INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr 7/2011, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 179–188
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

Janusz Gołąb

PRZECHWYTYWANIE WEWNĄTRZGRUNTOWEGO SPŁYWU WODY PRZEZ WYKOP LEŚNEJ DROGI STOKOWEJ

CAPTURING OF THE INTRAGROUND FLOW OF WATER BY THE FOREST SLOPE ROAD EXCAVATION

Streszczenie

W pracy przedstawiono pomiary natężenia spływu wody z nawierzchni leśnej drogi stokowej, której skarpa wykopu przecięła kanał spływu wewnątrzgruntowego. Pomiary wykonano w okresach o różnych wielkościach opadów atmosferycznych, w okresie bezdeszczowym oraz w czasie roztopów wiosennych. Uzyskane wyniki ułatwiają ocenę istotności badanego problemu dla obiegu wody w zlewni, a także dla utrzymania przejezdności drogi. Częstotliwość wykonanych pomiarów pozwala prześledzić dynamikę procesu i powiązać go z charakterystyką opadu. Największe natężenia spływu zaobserwowano w czasie roztopów wiosennych oraz w czasie pierwszej doby od obfitych opadów, lecz warunkiem jest wysycenie gruntu wodą przez wcześniejsze opady. Uzyskane dane pokazują 10-krotnie większe natężenie spływu w okresie tajania śniegu nad spływem zmierzonym podczas opadu 9,8mm, oraz 200-krotną przewagę tego natężenia nad spływem zmierzonym w okresie bezdeszczowym. Części stoków górskich z gęstą siecią potoków i miejsc źródliskowych powinny być omijane w procesie projektowania i budowy sieci dróg leśnych w górach.

Słowa kluczowe: bilans wodny; spływ wewnątrzgruntowy, wykop leśnej drogi stokowej, drenaż stoku

Summary

This study presents measurement of water flow intensity from pavement of forest slope road, which embankment scarp cut the intraground water drain. Measurements were made in periods of different precipitations amounts, in period

without the rain and in period of spring snow melting. Received results make easier the estimation of importance of examined problem for drainage basin water circulation and also to upkeep road's functionality. Frequency of measurement taking allows to follow the process dynamic and relates it with the precipitation characteristic. The biggest intensity was noted in spring snow melting period and in time of first day from heavy rain, but under condition of ground water saturation by the earlier precipitation. Received data show ten times bigger flow intensity in spring snow melting period than flow measured with precipitation 9,8mm and two hundred times bigger than this flow measured in period without rain. Parts of mountain-sides with dense grid of streams and springs places should be passed around in process of project and building of forest road network in mountains.

Key words: *water balance, intraground flow of water, excavation of forest slope road, drainage of the slope*

CEL BADAŃ

Budowa dróg w terenach górskich pociąga za sobą konieczność wykonywania wykopów czyli rozcinania calizny stoku. Konieczność ta wynika z ukształtowania terenu, warunków technicznych budowli oraz dążenia do realizacji projektowanych parametrów sieci drogowej i osiągnięcia założonych wskaźników udostępnienia terenu i drzewostanów. Przebieg pojedynczej drogi współtworzącej sieć jest więc w dość dużym stopniu narzucony i nie zawsze istnieje możliwość korekty przebiegu konkretnego odcinka w sytuacji, kiedy zachodzi konflikt między ułożeniem trasy czy niwelety, a lokalnymi warunkami geologicznymi lub hydrologicznymi. W niekorzystnej sytuacji może dojść do przecięcia głębokim wykopem kanałów spływu wewnątrzgruntowego i wypływu na powierzchnię terenu wody zretencjonowanej w części stoku powyżej drogi. Problem ten można rozpatrywać z punktu widzenia przyrodniczego i technicznego. Przyrodnicy zauważą zmiany w hydrologii zlewni [Gołąb 2004], erozyjne straty gleby, zmniejszenie ilości wody do wykorzystania przez lokalne środowisko [Słupik 1972], zaś technicy staną przed koniecznością odwodnienia drogi ze względu na utrzymanie jej walorów funkcjonalnych oraz straty erozyjne korony drogi i skarp [Koczwański i in. 1991]. Okoliczności te stanowią więc bardzo silne przesłanki planowania sieci dróg w lasach górskich choć z pewnością ich nie wyczerpują.

W pracy przedstawiono pomiary natężenia przechwytywanego przez drogę stokową spływu wewnątrzgruntowego. Są one częścią dwuletniego 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]. Jeden z odcinków badawczych zlokalizowany był w miejscu, w którym przecięcie stoku skarpą wykopową powodowało wypływ wody ze skarpy na drogę. Obserwowany wy-

ciek ma charakter stały, a jego natężenie jest oczywiście silnie związane ze stanem opadów atmosferycznych z kilkudniowego okresu przed obserwacją oraz wielkością i cechami obszaru, z którego zasilany jest kanał spływu wewnątrzgruntowego.

Przedmiotem przedstawianych badań jest natężenie spływu z odcinka drogi stokowej, której skarpa wykopu przecina wewnątrzgruntowe kanały spływu wody.

Celem jest przybliżenie tematyki problemu ważnego z punktu widzenia przyrodniczego i technicznego oraz charakterystyka ilościowa wybranego wycieku ze skarpy.

KRÓTKI OPIS TERENU BADAŃ

Badania przeprowadzono w zlewni potoku Dupniańskiego (Nadleśnictwo Wisła, Beskid Śląski). Jest to zlewnia eksperymentalna Katedry Inżynierii Leśnej UR w Krakowie, o pełnej charakterystyce podanej przez Sulińskiego [1997]. Poniżej przytoczona jest skrótowa charakterystyka zlewni.

Teren badań położony jest w strefie klimatu karpackiego, w dorzeczu Olzy, normalny opad roczny sięga 1200mm, średni odpływ jednostkowy z wielolecia 23 $l*s^{-1}*km^{-2}$, średnie roczne parowanie terenowe 515mm, średnia roczna temperatura powietrza +5,5˚C [Klimaszewski 1972; Stachý 1987], powierzchnia zlewni 1,68km^2, wysokość terenu 492,70m do 881,90m n.p.m., gęstość sieci wodnej 3,64$km*km^{-2}$ [Czarniecka 1998].

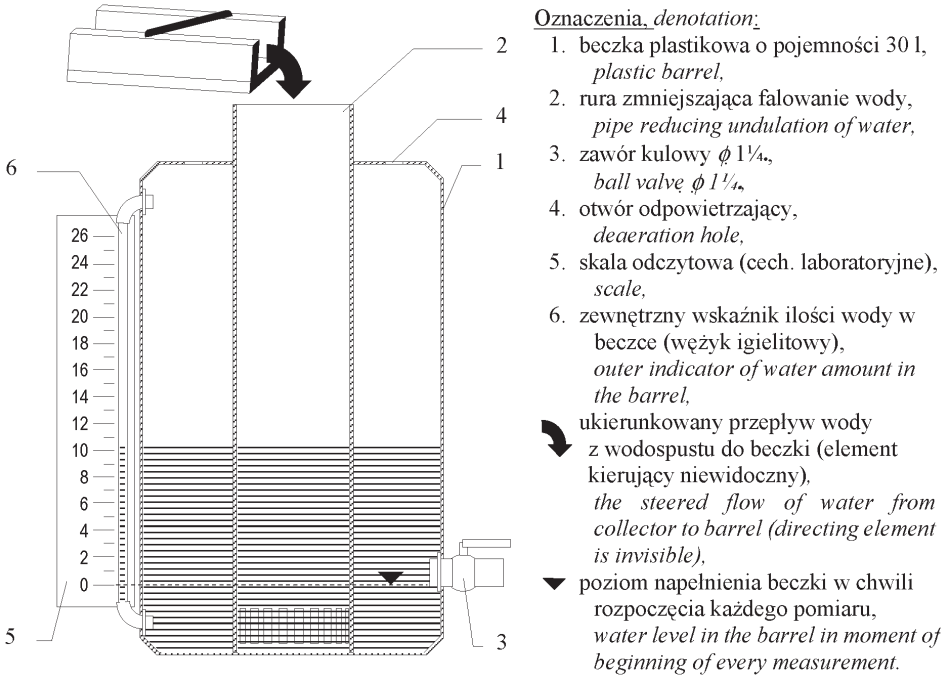
Charakterystyka odcinka drogi stokowej, na który wypływa woda z rozciętego stoku przedstawia się następująco [Gołąb i in. 2006]:

Tabela 1. Opis odcinka badawczego drogi.
Table 1. Description of road research section.

rodzaj nawierzchni *the pavement type*	gruntowa z dużą ilością naturalnego szkieletu *land surface with large quantity of natural skeleton*
długość odcinka / *length of the section*	43,95 m
średnia szerokość jezdni / *average width of the road*	2,62 m
powierzchnia jezdni na odcinku / *surface of road on the section*	115,00 m^2
średni spadek odcinka / *average fall of the section*	9,17 %
średnia wysokość skarpy wykopu *average height of scarp of excavation*	2,44 m
średnia wysokość skarpy nasypu *average height of scarp of embankment*	0,87 m
wiek drzewostanu / *age of forest stand*	~ 80 lat (*years*)
osłona drogi drzewostanem / *protection of the road by the stand*	~ 30,0 %
współczynnik wodoprzepuszczalności gruntu w nawierzchni *filtration of the ground in surface factor*	0,000 $cm*min^{-1}$

METODYKA POMIARU

Odcinek pomiarowy wyznaczony został przez zainstalowanie w wybranych miejscach dwóch wodospustów. Wodospust ułożony w górnej granicy odcinka miał za zadanie odciąć dopływ wody napływającej drogą z górnej jej części, zaś ułożony w dolnej granicy był elementem zbierającym całość wody z powierzchni odcinka drogi i tej wody, która wypływała z przeciętego skarpą stoku. U wylotu wodospustu pomiarowego umieszczano wyskalowane naczynie (rys. 1). Pomiar ilości wody zbieranej przez wodospust rozpoczynano co kwadrans i trwał on dokładnie 5 minut lub notowano dokładny czas napełnienia naczynia do granicy skali pomiarowej, co miało miejsce w okolicznościach bardzo dużego spływu. Wodospusty zbudowano i zainstalowano w ten sposób, aby całość wody ze spływu kierowana była do naczynia pomiarowego, zaś naczynie zaopatrzone było w element minimalizujący efekt falowania wody przy skali odczytowej.



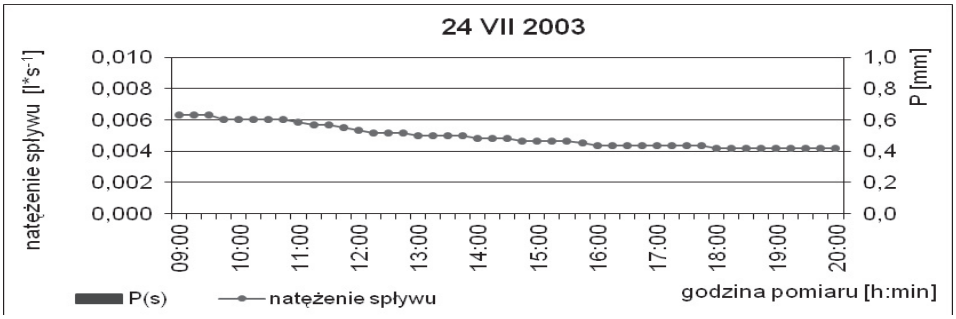
Rysunek 1. Schemat konstrukcyjny naczynia pomiarowego
Figure 1. Scheme of measuring utensil

Opad mierzony był w dwóch miejscach: przy przelewie zamykającym zlewnię notowano standardowo mierzone sumy dobowe opadu - P(d) oraz bezpośrednio przy drodze, na której prowadzone były pomiary spływu i w czasie

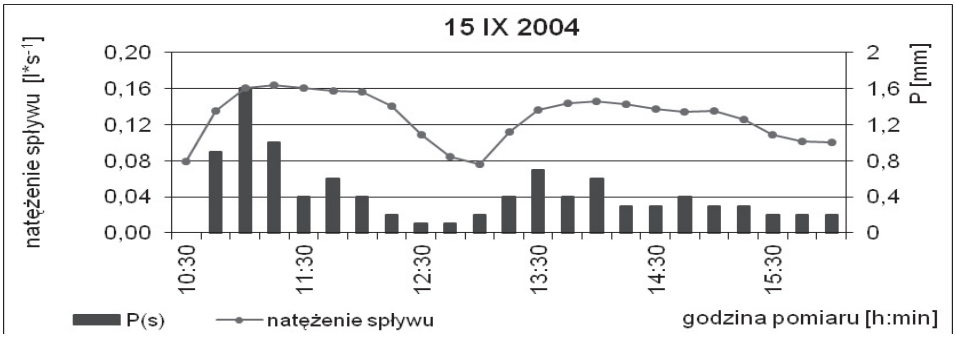
ich prowadzenia - P(s). Suma i rozkład czasowy opadu P(s) pochodzi z notowania stanu deszczomierza w chwilach rozpoczynania każdego pomiaru spływu z drogi, czyli z okresów piętnastominutowych

PRZYKŁADOWE WYNIKI POMIARÓW SPŁYWU

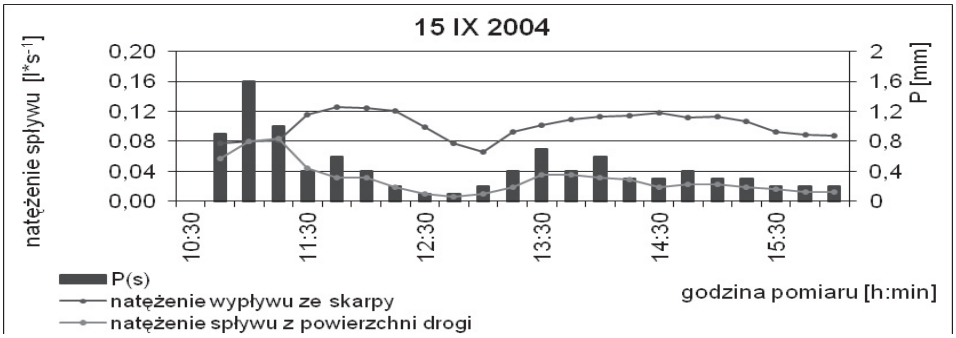
Poniższe wykresy pokazują zmierzone natężenia spływu powierzchniowego z odcinka drogi, której skarpa wykopu rozcina kanały spływu wewnątrzgruntowego. Ilość płynącej drogą wody jest w tym przypadku sumą wysięku wody ze skarpy i ilością wody, która pochodzi z opadu na powierzchnię drogi. Częstotliwość pomiaru pozwala ocenić dynamikę mierzonego spływu, a zanotowane równocześnie wielkości opadów umożliwiają próbę powiązania charakterystyki opadu z wielkością i dynamiką spływu z drogi. Po wydzieleniu z ogólnego spływu wielkości wysięku ze skarpy, możliwa jest także próba podobnej analizy w stosunku do wielkości samego wysięku.



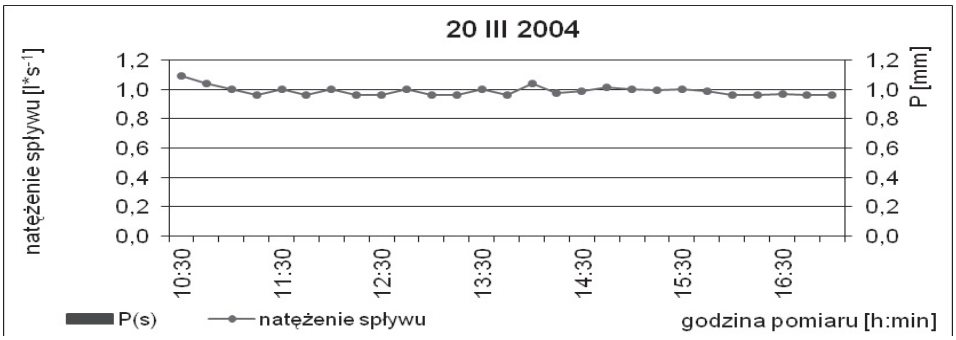
Rysunek 2. Natężenie wypływu wody ze skarpy w okresie bezopadowym
Figure 2. Intensity of discharge from the cut slope observed in the no-precipitation period



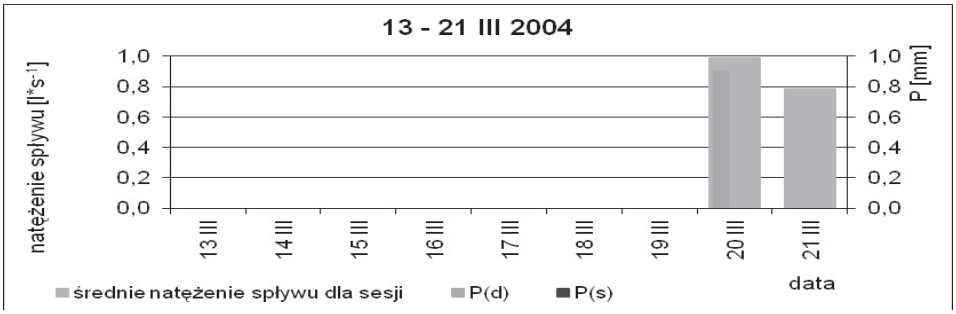
Rysunek 3. Natężenie spływu wody z odcinka drogi w czasie opadu o wysokości 9,8 mm
Figure 3. Run-off intensity from the road section with precipitation high 9,8 mm



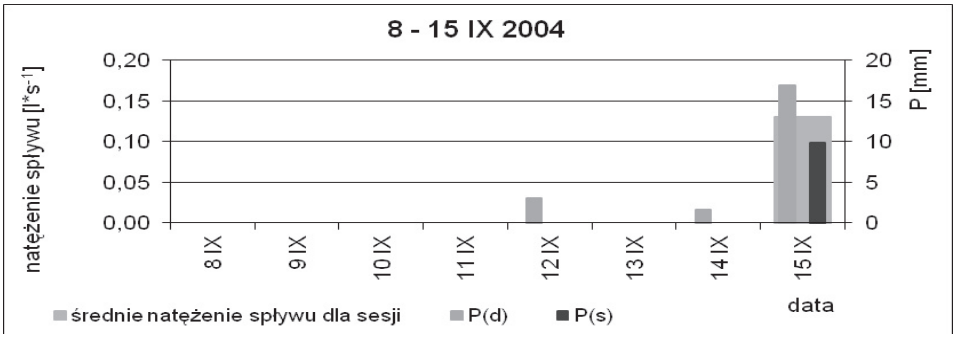
Rysunek 4. Natężenie wypływu wody ze skarpy wydzielone z natężenia pokazanego na rys. 3
Figure 4. Intensity of discharge from the cut slope released from intensity showed on the fig. 3



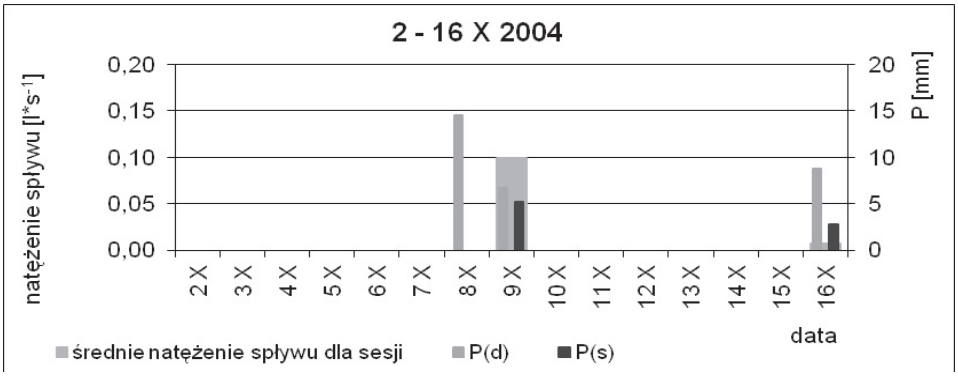
Rysunek 5. Natężenie spływu wody z odcinka drogi w czasie roztopów wiosennych
Figure 5. Run-off intensity from the road section in the spring snow melting period



Rysunek 6. Natężenie spływu na tle opadów z okresu poprzedzającego pomiary pokazane na rys. 5
Figure 6. Run-off intensity compared to precipitations in the period preceding measuring shown on fig. 5



Rysunek 7. Natężenie spływu na tle opadów z okresu poprzedzającego pomiary pokazane na rys. 3 i rys. 4
Figure 7. Run-off intensity compared to precipitations in the period preceding measuring shown on fig. 3 and fig. 4



Rysunek 8. Natężenie spływu zmierzone przy opadach 5,2 mm oraz 2,8 mm na tle opadów z okresu poprzedzającego pomiary
Figure 8. Run-off intensity measured with precipitations high 5,2 mm and 2,8 mm compared to precipitations in the period preceding measuring

ANALIZA WYNIKÓW

Wielkość wysięku zależy od powierzchni z jakiej zbierana jest woda, „historii" opadów z kilkudniowego okresu poprzedzającego obserwacje wysięku oraz cech gruntu i pokrycia roślinnego. Każdy z wysięków ma odrębną charakterystykę i nie można porównywać ich wprost. Nawet kompleksowe badania każdego z takich miejsc nie oddadzą całej złożoności i zmienności warunków spływu wewnątrz gruntu. Dlatego obserwowana silna zależność natężenia spływu z powierzchni drogi od natężenia opadu atmosferycznego nie przenosi się na

mierzone w tym samym czasie natężenie wysięku ze skarpy. Próba takiego powiązania wymagałaby nieco innych ustaleń metodycznych, pełnej automatyki pomiaru oraz ciągłości i dużo dłuższego czasu obserwacji.

Wykres 1 (rys. 2) przedstawia rzeczywistą charakterystykę wysięku zaobserwowaną po dłuższym okresie bezopadowym. Obserwowane są niewielkie natężenia ze stałą tendencją malejącą.

Wykres 2 (rys. 3) przedstawia natężenie spływu z całości odcinka drogi przy ciągłym opadzie. Aby odseparować spływ pochodzący z powierzchni samego odcinka drogi na wykresie 3 (rys. 4), rozdzielono natężenie spływu pokazane na poprzednim wykresie, dzięki czemu otrzymano przebieg natężenia wypływu ze skarpy. Zmiany natężenia opadu mają w nim swoje odzwierciedlenie, lecz wypływ jest wyraźnie opóźniony w stosunku do opadu i spływu z powierzchni drogi. To opóźnienie jest różne i na rys. 4 sięga około 30 minut, podczas gdy dynamika spływu z powierzchni drogi jest w zasadzie natychmiastowym odbiciem natężenia opadu. Na wielkość opóźnienia z pewnością wpływa charakterystyka opadów z okresu poprzedzającego prezentowane pomiary (rys. 7). Opad o wielkości 16,9 mm (suma dobowa mierzona o 7 rano) wysycił grunt na stoku i dlatego dynamika opadu mierzonego w czasie sesji jest widoczna w natężeniu spływu po takim właśnie okresie. Porównując średnie wielkości natężeń wypływu ze skarpy (rys. 2 i rys. 4) obserwujemy około 20- krotną ich różnicę.

Wykres 4 (rys. 5) przedstawia spływ z drogi w czasie roztopów wiosennych. Są to pomiary wykonane w czasie sesji bez opadu. Natężenie jest w przybliżeniu jednostajne, bardzo duże (około 1 litra na sekundę) i jest 10-krotnie większe od spływu podczas opadu 9,8 mm, oraz 200-krotnie większe od spływu w okresie bezdeszczowym. Niestety, nie można wydzielić tu wypływu ze skarpy z ogólnego spływu z odcinka drogi.

Następne wykresy (rys. 6, 7 i 8) pokazują średnie wartości notowanego spływu z odcinka drogi na tle sytuacji opadowej (P(d)) z tygodnia poprzedzającego pomiar. Na rys. 6 uwidacznia się wpływ niewielkiego opadu odnotowanego jako suma z doby poprzedzającej pomiar. Przy porównywalnych warunkach atmosferycznych obu sesji 20 i 21 III, opad dobowy o wysokości 0,9 mm zwiększył średni spływ z całości odcinka o około 27%.

O znaczeniu opadu z doby poprzedzającej sesję pomiarową świadczy sytuacja przedstawiona na rys. 7 i 8. Otóż 14 IX (rys. 7) zanotowano sumę dobową opadu 1,6 mm, a 15 IX – 16,9 mm, natomiast 8 X (rys. 8) sumę 14,5 mm, a 9 X - 6,7 mm. Obserwowane natężenia wyraźnie sugerują, że większość wody z konkretnego opadu na tym obszarze odpływa w czasie krótszym niż jedna doba. Takie wnioskowanie zdaje się właściwe jedynie w sytuacji, kiedy grunt nie jest przesuszony lecz nasycony wodą. Świadczy o tym rys. 8, gdzie pokazano średnie spływów z dwóch sesji na tle dobowych sum opadów z dwóch tygodni. Pierwsza sesja (9 X) poprzedzona była dość dużymi opadami – 14,5 mm oraz

6,7 mm. Pierwszy z nich wysycił grunt i średnie natężenie spływu osiągnęło wartość 0,1 $l*s^{-1}$, potem nastąpił tydzień bez opadów i opad o wysokości 8,7 mm z doby poprzedzającej sesję 16 X nie spowodował dużego natężenia spływu. Zastanawiający jest fakt, że to natężenie (0,007 $l*s^{-1}$) jest w zasadzie porównywalne ze średnią wartością natężenia uzyskaną 24 VII w okresie bezdeszczowym (rys. 2).

Dość duże i intensywne spływy obserwowane na badanym odcinku drogi (zwłaszcza w porównaniu do odcinków bez wysięków ze skarp wykopu, nie prezentowanych w tym artykule, por. [Gołąb i in. 2006]), zmuszają do mocniejszego zaakcentowania wytycznej trasowania dróg w górach, która mówi o konieczności omijania obszarów "trudnych pod względem hydrologicznym i geotechnicznym". Przedstawione badania potwierdzają ujemne znaczenie skarp wykopu drogi w kształtowaniu procesu odprowadzania wody ze zlewni zwłaszcza, jeśli przecinają one kanały spływu wewnątrzgruntowego. Tak duże ilości wody pojawiające się na gruntowych drogach leśnych powodują też uszkodzenia korpusów tych dróg. Przy małych nachyleniach podłużnych i powolnym odpływie grunt korpusu jest przesycony wodą, co zdecydowanie obniża nośność nawierzchni. Przy dużych spadkach podłużnych odprowadzenie wody jest znacznie sprawniejsze, jednak duża energia płynącej wody często powoduje bardzo poważne szkody erozyjne. W obu przypadkach droga staje się czasowo lub na stałe nieprzejezdna. Nowoczesne gospodarstwo leśne wymaga możliwości użytkowania dróg w dowolnym czasie i w każdych warunkach atmosferycznych, więc koniecznością jest dbałość o prawidłowe odwodnienie drogi (odpowiednie spadki poprzeczne, warstwy odsączające, wodospusty, przepusty oraz ścieki przystokowe lub w uzasadnionych sytuacjach rowy). W przypadku pojawienia się kolein lub żłobin erozyjnych trzeba wcześnie reagować i poprawiać geometrię korpusu, bo kanalizowany w ten sposób spływ wzdłuż osi drogi wywołuje w nawierzchni szkody "lawinowe". Należy również restrykcyjnie kontrolować obciążenie pojazdów korzystających z dróg, a w okresach niesprzyjających (roztopy, obfite i długotrwałe opady) wyłączać zagrożone odcinki z użytkowania.

WNIOSKI

Przecięcie skarpą kanału spływu wewnątrzgruntowego znacznie przyspiesza odpływ wody ze zlewni, gdyż zamienia ten spływ na odpływ powierzchniowy.

Największe natężenia spływu notowane są w czasie roztopów wiosennych. Kluczową rolę w natężeniu takiego spływu ma [Słupik 1972] dobowy rozkład temperatur oraz obecność i natężenie opadów.

Na wielkość natężenia wypływu wody ze skarpy zasadniczy wpływ ma przebieg opadów w okresie kilku dni przed obserwacją. W przypadku gruntu przesuszonego woda z opadu najpierw uzupełnia zapas wody w gruncie, a po zapełnieniu tego „zbiornika" ([Kosturkiewicz, Szafrański 1983, Schweers i in.

1999] podkreślają, że nie musi to być 100% napełnienia) nadmiar wyklinowuje się na powierzchni lub w przecięciach kanałów spływu.

Badania potwierdzają słuszność tendencji w trasowaniu dróg leśnych, polegającej na omijaniu obszarów obfitujących w wodę gruntową. Głównym powodem są hydrologiczne skutki jakie mogą ujawniać się na tych obszarach i w tych sytuacjach, ale nie bez znaczenia dla samego funkcjonowania dróg przecinających takie obszary, byłoby permanentne przesycenie wodą gruntu w korpusie, co musiałoby prowadzić do znacznego obniżenia jego nośności i ograniczeń w użytkowaniu dróg.

W celu pogłębienia dokonanych spostrzeżeń należy przeprowadzić badania ciągłe i długookresowe z użyciem automatycznego pomiaru i zapisu danych. Automatyzacja pomiarów zwiększy również ilość danych uzyskiwanych w różnych warunkach opadowych, oraz ułatwi interpretację wyników.

BIBLIOGRAFIA

Czarniecka A. *Systemy informacji przestrzennej - odwzorowanie wybranych elementów ekosystemu za pomocą atrybutowej bazy danych i cyfrowych map wektorowych.* Pr. magisterska, maszynopis, Wydział Elektrotechniki AGH, Kraków, 1998.

Gołąb J. *Influence of forest slope road on water storage in adjoining soils*, EJPAU, Ser. Forestry, www.ejpau.media.pl/series/volume7/issue2, 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.

Klimaszewski M. *Geomorfologia Polski.* (red. pr. zb.), t I, PWN, 1972.

Koczwański S., Nowakowska-Moryl J., Plewniak J. *Badania erozji i sukcesji roślinności na leśnych gruntowych drogach stokowych na przykładzie wybranych ich odcinków w Leśnym Zakładzie Doświadczalnym w Krynicy.* Zesz. Nauk. Akad. Rol. w Krakowie. 254, Leśnictwo z. 20: 323-351, 1991.

Kosturkiewicz A., Szafrański C. *Spływy powierzchniowe i podpowierzchniowe w bilansie wodnym gleb.* Pr. Kom. Nauk Rol. i Leś. PTPN 55: 127-144, 1983.

Schweers W., Koch M., Voss A. *The use of groundwater and surface water models for environmental assessment – Case study on alluvial forest establishment.* Arch. Natursch. U. Landschaftsforsch. Vol. 37 nr 4: 259-283, 1999.

Słupik J. *Spływ powierzchniowy na stokach górskich Karpat fliszowych.* Gosp. Wod. Nr 8, s. 290-295, 1972.

Stachý J. Atlas hydrologiczny Polski. t I, (red. pr. zb.), Wyd. Geol., 1987.

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.

Janusz Gołąb
Katedra Inżynierii Leśnej
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
Al. 29-listopada 46, 31-425 Kraków
rlgolab@cyf-kr.edu.pl

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