

Janusz Gołąb

**SYMULACJA OBJĘTOŚCI POWIERZCHNIOWEGO
SPŁYWU WODY Z SIECI DRÓG LEŚNYCH
W TERENIE GÓRSKIM**

***SIMULATION OF SURFACE WATERFLOW VOLUME
FROM FOREST ROAD NET IN HIGHLAND***

Streszczenie

W pracy przedstawiono symulacyjne wyliczenia objętości wody pochodzącej ze spływu powierzchniowego formującego się na leśnych drogach górskich. Podstawą wykonywanych obliczeń były rzeczywiste pomiary natężenia spływu powierzchniowego z dróg przeprowadzone przez autora w Beskidzie Śląskim w latach 2003-2004, a także założenia jednolitości warunków w obszarze 100 ha, dla którego je wykonano. Dla różnych gęstości sieci drogowej (od 10 do 30 m·ha⁻¹), różnych opadów atmosferycznych (1,1; 2,1; 5,2; 9,8 mm) i przyjętego 3-godzinnego czasu trwania opadu podano symulowane ilości wody oraz ich stosunek procentowy w odniesieniu do opadu (P) na całym rozpatrywanym terenie. Otrzymano między innymi: dla gęstości sieci 10 m·ha⁻¹ i opadu 1,1 mm – 376 litrów (0,03% opadu); dla gęstości sieci 30 m·ha⁻¹ i opadu 9,8 mm – 58 077 litrów (0,6% opadu). Obliczono także ilości spływu powierzchniowego na podstawie danych z pomiaru w czasie tajania śniegu (również w ciągu 3 godzin) i otrzymano: dla gęstości sieci 10 m·ha⁻¹ – 75 588 litrów; dla gęstości sieci 30 m·ha⁻¹ – 226 765 litrów. W dyskusji wielkości te porównano z normatywnym zużyciem wody przez statystyczną osobę. W porównaniu tym otrzymano między innymi: objętość spływu dla opadu 9,8 mm i gęstości sieci dróg 30 m·ha⁻¹ 581 razy większą niż dzienne, normatywne zużycie wody przez jedną osobę. W porównaniu wielkości spływu powstałego z tajania śniegu z sieci o gęstości 30 m·ha⁻¹ i dziennego zapotrzebowania jednej osoby otrzymano 2 268-krotną różnicę.

Słowa kluczowe: objętość spływu powierzchniowego, drogi leśne, gęstość sieci drogowej, symulacja

Summary

In the study there was presented simulation of the volume counting of the water coming from surface flow which appears on highland forest roads. The basis were actual measures of surface flow from roads done in the Silesian Beskid in 2003-2004 period, and assumption of conditions homogeneity in 100 ha area for which the calculation was made. For different index of road net density (from 10 to 30 m·ha⁻¹), different precipitations (1,1; 2,1; 5,2; 9,8 mm) and established 3-hour lasting rainfall there was shown the simulated water amount and its proportion to precipitation (P) on total area. Results, among others, are as follow: for road net density 10 m·ha⁻¹ and rainfall 1,1 mm – 376 liters (0,03% P), for road net density 30 m·ha⁻¹ and rainfall 9,8 mm – 58 077 liters (0,6% P). There was also calculated surface flow volume on based on the data measured in snow melt period (3 hours long period) and the results are as follow: for road net density 10 m·ha⁻¹ – 75 588 liters, and for road net density 30 m·ha⁻¹ – 226 765 liters of water. In part of discussion we compared these results with standard water consumption by statistic person. In this comparison the results are inter alia: run-off volume for rainfall 9,8 mm and road net density 30 m·ha⁻¹ 581 times greater than daily quota water use for person. In the comparison of volume of the run-off came from snow melting from road net with density index 30 m·ha⁻¹ and daily requirement per person results 2 268 times difference.

Key words: surface flow volume, forest roads, road net density, simulation

WSTĘP

Spływ powierzchniowy, jako zjawisko z wielu względów niekorzystne dla gleb i stosunków hydrologicznych zlewni górskich i podgórszych, był i jest przedmiotem wielu badań [Słupik 1972, Kosturkiewicz, Szafranski 1983, Bouchenek 2002, Brodowski, Rejman 2004, Gołęb i in. 2006, Brodowski 2009, Gołęb 2011].

Spływ powierzchniowy w terenach zalesionych o naturalnej, niezdewastowanej pokrywie glebowej i roślinnej, jest rzadko obserwowany. Pojawia się w zasadzie tylko na nawierzchniach dróg, szlaków zrywkowych, składnic i placów manewrowych, czyli na powierzchniach przekształconych przez działalność człowieka. Wyjątkiem są sytuacje związane z nawałnymi opadami, stromymi stokami pokrytymi glebami o płytkiej miąższości, oraz wysyceniem gleb przez wcześniej zaistniałe opady. Wielkości spływów powierzchniowych z terenu Tatr podaje Midriak [1990] (tab. 1):

Słupik [1972] również podaje wielkości spływu powierzchniowego zmierzone w lesie ale podczas opadu nawałnego 60-90 mm, trwającego 1-2 godziny: 100 l·ha⁻¹·min⁻¹.

Na wielkość spływów powierzchniowych duży wpływ ma porowatość gruntu (bardzo duże różnice w glebie naturalnej i nawierzchni drogi) oraz aktualny stan wysycenia porów wodą. Cechy te modyfikują zdolność filtracyjną

podłoża. Dane dotyczące szybkości filtracji w glebie rolniczej podaje Gil [1990] (za Słupikiem): gleba spulchniona – $90 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$, podeszwa płużna – $1,2 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$, zaś w gruntowej nawierzchni drogi stokowej z dużą ilością szkieletu naturalnego – Gołąb i in. [2006]: $0,00\div 0,05 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$.

Tabela 1. Wielkości spływu powierzchniowego (Midriak 1990).

Table 1. Surface flow volume (Midriak 1990).

Lokalizacja	Charakterystyka (wys. N.p.m., Spadek, wystawa)	Spływ powierzchniowy [$\text{l}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$]
Młódnik świerkowy	1300 m n.p.m., 8-16°, NNE	29 287
Drzewostan świerkowy 100-150 lat	1343 m n.p.m., 28°, N	174 823
Obnażona gleba na składnicy	1365 m n.p.m., 18°, SSE	312 023

Ilość wody spływającej powierzchniowo z dróg jest więc bezpośrednio związana z jakością nawierzchni, spadkami podłużnymi i poprzecznymi oraz ilością (co za tym idzie: powierzchnią) dróg w konkretnym obszarze, czyli gęstością sieci drogowej.

Gęstość leśnej sieci drogowej jest ważnym wskaźnikiem udostępnienia lasu. Od stopnia udostępnienia zależy efektywność gospodarowania lasem, ale też umożliwienie wielu innych działań, zaspokojenie celów i potrzeb wymienionych w aktach prawnych regulujących korzystanie z lasu [Ustawa o lasach]. Gęstość ta określana jest ilością (sumaryczną długością) dróg leśnych na obszarze lasu i obliczana według wzoru (1):

$$g = \frac{L}{P} [m \cdot ha^{-1}] \quad (1)$$

gdzie:

- g – wskaźnik gęstości sieci dróg leśnych,
- L – długość wszystkich dróg leśnych [m],
- P – powierzchnia leśna [ha].

Z gęstości sieci dróg wynika bezpośrednio teoretyczna odległość między drogami, a obliczana jest według wzoru (2):

$$b = \frac{10\,000}{g} [m] \quad (12)$$

gdzie:

- b – odległość między drogami,
- g – wskaźnik gęstości sieci dróg leśnych [$m\cdot ha^{-1}$].

Dla konkretnych obszarów leśnych, charakteryzujących się określonymi wartościami parametrów dotyczących istniejących drzewostanów, fizjografii, warunków gruntowych i wodnych oraz uwarunkowań ekonomicznych miejscowego rynku pracy, określany jest optymalny wskaźnik gęstości sieci drogowej. Wskazuje on najwłaściwszą ilość dróg w konkretnym obszarze leśnym ze względu na minimalizację kosztów zrywki i wywozu drewna w powiązaniu z kosztami, jakie należy ponieść na budowę, modernizację, amortyzację i utrzymanie zaprojektowanej sieci dróg. Oblicza się go w stosunku do umownego, średniego, 100-metrowego odcinka drogi według wzoru (3) dla różnych długości zrywki i przyjmuje za właściwą tę wartość, dla której suma kosztów jest najmniejsza. Są to aktualne zalecenia stosowane w Lasach Państwowych.

$$g_{opt} = \frac{Kbd + Ku + A}{V} + Kzr_{sr} \quad [\text{zł} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (3)$$

gdzie:

- g_{opt} – wskaźnik optymalnej gęstości sieci dróg leśnych,
- Kbd – koszty budowy dróg (odcinka średniego, 100 mb); [zł],
- Ku – roczne koszty utrzymania dróg (odcinka średniego, 100 mb); [zł],
- A – amortyzacja (odcinka średniego, 100 mb); [zł],
- V – miąższość drewna z powierzchni ciężącej do 100mb drogi obliczona dla okresu rębności; [m^3],
- Kzr_{sr} – średnie koszty zrywki 1m^3 drewna; [$\text{zł} \cdot \text{m}^{-3}$].

Na terenach nizinnych rzeczywiste odległości między drogami oraz wskaźnik gęstości dróg mogą być porównywalne z teoretycznymi, natomiast w terenach górskich układ rzeczywisty dróg silnie zależy od ukształtowania terenu i warunków hydrogeologicznych, przez co wartości wskaźnika zagęszczenia sieci dróg (i odległości między drogami) mogą lokalnie bardzo odbiegać od wartości obliczonych dla większych obszarów.

Przedmiotem prezentowanej pracy są teoretyczne wyliczenia (przy pewnych założeniach) ilości wody spływającej powierzchniowo z systemu dróg leśnych o różnym indeksie gęstości sieci z obszaru 100 ha. Wyliczenia te oparte zostały na wynikach pomiarów spływu powierzchniowego z dróg leśnych uzyskanych w badaniach z lat 2003-2004 [Gołąb i in. 2006]. Celem jest przybliżone, ilościowe oszacowanie spływu powierzchniowego z obszaru leśnego dla wybranych indeksów gęstości sieci drogowej.

**OPIS ODCINKÓW DRÓG,
NA KTÓRYCH MIERZONO SPŁYW POWIERZCHNIOWY**

Pomiary spływu powierzchniowego z górskich dróg leśnych wykonano w Nadleśnictwie Wisła, w eksperymentalnej zlewni Katedry Inżynierii Leśnej UR w Krakowie (potok Dupniański). Obszerną charakterystykę całej zlewni podał Suliński i zespół [1997], zaś metodyka pomiaru spływu powierzchniowego z odcinków dróg przedstawiona jest przez Gołęba w oddzielnym opracowaniu [Gołąb i in. 2006]. Z sześciu odcinków dróg, na których w badaniach źródłowych mierzono spływy powierzchniowe, wybrano cztery, a ich najważniejsze cechy przedstawiono w tabeli 2. Dwa z tych odcinków (C i D) są usytuowane w miejscach, w których występują wyięki wody ze skarpy wykopu na jezdnię.

Tabela 2. Charakterystyka odcinków badawczych
Table 2. Characteristics of selected road sections

cechy odcinka		odcinek			
		A	C	D	E
Rodzaj nawierzchni		gruntowa z dużą ilością naturalnego szkieletu			
Długość odcinka	[m]	44,10	60,40	43,95	54,10
Średnia szerokość jezdni	[m]	2,10	2,20	2,62	2,30
Powierzchnia jezdni na odcinku	[m ²]	92,61	132,88	115,00	124,43
Średni spadek odcinka	[%]	1,82	8,22	9,17	8,37
Średnia wysokość skarpy wykopu	[m]	0,96	1,61	2,44	1,75
Średnia wysokość skarpy nasypu	[m]	0,45	0,65	0,87	0,38
Obecność wyięku wody ze skarpy	Tak – Nie	N	T	T	N
Wiek drzewostanu	[lata]	55	50	80	80
Oslona drogi drzewostanem	[%]	70	30	30	40
Współczynnik wodoprzepuszczalności gruntu w nawierzchni	[cm·min ⁻¹]	0,003	0,000	0,000	0,004

METODYKA BADAŃ

U podstaw prezentowanej symulacji konieczne było przyjęcie założenia jednolitości terenu i zjawisk tam występujących (w sensie cech gleb, drzewostanów, fizjografii terenu, opadów i infrastruktury drogowej). Ustalono, że obliczenia będą wykonane dla obszaru o wielkości 100 ha. Trzeba jednak pamiętać, że jest to dość daleko posunięta ekstrapolacja warunków rzeczywiście zmierzonych [Gołąb i in. 2006], a górski teren leśny, nawet na dużo mniejszym obszarze, nie spełnia warunków takiego założenia i prezentuje bardzo bogatą mozaikę cech uznanych tu za jednolite. Zatem warunki i cechy opisane przez Gołęba [2006] uznano za średnie i reprezentatywne dla całego obszaru umownego dla potrzeb oceny problemu w założonej skali.

W poniższych wyliczeniach oparto się na pomierzonych wartościach natężeń spływu powierzchniowego z czterech odcinków dróg stokowych (A, C, D i E) [Gołęb i in. 2006]. Wartości te uzyskano w pomiarach dokonanych w dniach: 12 IX i 21 X 2003 roku, oraz 15 IX i 9 X 2004 roku, w czasie których zmierzono opady: 12 IX – 1,1 mm, 21 X – 2,1 mm, 15 IX – 9,8 mm i 9 X – 5,2 mm.

Realizacja zamierzonego celu wymagała użycia wartości jednostkowych spływów powierzchniowych (q'), czyli spływów zredukowanych do powierzchni 1 m^2 , wyliczenia średnich wartości spływów jednostkowych z poszczególnych sesji pomiarowych oraz przyjęcia 3-godzinnego okresu umownego, dla którego przeprowadzono przedmiotową symulację. Zasadnicze obliczenia podają objętości wody spływającej powierzchniowo z dróg wykonane na podstawie średnich spływów jednostkowych, 3-godzinnego okresu spływu (i opadu) oraz powierzchni dróg w założonym obszarze 100 ha przy gęstościach sieci drogowej uznanych za optymalne za Antończykiem i Dzikowskim [Drogi leśne 2006]. Obliczenia wykonano dla gęstości sieci: $10 \text{ m}\cdot\text{ha}^{-1}$, $20 \text{ m}\cdot\text{ha}^{-1}$ i $30 \text{ m}\cdot\text{ha}^{-1}$ i średniej szerokości dróg 3 m . Przy gęstościach tych, teoretyczna odległość między drogami wynosi odpowiednio: 1000 m , 500 m i 333 m .

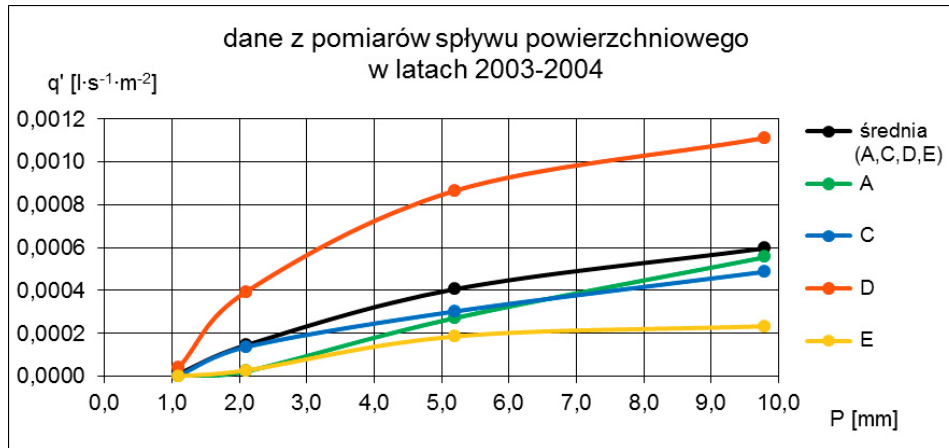
Dla porównania spływów dołączono również podobnie opracowane dane z pomiaru w czasie roztopów wiosennych, podczas którego nie zaobserwowano opadu (21 III 2004).

WYNIKI BADAŃ

Opierając się na przyjętych założeniach, w pierwszym etapie wyliczeń (tab. 3), określono średnie wartości spływu jednostkowego z wybranych odcinków dróg dla każdej sesji pomiarowej, czyli każdego zmierzonego opadu. W tabeli tej zamieszczono także, dla porównania, takie samo wyliczenie dla sesji roztopowej bez opadu. Dane z sesji z opadami przedstawiono również w formie wykresu (rys. 1).

Tabela 3. Średnie natężenia jednostkowe spływu powierzchniowego z dróg leśnych
Table 3. Average intensity of unit surface flow on forest roads

Opad	Odcinek drogi				średnia
	A	C	D	E	
[mm]	[l·s ⁻¹ ·m ⁻²]				
1,1	0,0000018	0,0000042	0,0000404	0,0000000	0,00001161
2,1	0,0000231	0,0001369	0,0003947	0,0000275	0,00014555
5,2	0,0002722	0,0003028	0,0008664	0,0001863	0,00040691
9,8	0,0005561	0,0004879	0,0011126	0,0002333	0,00059750
roztopy wiosenne (brak opadu)	0,0002553	0,0016650	0,0068068	0,0006048	0,00233298



Rysunek 1. Średnie natężenia jednostkowe spływu powierzchniowego z dróg leśnych
Figure 1. Average intensity of unit surface flow on forest roads

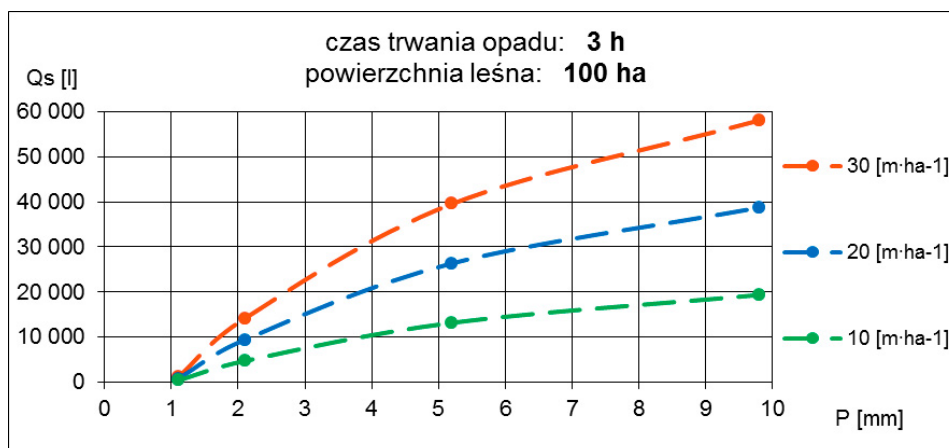
W tabeli 4. zamieszczono symulacyjne wyliczenia ilości wody spływającej z powierzchni dróg leśnych w obszarze 100 ha przy założonych gęstościach sieci. Obliczono także procent, jaki stanowi ta ilość wody w stosunku do ilości wody z opadu na całym obszarze 100 ha. W ostatnim wierszu podano ilość wody, jaka spłynęłaby (przy tych samych założeniach) z dróg w warunkach roztopów wiosennych, również w czasie trzech godzin.

Tabela 4. Ilość wody ze spływu powierzchniowego przy różnej gęstości sieci drogowej oraz stosunek procentowy tego spływu do opadu

Table 4. Volume of water from surface flow with different forest road net density index and percentage of this flow to total precipitation

opad (3h) [mm]	q' _{sr} z odcinków A, C, D i E [l·s ⁻¹ ·m ⁻²]	gęstość sieci dróg [m·ha ⁻¹]		
		10	20	30
		ilość wody w 3-godzinnym spływie [l] <i>spływ powierzchniowy jako % opadu na całej powierzchni 100ha</i>		
1,1	0,00001161	376,1 <i>0,03%</i>	752,2 <i>0,07%</i>	1 128,3 <i>0,10%</i>
2,1	0,00014555	4 715,7 <i>0,22%</i>	9 431,4 <i>0,45%</i>	14 147,1 <i>0,67%</i>
5,2	0,00040691	13 183,8 <i>0,25%</i>	26 367,6 <i>0,51%</i>	39 551,3 <i>0,76%</i>
9,8	0,00059750	19 358,9 <i>0,20%</i>	38 717,9 <i>0,40%</i>	58 076,8 <i>0,59%</i>
roztopy wiosenne (okres 3 h, brak opadu)	0,0023330	75 588,4	151 176,8	226 765,3

Wybrane dane z tabeli 4 przedstawiono na poniższym wykresie (rys. 2):



Rysunek 2. Ilość wody ze spływu powierzchniowego przy różnej gęstości sieci drogowej
Figure 2. Volume of water from surface flow with different forest road net density index

DYSKUSJA

Obiegowe opinie i obserwacje obfitych spływów z powierzchni gruntów sztucznie zagęszczonych w zlewni (nawierzchnie dróg) mogą prowadzić do wniosków, że jest to poważny problem hydrologiczny. Badania wielkości tych spływów na drogach leśnych [Gołąb 2006, 2011] pokazują rzeczywiste ich wartości oraz zróżnicowanie.

W stałych warunkach terenowych (gęstość sieci drogowej) ilość wody spływającej powierzchniowo z dróg zależy wprost od wielkości opadu, jednak charakter przyrostu ilości spływu dla obserwowanych, coraz wyższych opadów, nie jest liniowy. Ta charakterystyka zarysowała się na podstawie rzeczywistych pomiarów terenowych, ale należy pamiętać, że były to osobne pomiary, oddzielone krótszymi, bądź dłuższymi okresami czasu. Warunki atmosferyczne panujące między okresami pomiarów wpłynęły w konkretny (nie opisywany w badaniach źródłowych) sposób na warunki filtracji gruntu w nawierzchni, co mogło mieć pewne znaczenie dla ostatecznego uformowania się prezentowanej charakterystyki. Z drugiej strony, warunki filtracji w nawierzchni drogi zmieniają się w niewielkim stopniu (wartość współczynnika filtracji w badaniach źródłowych zawierała się w granicach $0,05 \div 0,00 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ [Gołąb i in. 2006]), dlatego też zależność natężenia spływu od wielkości opadu została przyjęta w tym opracowaniu za właściwą.

Uzyskane wyniki ilościowe pokazują potencjalną ilość wody, która w konkretnych warunkach terenowych (gęstość sieci drogowej) może w dość krótkim czasie pojawić się w potoku, omijając tym samym fazę retencji w gruncie. Opisywane skrócenie obiegu wody może, jak wiadomo, spowodować w bardziej skrajnych sytuacjach zaostrenie stanów powodziowych, a także pogłębienie niżówek w okresach posusznych, co ma znaczenie dla konsumentów wody. Ilości te porównano z normą [Rozporządzenie Ministra Infrastruktury 2002] przeciętnego zużycia wody w gospodarstwie domowym wyposażonym w wodociąg, ubikację, łazienkę, kanalizację i lokalne źródło ciepłej wody. Według tej normy jedna osoba zużywa w ciągu doby 100 litrów wody. W prezentowanej symulacji uzyskano dla małego opadu i małej gęstości sieci drogowej ilość 376,1 litra wody oraz dla dużego opadu i dużej gęstości sieci ilość 58 076,8 litra wody (tab. 4). Oznacza to, że w rozpatrywanym obszarze 100 ha w ciągu 3-godzinnego opadu o wysokości 1,1 mm z sieci dróg leśnych o gęstości $10 \text{ m} \cdot \text{ha}^{-1}$ odpływa 376% dobowego zapotrzebowania na wodę dla jednej osoby, zaś dla gęstości sieci $30 \text{ m} \cdot \text{ha}^{-1}$ i opadu 9,8 mm ilość 3-godzinnego spływu powierzchniowego większa jest od dobowego zużycia wody przez jednego mieszkańca 581 razy (ponad półtoraroczne zużycie). Jeśli przyrównamy normatywne zużycie wody do ilości wody ze spływu powierzchniowego powstałego z topnienia śniegu, to otrzymamy dla małej gęstości sieci 756-krotną różnicę (ponad dwuletnie zapotrzebowanie) i dla dużej gęstości sieci 2 268-krotną różnicę (ponad sześćoletnie zapotrzebowanie). To porównanie pokazuje w pewnym stopniu ważkość problemu, jakim jest spływ powierzchniowy z dróg, mimo że oparte jest ono na symulacji i ustaleniach normatywnych.

Powyższe wyliczenia zostały przeprowadzone na podstawie niewielkich opadów, których natężenie wahało się w granicach $0,37 \div 3,27 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$, dlatego ich wyniki opisują tylko część (początkową) zależności. Należy sądzić, że w miarę wzrostu natężenia opadu, charakter zależności odwróci się i przyrosty wielkości spływu będą coraz większe. Spowodowane to będzie powstaniem spływu powierzchniowego na terenie poza drogami i pojawieniem się tej dodatkowej „porcji” wody na drogach. Do poznania tej części zależności potrzebne są uzupełniające badania oparte na stałych obserwacjach z użyciem sprzętu elektronicznego, eliminującego niedogodności wieloosobowego i, z konieczności, sporadycznego pomiaru.

Należy zwrócić tu uwagę na skutki, jakie mogą powstać podczas ruchu tej ilości wody po nawierzchni górskich dróg leśnych. Duże spadki niwelety, jakie są obserwowane na tego typu drogach, w połączeniu ze słabą jakością nawierzchni, odkształceniami w postaci kolein i dużym ilościowo spływem powierzchniowym, stwarzają okoliczności do powstawania bardzo poważnych szkód erozyjnych. Konieczne jest w tych warunkach staranne wykonanie systemu powierzchniowego odwodnienia dróg, jego częsta konserwacja, a także stworzenie możliwości do wprowadzenia wody pod powierzchnię gruntu za wylotem każdego z urządzeń odwadniającego nawierzchnię drogi.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Opracowanie opiera się na założeniach jednolitości obszaru i rzeczywistych pomiarach spływu powierzchniowego z dróg. Dane pochodzą z kilku sesji pomiarowych przy stosunkowo niewielkich opadach. Wielkości spływów powierzchniowych z sieci dróg leśnych zależą (oprócz charakterystyki nawierzchni dróg) od indeksu gęstości sieci drogowej, czyli od powierzchni dróg na danym obszarze. Wielkość spływu powierzchniowego jest, według powyższych wyliczeń, zauważalnym problemem, wpływającym wydatnie na obniżenie dostępności wody dla jej konsumentów biorąc pod uwagę dłuższe okresy czasu. Szczególnej uwagi wymaga sytuacja kształtująca się za wylotem urządzeń odwadniających nawierzchnie dróg, gdzie skoncentrowany strumień wody może wyrządzać duże szkody erozyjne. Większa ilość danych pomiarowych, pochodzących z automatycznego pomiaru i zapisu, oraz przynajmniej kilkuletniego działania systemu pomiarowego, pozwoliłaby dokładniej prześledzić i interpretować badane zjawisko.

W szczególności:

1. Objętości wody spływającej powierzchniowo z sieci dróg leśnych w czasie 3 godzin z obszaru 100 ha mogą sięgać, w zależności od wskaźnika gęstości sieci i wielkości opadu, $0,5\div 60\text{ m}^3$.

2. Stosunek procentowy objętości spływu powierzchniowego z sieci dróg leśnych do objętości opadu na całą powierzchnię leśną, nawet przy wysokich indeksach gęstości sieci drogowej, jest niewielki (około 0,7%).

3. Objętości wody spływającej powierzchniowo z sieci dróg, pochodzącej z roztopów wiosennych, są wielokrotnie (tu $4\div 200$ -krotnie) większe od objętości wody pochodzącej z opadów deszczu w cieplej porze roku.

BIBLIOGRAFIA

- Bochenek W. *Ocena możliwości retencyjnych pokryw glebowo-zwierzelinowych na stoku pogórskim*. Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce. 3: 103–107, 2002.
- Brodowski R. *Wpływ wilgotności i gęstości gleby lessowej na powierzchniową erozję wodną*. Acta Agrophysica. 14(3): 567-576, 2009.
- Brodowski R., Rejman J. *Określenie wpływu wilgotności i stanu powierzchni gleby wytworzonej z piasku gliniastego na spływ powierzchniowy i zmyw gleby*. Acta Agrophysica. 4(3): 619-624, 2004.
- Drogi leśne. Poradnik techniczny*. Wyd. Ośrodek Rozwojowo-Wdrożeniowy LP w Bedoniu, 2006.
- Gil E., *Racjonalne użytkowanie ziemi na stokach pod kątem ochrony przeciwpowodziowej i przeciwoerozyjnej*. Probl. Zagospod. Ziem Górskich. 30: 31-48, 1990.
- Gołąb J., Wańczyk R., Matusiak B. *Surface runoff from slanting forest roads*. Acta Sci. Pol., Silv. Colendar. Rat. Ind. Lignar. 5 (1): 13-25, 2006.
- Gołąb J. *Natężenie powierzchniowego spływu wody z leśnej drogi stokowej*. Infr. I Ekol. Ter. Wiejskich, 7: 199-208, 2011.

-
- Kosturkiewicz A., Szafranski C. *Spływy powierzchniowe i podpowierzchniowe w bilansie wodnym gleb*. Pr. Kom. Nauk Rol. i Leś. PTPN 55: 127-144, 1983.
- Midriak R. *Povrchovy odtok a podne straty vo vysokohorskych ekosystemoch*. Ved. Pr. VULH, 39: 57-78, 1990.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 14 stycznia 2002 r. w sprawie określenia przeciętnych norm zużycia wody. (Dziennik Ustaw nr 8 z dnia 31 stycznia 2002 r. - Poz. 70).
- Słupik J. *Spływ powierzchniowy na stokach górskich Karpat fliszowych*. Gosp. Wod. 8: 290-295, 1972.
- Suliński J. *Sprawozdanie z prac wykonanych w I etapie badań "Zbadanie bilansu wodnego świerczyn rasy istebniańskiej"*. (red. pr. zb.), maszynopis, ZIL AR w Krakowie, 1997.
- Ustawa o lasach z dnia 28 IX 1991r., tekst ujednolicony, Dz.U. z 2011 nr 12 poz. 59.

Dr inż. Janusz Gołąb
Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie
Katedra Inżynierii Leśnej
Al. 29-listopada 46, 31-425 Kraków
e-mail: rlgolab@cyf-kr.edu.pl

