

ANNA HEBDA-MAŁOCHA\*

## BADANIE WPLYWU CZYNNIKÓW FIZJOGRAFICZNYCH ZLEWNI I SYNOPTYCZNYCH NA PRZESTRZENNY ROZKŁAD OPADU

---

### ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF SYNOPTIC RIVER BASIN'S PHYSIOGRAPHIC FACTORS ON PRECIPITATION SPATIAL DISTRIBUTION

---

#### Streszczenie

W artykule poddano analizie główne czynniki generujące rozkład opadu na terenie zlewni Trzebuńki usytuowanej w Beskidzie Średnim, w Karpatach Zachodnich. Stwierdzono, że na rozkład opadu na terenie zlewni podgórskiej duży wpływ wywierają topografia, ekspozycja stoków w stronę głównych kierunków napływu wilgotnych mas powietrza oraz typ cyrkulacji atmosferycznej. Na stokach o ekspozycji północnej i północno-zachodniej zanotowano wyższe sumy opadów, które nierównomiernie rosną ku szczytom, a na stokach o ekspozycji południowo-zachodniej wystąpił wyraźny spadek wysokości opadu wraz ze wzrostem wysokości terenu.

*Słowa kluczowe: opad, rozkład opadu, czynniki synoptyczne i fizjograficzne, orografia, topografia, typy synoptyczne*

#### Abstract

In this article the main factors generating rainfall distribution on the catchment area of the Trzebuńka Stream situated in the Middle Beskids in the Western Carpathians have been analysed. The research showed that the rainfall distribution on the catchment area is influenced by topography, slope exposure facing the main directions of arrival of the moist air masses and atmospheric circulation. On the slope exposed to the North and North West a higher total rainfall, which irregularly increase towards the summits, was noted. On the south west facing slopes, an evident decrease in the amount of rainfall was noted with increasing height of the terrain.

*Keywords: precipitation, rainfall distribution, synoptic and physiographic factors, orography, topography, synoptic types*

---

\* Mgr inż. Anna Hebda-Małocha, Instytut Inżynierii i Gospodarki Wodnej, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska.

## 1. Wstęp

Rozmieszczenie opadów w górach jest bardzo zróżnicowane przestrzennie. Wpływ na to ma wiele czynników, takich jak wzniesienie terenu ponad poziom morza, długość i szerokość pasm górskich, położenie w określonej strefie geograficznej, odległość od wybrzeży morskich i ekspozycja, kierunek napływu mas powietrza. Wysokość opadu na stokach górskich zależy od ogólnej cyrkulacji atmosfery i powstających układów barycznych. Przyjmuje się, że wraz ze wzrostem wysokości terenu notujemy wyższe wartości opadów atmosferycznych. Jednak góry tworzą barierę dla napływających z różnych kierunków mas powietrza, mogą zmieniać ich przepływ i tym samym wpływają na nierównomierny rozkład wysokości opadu, nie zawsze skorelowany z ukształtowaniem terenu.

W tym artykule poddano analizie główne czynniki generujące rozkład opadu na terenie zlewni Trzebuńki usytuowanej w Beskidzie Średnim, w Karpatach Zachodnich. Badania miały na celu ustalenie, jak duży wpływ na wysokość opadów mają wysokość i ekspozycja stoków górskich oraz kierunki napływu mas powietrza.

## 2. Przestrzenny rozkład opadu w świetle istniejącego stanu wiedzy

Według Lambora [8] wzrost wysokości nad poziomem morza sprzyja kondensacji pary wodnej w powietrzu, więc wraz ze wzniesieniem terenu wzrasta wysokość opadów, co daje się zauważyć szczególnie przy rozpatrywaniu sum miesięcznych i rocznych.

Trepińska [13] twierdzi, że wielkość sumy opadów w górach zależy przede wszystkim od wysokości nad poziomem morza miejsca pomiarów. Jednak rzeźba terenu i ekspozycja stoków odgrywają bardzo istotną rolę. Wzrost opadów wraz z wysokością nie jest równomierny, gdyż znaczącą rolę odgrywają tu czynniki stałe związane z rzeźbą oraz czynniki zmienne – atmosferyczne.

Wzrost opadów wraz z wysokością, jak uważa Bajkiewicz-Grabowska [2], jest obserwowany tylko do pewnej określonej (innej w różnych regionach górskich) wysokości nad poziomem morza, od której następuje inwersja opadów, czyli zmniejszanie się ich wielkości w miarę dalszego wzrostu wysokości nad poziomem morza.

Według Trepińskiej [13] więcej opadów wystąpi prawie zawsze po stronie nawietrznej. Rozkład opadów w terenie górskim wykazuje dobrą korelację z orografią. Istnieje możliwość wystąpienia dużych opadów na nawietrznej stronie gór i mniejszych na płaskim terenie po zawietrznej, tzw. zjawisko cienia opadowego.

Niedźwiedz [10] przytacza, że występuje asymetria klimatyczna pomiędzy stokami o ekspozycji północnej i południowej. Duży wpływ na warunki klimatyczne wywiera też ekspozycja wobec kierunku napływu wilgotnych mas powietrza. Północne stoki Karpat charakteryzują się większą wilgotnością niż południowe.

Według Bajkiewicz-Grabowskiej [2] na rozkład opadów w terenach górskich ma wpływ ekspozycja stoku. Strona nawietrzna otrzymuje więcej opadów wskutek skraplania się pary wodnej zawartej w masie powietrza. Po stronie zawietrznej masywu tworzy się cień opadowy, charakteryzujący się mniejszą wielkością opadów.

Hess [4] uważa, że w górach następuje gwałtowne zwiększenie ilości opadu i duże jego zróżnicowanie ze względu na różną ekspozycję stoków w stosunku do przeważającego kierunku napływu wilgotnych mas powietrza.

Przez pojęcie cyrkulacji atmosfery należy rozumieć wszystkie ruchy powietrza atmosferycznego w troposferze i dolnej stratosferze [12]. Cyrkulacja atmosfery występuje wskutek niejednakowego nagrzania powierzchni Ziemi w następstwie nierównomiernego dopływu energii promieniowania słonecznego. Bardzo ważnym elementem jest też rozmieszczenie lądów i oceanów, ze względu na ich odmienne właściwości przewodnictwa cieplnego. Ruch obrotowy Ziemi i zróżnicowanie jej powierzchni dają początek wielu zamkniętym cyrkulacjom powietrza, cyklonom (niż) i antycyklonom (wyż). Czynniki te wpływają na wielkość ciśnienia atmosferycznego, którego różnice wywołują ruch mas powietrza z obszarów źródłowych.

Według Hessa [4] nad obszar Karpat Zachodnich napływają masy powietrza z różnych kierunków, w cieplej porze roku najczęściej z zachodu i północnego zachodu. Są to zarówno wilgotne masy powietrza znad Atlantyku, jak i suche znad kontynentu. W procesach atmosferycznych zachodzących nad południowo-zachodnią Polską dominującą rolę odgrywa powietrze polarno-morskie, szczególnie w okresie letnim.

Największe sumy opadów występują na zachodnich, północno-zachodnich i północnych stokach Karpat Zachodnich, nad którymi najczęściej spiętrzają się wilgotne masy powietrza polarno-morskiego.

### 3. Cel, metodyka i teren badań

Celem badań było ustalenie wpływu czynników fizjograficznych i synoptycznych na rozkład przestrzenny opadów w zlewni górskiej. Badania przeprowadzono w półroczu letnim w 2005 r. Szczegółowym ich celem było określenie wielkości wpływu topografii, orografii oraz kierunku napływu mas powietrza na rozkład opadu w zlewni badawczej potoku Trzebuńka, lewobrzeżnego dopływu Raby.

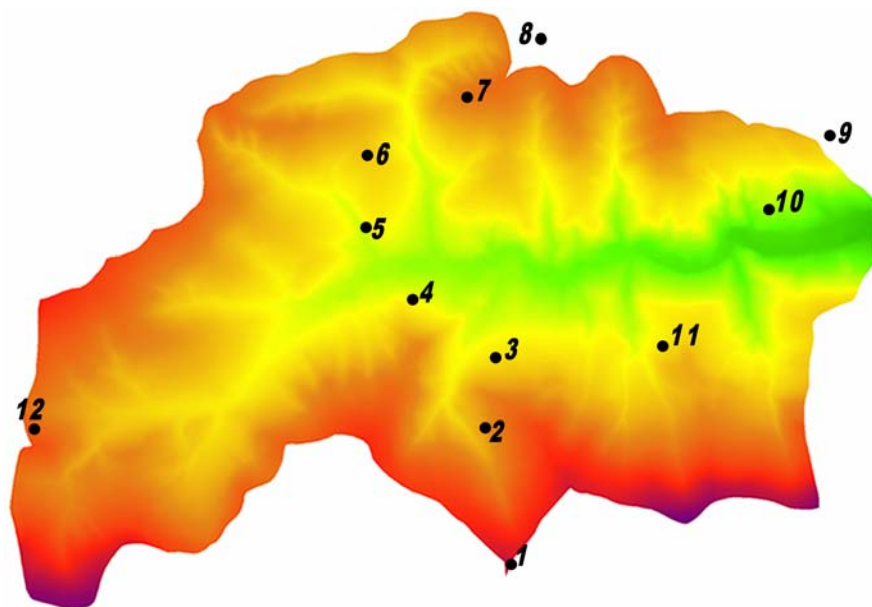
Zlewnia ta położona jest w Karpatach Zachodnich, w Beskidzie Średnim. Kształt jest w miarę regularny, symetrycznie rozbudowany po obu stronach cieku. Powierzchnia wynosi 33 km<sup>2</sup>, a długość ok. 9 km. Potok Trzebuńka płynie równoleżnikowo przez środek zlewni, z zachodu na wschód. Najniższy położony obszar zlewni znajduje się przy ujściu cieku (295 m n.p.m.), najwyższym punktem terenu jest szczyt góry Kotoń o wysokości 857 m n.p.m. Wyższe partie zlewni pokryte są lasami mieszanymi, w dolnych partiach znajdują się uprawy rolnicze.

Według klasyfikacji Hessa [4] na terenie zlewni Trzebuńki można wyróżnić dwa piętra klimatyczne:

- umiarkowanie ciepłe do wysokości 680 m n.p.m. obejmujące większą część obszaru,
- umiarkowanie chłodne powyżej 680 m n.p.m. obejmujące najwyższe szczyty zlewni po stronie południowej.

Monitoring opadowy rozpoczęto, rozmieszczając 4 deszczomierze Hellmanna o powierzchni chwytniej 200 cm<sup>2</sup> w profilu podłużnym zlewni oraz 8 deszczomierzy w profilu poprzecznym zlewni w jej środkowej części. Aby wyeliminować potencjalne źródła zakłóceń, deszczomierze starano się zamontować w jak największej odległości od najbliższych obiektów oraz na terenie tak poziomym, jak to jest możliwe [13].

Różnica wysokości między skrajnymi punktami pomiarowymi wynosiła 435 m. Najniższy umieszczony deszczomierz znajdował się w stacji 9 – Klebertówka 300 m n.p.m., najwyższy na szczycie stoku na południu zlewni 1 – Jaworzyny 735 m n.p.m. Obrazowo zostało to pokazane na ryc. 1. Pomiarów wykonywane były nieregularnie, co kilka dni.



- 1 – Jaworzyny, szczyt na południu zlewni 735 m n.p.m.,  
 2 – Paryłówka 512 m n.p.m., stok o ekspozycji północno-zachodniej,  
 3 – Oboniówka 440 m n.p.m., stok o ekspozycji północnej,  
 4 – Leśniczówka 385 m n.p.m., stok o ekspozycji północnej,  
 5 – Gorylówka 410 m n.p.m., stok o ekspozycji południowej,  
 6 – Słoneczne Zagrody 485 m n.p.m., stok o ekspozycji południowo-wschodniej,  
 7 – Rola Ostafinowa 547 m n.p.m., stok o ekspozycji południowo-zachodniej,  
 8 – Bysina 485 m n.p.m., stok o ekspozycji północno-wschodniej,  
 9 – Klebertówka, stacja badawcza ZH PK, 300 m n.p.m.,  
 10 – p. Żaba 340 m n.p.m.,  
 11 – Żabowo górne 455 m n.p.m., stok o ekspozycji północnej,  
 12 – Kapliczka 600 m n.p.m., na szczycie stoku o ekspozycji wschodniej.

Ryc. 1. Zlewnia potoku Trzebuńka z rozmieszczeniem deszczomierzy Hellmanna

Fig. 1. Catchment area of the Trzebuńka Stream with locations of Hellmann rain gauges

#### 4. Wyniki badań

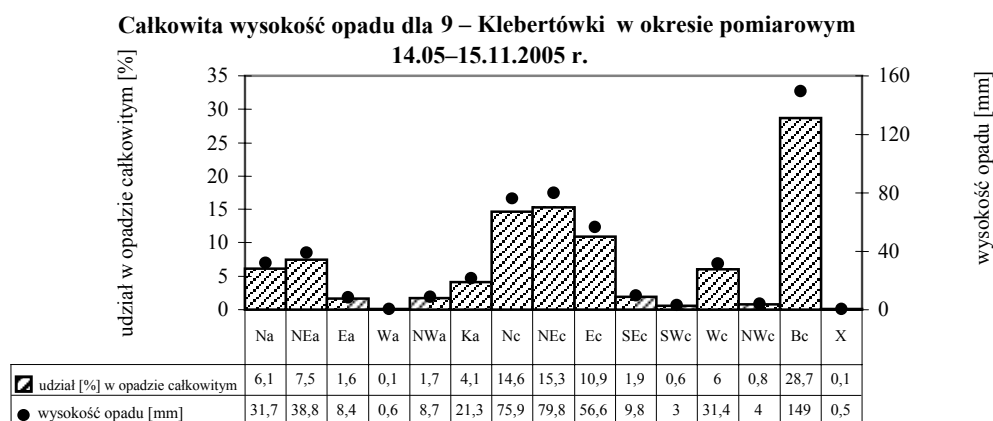
##### 4.1. Ogólna analiza dla dni z opadem w okresie pomiarowym w 2005 r.

Do szczegółowych analiz wykorzystano dobowe wyniki obserwacji prowadzone na Hydrologicznej Stacji Badawczej PK (posterunek nr 9 – Klebertówka) oraz dane z *Kalendarza typów cyrkulacji dla Polski Południowej* Niedźwiedzia [1].

Karpaty Zachodnie znajdują się w rejonie wzmożonej i podlegającej częstym zmianom cyrkulacji atmosferycznej. Charakteryzują się dużą zmiennością warunków pogodowych z dnia na dzień. Przemieszczające się często nad ich terytorium wilgotne masy powietrza mogą spowodować wystąpienie opadów atmosferycznych. W stacji oznaczonej numerem

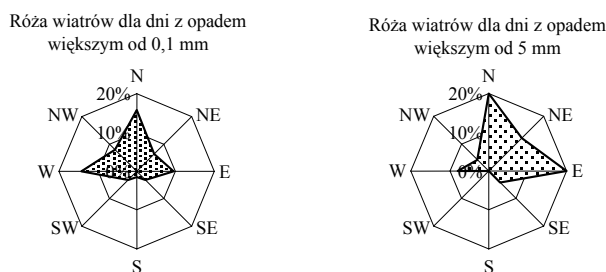
9 – Klebertówka (ryc. 1) w okresie od 15 maja do połowy listopada 2005 r. zanotowano summaryczny opad o wysokości 520 mm.

Ponad 80% całkowitej sumy tego opadu przyniosły sytuacje cyklonalne, przede wszystkim bruzda cyklonalna Bc, sytuacje z adwekcją: z północnego-wschodu NEc, z północy Nc i ze wschodu Ec.



Ryc. 2. Wysokość opadu zmierzona na posterunku nr 9 – Klebertówka przy różnych sytuacjach synoptycznych

Fig. 2. Amount of precipitation measured at station no. 9 – Klebertówka with different synoptic situations



Ryc. 3. Róża wiatrów dla dni z sumą opadu dobowego wyższą od 0,1 mm i 5 mm

Fig. 3. Wind rose for days with the 24 hour precipitation totals higher than 0,1 mm and 5 mm

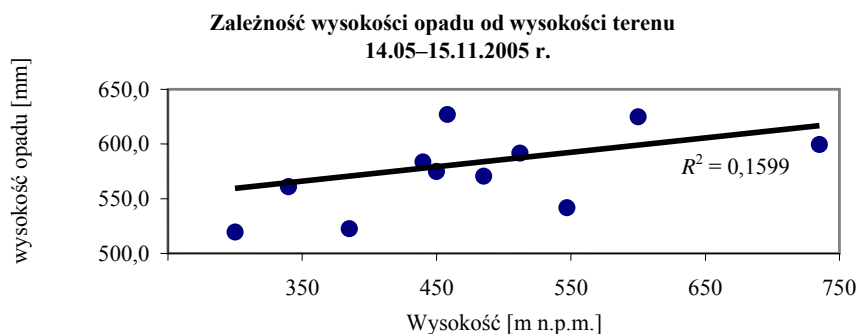
Obserwacje w terenie trwały 187 dni. W tym czasie wystąpiły 63 dni z opadem dobowym wyższym od 0,1 mm: 41 przy sytuacjach niżowych, 20 przy wyżach, 2 to sytuacje niezakwalifikowane. Analizując dni z opadem wyższym niż 5 mm, udział dni z sytuacją cyklonalną zmniejsza się do 18 dni, z antycyklonalną do 7 dni. Dla sumy opadu wyższej niż 10 mm występują tylko 3 dni przy sytuacjach wyżowych, a 14 dni przy typach cyklonalnych.

Najwięcej dni z opadem wyższym od 0,1 mm zanotowano przy adwekcji mas powietrznych z północy (16%), zachodu (14%) oraz przy bruzdzie cyklonalnej Bc – 27%, najmniej przy napływie mas z kierunków południowych, tylko (2%) (ryc. 3).

Przy bruździe cyklonalnej Bc oraz przy adwekcji mas powietrznych z północy, północnego wschodu i wschodu wystąpiło najwięcej dni z opadem wyższym od 5 mm (27 dni) i 10 mm (17 dni). Przy napływie mas powietrza z kierunków południowych nie zanotowano takich dni dla tych wysokości opadów (ryc. 3).

#### 4.2. Rozkład opadu na terenie zlewni Trzebuńki w 2005 r.

Do analiz wykorzystano wyniki pomiarów wysokości opadu pomierzone na deszczomierzach w profilach poprzecznym i podłużnym zlewni Trzebuńki.

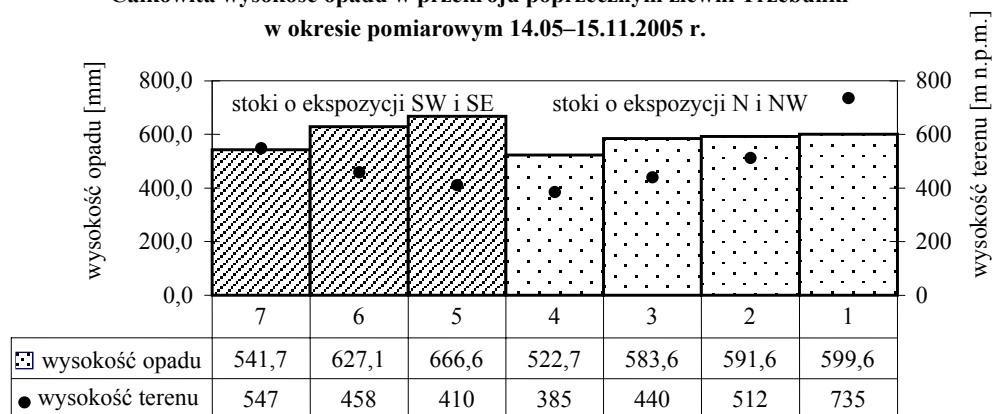


Ryc. 4. Zależność wysokości opadu od wysokości terenu dla wszystkich punktów pomiarowych w 2005 r.

Fig. 4. Relationship between the amount of precipitation and the height of the terrain for all the measurement points in 2005

Obserwując zależność wysokości terenu i całkowitej sumy opadów zanotowanej we wszystkich deszczomierzach (ryc. 4), nie stwierdzono korelacji między cechami.

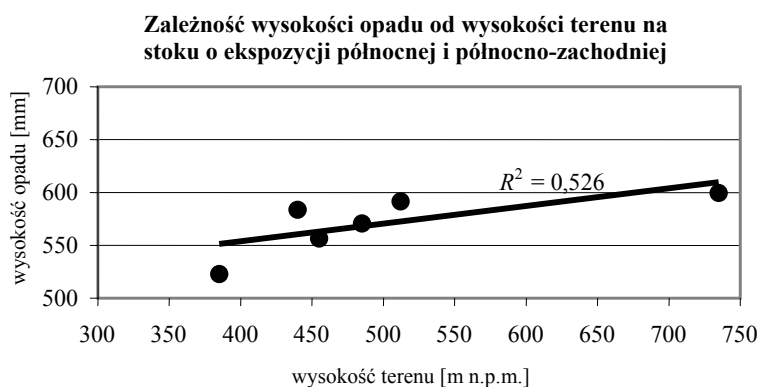
#### Całkowita wysokość opadu w przekroju poprzecznym zlewni Trzebuńki w okresie pomiarowym 14.05–15.11.2005 r.



Ryc. 5. Rozkład opadu w przekroju poprzecznym zlewni Trzebuńki w okresie pomiarowym 2005 r.

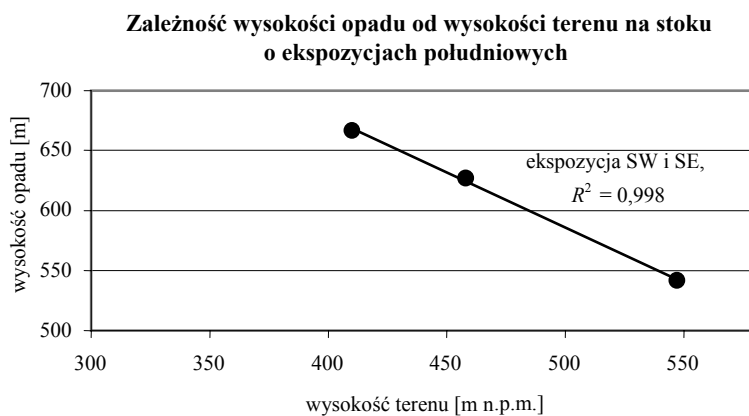
Fig. 5. Rainfall distribution along a transect across the catchment area of the Trzebuńka Stream in the 2005 measurement period

Po podziale danych ze względu na orografię w przekroju poprzecznym zlewni stwierdzono korelację między całkowitą sumą opadu z półrocza ciepłego a wysokością położenia stacji (ryc. 5–7). Usystematyzowanie wyników obserwacji z uwzględnieniem orografii umożliwiło przeprowadzenie dalszych analiz uzależnienia wysokości opadu od wysokości terenu.



Ryc. 6. Zależność wysokości opadu od wysokości terenu na stoku o ekspozycji N i NW

Fig. 6. Relationship between the amount of precipitation and the height of the terrain on the side of the hill exposed to the N and NW



Ryc. 7. Zależność wysokości opadu od wysokości terenu na stoku o ekspozycji SW i SE

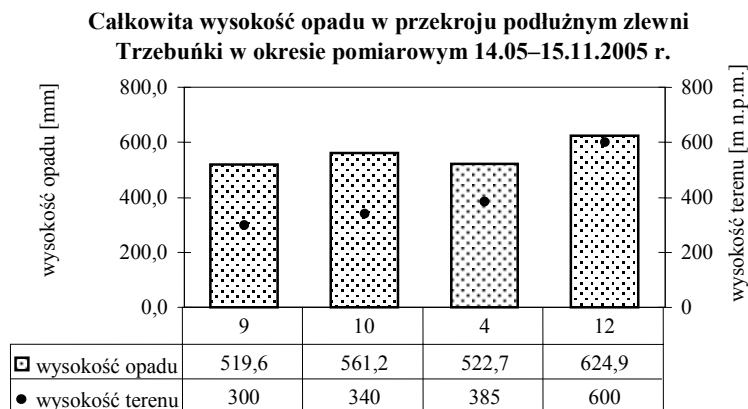
Fig. 7. Relationship between the amount of precipitation and the height of the terrain on the side of the hill exposed to the S and SE

Na stoku o ekspozycji SW i SE (ryc. 7) zaobserwowano wyraźny liniowy spadek wysokości opadu wraz ze wzrostem wysokości terenu. Średni pionowy gradient dla sumy opadu powyżej 400 m n. p. m. wyniósł  $-g = -9 \text{ mm}/10 \text{ m}$ . Pod szczytem stoku opad był niższy niż u podnóża, czego przyczyną jest prawdopodobnie powstawanie cienia opadowego

w górnych partiach stoku zawietrznej przy często występującej adwekcji z kierunków północnych.

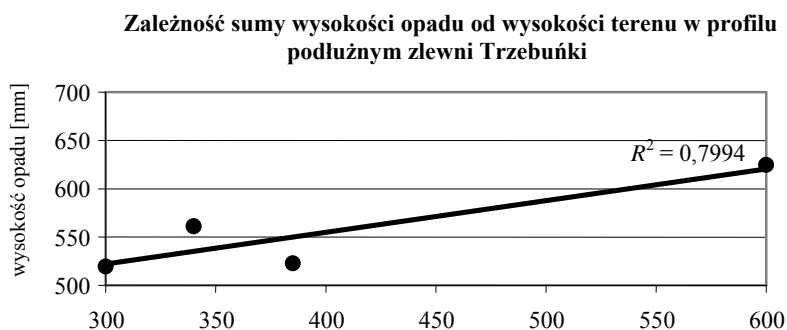
Po drugiej stronie doliny rzecznej na stokach o ekspozycji N i NW (ryc. 6) sumaryczna wysokość opadu rosła wraz z wysokością n.p.m. W dolnych partiach zbocza ten przyrost był gwałtowniejszy i wynosił  $g = 11 \text{ mm}/10 \text{ m}$ , a powyżej 440 m n.p.m. mniejszy  $g = 0,5 \text{ mm}/10 \text{ m}$ .

W profilu podłużnym (ryc. 8 i 9) zanotowano wzrost wysokości opadu wraz ze wzrostem wysokości terenu. W obszarze ujściowym suma opadu była najniższa, stopniowo rosła ku krańcom zachodnim zlewni. Średni pionowy gradient opadowy wyniósł  $g = 4 \text{ mm}/10 \text{ m}$ .



Ryc. 8. Rozkład opadu w przekroju podłużnym zlewni Trzebuńki w okresie pomiarowym 2005 r.

Fig. 8. Rainfall distribution on a longitudinal section of the catchment area of the Trzebuńka Stream in the 2005 measurement period



Ryc. 9. Zależność wysokości opadu od wysokości terenu w przekroju podłużnym zlewni Trzebuńki w okresie pomiarowym 2005 r.

Fig. 9. Relationship between the amount of precipitation and the height of the terrain on a longitudinal section of the catchment area of the Trzebuńka Stream



## 5. Podsumowanie i wnioski

Wyniki badań terenowych przeprowadzonych w 2005 r. należy potraktować jako wstępne, ze względu na małą liczbę stacji badawczych na terenie zlewni. Planowane jest zagęszczenie siatki pomiarowej i dalsze kontynuowanie obserwacji.

Na podstawie przytoczonych fragmentów literatury przedmiotu, przeprowadzonych badań terenowych i analiz można stwierdzić, że wraz ze wzniesieniem terenu powinna wzrastać też wysokość opadów. Jednak bardzo dużą rolę odgrywają też rzeźba terenu, orografia i czynniki synoptyczne. Mogą one różnicować rozkład opadu na poszczególnych stokach. Wilgotne masy powietrza przynoszące wysokie opady napływają nad teren Karpat Zachodnich przede wszystkim z północy i północnego zachodu. Stoki nawietrzne otrzymują większą sumę opadów, po stronie zawietrznej opad jest niższy. Zauważono zjawisko cienia opadowego, które obserwujemy po stronie zawietrznej, na stokach o ekspozycji południowo-zachodniej.

Podsumowując, zbadano, że na rozkład opadu na terenie zlewni podgórskiej duży wpływ wywiera topografia. Jednak nie zawsze można uznać, że wysokość opadu rośnie wraz ze wzrostem wysokości terenu, gdyż dużą rolę odgrywa tutaj orografia:

- na stokach o ekspozycji północnej i północno-zachodniej zanotowano wyższe sumy opadów, które nierównomiernie rosną ku szczytom,
- na stokach o ekspozycji południowo-zachodniej wystąpił wyraźny spadek wysokości opadu wraz ze wzrostem wysokości terenu.

W zlewniach podgórskich, nawet o niewielkich różnicach wysokości, występują znaczne różnice w wysokości sumy opadów zanotowanych na stokach o różnej ekspozycji, dlatego analizując rozkład opadu na terenie takiej zlewni, należy uwzględnić jej orografię i występujące tam typy cyrkulacji atmosferycznych.

## Literatura

- [1] Niedźwiedz T., *Kalendarz typów cyrkulacji dla Polski Południowej*, zbiór komputerowy dostępny w Katedrze Klimatologii, Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, Sosnowiec 2007.
- [2] Bajkiewicz-Grabowska E., Mikulski Z., *Hydrologia ogólna*, wyd. III, PWN, Warszawa 1999.
- [3] Barry R.G., Chorley R.J., *Atmosphere, weather and climate*, London 2003.
- [4] Hess M., *Piętra klimatyczne w polskich Karpatach Zachodnich*, Zeszyty Naukowe UJ CXV, Kraków 1965.
- [5] Hess M., *Problemy klimatologii gór i wyżyn*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne z. 32, Warszawa 1973.
- [6] Hess M., *Problemy klimatologii gór i wyżyn*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne z. 90, Kraków 1992.
- [7] Homa A., *Określenie opadów skorygowanych w hydrologicznej stacji badawczej w Stróży*, Badania naukowe w hydrologicznej stacji badawczej w Stróży PK, Politechnika Krakowska, 1995.
- [8] Lambor L., *Hydrologia inżynierska*, Arkady, Warszawa 1971.
- [9] Koźuchowski K., *Atmosfera, klimat, ekoklimat*, PWN, Warszawa 1998.

- [10] Niedźwiedz T., *Sytuacje synoptyczne i ich wpływ na zróżnicowanie przestrzenne wybranych elementów klimatu w dorzeczu Górnej Wisły*, Uniwersytet Jagielloński, Kraków 1981.
- [11] Ozga-Zielińska M., Brzeziński J., *Hydrologia stosowana*, PWN, Warszawa 1997.
- [12] Rawa Z., *Metrologia synoptyczna*, IMGW, Warszawa 2004.
- [13] Rózdżyński K., *Miernictwo meteorologiczne*, t. 2, IMGW, Warszawa 1996.
- [14] Trepińska J., *Górskie klimaty*, Wydawnictwo Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 2002.
- [15] Ziarko J., *Podstawy analizy i oceny pogody w lotnictwie*, Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych, Katedra Zastosowań Bojowych, Dęblin 1997.
- [16] Zwieriew A.S., *Meteorologia synoptyczna*, WKiŁ, Warszawa 1965.