

*Janusz Gołąb*

## **NATEŻENIE POWIERZCHNIOWEGO SPŁYWU WODY Z LEŚNEJ DROGI STOKOWEJ**

---

### ***INTENSITY OF WATER SURFACE FLOW FROM FOREST SLOPE ROAD***

#### **Streszczenie**

W pracy przedstawiono pomiary natężenia spływu powierzchniowego z czterech odcinków leśnych dróg stokowych. Jeden z odcinków pomiarowych ulokowany był w miejscu, w którym wykop drogi przeciął kanał spływu wewnątrzgruntowego. Porównywane są natężenia jednostkowe z okresów o niewielkich i dużych opadach, oraz z okresu tania śniegu. Przedstawione pomiary pokazują bardzo wyraźną przewagę intensywności spływu powierzchniowego z odcinka, gdzie nastąpiło przecięcie kanału spływu wewnątrzgruntowego, w stosunku do pozostałych odcinków pomiarowych. Dysproporcja ta uwydatnia się przy małych opadach oraz w okresie tania śniegu – przewaga około 30-krotna. Porównując intensywność spływów z okresu tania śniegu i małych opadów przewaga ta osiąga wartości nawet ponad 400-krotne. Cechy różnicujące odcinki pomiarowe bez wysięku wody ze skarpy wykopu nie pozwalają (na podstawie tych badań) na stwierdzenie mocnego powiązania którejs z nich z intensywnością spływu wody z ich nawierzchni.

**Słowa kluczowe:** natężenie spływu, spływ powierzchniowy, drogi leśne, Beskid Śląski

#### ***Summary***

*In the study there was presented measurement of superficial flow intensity from four sections of forest slope road. One of the road section was located where the excavation cut the drain of the intraground flow. Unit intensity of runoff from periods of low and high rainfall intensity and period of snow melting are being compared. Presented measurement shows distinctly advantage of the superficial*

*flow from road section where the excavation cut the drain of the intraground flow over the other measured sections. This disproportion accentuates with low precipitations and in the period of snow melting – circa 30 times predominance. Comparing flows intensity from snow melting period with period with low precipitation disproportion achieves values more than 400 times. Features of road sections without the exudation of water from scarp assertion do not allow to determinate (according to this researches) strong connection of the particular feature with the intensity of water superficial flow from their pavements.*

**Key words:** runoff intensity, superficial flow, forest roads, Silesian Beskid.

## WSTĘP

Gruntowe drogi leśne, ze względu na zagęszczenie gruntu w warstwie nawierzchni, stwarzają dogodne warunki do formowania się na nich spływu powierzchniowego. Nawierzchnia dróg musi mieć odpowiednie zagęszczenie, aby mogła przejąć duże naciski jednostkowe pochodzące od kół pojazdów po nich się poruszających [Kormanek 2004]. Mimo, że gruntowe nawierzchnie dróg leśnych (ulepszone i nieulepszone) oraz twarde nieulepszone nie są powierzchniami szczelnymi, to ich możliwości pochłaniania wody są mocno ograniczone [Gołąb i in. 2006].

Problem obserwowany jest od dawna nie tylko na drogach leśnych. Również na drogach rolniczych problem ten jest bardzo dotkliwy, co w badaniach potwierdził Słupik [1972].

Znaczenie tego silnie niekorzystnego zjawiska, tak pod względem hydrologicznym [Gołąb 2004], jak i eksploatacyjnym, może zostać dodatkowo wzmocnione w sytuacji wykonania wykopu dla usytuowania tam drogi. Skarpa wykopu może bowiem przeciąć kanały spływu wewnątrzgruntowego i zretencjonowana w gruncie woda zasili spływ powierzchniowy z nawierzchni drogi.

Pomiary wykonywane były w ramach projektu finansowanego przez KBN, dotyczącego pomiaru natężenia powierzchniowego spływu wody po stokowych drogach leśnych. Wyniki oraz metodykę całości tych pomiarów przedstawiono w pracy [Gołąb i in. 2006].

Przedmiotem przedstawianych badań jest powierzchniowy spływ wody z leśnej drogi stokowej o nawierzchni gruntowej profilowanej.

Celem jest analiza natężenia spływu powierzchniowego z różnych odcinków leśnej drogi stokowej mierzonego przy różnym opadzie atmosferycznym oraz w czasie tajania śniegu.

## OPIS TERENU BADAŃ

Badania zlokalizowano w eksperymentalnej zlewni Katedry Inżynierii Leśnej UR w Krakowie (potok Dupniański na terenie Nadleśnictwa Wisła,

Beskid Śląski), której charakterystykę podał Suliński i zespół [1997]. W zlewni tej, na jednej z dróg stokowych wybrano kilka odcinków, na których zainstalowano wodospusty drewniane z tarcicy i prowadzono pomiary nateżenia spływu powierzchniowego [Gołąb i in. 2006]. Odcinki wybrane do bieżącej analizy opisują cechy zestawione w tabeli 1. Dwa z tych odcinków (C i D) są usytuowane w miejscach, w których występuje niewielki i czasowy (C), oraz większy i stały (D) wysięk wody ze skarpy wykopu na jezdnię.

**Tabela 1.** Charakterystyka odcinków badawczych  
**Table 1.** Characteristic of selected road sections

| Cechy odcinka<br><i>features of the section</i>  |                              | Odcinek, <i>section</i>  |               |               |               |
|--|------------------------------|--|---------------|---------------|---------------|
|  |                              | A  | C             | D             | E             |
| rodzaj nawierzchni<br><i>pavement type</i>   |                              | gruntowa z dużą ilością szkieletu<br><i>land surface with large quantity of skeleton</i> |               |               |               |
| Długość odcinka<br><i>length of the section</i>  | [m]                          | 44,10  | 60,40         | 43,95         | 54,10         |
| Średnia szerokość jezdni<br><i>average width of the road</i>   | [m]                          | 2,10   | 2,20          | 2,62          | 2,30          |
| Powierzchnia jezdni na odcinku<br><i>surface of road on the section</i>                                      | [m <sup>2</sup> ]            | 92,61  | 132,88        | 115,00        | 124,43        |
| Średni spadek odcinka<br><i>average fall of the section</i>  | [%]                          | 1,82   | 8,22          | 9,17          | 8,37          |
| Średnia wysokość skarpy wykopu<br><i>average height of scarp of excavation</i>                               | [m]                          | 0,96   | 1,61          | 2,44          | 1,75          |
| Średnia wysokość skarpy nasypu<br><i>average height of scarp of embankment</i>                               | [m]                          | 0,45   | 0,65          | 0,87          | 0,38          |
| Obecność wysięku wody ze skarpy<br><i>presence of exudation of water from scarp</i>                          | Tak – Nie<br><i>Yes - No</i> | N<br><i>N</i>  | T<br><i>Y</i> | T<br><i>Y</i> | N<br><i>N</i> |
| wiek drzewostanu<br><i>age of forest stand</i>   | [lata]<br><i>[years]</i>     | 55   | 50            | 80            | 80            |
| Osłona drogi drzewostanem<br><i>protection of the road by the stand</i>                                      | [%]                          | 70,0   | 30            | 30,0          | 40,0          |
| Współczynnik wodoprzepuszczalności gruntu w nawierzchni<br><i>filtration of the ground in surface factor</i> | [cm·min <sup>-1</sup> ]      | 0,003  | 0,000         | 0,000         | 0,004         |

## METODYKA POMIARU

Metodyka pomiaru przedstawiona jest szczegółowo we wcześniejszych opracowaniach [Gołąb i in. 2006], poniżej przytoczona jest w skrótovej formie.

Odcinki pomiarowe zostały wyznaczone poprzez zainstalowanie dwóch wodospustów dla każdego z nich. Wodospust ułożony w górnej granicy odcinka miał za zadanie odciąć dopływ wody z części drogi powyżej odcinka, natomiast wodospust ułożony w dolnej granicy był elementem zbierającym całość wody

z powierzchni badanego odcinka i tej wody, która ewentualnie wypływała z przeciętego skarpy stoku. U wylotu każdego wodospustu pomiarowego umieszczano wyskalowane naczynie (fot. 1), za pomocą którego mierzono ilość spływającej z odcinka wody.



**Fotografia 1.** Naczynie pomiarowe  
**Foto 1.** Measuring utensil

Pomiar trwał dokładnie pięć minut i powtarzany był co piętnaście minut. W sytuacji bardzo dużych spływów wody notowano czas z dokładnością sekundową napełnienia się naczynia w całości. Miało to miejsce na odcinku D (również C, ale w mniejszym stopniu) w czasie roztopów wiosennych, gdzie naczynie o pojemności czynnej 25 litrów napełniało się w czasie krótszym niż pół minuty. Obok jednego z odcinków pomiarowych ustawiono deszczomierz i notowano jego stan w momencie uruchamiania każdego z pomiarów, czyli również co piętnaście minut. Pomiaru na wszystkich odcinkach były wykonywane dokładnie w tym samym czasie.

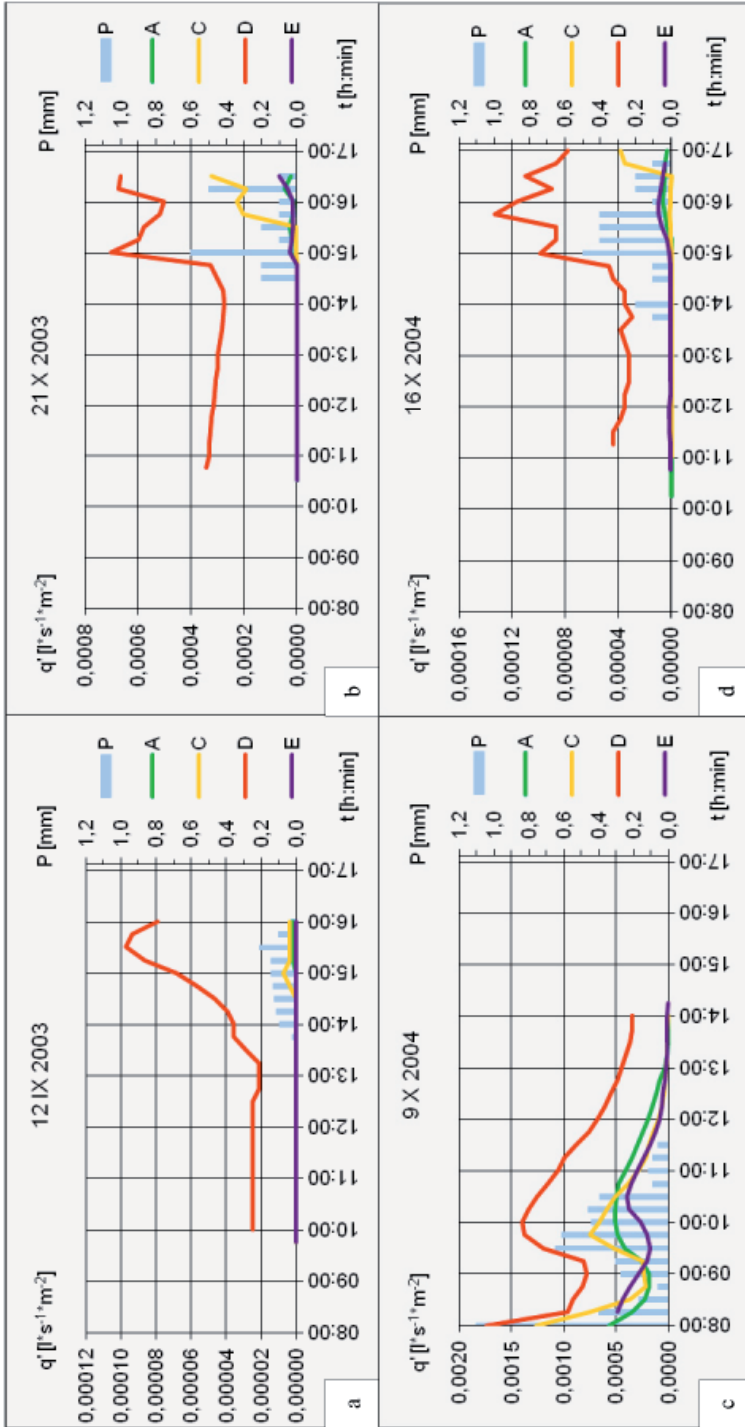
WYNIKI

Poniżej, w tabeli 2 prezentowane są przykładowe zapisy z terenu notowane na wybranym odcinku drogi oraz wyliczone natężenia spływu powierzchniowego w ujęciu jednostkowym, to znaczy w odniesieniu do 1m<sup>2</sup> powierzchni odcinka. Takie ujęcie pozwala porównywać natężenia z wszystkich odcinków badawczych.

**Tabela 2.** Zapisy terenowe oraz wybrane wyliczenia dotyczące spływu powierzchniowego z drogi leśnej. Część danych z sesji pomiarowej 9 X 2004 roku na odcinku pomiarowym C

**Table 2.** Field records as well as chosen calculations from forest road surface runoff enumerations. Part of the data from measuring session 9 X 2004 on section C

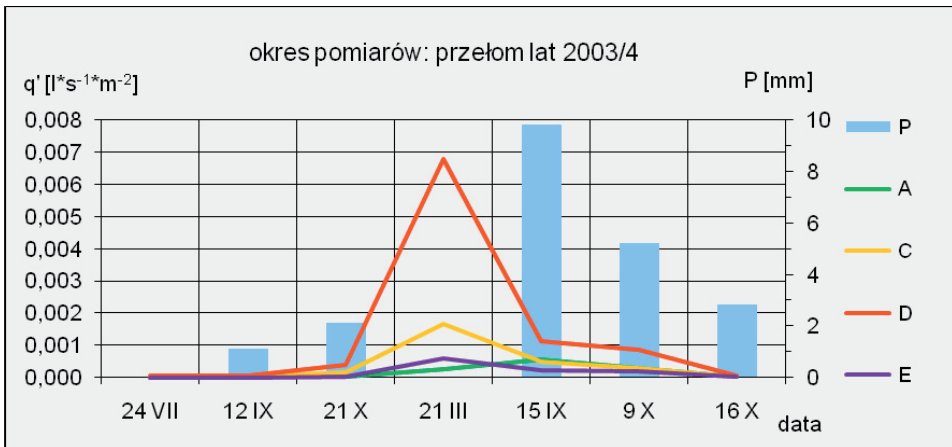
| Start pomiaru<br><i>Start of measurement</i> | Pomiary terenowe<br><i>Field measurements</i> |                     | Natężenie spływu<br><i>Intensity of runoff</i> |   |  |
|--|---|---------------------|--|---|--|
|  | objętość<br><i>volume</i>                     | czas<br><i>time</i> | z odcinka<br><i>from section</i>               | z 1 m <sup>2</sup><br><i>from 1 m<sup>2</sup></i> | średnia z sesji<br><i>average value from session</i> |
|  | V   | t                   | qs   | q's   | Q's  |
| [h:min]                                      | [l]   | [s]                 | [l·s <sup>-1</sup> ]                           | [l·s <sup>-1</sup> ·m <sup>-2</sup> ]             | [l·s <sup>-1</sup> ·m <sup>-2</sup> ]                |
| 8:00   | 24  | 143                 | 0,1678   | 0,0013  | 0,00029  |
| 8:15   | 24  | 241                 | 0,0996   | 0,0007  |  |
| 8:30   | 14,5  | 300                 | 0,0483   | 0,0004  |  |
| 8:45   | 8,5   | 300                 | 0,0283   | 0,0002  |  |
| 9:00   | 9,3   | 300                 | 0,0310   | 0,0002  |  |
| 9:15   | 9,6   | 300                 | 0,0320   | 0,0002  |  |
| 9:30   | 20,6  | 300                 | 0,0687   | 0,0005  |  |
| 9:45   | 24  | 242                 | 0,0992   | 0,0007  |  |
| 10:00  | 24  | 276                 | 0,0870   | 0,0007  |  |
| 10:15  | 23,5  | 300                 | 0,0783   | 0,0006  |  |
| 10:30  | 20,2  | 300                 | 0,0673   | 0,0005  |  |
| 10:45  | 15,5  | 300                 | 0,0517   | 0,0004  |  |
| 11:00  | 11,5  | 300                 | 0,0383   | 0,0003  |  |
| 11:15  | 8,5   | 300                 | 0,0283   | 0,0002  |  |
| 11:30  | 7,5   | 300                 | 0,0250   | 0,0002  |  |
| 11:45  | 5,5   | 300                 | 0,0183   | 0,0001  |  |
| 12:00  | 3,5   | 300                 | 0,0117   | 0,0001  |  |
| 12:15  | 2,5   | 300                 | 0,0083   | 0,0001  |  |
| 12:30  | 1,6   | 300                 | 0,0053   | 0,0000  |  |
| 12:45  | 1,1   | 300                 | 0,0037   | 0,0000  |  |
| 13:00  | 0,8   | 300                 | 0,0027   | 0,0000  |  |
| 13:15  | 0,47  | 300                 | 0,0016   | 0,0000  |  |
| 13:30  | 0,43  | 300                 | 0,0014   | 0,0000  |  |
| 13:45  | 0,34  | 300                 | 0,0011   | 0,0000  |  |
| 14:00  | 0,23  | 300                 | 0,0008   | 0,0000  |  |



**Rysunek 1.** Natężenia spływu powierzchniowego z odcinków drogi leśnej  
**Figure 1.** Intensity of superficial flow from forest road sections

Na rysunku 1 pokazane są pomiary natężenia spływu z kilku sesji pomiarowych w ujęciu spływu jednostkowego. Zestawiono pomiary wykonane w dniach 12 IX i 21 X 2003 roku oraz 9 i 16 X 2004 roku. W czasie tych pomiarów zanotowano sumy opadów: 12 IX – 1,1mm, 21 X – 2,1mm, 9 X – 5,2mm, oraz 16 X – 2,8mm. Sumy te dotyczą czasu trwania pomiarów spływu, a ich rozkład jest pokazany w postaci odpowiednich słupków na wykresach.

Na rysunku 2 przedstawione są średnie wartości spływów jednostkowych liczone dla sesji pomiarowych wykonanych w dniach: 24 VII, 12 IX i 21 X 2003 roku oraz 21 III, 15 IX, 9 X i 16 X 2004 roku. Średnie tu prezentowane (rys. 2) liczone są tylko z wartości kiedy notowano opad, nie zaś z całego dnia pomiarowego.



**Rysunek 2.** Średnie natężenia jednostkowe spływu powierzchniowego liczone dla czasu trwania spływu

**Figure 2.** The average unit intensity of runoff calculated for runoff time

W tabeli 3 zamieszczono średnie natężenia jednostkowe obliczone tylko z faktycznego spływu (bez zerowych wartości); z wybranych sesji łącznie z roztopami. Dla lepszej czytelności zestawienia, podane tu są tylko procenty w stosunku do natężenia 1ml na sekundę z 1 m<sup>2</sup>.

Na wstępie należy przypomnieć, że rozkład opadu atmosferycznego nie jest równomierny ani w ujęciu powierzchniowym, ani czasowym. Dotyczy to również miejsc o bliskich sobie położeniach, zwłaszcza, jeśli teren pokryty jest niejednorodną pokrywą – np. okapem drzewostanu [Kozłowski 2003].

Na podstawie przedstawionych danych stwierdzić można, że opady o intensywności 0,1 – 0,2mm·15min<sup>-1</sup> w początkowej fazie opadu (rys. 1a, b, d), na badanych odcinkach drogi bez wysięku, nie powodują powstania spływu powierzchniowego. Opady takie (w terenie leśnym, zwłaszcza w początkowej fazie



deszczu) są intercepowane na powierzchni roślinności lub docierają do powierzchni (tu: drogi) i zwilżają ją. Nawierzchnia gruntowa jest na tyle nierówna i mimo znacznego zagęszczenia w pewnym stopniu chłonna, że spływ taki nie jest obserwowany. Inaczej przedstawia się reakcja na ten sam opad w odcinkach, których skarpy wykopu przecinają kanały spływu wewnątrzgruntowego. Kanał taki zbiera wodę retencjonowaną w gruncie o powierzchni dużo większej niż odcinek badawczy, co ma swoje odbicie w notowanym natężeniu spływu, ale też i w czasie reakcji na pojawienie się opadu. Opady o większym natężeniu (rys. 1.c) powodują powstanie spływu na wszystkich badanych odcinkach. Indywidualne cechy odcinków dróg różnicują w niewielkim stopniu opóźnienie i wielkości spływów. Po ustaniu opadu spływ powierzchniowy dość szybko zanika, za wyjątkiem odcinka ze stałym wypływem z przeciętego kanału spływu wewnątrzgruntowego. Wielkości natężeń jednostkowych spływu powierzchniowego są różne i oczywiście silnie powiązane z wielkością opadu aktualnego, ale też opadu zaistniałego wcześniej. Opady sprzed sesji pomiarowej (tu nie pokazywane) wysycają „zbiornik intercepcyjny” oraz grunt i nierówności nawierzchni, wobec czego opad aktualny (rys. 1.c) może w dużo większej części zasilić spływ powierzchniowy. W opisywanej sytuacji obserwujemy wielokrotnie większe wartości natężenia spływu w porównaniu z innymi sesjami (rys. 1.a, 1.d, tab. 3).

**Tabela 3.** Średnie natężenia jednostkowe spływu powierzchniowego liczone dla czasu trwania spływu z wartości niezerowych  
**Table 3.** The average unit intensity of runoff calculated for non-zero values for runoff time

| data<br>date   | P    | A   | C     | D     | E    |
|--|------|---|-------|-------|------|
|  | [mm] | % w stosunku do natężenia $1\text{ml}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$<br>% in proportion to intensity $1\text{ml}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ |       |       |      |
| 24 VII 2003  | 0,0  | -   | -     | 5,3   | -    |
| 12 IX 2003   | 1,1  | 0,2   | 0,4   | 4,0   | -    |
| 21 X 2003  | 2,1  | 2,3   | 13,7  | 39,5  | 2,8  |
| 21 III 2004 - roztopy wiosenne;<br>period of snow melting) | 0,0  | 25,5  | 166,5 | 680,7 | 60,5 |
| 15 IX 2004   | 9,8  | 55,6  | 48,8  | 111,3 | 23,3 |
| 9 X 2004   | 5,2  | 27,2  | 30,3  | 86,6  | 18,6 |
| 16 X 2004  | 2,8  | 0,4   | 0,9   | 6,0   | 0,2  |

## DYSKUSJA

Przy rozpatrywaniu różnic intensywności spływu powierzchniowego w ujęciu: obecność lub nieobecność wysięku wody ze skarpy wykopu na drogę, oczywista jest i bardzo widoczna na wszystkich prezentowanych wykresach znaczna ich dysproporcja. Prezentowane pomiary (tab. 3) pokazują od 5÷30-krotną różnicę intensywności spływów, przy czym największe dysproporcje



notowane są przy opadach małych. Spływ na odcinku z wysiękiem formuje się także wówczas, kiedy opadu nie ma. Podkreślić tu należy raz jeszcze negatywne działanie skarpy wykopu, która przecinając kanał spływu wewnątrzgruntowego, transformuje taki spływ (czyli wodę już zretencjonowaną w gruncie) na spływ powierzchniowy. Znanymi od dawna tego konsekwencjami jest przyspieszenie obiegu wody w zlewni [Słupik 1972] oraz szkody erozyjne w nawierzchni drogi.

Osobnym problemem jest spływ powierzchniowy w czasie roztopów wiosennych, kiedy to „zmagazynowana” na powierzchni terenu woda w postaci śniegu, stosunkowo szybko przechodzi w stan ciekły. Proces ten limitowany jest głównie temperaturą powietrza, a ilość wody, która wtedy pojawia się na obserwowanej powierzchni, mimo osłony lasu [Pietrygowa 1971; Fabijanowski 1986; Kantor 1988] jest znaczna (rys. 2). Zestawione w tabeli 3. dane świadczą o skali problemu, bowiem natężenia spływu w tym okresie obserwowane na odcinkach C, D i E przewyższają natężenia obserwowane przy intensywnych opadach 3÷6-cio krotnie, a przy małych opadach ponad 100-krotnie. Niezamrażnięty grunt w nawierzchni (gdymby tak się zdarzyło) nie jest w stanie, ze względu na swoje zagęszczenie i wynikające stąd warunki filtracji, wchłonąć choćby części tej wody. W sytuacji dużych spadków niwelety i nieprawidłowej geometrii przekroju poprzecznego drogi (koleiny w nawierzchni), w zasadzie całość spływu powierzchniowego w bardzo krótkim czasie zasila potok powodując silne wezbrania.

## WNIOSKI

1. Intensywność spływu powierzchniowego obserwowanego na nawierzchniach dróg stokowych w największym stopniu zależy od tego, czy wykop drogi przeciął kanały spływu wewnątrzgruntowego.

2. Natężenie spływu powierzchniowego z nawierzchni dróg stokowych jest silnie związane z charakterystyką opadu.

3. Stan wysycenia gruntu nawierzchni wodą z poprzednich opadów ma duże znaczenie dla opóźnienia pojawienia się spływu powierzchniowego.

4. Wielkości spływów powierzchniowych z dróg w okresie roztopów wiosennych znacznie przewyższają wielkości spływów notowane w czasie obfitych opadów w cieplej porze roku. Rodzi to poważne skutki dla zapasów wody w gruntach zlewni oraz intensywności procesu odwadniania zlewni przez potoki.

## BIBLIOGRAFIA

- Fabijanowski J. *Znaczenie lasów górskich*. Sylwan, 2-3, s. 1-12, 1986.
- Gołąb J. *Influence of forest slope road on water storage in adjoining soils*. EJPAU, vol. 7 iss. 2, ser. Forestry, 2004.
- 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.
- Kantor P. *Vliv sněhové pokrývky na hydrickou účinnost horských imisních oblastí*. Pr. VULHM, 72, s. 9-36, 1988.

- Kormanek M. *Techniczne i przyrodnicze aspekty oddziaływania kół na wybrane gleby leśne*. Praca doktorska niepublikowana, KMPL UR Kraków, 2004.
- Kozłowski R. *Przestrzenne zróżnicowanie opadu podokapowego w drzewostanie jodłowo-bukowym w centralnej części Gór Świętokrzyskich*. Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego nr 4, s. 99-106, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce, 2003.
- Pietrygowa Z. *Hydrologiczna rola lasów w Karpatach fliszowych*. Gosp. Wod., 7, s. 252-275, 1971.
- Słupik J. *Spływ powierzchniowy na stokach górskich Karpat fliszowych*. Gosp. Wod. Nr 8, s. 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.

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

Recenzent: *Prof. dr hab. inż. Antoni T. Miler*