływa on na prędkość obiegu wody w przyrodzie oraz stopień wykorzystania wody dostępnej do konsumpcji dla całego środowiska. Gradkowski (2011) szacuje udziały spływu powierzchniowego w pasach drogowych w terenach poza lasem i miastem na około 20% wielkości opadu, a w mieście, z powodu szczelności pokrycia terenu, na około 80%. Dla terenów leśnych, na podstawie obliczeń symulacyjnych opartych na pomiarach terenowych, wielkości spływu powierzchniowego z dróg leśnych są podawane poniżej 1% wielkości opadów (Gołąb, 2012). Dane te świadczą, że właśnie tereny zalesione są podstawowym ekosystemem wodo- i glebochronnym. Spływ powierzchniowy w lesie pojawia się głównie na nawierzchniach dróg, dlatego jest on przedmiotem podjętych prac. Ich szczegółowym celem jest opisanie zależności między intensywnością spływu powierzchniowego z leśnych gruntowych dróg w górach a intensywnością opadu.

CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Terenem badań jest zlewnia Potoku Dupniańskiego w leśnictwie Bukowiec (Nadleśnictwo Wisła, Beskid Śląski). Obszar ten został opisany szczegółowo w pracach hydrogeologicznych przygotowanych w Katedrze Inżynierii Leśnej Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie (Suliński i in., 1997). W niniejszym artykule przytoczono tylko dane podstawowe (tab. 1).

Tabela 1. Skrócona charakterystyka obszaru badań oraz odcinków dróg
Table 1. Brief characteristics of the study area and road sections

Charakterystyka zlewni – Catchment characteristics (Klimaszewski, 1972; Stachy (red.), 1987; Czarniecka, 1998)	
Opad normalny – Average annual precipitation	1200 mm
Średni odpływ jednostkowy – Average outflow per unit	23 dm ³ ·s ⁻¹ ·km ⁻²
Średnie roczne parowanie terenowe – Average annual evapotranspiration	515 mm
Średnia roczna temperatura powietrza – Average annual air temperature	+5,5°C
Powierzchnia zlewni – Catchment area	1,68 km ²
Rzędne terenu – Terrain ordinates	492,70–881,90 m n.p.m.
Gęstość sieci wodnej – Density of water network	3,64 km·km ⁻²

Tabela 1 cd. – Table 1 cont.

Charakterystyka odcinków dróg (Gołąb i in., 2006) – Characteristics of road sections (Gołąb et al., 2006)						
Cecha Characteristic	A	B	C	D	E	F
Rodzaj nawierzchni Type of pavement	gruntowa z dużą ilością naturalnego szkieletu ground with lots of natural skeleton					
Długość odcinka, m Length of the section, m	37,10	89,65	60,40	43,95	54,10	38,50
Średnia szerokość jezdni, m Average roadway width, m	2,10	2,01	2,20	2,62	2,30	1,92
Powierzchnia jezdni na odcinku, m ² Size of the roadway section, m ²	77,91	180,20	132,88	115,00	124,43	73,79
Współczynnik filtracji gruntu w nawierzchni, cm·min ⁻¹ Filtration coefficient of ground in the roadway, cm·min ⁻¹	0,003	0,004	0,000	0,000	0,004	0,005
Średni spadek odcinka, % Average decline of section, %	1,82	1,97	8,22	9,17	8,37	9,65
Obecność wysięku wody ze skarpy Presence of water exudation from the escarpment	–	–	+	+	–	–
Średnia wysokość skarpy wykopu, m Average height of excavation escarpment, m	0,96	1,25	1,61	2,44	1,75	0,86
Średnia wysokość skarpy nasypu, m Average height of embankment escarpment, m	0,45	0,23	0,65	0,87	0,38	0,82
Oślona drogi drzewostanem, % Sheath road through the tree stand, %	70	8,5	30	30	40	40

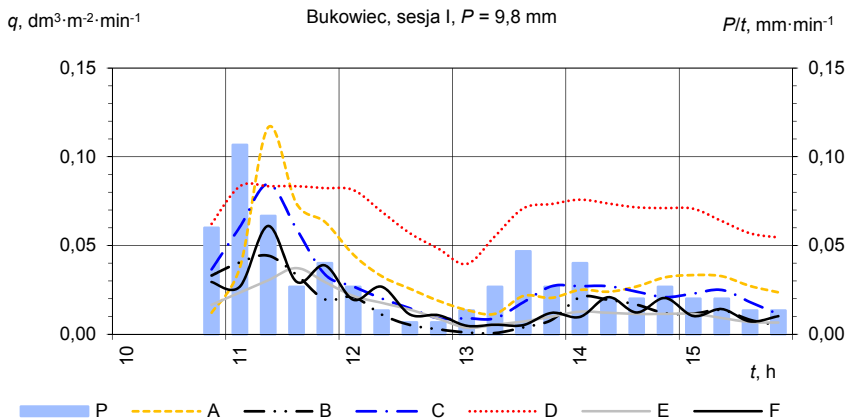
MATERIAŁ I METODY

Badanie zależności i wzajemnej relacji między natężeniem spływu powierzchniowego ze stokowych dróg leśnych a natężeniem opadu zostało przeprowadzone na podstawie pomiarów spływu z 2004 roku (grant KBN nr 3PO6 007 23). Metodę pomiaru spływu opisano szczegółowo w sprawozdaniu i wcześniejszych opracowaniach (Gołąb i in., 2006; Gołąb, 2011). Poniżej przytoczono tylko jej skrót.

Odcinki pomiarowe zostały wyznaczone poprzez zainstalowanie w nawierzchni drogi dla każdego z nich dwóch wodospustów. W górnej części odcinka ułożono wodospust mający za zadanie odcięcie dopływu wody z części drogi położonej powyżej odcinka badawczego, natomiast wodospust ułożony w dolnej części zbierał całość wody spływającej z nawierzchni odcinka badawczego. Dolny wodospust zaopatrzone w naczynie pomiarowe własnej konstrukcji o pojemności około 25 l. Pomiar ilości wody zbieranej przez wodospust pomiarowy rozpoczynano co 15 min, a trwał on najczęściej

300 s. Jeśli naczynie napełniło się wcześniej, notowano dokładną liczbę sekund. Rozdzielczość pomiaru objętości ustalono na 0,1 l. Wodospusty zbudowano i zainstalowano w sposób zapewniający pomiar spływu bez strat. Pomiary rozpoczynano na wszystkich odcinkach jednocześnie. Opady mierzono w dwóch lokalizacjach: w wybranym miejscu przy drodze, na której były prowadzone pomiary spływu (tylko w czasie pomiarów, co 15 min, w chwili rozpoczynania każdego pomiaru spływu) oraz przy przelewie zamykającym zlewnię (przez cały rok, standardowe sumy dobowe, dla wykonania innych analiz oraz dla kontroli).

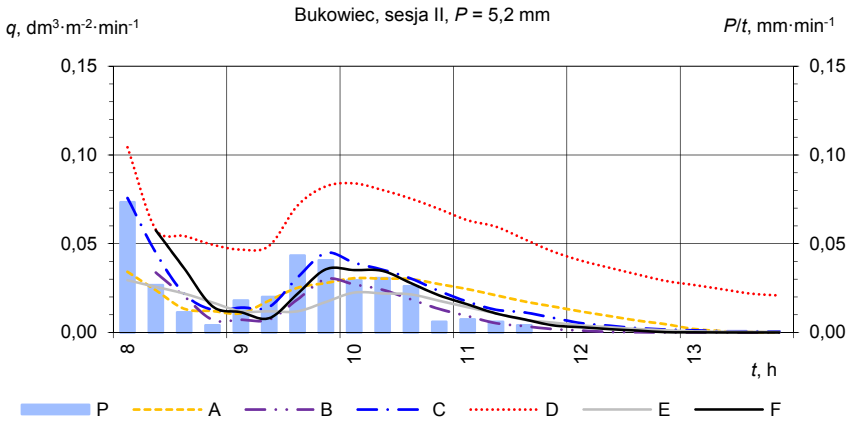
Na rysunkach 1, 2 i 3 przedstawiono wyniki pomiarów natężenia spływu, na podstawie których przeprowadzono analizę przedmiotową. Pomiary natężenia spływu uzyskano w czasie sesji pomiarowych w 2004 roku wykonanych w dniach: 15 IX, 9 X oraz 16 X. W dalszej części pracy poszczególne sesje oznaczono symbolami odpowiednio: I, II i III. W tabeli 2 podane są wielkości opadów w okresie istotnym dla kształtowania się warunków powstawania spływu powierzchniowego. Uwzględniono określone sumy dobowe oraz opad w czasie pomiarów spływu. Na niektórych odcinkach drogi pomiary rozpoczęto o kwadrans później niż na innych odcinkach (różny czas instalacji sprzętu pomiarowego), dlatego do analizy wykorzystano tylko pomiary, które były wykonywane na wszystkich odcinkach w tym samym czasie.



Rys. 1. Wyniki pomiaru spływu powierzchniowego (q) w sesji I: P – opad atmosferyczny, A–F – odcinek drogi

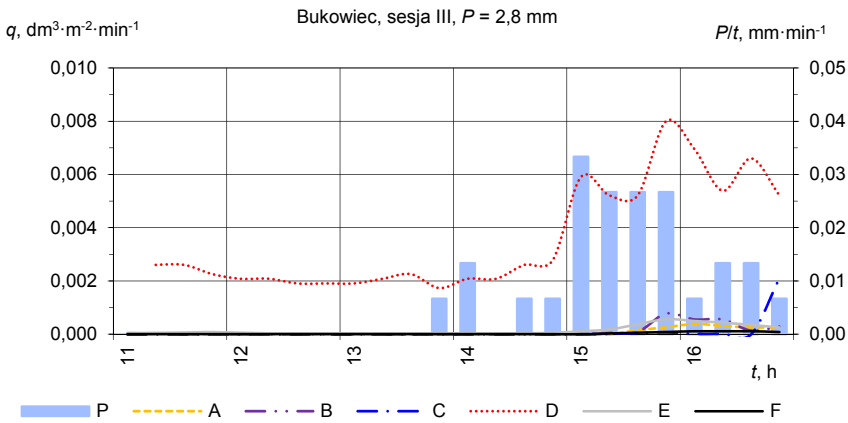
Fig. 1. Measurement results of surface runoff (q) in session I: P – precipitation, A–F – section of road

Związek natężenia spływu powierzchniowego z natężeniem opadu opisano współczynnikiem korelacji Pearsona (r). Chcąc określić opóźnienie, z jakim natężenie opadu jest powiązane w największym stopniu z natężeniem spływu powierzchniowego, wyliczono współczynniki korelacji r dla różnych wielkości opóźnienia. Natężenie spływu



Rys. 2. Wyniki pomiaru splywu powierzchniowego (q) w sesji II: P – opad atmosferyczny, A–F – odcinek drogi

Fig. 2. Measurement results of surface runoff (q) in session II: P – precipitation, A–F – section of road



Rys. 3. Wyniki pomiaru splywu powierzchniowego (q) w sesji III: P – opad atmosferyczny, A–F – odcinek drogi

Fig. 3. Measurement results of surface runoff (q) in session III: P – precipitation, A–F – section of road

mierzone co 15 min, więc ten interwał czasu przyjęto w analizie za podstawowy. Współczynniki korelacji podano zatem dla następujących czasów opóźnienia: 0, 15, 30, 45 i 60 min.

W dalszej części analizy, dla najlepiej skorelowanych układów danych (wyróżniony współczynnik korelacji w tabeli 3); podano funkcję opisującą przedmiotową zależność łącznie ze współczynnikiem determinacji R^2 (tab. 4, rys. 4 i 5).

Tabela 2. Charakterystyka opadów w okresie istotnym dla kształtowania się warunków powstania spływu powierzchniowego

Table 2. Characteristics of rainfall during the period relevant to the development of the conditions of formation of surface runoff

Sesja Session	Suma opadu, mm – Total precipitation, mm			
	pomiary, dla których liczone korelacje measurements, for which calculated correlation	sesja pomiarowa measurement session	dzień sesji on the day of session	dzień poprzedzający sesję day before the session
I	9,6	9,8	16,9	1,6
II	5,2	5,2	6,7	14,5
III	2,8	2,8	8,7	0,0

Tabela 3. Wartości współczynnika korelacji natężenia spływu powierzchniowego z natężeniem opadu dla różnych czasów opóźnienia

Table 3. Values of the correlation coefficient runoff intensity of precipitation intensity for different delay periods

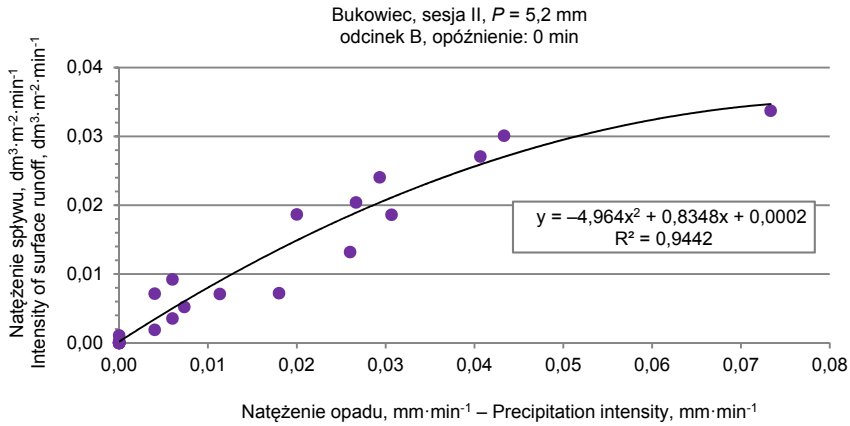
Opóźnienie Delay min	A	B	C	D	E	F
1	2	3	4	5	6	7
Sesja I; $P = 9,6$ mm; współczynniki korelacji r dla odcinków dróg Session I; $P = 9.6$ mm; correlation coefficient r for road sections						
0	0,35	0,75	0,72	0,55	0,46	0,52
15	0,84	0,87	0,95	0,73	0,74	0,81
30	0,73	0,79	0,76	0,69	0,91	0,67
45	0,80	0,65	0,57	0,57	0,81	0,85
60	0,64	0,48	0,29	0,36	0,71	0,58
Sesja II; $P = 5,2$ mm; współczynniki korelacji r dla odcinków dróg Session II; $P = 5.2$ mm; correlation coefficient r for road sections						
0	0,76	0,95	0,94	0,84	0,76	0,96
15	0,72	0,79	0,92	0,71	0,85	0,89
30	0,60	0,49	0,70	0,68	0,87	0,61

Tabela 3 – cd. / Table 3 – cont.

1	2	3	4	5	6	7
45	0,55	0,32	0,50	0,58	0,78	0,41
60	0,49	0,23	0,36	0,47	0,60	0,27
Sesja III; $P = 2,8$ mm; współczynniki korelacji r dla odcinków dróg Session III; $P = 2.8$ mm; correlation coefficient r for road sections						
0	0,33	0,37	0,00	0,74	0,56	0,40
15	0,58	0,56	0,13	0,78	0,74	0,62
30	0,79	0,77	0,14	0,76	0,88	0,76
45	0,85	0,86	0,00	0,81	0,89	0,87
60	0,89	0,63	0,40	0,73	0,73	0,88

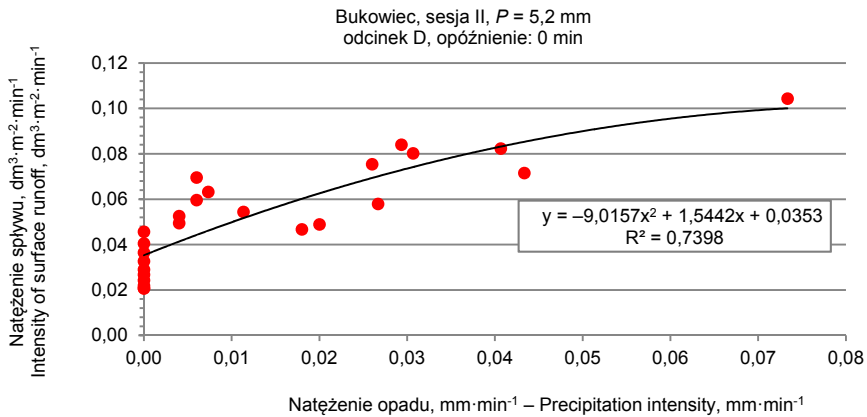
Tabela 4. Równania opisujące najsilniej skorelowane zależności
Table 4. Equations describing the most correlated relationship

Odcinek Section	Opad Precipitation mm	Opóźnienie Delay min	r	Równanie Equation	R^2
1	2	3	4	5	6
A	9,6	15	0,84	$y = 7,6517x^2 + 0,0597x + 0,0217$	0,76
	5,2	0	0,76	$y = -7,3538x^2 + 0,8685x + 0,0076$	0,66
	2,8	60	0,89	$y = 0,0714x^2 + 0,0082x + 8E-06$	0,79
B	9,6	15	0,87	$y = -1,8915x^2 + 0,6515x - 0,0026$	0,78
	5,2	0	0,95	$y = -4,964x^2 + 0,8348x + 0,0002$	0,94
	2,8	45	0,86	$y = 0,6445x^2 - 0,0008x + 1E-05$	0,80
C	9,6	15	0,95	$y = 0,5348x^2 + 0,7169x + 0,0042$	0,91
	5,2	0	0,94	$y = -1,5251x^2 + 1,0352x + 0,0046$	0,88
	2,8	60	0,40	$y = -0,4736x^2 + 0,0303x - 3E-05$	0,17
D	9,6	15	0,73	$y = -8,2782x^2 + 1,2422x + 0,042$	0,79
	5,2	0	0,84	$y = -9,0157x^2 + 1,5442x + 0,0353$	0,74
	2,8	45	0,81	$y = -0,96x^2 + 0,1774x + 0,0025$	0,66
E	9,6	30	0,91	$y = -0,661x^2 + 0,4163x + 0,0017$	0,83
	5,2	30	0,87	$y = -7,0601x^2 + 0,7829x + 0,002$	0,92
	2,8	45	0,89	$y = 0,056x^2 + 0,0127x + 5E-05$	0,79
F	9,6	45	0,85	$y = -0,2531x^2 + 0,3469x + 0,0039$	0,73
	5,2	0	0,96	$y = -4,0012x^2 + 1,0411x + 0,0016$	0,93
	2,8	60	0,88	$y = -0,0031x^2 + 0,0034x + 4E-06$	0,77



Rys. 4. Zależność natężenia splywu powierzchniowego od natężenia opadu. Przykład dla odcinka B

Fig. 4. Dependence of the intensity of surface runoff from precipitation intensity. Example for section B



Rys. 5. Zależność natężenia splywu powierzchniowego od natężenia opadu. Przykład dla odcinka D

Fig. 5. Dependence of the intensity of surface runoff from precipitation intensity. Example for section D

WYNIKI

Podstawowe wyniki analizy zamieszczono w tabeli 3. Dla wybranych sesji pomiarowych i wszystkich odcinków badawczych podano współczynniki korelacji r opisujące zależności natężenia spływu powierzchniowego i natężenia opadu. Skorelowanie badanych wielkości jest określone dla różnych czasów opóźnienia natężenia spływu w stosunku do natężenia opadu. Wyróżniono najmocniejsze powiązania dla każdego odcinka i każdej sesji pomiarowej.

Dla wyróżnionych układów danych podano równania opisujące relacje między badanymi cechami zjawisk oraz współczynniki determinacji R^2 (tab. 4). Dodatkowo na rysunkach 4 i 5 przedstawiono przykładowe wykresy wspomnianych zależności charakteryzujące wybrane odcinki w sesji II.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Obliczone współczynniki korelacji dowodzą, że natężenie spływu powierzchniowego mierzonego na nawierzchni gruntowej drogi stokowej jest dość silnie związane z natężeniem opadu, choć z pewnością nie jest to zależność jednoczynnikowa i pełna. Rozpatrując tę zależność, można stwierdzić ogólnie, że pewne opóźnienie stanów ekstremalnych spływów w stosunku do stanów ekstremalnych opadów (bezwładność) jest zjawiskiem naturalnym, a mają na to wpływ niektóre cechy odcinków opisane w tabeli 1 oraz rodzaj i stan nawierzchni drogi. Z przytoczonych danych wynika, że dla większych i średnich opadów (sesja I i II) opóźnienie sięga około 15 min, jednak mało zrozumiała wydaje się tu silniejsza korelacja przy 15-minutowym opóźnieniu dla większego opadu w porównaniu z silniejszym związkiem przy braku opóźnienia dla średniego opadu. Sytuację można wyjaśnić wielkością opadu w dobie poprzedzającej sesję pomiarową (tab. 2). Dziewięciokrotnie większy opad przed sesją II (w stosunku do doby poprzedzającej sesję I) wysycił grunt w nawierzchni drogi i dlatego woda pojawiająca się na nawierzchni w czasie pomiaru natychmiast tworzyła spływ powierzchniowy. Stąd wywodzi się silniejsze skorelowanie zależności w różnym czasie opóźnienia. Inną sytuację obserwujemy w przypadku sesji III, gdzie najsilniejszy związek istnieje przy opóźnieniu rzędu 45–60 min, co również można tłumaczyć wielkością opadów w dobie poprzedzającej pomiar. Według danych z tabeli 2 oraz rysunku 3, sesja odbyła się co najmniej po jednym dniu bezdeszczowym, a opad pojawił się 2,5 godziny od rozpoczęcia pomiarów i charakteryzował się niewielką intensywnością. Spływ powierzchniowy pojawił się na drodze dopiero po około godzinie (z wyjątkiem odcinka D), ponieważ opad najpierw został „zużyty” na zwilżenie powierzchni wszystkich elementów obszaru (drzew, roślinności niskiej, gruntu) oraz wypełnienie nierówności nawierzchni. Jest to potwierdzenie spostrzeżeń Kosturkiewicza i Szafrąńskiego (1983), Schweersa i in. (1999), a także Jadczyżyna (2010), że spływ powierzchniowy w takich warunkach powstaje dopiero po uzupełnieniu ubytków wody w podłożu, choć nie musi to być całkowite wypełnienie wszystkich porów w profilu.

Wielkości opóźnienia w opisywanej relacji, obserwowane na drogach leśnych o nawierzchni gruntowej, są dużo mniejsze niż wartości analogiczne opisane przez Zydronia i in. (2014), uzyskane na naturalnych stokach trawiastych o nachyleniu $10,5^\circ$ w Stacji Badawczej w Szymbarku (IGiPZ PAN). Autorzy podają 7-godzinne opóźnienie spływu powstałego z opadu 58 mm, trwającego 28 h oraz 100-minutowe opóźnienie spływu powstałego z opadu 107 mm, trwającego 11,5 h. Opady te były notowane odpowiednio: 1–2 VI oraz 3–4 VI 2010 roku. Porównanie bardzo wyraźnie zarysowuje znaczenie zdolności filtracyjnych podłoża (nawierzchnia drogi – naturalny stok trawiasty) dla warunków powstawania spływu powierzchniowego, w tym element wysycenia gruntu wodą z poprzednich opadów.

Dla układów danych najsilniej skorelowanych (pogrubione współczynniki korelacji w tabeli 3) wykonano estymacje przedmiotowej zależności. Najlepsze dopasowanie uzyskano dla wielomianowej postaci równań, które wraz z właściwymi współczynnikami determinacji zawarto w tabeli 4. Wielkość współczynników determinacji określa procent wyjaśnienia zmienności natężenia spływu powierzchniowego zmiennością natężenia opadu i są one dość duże dla większości układów. Dobrym przykładem są zależności obserwowane w sesji II, przedstawione na rysunkach 4 i 5, gdzie pokazano wyjaśnienie zmienności natężenia spływu: bardzo wysokie na odcinku B oraz dużo mniejsze na odcinku D. Przyczyną tego stanu jest przecięcie skarpią wykopu kanału spływu śródpokrywowego, który wprowadza na nawierzchnię odcinka D dodatkową porcję wody z bliżej nieokreślonego w tych badaniach obszaru. Woda była zretencjonowana na badanym obszarze wcześniej i spływała wewnątrz gruntu, nie pochodziła więc z opadu, dla którego obliczony jest współczynnik determinacji.

W szczególności uważa się, że:

- Istnieje silna korelacja dodatnia natężenia spływu powierzchniowego z nawierzchni dróg leśnych z natężeniem opadu. Skorelowanie tych wielkości może być odsunięte w czasie ze względu na stopień wysycenia wodą podłoża w chwili wykonywania pomiarów spływu.
- W zależności od warunków terenowych, natężenia opadu i stopnia wysycenia gruntu wodą z wcześniejszych opadów obserwuje się opóźnienie stanów ekstremalnych spływu powierzchniowego z dróg leśnych w wielkości 0–60 min w stosunku do ekstremalnych stanów natężenia opadu.
- Uzyskane współczynniki determinacji dla równań opisujących badaną zależność sugerują, że wielkość spływu powierzchniowego, na gruntowych drogach leśnych o przedstawianej charakterystyce, jest modelowana głównie przez natężenie opadu z uwzględnieniem warunków opóźniających spływ.
- Opisywany czas opóźnienia wraz z wielkością spływów powierzchniowych może służyć w pewnym stopniu do predykcji stanów i wielkości przepływów w potokach zlewni, ale należy to powiązać z gęstością oraz rozkładem przestrzennym sieci wodnej i drogowej w obszarze, a także rodzajem i sprawnością zastosowanego systemu odwodnienia dróg.

PIŚMIENNICTWO

- Brodowski, R., Rejman, J. (2004). Określenie wpływu wilgotności i stanu powierzchni gleby wytworzonej z piasku gliniastego na spływ powierzchniowy i zmyw gleby [To determine the effect moisture and condition of the soil surface formed from loamy sand on runoff and soil landslide]. *Acta Agrophys.*, 4(3), 619–624 [in Polish].
- Czarniecka, A. (1998). Systemy informacji przestrzennej – odwzorowanie wybranych elementów ekosystemu za pomocą atrybutowej bazy danych i cyfrowych map wektorowych [Geographic Information Systems – mapping of selected elements of the ecosystem using the database attributes and digital vector maps]. Niepublikowany maszynopis. Wydział Elektrotechniki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków [in Polish].
- Gil, E. (1990). Racjonalne użytkowanie ziemi na stokach pod kątem ochrony przeciwpowodziowej i przeciwozryznej [Rational use of land on the slopes for flood protection and antierosion.]. *Probl. Zagosp. Ziem Górsk.*, 30, 31–48 [in Polish].
- Gołąb, J. (2011). Natężenie powierzchniowego spływu wody z leśnej drogi stokowej [Intensity of water surface flow from forest slope road]. *Infr. Ekol. Ter. Wiej.*, 7, 199–208 [in Polish].
- Gołąb, J. (2012). Symulacja objętości powierzchniowego spływu wody z sieci dróg leśnych w terenie górskim [Simulation of surface waterflow volume from forest road net in highland]. *Infr. Ekol. Ter. Wiej.*, 2/3, 129–139 [in Polish].
- Gołąb, J., Wańczyk, R., Matusiak, B. (2006). Surface runoff from slanting forest road. *Acta Sci. Pol. Silv. Colendar. Rat. Ind. Lignar.* 5(1), 13–25.
- Gradkowski, K. (2011). Kontrola spływu powierzchniowego wód z pasów drogowych. Cz. 1 [Control of surface runoff of water from the roadlanes. Part 1]. *Pol. Instal.*, 1, 63–67 [in Polish].
- Jadczyzsyn, J. (2010). Spływ powierzchniowy i erozja gleby w użytkowanej rolniczo mikro-zlewni stokowej (Rogalów, Wyżyna Lubelska) [Runoff and soil erosion in a micro-catchment used for agriculture (Rogalów, Lublin Upland)]. *Pr. Stud. Geogr.*, 45, 67–77 [in Polish].
- Klimaszewski, M. (red.) (1972). *Geomorfologia Polski T. 1* [Geomorphology of Poland]. Warszawa: PWN [in Polish].
- Kosturkiewicz, A., Szafranski, C. (1983). Spływy powierzchniowe i podpowierzchniowe w bilansie wodnym gleb [Surface and subsurface runoff in the water balance of soils]. *Pr. Kom. Nauk Roln. Leśn. PTPN*, 55, 127–144 [in Polish].
- Martinez-Zavala, L., Jordán López, A., Bellinfante, N. (2008). Seasonal variability of runoff and soil loss on forest road backslopes under simulated rainfall. *Catena*, 74, 73–79.
- Midriak, R. (1990). Povrchovy odtok a podne straty vo vysokohorskyh ekosystemoch [Surface runoff and soil loss in alpine ecosystems]. *Ved. Pr. VULH*, 39, 57–78 [in Slovak].
- Schweers, W., Koch, M., Voss, A. (1999). The use of groundwater and surface water models for environment al assessment – Case study on alluvial forest establishment. *Arch. Natursch. u. Landschaftsforsch.*, 37, 4, 259–283.
- Słupik, J. (1972). Spływ powierzchniowy na stokach górskich Karpat fliszowych [Runoff on the slopes of the Carpathian Flysch]. *Gosp. Wod.*, 8, 290–295 [in Polish].
- Stachý, J. (red.) (1987). *Atlas hydrogeologiczny Polski. T. 1* [Hydrogeological atlas of Poland]. Warszawa: Wydawnictwo Geologiczne [in Polish].
- Suliński, J., Kucza, J., Sułkowski, S., Abratowski, A. (1997). Zbadanie bilansu wodnego świerczyn rasy istebniańskiej. Sprawozdanie z prac wykonanych w I etapie badań [Examine the water balance spruce Istebna race. The report on the work done in the first stage of the study]. Kraków: KIL AR [in Polish].

Zydroń, T., Wałęga, A., Bochenek, W. (2014). Zastosowanie wybranych modeli hydrologicznych do określania wielkości spływu powierzchniowego [Application of selected hydrological models for the calculation of overland flow]. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 13(2), 81–93 [in Polish].

RELATIONSHIP OF THE INTENSITY OF RUNOFF FROM FOREST ROADS WITH INTENSITY OF PRECIPITATION

Abstract. Runoff due to different land cover characteristics (forest, agricultural use, urban facilities), is a different proportion of water balance in nature. The subject of the work is surface runoff from forest roads. The aim is to describe the relationship between the intensity of surface runoff from the forest ground road in the mountains and the intensity of precipitation. Runoff measurements were performed in the Wisła Forest District in 2004 on six sections of forest slope road with the ground surface, on 15 September, 9 and 16 October, with a frequency of 15 minutes, the rainfall, respectively, 9.6 mm, 5.2 mm and 2.8 mm. Determined correlation coefficients between the intensity of runoff and the precipitation intensity at different delays of the relationship (0, 15, 30, 45 and 60 minutes). For the best correlated data systems function describing the said relationship and the determination coefficient was given. Delay extreme runoff in relation to extreme precipitation can justify terrain features, vegetation cover, the state of the road surface and the degree of saturation of the land in road surface by water. The resulting correlations must be interpreted on the background information concerning the amount of precipitation from the period of about two days before measuring the runoff. The best correlation for larger and longer rainfall observed for the delay approx. 0–15 min. The decisive factor seems to be the saturation of ground in the road surface due to earlier rainfall. The less rainfall, after rainless periods, in the described conditions, have the best correlation after about 60 minutes. Functions describing the said relationship for best correlated delays frequently take the form of a polynomial of the second degree with a fairly high coefficients of determination.

Key words: forest slope roads, surface runoff intensity, precipitation intensity

Accepted for print – Zaakceptowano do druku: 5.05.2015

For citation – Do cytowania: Gołęb, J. (2015). Powiązanie natężenia spływu powierzchniowego z dróg leśnych z natężeniem opadu. *Acta Sci. Pol. Silv. Colendar. Rat. Ind. Lignar.*, 14(2), 115–126. DOI: 10.17306/J.AFW.2015.2.11