

WYNIKI BADAŃ NAD DOKŁADNOŚCIĄ POMIARU OPADÓW W WARUNKACH  
ZALESIONYCH ZLEWNI GÓRSKICH

Zenon Woźniak, Ryszard Stopka

Zakład Badań Regionalnych  
Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej  
Oddział we Wrocławiu

WSTĘP

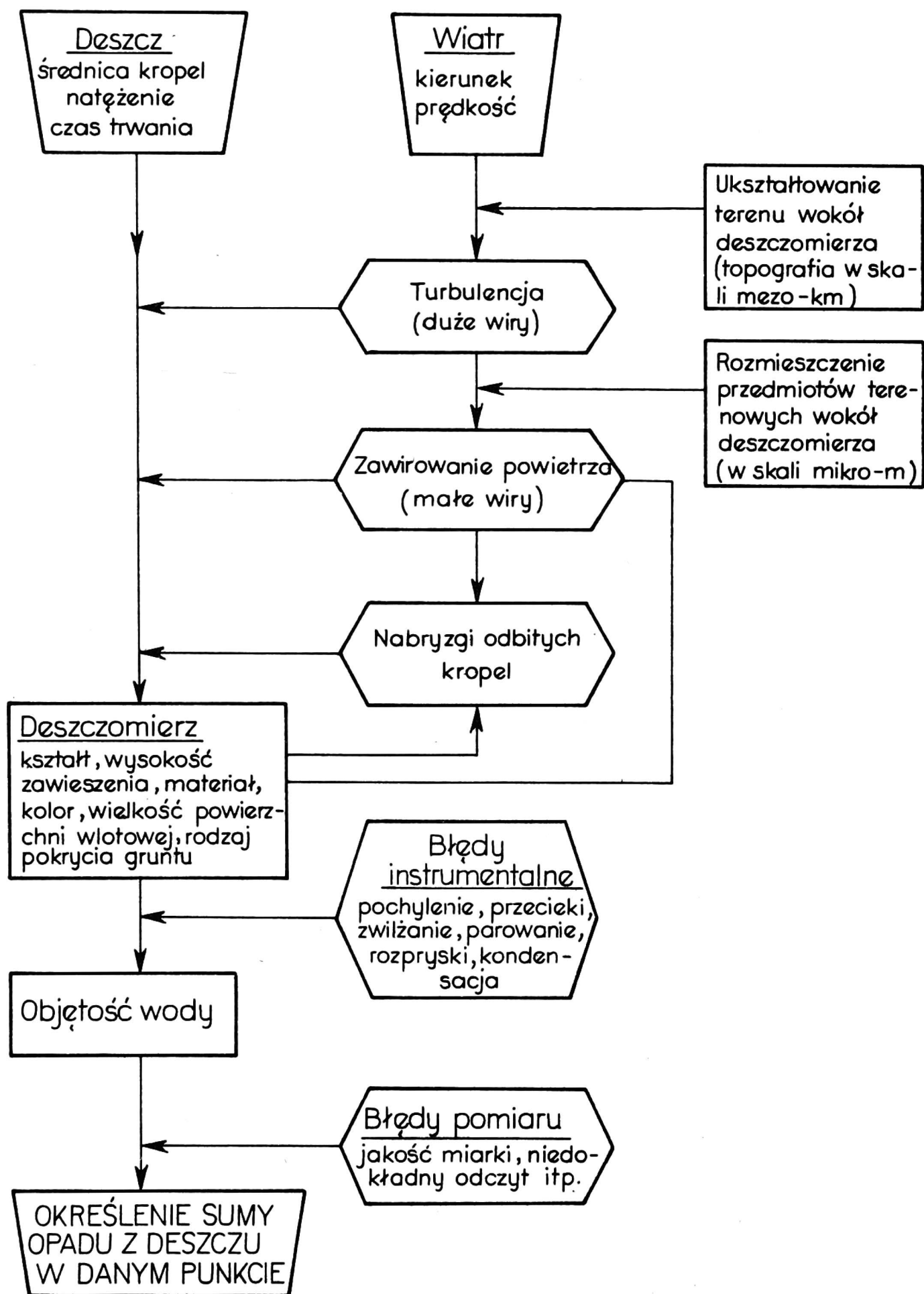
Hydrologia leśna, stanowiąca dawniej niejako margines badań hydrologii ogólnej, zyskała ostatnio na znaczeniu. Dał temu wyraz m. in. Lambor [16], a Brechtel [1] nawet zaryzykował twierdzenie, że czysta woda z terenów zalesionych może stać się wkrótce ekonomicznie uzasadnionym celem działania, głównym produktem gospodarki leśnej na terenach gęsto zaludnionych. W Czechosłowacji problem ten opracowali metodycznie Mraček i Krečmer [17].

Jednak studia nad gospodarką wodną potencjalnych rejonów produkcji czystej wody są utrudnione, ponieważ do tej pory nie wiadomo dokładnie, jaki jest rzeczywisty przychód wody na powierzchnię gruntu. Wszystkie dotychczasowe metody pomiaru opadów są obciążone systematycznym błędem, o którym już wiemy, że na pewno istnieje, ale nie znamy jego rzeczywistej wielkości [19].

W okresie rozpoczynania pomiarów na zlewniach reprezentatywnych był jeszcze rozpowszechniony pogląd, szczególnie wśród hydrologów, że pomiar opadu jest sprawą bardzo prostą i wymaga tylko zastosowania pewnej liczby deszczomierzy. Szczegółowe badania na zlewniach oraz specjalne badania nad dokładnością pomiarów opadu, prowadzone na całym świecie [19, 20], udowodniły, że to, co dotychczas mierzyliśmy i uznawaliśmy za pewną pozycję przychodu w bilansach wodnych, jest tylko wskaźnikiem, a błąd pomiaru w stosunku do wartości rzeczywistych może wynosić nawet 75% [10].

Proces pomiaru opadu i przyczyny powstawania błędów przy pomiarze ilustruje model (rys. 1) opracowany przez Rodda [19].

Ograniczając się do warunków pomiarów opadu w górskich zlew-



Rys. 1. Model konceptualny procesów zachodzących podczas pomiaru opadu deszczomierzem standardowym (wg J. C. Rodda)

niach zalesionych, należy zwrócić uwagę, że autorzy opracowań dotyczących dokładności pomiaru opadu [4, 8, 12, 13, 19, 20] najczęściej zastrzegają, iż nie można wyników badań z terenów nizinnych przenosić i stosować w warunkach górskich. W górach średnia prędkość wiatru jest co najmniej dwa razy większa niż na nizinach, a jego kierunek i prędkość podlegają większym fluktuacjom [10].

W niniejszym opracowaniu zostaną przedstawione niektóre wyniki kilkuletnich systematycznych badań nad opadami w zlewniach reprezentatywnych Oddziału Wrocławskiego IMGW.

### TEREN I METODY POMIARÓW

Szczegółowe pomiary i badania były prowadzone w górskich zlewniach położonych w Sudetach:

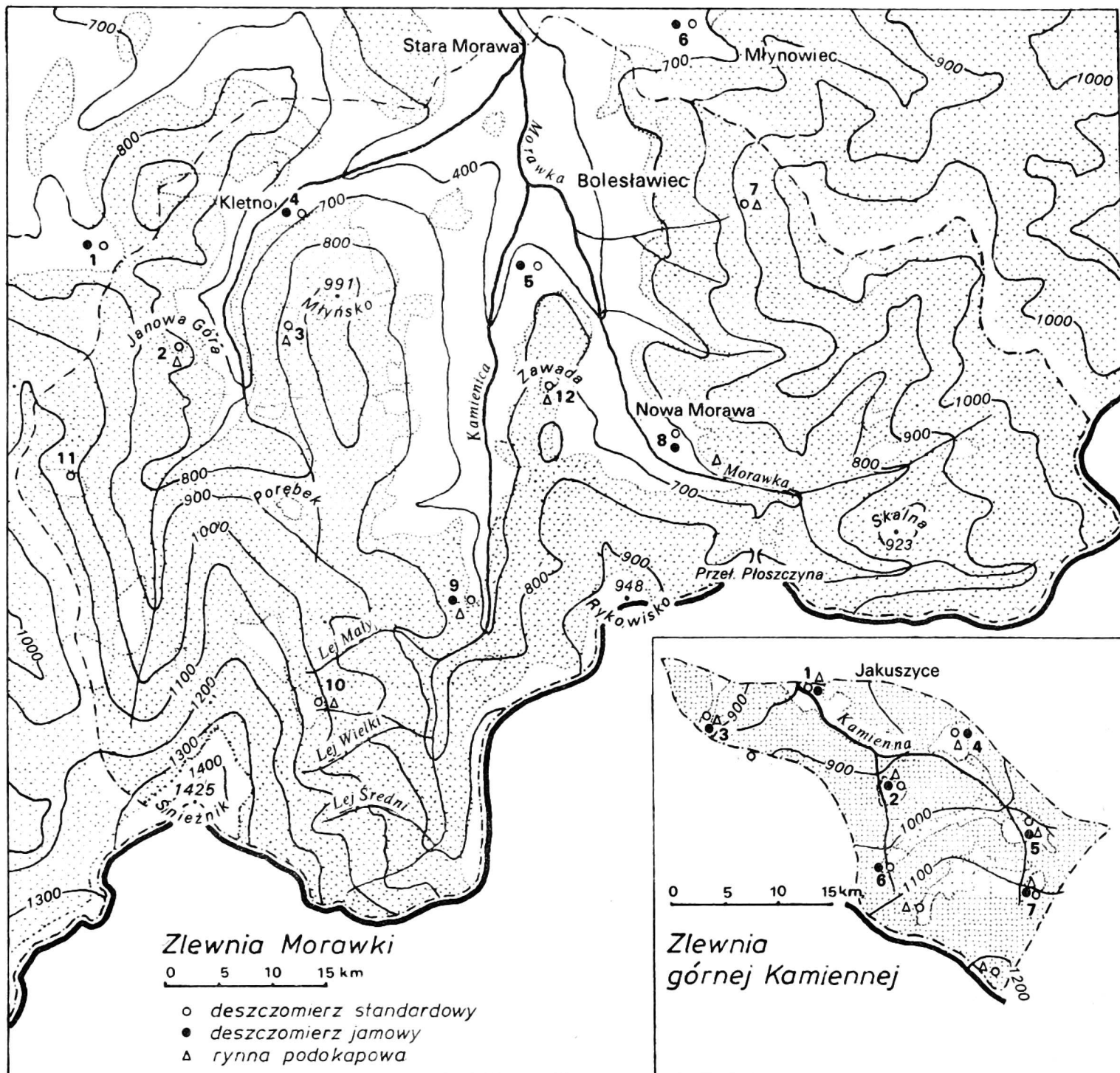
- górnej Kamiennej w Jakuszycach (dopływ Bobru),
- Morawki w masywie Śnieżnika Kłodzkiego (dopływ Białej Łądeckiej).

Fizjografię terenu oraz stopień zalesienia zlewni ilustruje rysunek 2.

Zlewnia reprezentatywna górnej Kamiennej w Jakuszycach jest położona na skraju zachodniej części Karkonoszy, na styku z pasmem Gór Izerskich, na wysokości 850-1210 m n.p.m. i jest porośnięta w około 95% czystym drzewostanem świerkowym (*Picea excelsa* L.) w wieku od 5 do 90 lat z przewagą klas wieku 40-60 lat i 60-80 lat, o zwarciu 0,5-0,8. Typy siedliskowe: bór wysokogórski, bór górski, w dolnych partiach bór mieszany górski.

Zlewnia Morawki i jej dopływów znajduje się w Sudetach Wschodnich na obszarze najbardziej wysuniętym na południe. Zlewnia, położona na wysokości 600-1425 m n.p.m., jest porośnięta w około 85% lasem świerkowym (*Picea excelsa* L.) z niewielką domieszką gatunków liściastych (5-15%). Typy siedliskowe: bór górski, bór mieszany górski i las mieszany górski.

Na terenie zlewni górnej Kamiennej o powierzchni około 6 km<sup>2</sup> zlokalizowano 7 punktów pomiaru przychodu wody z opadów atmosferycznych. Na każdym punkcie znajduje się 3-5 różnych przyrządów pomiarowych: deszczomierz standardowy typu Hellmanna (200 cm<sup>2</sup>), zawieszony na słupku metalowym (z regulacją wysokości zawieszenia) na wysokości 1,5 m nad gruntem na polanie leśnej, taki sam deszczomierz z nadstawką (siatką) Grunova, deszczomierz jamowy, zaś



Rys. 2. Rozmieszczenie punktów pomiarowych opadu na tle fizjografii terenu, zlewnia górnej Kamiennej: 1 - Jakuszyce, 2 - Poręba, 3 - Równia, 4 - Ptasie Gniazda, 5 - Potok, 6 - Kociniec, 7 - KPN; zlewnia Morawki: 1 - Sienna, 2 - Janowa G., 3 - Młyńsko, 4 - Kletno, 5 - Bolesławów, 6 - Młynowiec, 7 - Suszyca, 8 - Nowa Morawa, 9 - Kamienica, 10 - Lej Wielki, 11 - Jaskinia, 12 - Zawada

w odległości od 50 do 150 m (pod okapem lasu) rynna podokapowa o powierzchni  $4000 \text{ cm}^2$  ( $20 \times 200 \text{ cm}$ ). Ponadto w 4 punktach zainstalowano pluwiografy lewarowe. Na niektórych punktach używane są również deszczomierze górskie ( $500 \text{ cm}^2$ ) dla zapewnienia ciągłości pomiaru, w przypadku gdy deszczomierz zwykły ( $200 \text{ cm}^2$ ) nie pomieścił całego opadu. Stosowany jest też totalizator z osłoną Niphera.

Zlewnia Morawki jest znacznie większa (około 49 km<sup>2</sup>) niż zlewnia górnej Kamiennej, a na jej obszarze rozmieszczono 12 punktów pomiarowych, m. in. 6 deszczomierzy jamowych i 8 rynien podokapowych, takich samych jak na zlewni górnej Kamiennej.

Szczegółowe dane o lokalizacji punktów pomiarowych zawierają tabela 1 oraz rysunek 2. W punktach 1-5 pomiary były wykonywane 3 razy w miesiącu (co 10-11 dni), a w pozostałych punktach - codziennie.

W opracowaniu wykorzystano dane pomiarowe z letniego półrocza hydrologicznego z lat 1975-1979 (miesiące V-X), zaś dla deszczomierzy jamowych - z miesięcy V-X (lub VI-X) w okresie 1976-1975.

Metody obliczeń poszczególnych wskaźników stosowanych w pracy oraz używane określenia i symbole<sup>1</sup> były następujące:

$P_1$  [mm] - opad zmierzony (klimatologiczny wskaźnik opadowy), tj. suma opadu zmierzonego deszczomierzem standardowym zawieszonym na słupku ( $D_1$  lub 1,5 m).

$P_0$  [mm] - opad zmierzony w deszczomierzu jamowym ( $D_{om}$ ).

$P_1$  [mm] - opad pod okapem lasu zmierzony w rynnie podokapowej (4000 cm<sup>2</sup>).

$P_n$  [%] - wskaźnik przychodu wody z osadów mgielnych:

$$P_n = I_o [\%] - I_m [\%] \quad (1)$$

$I_m$  [mm] - intercepcja rzeczywista obliczona z różnicy:

$$P_1(D_{1,5}) - P_1(R) = I_m [\text{mm}] \quad (2)$$

$I_m$  [%] - intercepcja - wskaźnik strat spowodowanych wyparowaniem do atmosfery wody zużytej na zwilżanie koron i pni drzew oraz na parowanie z koron w czasie trwającego opadu:

$$I_m [\%] = \frac{P_1(D_{1,5}) - P_1(R)}{P_1(D_{1,5})} 100 \quad (3)$$

lub

$$I_m [\%] = \frac{I_m [\text{mm}]}{P_1} 100 \quad (4)$$

<sup>1</sup>Część oznaczeń podano za Jaworskim [9].

Dane charakterystyczne punktów pomiarowych oraz poprawek sezonowych  $X_V$  (V-X) opadu obliczonych na podstawie pomiarów w deszczomierzach jamowych i standardowych

Lp.	Nazwa punktu i okres pomiarów	$H_S$ [m n.p.m.]	Charakterystyka położenia punktu pomiarowego	Stożek zasłonięcia od wiatru wg skali 7-stopniowej	Poprawki do sumy opadu $X_V$ [%] zmierzonych na wys. standardowej				
					1976	1977	1978	1979	1976-1979
1	KPN VI-X	1100	mała polana w młodniku (bez zwarcia) h = drzew 5-12 m, na stoku o nachyleniu 10-15°	dość dobrze zasłonięty (3)	0,4	4,4	5,7	0,8	3,4
2	Kociniec VI-X	1030	średnia polana wśród rzadkiego lasu, h = 10-20 m, na stoku o nachyleniu 25-30°	średnio zasłonięty (4)	2,4	6,8	1,3	11,3	5,3
3	Potok VI-X	1020	mała polana w młodniku (bez zwarcia) h = 0,5-12 m, stok szerokiej doliny, o nachyleniu 5-10°	dobrze zasłonięty (2)	1,7	-0,5	-1,1	5,3	0,7
4	Ptasie Gniazda VI-X	950	mała polana wśród gęstego lasu, h = 10-18 m, zbocze u podnóża skałek „ostańców”, nachylenie 10-15°	dobrze zasłonięty (2)	1,6	0,6	-0,3	4,3	3,4
5	Cicha Równia VI-X	940	średnia polana otoczona gęstym lasem, h = 10-15 m, kotlina na zboczu, teren prawie płaski w promieniu 30 m od deszczomierzy	bardzo dobrze zasłonięty (1)	0,9	0,3	1,6	7,5	0,3
6	Poręba V-X	920	duża polana otoczona rzadkim lasem, h = 20-22 m, na stoku o nachyleniu 15-20° (poręba z uprawą 3-letnich świerków), deszczomierz bliżej środka polany około 50 m od skraju lasu	częściowo odsłonięty (5)	8,0	14,9	6,3	10,0	11,1
					(8,0)*	(13,9)	(7,9)	(16,6)	(11,5)

7	Jakuszyce	860	duża polana otoczona przere- zedzonym lasem, h = = 10-20 m, na stoku o na- chyleniu 5-10°; deszczo- mierz na skraju polany około 30 m od ściany lasu	średnio za- słonięty (4)	1,7 (1,7)	0,4 (4,1)	12,0 (14,6)	8,9 (8,9)	6,2 (8,5)
8	Sienna V-X	840	łąka górską na stoku o na- chyleniu 15-20°, na prze- łęczu o osi W-E; deszczo- mierz około 200 m od ściany lasu	częściowo odsłonięty (5)	8,3	8,8	9,0	7,4	10,8
9	Kamienica V-X	700	łąka na dnie doliny, stok o nachyleniu 10-15°; od- ległość od ściany lasu około 50 m	dość dobrze zasłonięty (3)	5,3	4,4	3,5	2,5	4,0
10	Kletno V-X	640	łąka na stoku o nachyle- niu 20-25° wśród drzew i zabudowań w odległości 20-50 m	dobrze za- słonięty (2)	1,3	3,0	4,6	1,7	2,7
11	Nowa Morawa V-X	640	łąka na dnie doliny; teren płaski w promieniu 50 m, odległość od zabu- dowań 30 m	średnio za- słonięty (4)	2,1	2,0	9,0	3,9	3,7
12	Bolesławów V-X	600	Ogródek meteorologiczny w sąsiedztwie pól upraw- nych, na stoku o nachyle- niu ok. 10°, 30 m od za- budowań	dość dobrze zasłonięty (3)	1,4	3,7	4,3	4,7	3,2

\* w nawiasach podano wartości bez opadów o sumie dobowej  $P_1 \geq 50$  mm.

$I_0$  [%] - intercepcja - wskaźnik obliczony dla opadów, w czasie których nie wystąpiła silna mgła.

$X_0$  [mm] - poprawka łączna (do sum opadu zmierzonego  $P_1$ ) - straty wody opadowej na zwilżanie powierzchni deszczomierza i na parowanie ze zbiorniczka:

$$X_0 [\text{mm/okres}] = k_{sr} N_1 \quad (5)$$

$k_{sr}$  [mm] - średnia strata na zwilżanie i parowanie na jeden dzień z opadem (obliczona lub zmierzona).

$N_1$  - liczba dni w miesiącu (lub dekadzie) z opadem, z włączeniem dni z opadem 0,0 mm.

$N$  - liczba dni z opadem  $P_1 \geq 0,1$  mm.

$X_v$  [mm] - tzw. poprawka wiatrowa do sumy zmierzonego opadu ( $P_1$ ), czyli zaniżanie lub zawyżanie sumy opadu zebranego w deszczomierzu spowodowane działaniem wiatru:

$$X_v [\%] = P_0 - P_1 \quad (6)$$

$X_v$  [%] - poprawka wiatrowa (anemometryczna), wskaźnik:

$$X_v [\%] = \frac{P_0 - P_1}{P_1} 100 \quad (7)$$

$X$  [mm] - łączna (sumaryczna) poprawka na zwilżanie i parowanie oraz działanie wiatru:

$$X [\text{mm}] = X_0 + X_v [\text{mm/doba/miesiąc}] \quad (8)$$

$X$  [%] - empiryczny wskaźnik lokalnego (punktowego) błędu pomiaru opadu:

$$X [\%] = \frac{k_{sr} N_1 + (P - P_1)}{P_1} 100 \quad (9)$$

$P_w$  [mm] = (H) - wskaźnik opadowy hydrologiczny, domniemany „rzeczywisty” przychód wody na powierzchnię gruntu.

Dla zlewni zalesionej:

$$P_w = P_1 + X - I_m \cong P_1(R) \quad (10)$$



Zagadnienia intercepcji i przychodu wody z mgły są szerzej przedstawione we wcześniejszych publikacjach różnych autorów [14, 15, 24, 25] i dlatego nie będą szczegółowo analizowane w tym opracowaniu.

## WYNIKI POMIARÓW I ICH ANALIZA

### Wpływ rodzaju deszczomierza i wielkości powierzchni recepcyjnej

Pomiary porównawcze obejmują 4 typy opadomierzy: deszczomierz Hellmanna o powierzchni recepcyjnej  $200 \text{ cm}^2$ , deszczomierz górski o powierzchni  $500 \text{ cm}^2$  oraz 2 typy totalizatorów o powierzchni recepcyjnej  $200 \text{ cm}^2$ .

Deszczomierze o powierzchni 200 i  $500 \text{ cm}^2$  nie wykazywały znaczących różnic pomiaru w okresie letnim, natomiast deszczomierze górskie rejestrowały sumy opadu mniejsze o 5% niż deszczomierz standardowy. Podobnie ocenił te deszczomierze Chomicz [3]. Zaletą deszczomierza górskiego jest jego duża pojemność, co ma znaczenie przy dekadowym pomiarze w odległych punktach terenowych; pojemność deszczomierza standardowego okazała się w kilku przypadkach zbyt mała. Problem ten udało się rozwiązać przez wykonanie tzw. małych (miesięcznych) totalizatorów. Wielkość i kształt części recepcyjnej oraz zbiornika tych totalizatorów są porównywalne z deszczomierzem standardowym.

Pięcioletnia seria porównawcza wykazała, iż mały totalizator (bez osłony) w porównaniu z deszczomierzem standardowym rejestruje mniejsze sumy opadu, różnica wynosiła od 0 do 12% w zależności od miesiąca. Tak zwany totalizator duży z osłoną Nephera rejestrował sumy najmniejsze, tzn. o 5-20% mniejsze niż deszczomierz standardowy.

### Straty na parowanie i zwilżanie

Bezpośrednie pomiary (wykonane w ogródku meteorologicznym w Jakuszycach i na Porębie) wykazały, że straty na parowanie i zwilżanie wynoszą w warunkach Jakuszyń przeciętnie 0,2-0,4 mm na każdy dzień z opadem. Wartości uzyskane z pomiarów zwilżania i parowania w rynnach podokapowych były prawie identyczne. Natomiast straty na parowanie i zwilżanie opadomierzy, zainstalowanych w punktach, gdzie pomiary wykonywano okresowo, wynoszą do 12% w stosun-

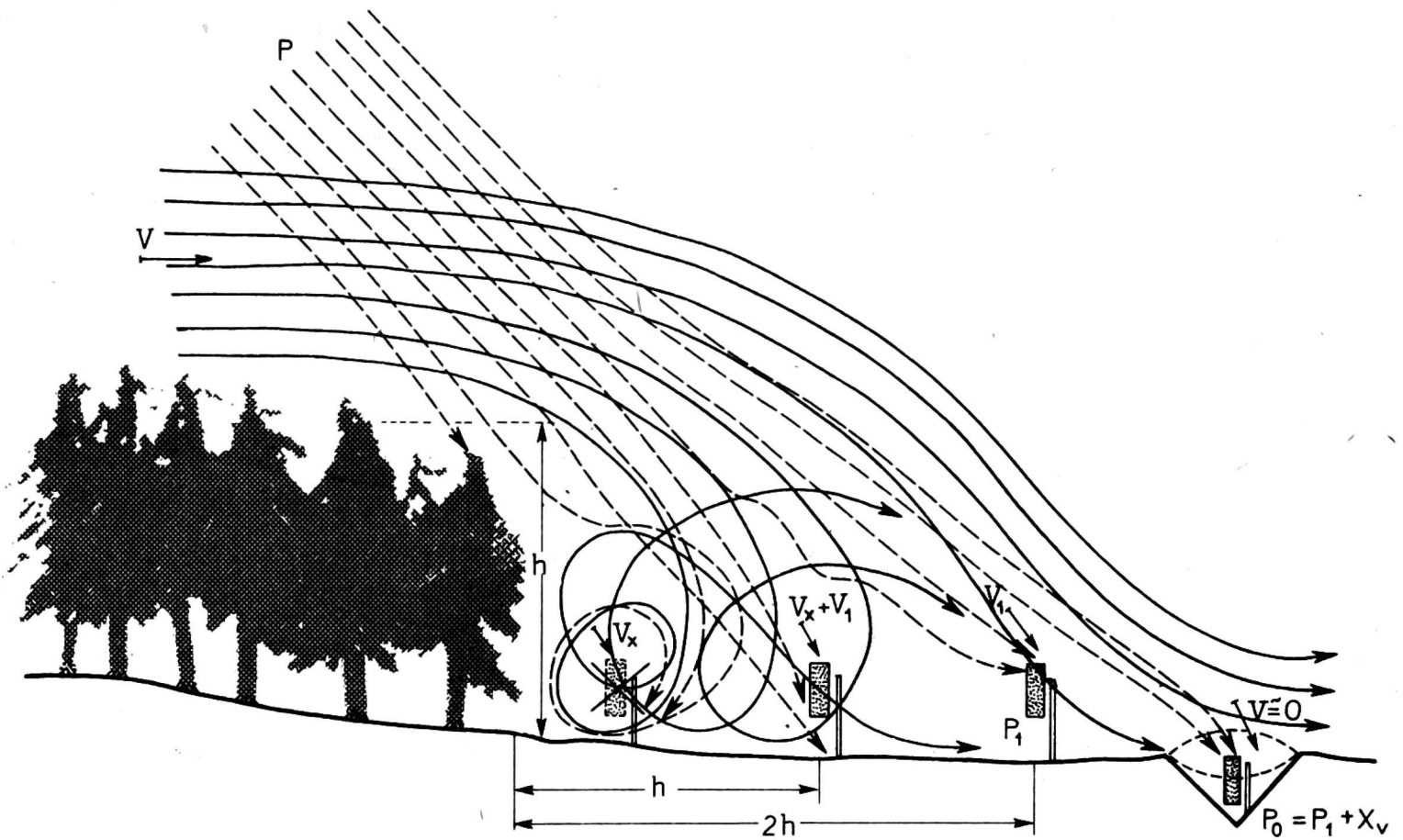
ku do pomiaru deszczomierzem przy dobowym okresie pomiarów. Ponieważ do deszczomierzy, totalizatorów i rynien, za pomocą których przeprowadzano pomiary okresowo, dodawano olej wazelinowy w ilości 50-250 cm<sup>3</sup>, sądziliśmy, że straty będą minimalne. Okazało się jednak - po analizie pomiarów porównawczych między deszczomierzem standardowym z opadem mierzonym codziennie a takim samym deszczomierzem z dekadowym okresem pomiaru - że olej, choć chroni przed wyparowaniem, powoduje jednocześnie znaczny wzrost strat na zwilżanie. Na pokrytej olejem wewnętrznej powierzchni deszczomierza (totalizatora, rynny) woda z opadu nie ścieka cienką warstwą, lecz tworzy większe lub mniejsze krople. Krople te po zakończeniu opadu pozostają na ściankach przyrządu i przeważnie w całości wyparowują.

Na podstawie pomiarów porównawczych ustalono wartość poprawek na straty spowodowane zwilżaniem powierzchni zabrudzonych olejem. Poprawki te obliczono dla każdego miesiąca oddzielnie i dodano je do poprawek zmierzonych i obliczonych dla czystych deszczomierzy. Rozważa się możliwość, aby nie używać oleju, ale opracować współczynnik korelacji między stratami na parowanie wody z deszczomierzy a parowaniem z wolnej powierzchni wody (za pomocą pomiarów tzw. wagą Wilda).

#### Straty spowodowane działaniem wiatru

W wyniku wielu szczegółowych pomiarów i badań prowadzonych na całym świecie [2, 4, 5, 18-21] ustalono, że wiatr jest najpowszechniejszym i najważniejszym źródłem błędów popełnianych w pomiarach opadów. Błędy te w większości przypadków prowadzą do systematycznego zaniżania mierzonej sumy opadu. Efekt negatywny jest tym większy, im większa jest prędkość wiatru i im mniejsze są krople deszczu lub śnieżynek. Niedomiar opadu może wynosić na terenie Polski od 6% (wg badań na kilku stacjach nizinnych IMGW) do 75% (wg badań Koschmiedera na Śnieżce).

Ogólnie wpływ wiatru przejawia się zakłóceniem toru lotu kropeł deszczu lub śnieżynek. Wynikiem tych zakłóceń jest fakt, że liczba elementów opadu wpadających do deszczomierza bywa przeważnie mniejsza niż przypada (statystycznie) na tę część obszaru ziemi, którą reprezentuje powierzchnia wlotu deszczomierza. Rysunek 3 jest próbą zilustrowania warunków pomiaru opadu na polanie śródleśnej, gdy wieją wiatry. Prezentujemy go w celu zobrazowania trud-



Rys. 3. Poglądowy schemat zakłócającego wpływu wiatru na pomiar opadu w warunkach polany śródleśnej

ności związanych z wyborem lokalizacji deszczomierza oraz z próbami ustalenia wpływu poszczególnych czynników na dokładność pomiaru opadów.

Dokładność ta uwarunkowana jest kompleksowym oddziaływaniem wielu czynników, z których tylko dwa pierwsze są w pewnym stopniu od nas zależne. Są to:

1) wielkość i kształt deszczomierza oraz rodzaj materiału, z jakiego jest on wykonany,

2) lokalizacja punktu pomiaru opadu,

Natomiast nie mamy wpływu na takie czynniki, jak:

3) kierunek i prędkość wiatru,

4) rodzaj opadu i jego natężenie,

5) wielkość i kształt kropel, czy też śnieżynek.

Błąd pomiaru spowodowany oddziaływaniem samego deszczomierza na przepływ strug powietrza i tworzenie się wokół deszczomierza małych wirów turbulencyjnych jest w warunkach naturalnych trudny do określenia. Najczęściej rozpatruje się go łącznie z błędami pomiaru wywołanymi złą lokalizacją deszczomierza zarówno w małej, jak i w dużej skali (rys. 1).

W literaturze przedmiotu przedstawiono dowody teoretyczne i ich empiryczne potwierdzenie, że tylko polana leśna o kształcie koła, z deszczomierzem umieszczonym w środku, eliminuje wpływ zmiany kierunku wiatru [5, 8, 21, 23].

Wzrost prędkości wiatru wpływa na pomiar opadu, ponieważ:

- zwiększa prędkość przepływu powietrza nad samym wlotem deszczomierza,
- powoduje powstawanie wirów turbulencyjnych.

W zależności od zmian prędkości wiatru i rodzaju przeszkód terenowych zmienia się częstość (powtarzalność) pojawiania się wirów, ich wielkość oraz kąt nachylenia osi obrotu w stosunku do powierzchni ziemi. Jednak nawet przy laminarnym przepływie powietrza (małej prędkości wiatru) wpływ jego jest zróżnicowany i uwikłany w zależności od rodzaju i natężenia opadu oraz od wielkości kropeł. Z czynników tych największe znaczenie ma zapewne wielkość i kształt elementów opadu [19, 22]. Ostatnio rozpowszechniły się różnego typu osłony i dodatkowe urządzenia chroniące miejsce pomiaru przed wpływem wiatru oraz wprowadzono do praktyki pomiarowej i badawczej deszczomierz jamowy.

Zgodnie z zaleceniem WMO deszczomierze takie zainstalowano również na badanych przez nas zlewniach reprezentatywnych. Są to standardowe deszczomierze Hellmanna ( $200 \text{ cm}^2$ ), umieszczone w lejkowatym wykopie o średnicy 1,0-1,2 m. Ściany wykopu są pokryte darnią i mają kąt nachylenia zbliżony do  $45^\circ$ . Zakłada się, że na poziomie gruntu prędkość wiatru jest zbliżona do zera, a w związku z tym eliminuje się błąd spowodowany przez wiatr.

Sumy opadu zmierzonych w deszczomierzach jamowych -  $P_0$  [mm] porównuje się z sumami opadu zmierzonymi w tym samym punkcie za pomocą identycznych deszczomierzy zawieszonych na słupku na różnej wysokości nad gruntem -  $P_1$  [mm]; najczęściej wysokość ta wynosi: 0,32; 1,0; 1,5 i 2,0 m.

### Wyniki pomiarów porównawczych za pomocą deszczomierzy jamowych

W tabeli 1 zestawiono poprawki do sum opadów zmierzonych w deszczomierzach standardowych, tzw. poprawki wiatrowe (anemometryczne) -  $X_V$  [%], obliczone za pomocą pomiarów w deszczomierzach jamowych. Na podstawie tych danych oraz poprawek obliczonych do sum miesięcznych (analizowanych w trybie roboczym) można wstępnie stwierdzić, że:

- poprawki  $X_V$  są w większości przypadków w poszczególnych latach i miesiącach dodatnie,

- wielkość poprawek zmienia się w dość szerokim zakresie nie tylko w zależności od położenia (zasłonięcia) punktu, ale i na tym samym punkcie w poszczególnych latach i miesiącach,

- nie zaznacza się w sposób wyraźny zależność poprawki  $X_V$  od wysokości położenia punktu n.p.m.,

- wielkość poprawki zależy głównie od lokalizacji deszczomierza: od jego zasłonięcia, wielkości polany, na której jest umieszczony, oraz od kąta nachylenia terenu, tj. od czynników, które mają wpływ na prędkość oraz zawirowania wiatru na wysokości deszczomierza standardowego.

W tabeli 1 przedstawiono dodatkowo wyniki próby oszacowania stopnia zasłonięcia każdego punktu pomiarowego przed wpływem wiatru. W tym celu zastosowano cytowaną przez Burtakova [2], a opracowaną przez Browna i Pecka (1969) 7-stopniową opisową skalę zasłonięcia:

Przyrząd	Skala zasłonięcia od wiatru
bardzo dobrze zasłonięty	1
dobrze zasłonięty	2
dość dobrze zasłonięty	3
średnio zasłonięty	4
częściowo odsłonięty	5
odsłonięty	6
silnie (całkowicie) odsłonięty	7

Wydaje się, że zastosowana skala zasłonięcia dobrze charakteryzuje lokalne warunki wokół deszczomierza. Duża zgodność między zmianami wielkości średnich poprawek -  $X_V$  [%] a stopniem zasłonięcia deszczomierza może być wykorzystana do szacowania wielkości poprawek  $X_V$  na punktach pomiarowych, gdzie nie prowadzi się pomiarów opadu na powierzchni gruntu.

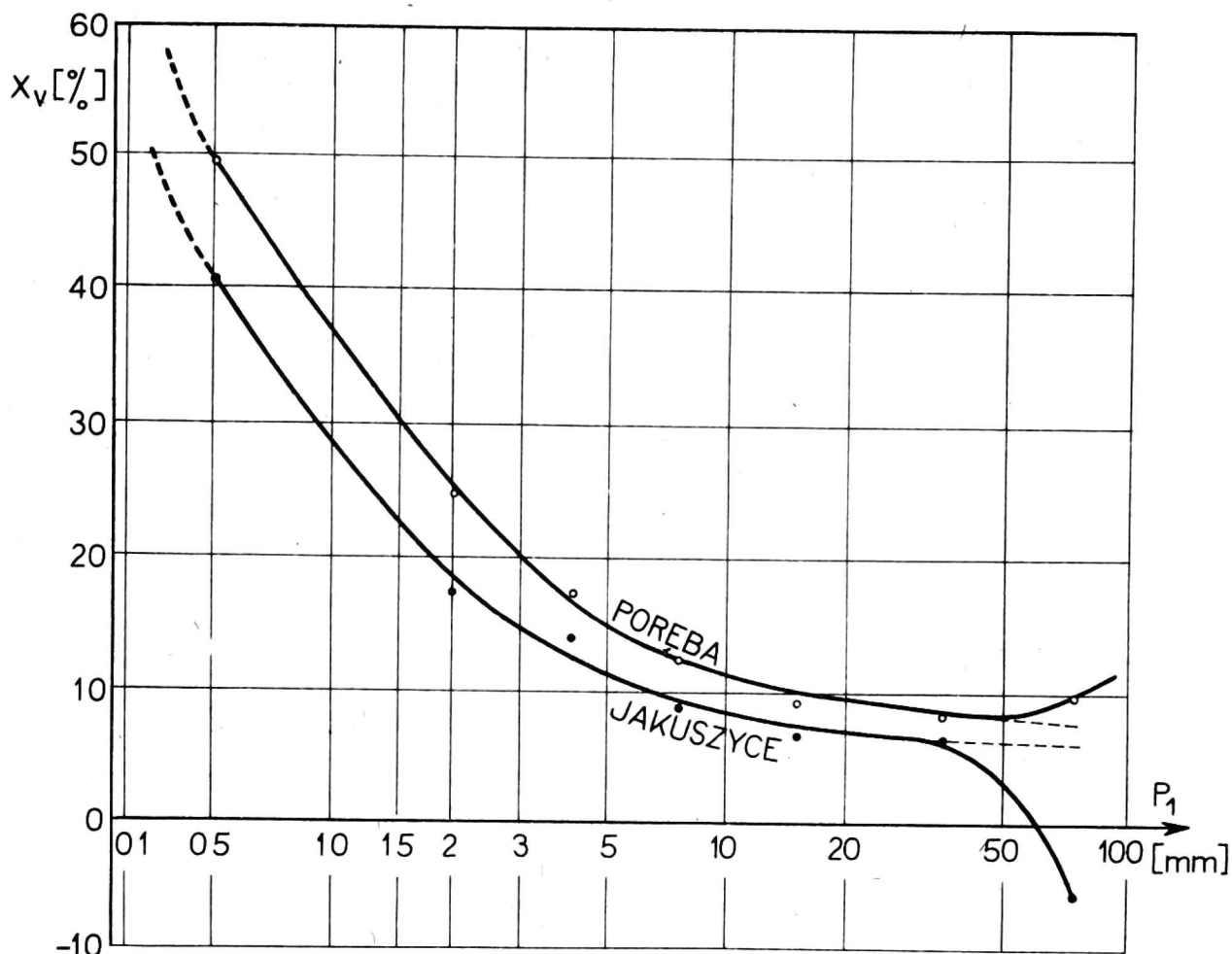
W tabeli 2 zestawiono wyniki obliczeń średnich poprawek  $X_V$  w klasach opadu. Wybrano do analizy punkty znajdujące się na polanach o zbliżonej wielkości oraz nie różniących się innymi szczegółami lokalizacji. Na podstawie danych z tabeli 2 wykreślono krzywe zależności średniej poprawki  $X_V$  [%] od klasy opadu dla punktów pomiarowych w Jakuszycach i Porębie (rys. 4). Dane z tabeli 2 i

T a b e l a 2

Wyniki pomiarów opadów deszczomierzami jamowymi ( $P_0$ ) i standardowymi ( $P_1$ ) oraz odpowiadające im średnie wartości poprawek anemometrycznych ( $X_V$ ) zestawione według klas opadu (klasy opadu ustalono wg sum dobowych z deszczomierza standardowego). Wyniki średnie z lat 1976-1979 (okres V-X)

Stacja opadowa	Klasa opadowa [mm]	Liczebność (n)	$P_0$ [mm]	$P_1$ [mm]	Różnica $P_0 - P_1$ [mm]	Poprawka anemometryczna $X_V$	
						[mm]	[%]
Jakuszyce 960 m n.p.m.	0-0,9	75	45,6	32,4	13,2	0,18	40,7
	1,0-2,9	67	142,2	121,8	21,1	0,31	17,3
	3,0-4,9	56	246,4	216,4	30,0	0,54	13,9
	5,0-9,9	71	533,0	490,1	42,9	0,60	8,8
	10,0-19,9	52	779,7	730,5	49,3	0,95	6,7
	20,0-49,9	34	1039,4	976,8	62,6	1,84	6,4
	$\geq 50,0$	4	467,1	494,6	-27,5	-6,88	-5,6
Ogółem		359	3254,1	3062,5	191,6	0,53	6,2
Ogółem bez $\geq 50,0$		354	2787,0	2567,9	219,1	0,62	8,5
Poręba 920 m n.p.m.	0-0,9	88	42,6	28,5	14,1	0,16	49,5
	1,0-2,9	70	162,0	129,8	32,2	0,46	24,8
	3,0-4,9	46	209,2	178,2	31,0	0,67	17,4
	5,0-9,9	77	610,6	544,2	66,4	0,86	12,2
	10,0-19,9	59	880,3	806,5	73,8	1,25	9,2
	20,0-49,9	26	768,5	710,3	58,2	2,24	8,2
	$\geq 50,0$	8	767,0	700,0	67,0	8,38	9,6
Ogółem		374	3440,2	3097,5	342,7	0,92	11,1
Ogółem bez $\geq 50,0$		366	2673,2	2397,5	275,7	0,75	11,5

wykres upoważniają do stwierdzenia, iż pomimo dużej zmienności poprawki  $X_V$  w poszczególnych przypadkach, w dłuższym okresie występuje wyraźna prawidłowość i ścisła zależność między wielkością dobowej suszy opadu a efektem kompleksowego oddziaływania wiatru na jego pomiar. Jednocześnie jednak zaznacza się silnie wpływ lokalizacji punktu pomiarowego. Na rysunku 4 liniami przerywanymi zazna-

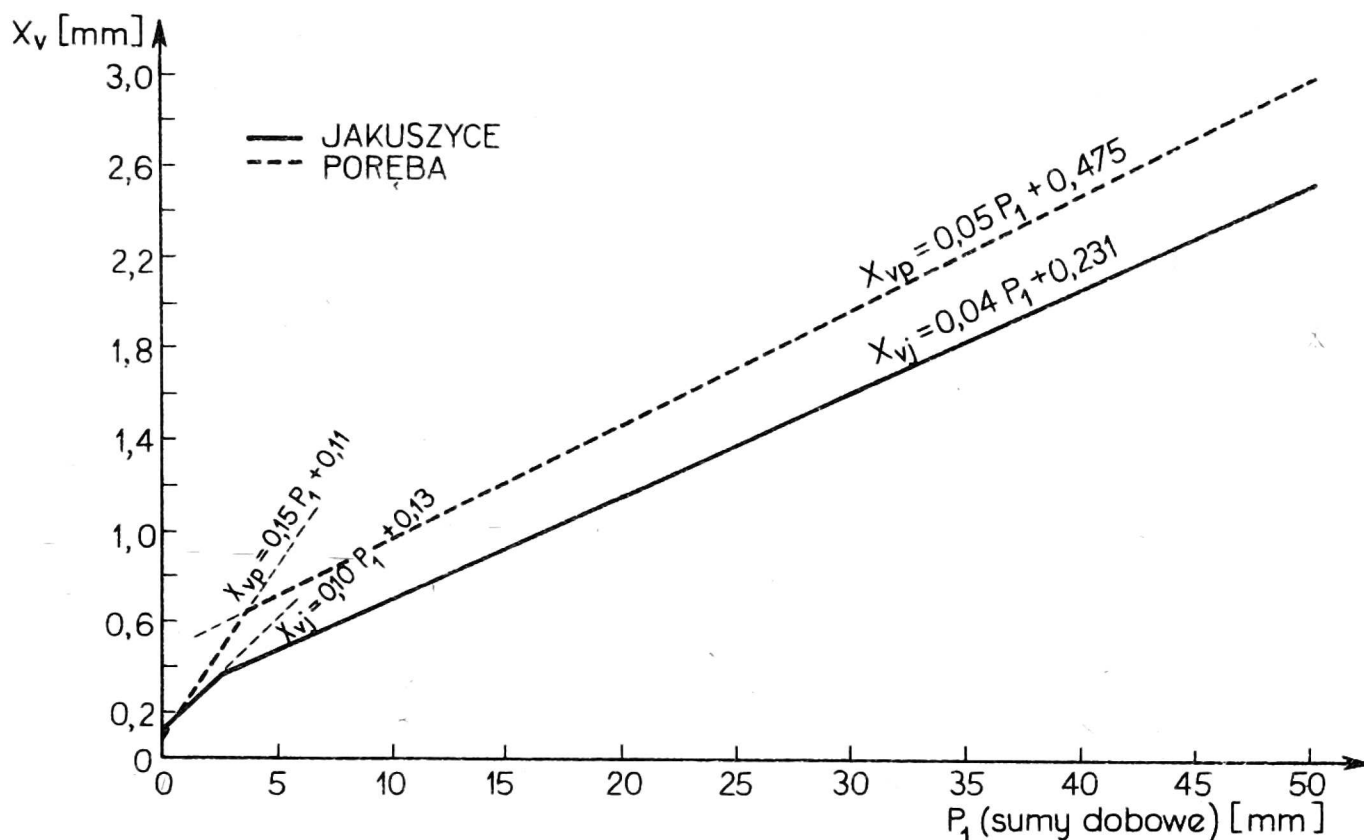


Rys. 4. Zależność poprawki anemometrycznej  $X_v$  [%] dla sum opadu dobowego obliczonej dla klas opadu według wzoru [7]

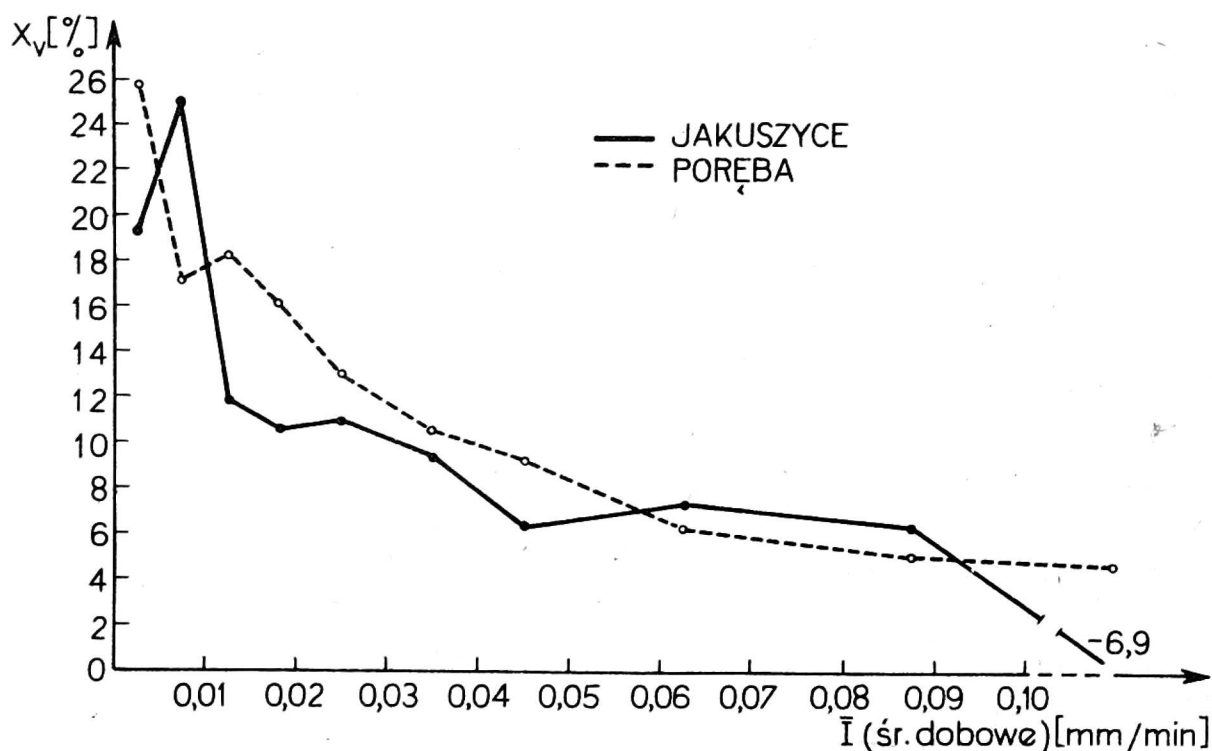
czono przebieg przewidywanej w drodze ekstrapolacji linii zależności tam, gdzie mała liczba danych nie pozwoliła na pewne ich wykreślenie.

Na rysunku 5 przedstawiono wykresy prostych regresji obliczonych ze średnich poprawek  $X_v$  [mm] w klasach opadu (z tabeli 2). Nie udało się próba wykreślenia jednej prostej dla każdego punktu pomiarowego. W klasie opadu 3-5 mm występuje wyraźnie strefa nieciągłości. Na podstawie wykresu (rys. 5) można wnioskować, iż wiatr silniej zakłóca pomiar opadów o małej intensywności, co potwierdza przebieg linii zależności poprawki  $X_v$  [%] od średnio dobowego natężenia opadu (rys. 6). Dla średnich natężeń opadu w granicach 0,001-0,040 mm/min - zależność jest wyraźna, tzn. w miarę zwiększania się natężenia opadu zmniejsza się wielkość poprawki  $X_v$  [%]. Dalsze zwiększanie się natężenia opadu (powyżej 0,050 mm/min) ma niewielki wpływ na wielkość poprawki. Wyniki te są zgodne z ustaleniami Struzera i in. [22].

Próba znalezienia zależności między wielkością poprawki  $X_v$  a średnią prędkością wiatru (oparta na tych samych lub równoległych



Rys. 5. Zależność wielkości średniej poprawki anemometrycznej  $X_v$  [mm] od wysokości dobowej sumy opadu zmierzonego deszczomierzem standardowym  $P_1$ . Równania regresji obliczono na podstawie wartości średnich w klasach opadu (tab. 1)



Rys. 6. Zmienność poprawki anemometrycznej  $X_v$  [%] w zależności od średniego dobowego natężenia opadu -  $\bar{I}$  mm/min (wg pluwiografu) w stacji klimatycznej w Jakuszycach oraz w Porębie w latach 1977-1979



miarach) w warunkach zlewni górnej Kamiennej i Morawki została przedstawiona w opracowaniu Małeckiego i Stopki [16a], dlatego tutaj pominiemy analizę tej zależności.

### WNIOSKI I PODSUMOWANIE

Wyniki porównawcze pomiarów opadu za pomocą deszczomierzy jamowych oraz analiza tych wyników pozwalają na sformułowanie kilku praktycznych wniosków:

1. Umieszczenie punktów pomiaru opadu na polanach śródleśnych pozwala znacznie zredukować wpływ wiatru na dokładność pomiaru opadu, nawet w warunkach zlewni górskiej [20, 21].

2. Właściwa lokalizacja, tzn. dobór wielkości polany i jej usytuowania [2], może prawie zupełnie wyeliminować wpływ wiatru na pomiar opadu (np. na punktach Potok, Cicha Równia i Ptasie Gniazda wielkość poprawki mieści się w granicach błędu popełnianego przy samej czynności mierzenia objętości wody w deszczomierzu).

3. Na dużych polanach śródleśnych oraz w wąskich dolinach otoczonych lasem pomiary opadu są obarczone błędem porównywalnym z błędem popełnianym na otwartych terenach nizinnych [8, 9, 12].

4. Duże różnice w wielkości poprawek  $X_V$  na danym punkcie pomiędzy poszczególnymi latami i miesiącami są najczęściej spowodowane przypadkowymi czynnikami towarzyszącymi opadom nawalnym o sumie dobowej  $\geq 50,0$  mm. Przy ustalaniu (obliczaniu) średnich poprawek  $X_V$  opady z tej klasy powinny być pominięte.

5. Systematyczne kilkuletnie pomiary w deszczomierzach jamowych pozwalają na wyprowadzenie empirycznych zależności w postaci prostych regresji. Daje to możliwość skorygowania sum opadów zmierzonych w deszczomierzach standardowych w okresach, w których nie wykonywano pomiarów opadu na powierzchni gruntu (przy założeniu, że w tych okresach lokalizacja deszczomierza nie uległa zmianie) [9].

Najważniejszą (i prawie jedyną) wadą deszczomierzy jamowych jest ich nieprzydatność do pomiaru opadów śniegu.

W tabeli 3 przedstawiono próbę zbilansowania 5-letnich pomiarów i badań przychodu wody na powierzchnię zlewni. W tabeli podano 5-letnie średnie wskaźniki dla całej powierzchni zlewni górnej Kamiennej, które obliczono na podstawie wyników bezpośrednich pomiarów opadów atmosferycznych lub za pomocą innych bezpośrednich elementów.

T a b e l a 3

Zlewnia górnej Kamiennej. Porównanie wskaźników przychodu wody z wskaźnikiem odpływu. Wartości średnie dla zlewni z letniego półroczu hydrologicznego (1975-1979)

Rodzaj wskaźnika	Miesiące						
	V	VI	VII	VIII	IX	X	V-X
Odpływ $V$ [mm]	294	114	106	149	100	98	861
Wskaźnik opadowy - $P_w$ [mm]	73	128	159	169	132	108	769
Opad zmierzony - $P_1$ [mm]	78	133	167	176	123	97	774
Poprawka sumaryczna - $X$ [mm]	13,4	20,1	24,9	23,0	26,1	13,8	121,3
Poprawka na zwilż. i parow. - $X_0$ [mm]	9	11	10	9	11	7	57
Różnica: $V - P_w$ [mm]	+221	-14	-53	-20	-32	-10	92
Poprawka sumaryczna - $X$ [%]	17,2	15,1	14,9	13,1	21,2	14,2	15,7
Poprawka wiatrowa - $X_v$ [%]	8,2	7,8	7,3	8,5	12,8	4,3	8,5
Intercepcja - $I_m$ [%]	23,1	16,2	18,9	15,9	11,5	8,1	15,6
Osady mgielne - $P_n$ [%]	6,9	13,8	11,1	14,1	18,5	21,9	14,3
Różnica: $I_m - X$ [%]	5,9	-1,1	-4,0	-2,8	9,7	6,1	-0,1

Analiza danych zestawionych w tabeli 3 dowodzi, że problemy ekstrapolacji wyników pomiarów punktowych na obszar zlewni oraz reprezentatywności punktów pomiaru opadu dla zlewni górnej Kamiennej nie zostały jeszcze w pełni rozwiązane. Jest prawdopodobne, że waga punktów pomiarowych, zlokalizowanych w górnej części zlewni, jest większa niż wynikałoby to z powierzchni, jaką one reprezentują. Można bowiem założyć, iż mierzone na tej wysokości sumy opadów są obarczone dodatkowym systematycznym błędem, o którym niewiele jeszcze wiemy zarówno co do jego genezy, jak i wielkości.

Bilansowanie pomiaru opadów w krótszych okresach czasu dałoby na pewno lepsze wyniki, ale specyfika zlewni nie pozwala na zastosowanie nawet standardowych okresów, tzn. roku lub półrocza hydrologicznego. Specyfika ta polega m. in. na tym, że obfita i zwarta pokrywa śnieżna występuje niekiedy od 10 października i trwa bez przerwy (w górnych częściach zlewni) przeciętnie do 10 czerwca. Ponadto w górnej części zlewni na 1/3-1/2 powierzchni znajdują się torfowiska i gleby zabagnione. Dlatego też np. w maju średni odpływ wynosi 294 mm, natomiast średni wskaźnik opadu tylko 73 mm. W efekcie zapas wody z poprzedniego okresu, zmagazynowanej w pokrywie śnieżnej i glebie (retencja) zniekształca bardzo silnie relacje opad/odpływ w następnym okresie bilansowania. Podobne przypadki występują również na początku półrocza zimowego, np. suma opadu zmierzonego w rynn timer podokapowej w punkcie Granica (1200 m n.p.m.) w ciągu trzech ostatnich miesięcy (VIII-X) roku hydrologicznego wynosiła 935 mm (ponad 50% średniej sumy rocznej), w tym część opadu w październiku była w postaci śniegu.

Z danych zawartych w tabeli 3 oraz z ich analizy wynika ważny wniosek, iż okresy bilansowania nie mogą być ustalane sztywno i jednakowo dla wszystkich zlewni. Jeżeli istnieje konieczność opracowania bilansów w okresach standardowych (np. w celu porównania różnych zlewni), to na zlewni takiej jak górna Kamienna musi być wykonany dokładny pomiar stanu retencji gruntowej i śniegowej na początku i na końcu okresu bilansowania.

#### LITERATURA

1. Brechtel M. M.: Die Bedeutung der forstlichen Bodennutzung bei der Erwirtschaftung eines optimalen Wasserertrages. Z. Deutsch. Geod., 122, 1971.
2. Burtakov L. A.: K voprosu izmierenia osadkov w gorach. Tr. Wysockogor. Geofiz. Inst., 18, 1972.
3. Chomicz K.: Struktura opadów atmosferycznych w Polsce. Pr. PIHM, 101, 1971.
4. Chomicz K.: Opady rzeczywiste w Polsce (1931-1960). Prz. geof., 1, 1976.
5. Grunov J.: Erfassung des winterlichen Niederschlags im Gebirge. La Meteorologie, 4, 45-46, 1957.
6. Grunov J.: Der Niederschlag im Bergwald, Niederschlagszurückhaltung und Nebelszuschlag. Forstwiss., 74, 1-2, 1955.
7. Hodakov W. G.: K metodike učeta tvierdyh osadkov v gorach. Tr. Gł. Geofiz. Obs., 195, 1966.
8. Jaworski J.: Distribution of rainfall near shelterbelts. Ekol. pol., ser. A, 7, 1964.

9. Jaworski J.: Rzeczywisty a wskaźnikowy opad atmosferyczny w zlewni górnej Wilgi. Prz. geof., 3-4, 1979.
10. Koschmieder H.: Methoden und Ergebnisse definierten Regenmessungen. III Hydrol. Konf. der Balt., Staat 1930.
11. Krečmer V.: Meteorologické pominky výskutu kapalných sražek z mlby a jeich význam pro intercepčni proces ve středhorském lese. Meteor. Zpravy, 27, 1, 1973.
12. Kuźniar K., Miczyński I.: Określenie ilości opadów na poszczególnych poziomach dokonywania pomiarów. Prz. geof., 1, 1977.
13. Kwiatkowski J.: Opady rzeczywiste w Sudetach. Prz. geof., 1, 1978.
14. Kwiatkowski J., Stopka R., Szczepańska Z.: Uwagi o mezo- i mikro klimacie doliny Kleśnicy... Kras i speleologia. T. 2 XI. Pr. Nauk Uniw. Śląskiego, 280, 1978.
15. Kwiatkowski J., Woźniak Z.: Uwagi o mezoklimacie Równi pod Śnieżką w Karkonoszach. Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich, KZZG, PAN, 20, PWN, Warszawa-Kraków 1979.
16. Lambor I.: Liefert der Wald Wasser? Mitt. des Arbeitskreis Wald und Wasser, 3, 1959 (Koblenz).
- 16a. Małeckie J., Stopka R.: Wpływ wiatru na pomiary opadów w górach metodą standardową. Zesz. Probl. Post. Nauk rol., 288, 1984.
17. Mraček Z., Krečmer V.: Význam lesa pro lidskou společnosti. Státni zeměděl. naklad., 1975.
18. Neff E. L.: How much rain does a raingage gage? J. Hydrol., 35, 3/4, 1977.
19. Rodda I. C.: The rainfall measurement problem. General Assembly of Bern, Publ. No. 78, 1978.
20. Serruk B.: Inaccuracy of precipitation measurements of water resources instrumentation. Proc. of the SWGWR, 3, 1975.
21. Serruk B.: Zur Frage der Korrekturen systematischen Fehler der Niederschlagsmessung. Verh. der 13 en Int. Tag. f. Alpine Meteor. Saint-Vincent 1974.
22. Struzer L. R., Niečajev I. N., Bogdanova E. G.: Sistematičeskije pogriešnosti izmierjenja atmosfernih osadkov. Meteor. i Gidrol., 10, 1965.
23. Tomanek J.: Badania pluwiometryczne w borze iglastym Białowieckiego Parku Narodowego. Pr. IBL, Rocz. Nauk Leś., 21.
24. Woźniak Z.: Próba określenia udziału wody z osadów w bilansie wodnym północnych stoków Karkonoszy. Zesz. Probl. Post. Nauk rol., 162, 1975.
25. Woźniak Z.: Wstępne wyniki pomiarów intercepcji w sudeckich drzewostanach świerkowych. Prz. geof., 3-4, 1977.

Зенон Возняк, Рышард Стопка

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ  
АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В УСЛОВИЯХ ЛЕСИСТЫХ ГОРНЫХ ВОДОСБОРОВ

Р е з ю м е

Анализировали процесс измерения осадков и причины возникновения погрешностей в измерениях. Сравнивая результаты параллельных измерений проведенных с помощью стандартных и "ямочных" дождемеров,

подробно исследовали условия возникновения вызванной ветром погрешности измерения осадков. Измерения проводились на 12 постах заложенных на территории лесистых горных водосборов в Судетах: верхнего водосбора Каменной (850-1210 м н.у.м. - 95% леса) и Моравки (600-1425 м н.у.м. - 85% леса). Установлена малая пригодность тотализаторов для точных измерений осадков (погрешность до 20%). Средние потери на увлажнение и испарение (из бака дождемера) составляли 0,2-0,4 мм в день с осадком. Среднесуточные (апрель-октябрь) погрешности измерения осадков под влиянием ветра составляли 0,3-11,5% в соответствии с локализацией измерительного поста, причем величина погрешности зависит главным образом от суточной суммы осадка и его интенсивности.

Наивысшая погрешность измерения возникает в измерении осадков с суточной суммой до 3,00 мм и интенсивностью до 0,04 мм/мин. На основании результатов сравнительных измерений, упорядоченных в соответствии с классами осадков, были исчислены эмпирические уравнения регрессии, которые могут использоваться для корректуры сумм осадков измеренных в стандартных дождемерах. Средняя (для горного водосбора Каменной) суммарная погрешность измерения осадка в период апрель-октябрь была оценена на 15,7%.

Zenon Woźniak, Ryszard Stopka

RESULTS OF INVESTIGATIONS ON THE EXACTNESS OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION MEASUREMENTS UNDER AFFORESTED MOUNTAIN CATCHMENT AREA CONDITIONS

S u m m a r y

The precipitation measurement process and causes of error occurrence in the measurements are analyzed. The occurrence conditions of error in precipitation measurements under the wind effect were investigated in detail while comparing the results of parallel measurements carried out at use of standard and "cavity" raingauges. The measurements were carried out at 12 stands on the territory of afforested mountain catchment areas in Sudety: upper Kamienna (850-1210 m a.s.l. - 95% of forest)

and Morawka (600-1425 m a.s.l. - 95% of forest). A low suitability of totalizers' for exact precipitation measurements (error up to 20%) has been proved. Losses for wetting and evaporation (from the rain gauge container) averaged within 0.2-0.4 mm per day with precipitations. Seasonal (April-October) precipitation measurement errors under the wind effect averaged within 0.3-11.5% in accordance with location of the measurement stand, the error value depending mainly on the daily sum of precipitation and its intensity.

The greatest measurement error occurs at the measurement of precipitations with the daily sum up to 3.0 mm and the intensity up to 0.04 mm per min. Basing on the results of comparative measurements arranged according to the precipitation classes, empirical regression equations to be used for correction of precipitation sums measured in standard rain gauges have been calculated. The average (for the Kamienna mountain catchment area) total precipitation measurement error in April-October was estimated for 15.7%.