

Ćwiczenie 4-6

WYZNACZANIE ŚREDNIEGO OPADU W ZLEWNI

- CEL:**
- Poznanie metod wyznaczania średniego opadu w zlewni
 - Kształcenie umiejętności korzystania z Roczników “Opady Atmosferyczne” i na ich podstawie uzyskiwania danych o opadach na stacjach pomiarowych oraz wyznaczania średniego opadu w zlewni na przykładzie zlewni Białej Łądeckiej
- METODA:** Praca z Rocznikiem Opady Atmosferyczne i mapą topograficzną.
- MATERIAŁY:** Mapa topograficzna w skali 1:100 000, kalka, kalkulator, planimetr, Rocznik Opady Atmosferyczne.
- LITERATURA:**
1. Bajkiewicz-Grabowska E., Magnuszewski A., Mikulski Z.: 1987 - *Przewodnik do ćwiczeń z hydrologii ogólnej*. PWN, Warszawa, s. 120-128.
 2. Bethlahmy N.: 1976 - *The two-axis method: A new method to calculate average precipitation over a basin*. Hydrological Sciences Bulletin 21, pp 379-385.
 3. Court A., Bare M. T.: 1984 - *Basin precepitation estimates by Bethlahmy's two-axis method*. Journal of Hydrology 68, pp 149-158.
 4. Dynowska I., Tlalka A.: 1982 - *Hydrografia*. PWN, Warszawa, s. 253-259.

WPROWADZENIE

Woda dociera na powierzchnię zlewni w postaci opadów. Za miarę opadu atmosferycznego przyjmuje się grubość warstwy wody, która spadła na powierzchnię ziemi w postaci opadów i wyraża się ją w mm. Pomiar polega na wyznaczeniu ilości spadłej wody, uchwyconej przez przyrząd. Ponieważ pomiary wysokości opadów przeprowadza się punktowo na stacjach i posterunkach opadowych więc niezbędne jest przeprowadzenie ich ekstrapolacji na obszar zlewni. Przejście od wartości punktowych do średniego opadu w zlewni może być dokonane różnymi metodami, których wybór uzależniony jest od rzeźby terenu i od skali opracowania. Do najpopularniejszych należą: metoda średniej arytmetycznej, metoda wieloboków, metoda podwójnych osi, metoda izohiet i metoda hipsometryczna.

METODA ŚREDNIEJ ARYTMETYCZNEJ

Jest to najprostsza metoda. Polega na przypisaniu zlewni średniego arytmetycznego opadu ze stacji położonych na jej obszarze i w najbliższym otoczeniu. Średni opad oblicza się ze wzoru:

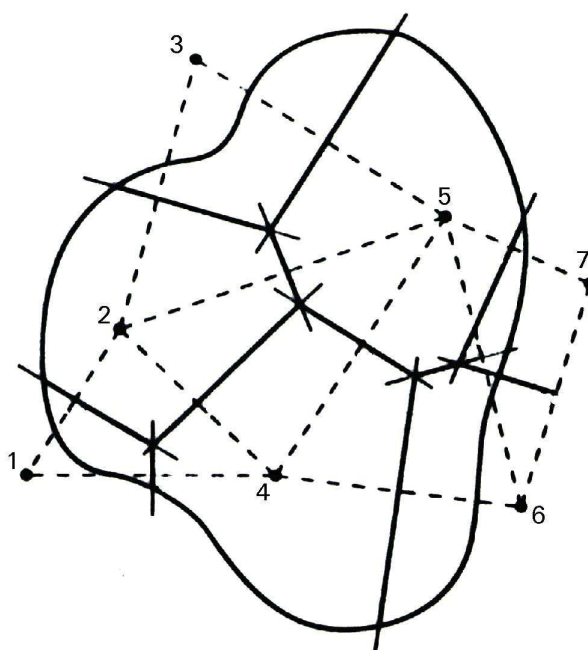
$$\bar{P} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N P_n \quad (4.1)$$

gdzie: \bar{P} - średni opad na obszarze zlewni, N - liczba stacji, P_n - opad na stacji n , gdzie $n=1,2,\dots,N$.

Jest to metoda przybliżona. Stosuje się ją wówczas, gdy nie posiada się odpowiedniej ilości i równomiernego rozmieszczenia posterunków opadowych na obszarze zlewni. Wówczas zastosowanie którejś z niżej opisanych metod nie pozwala na otrzymanie wiarygodnych wyników średniego opadu i dlatego w tych przypadkach do oszacowania opadów wykorzystać można metodę przybliżoną.

METODA WIELOBOKÓW (WIELOBOKÓW THIESSENA)

Obliczenie wartości opadu metodą wieloboków polega na podziale obszaru zlewni na wieloboki (ryc. 4.1). Na podkład kartograficzny nanosi się wszystkie posterunki opadowe leżące na terenie zlewni i w jej bezpośrednim sąsiedztwie. Poszczególne sąsiadujące stacje łączy się za pomocą odcinków linii prostych i ustala się symetralne tych odcinków a więc linie dzielące na połowę wspomniane odcinki. Symetralne zamykają obszary przynależne do poszczególnych posterunków opadowych. Tak więc wewnątrz każdego wieloboku znajduje się jeden posterunek opadowy.



RYCINA 4.1. Schemat wydzielenia wieloboków Thiessena

W obrębie tak wyznaczonego obszaru opad jest równy opadowi pomierzonemu na stacji przyporządkowanej do danego wieloboku. Wzór na średni opad w zlewni jest następujący:

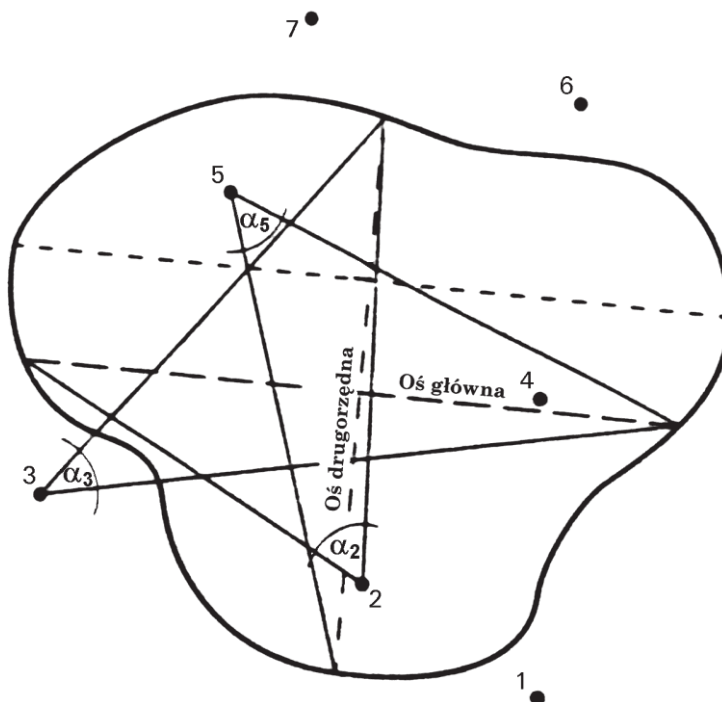
$$\bar{P} = \frac{\sum_{n=1}^N A_n P_n}{\sum_{n=1}^N A_n} = \frac{\sum_{n=1}^N A_n P_n}{A} \quad (4.2)$$

gdzie: A_n - powierzchnia wieloboku, P_n - opad na stacji w obrębie danego wieloboku, A - powierzchnia zlewni, N - ilość wieloboków.

Metodę wieloboków powinno się stosować tylko w odniesieniu do obszarów o niezbyt urozmaiconej rzeźbie (zlewnie nizinne).

METODA PODWÓJNYCH OSI (METODA BETHLAHMYA)

Jest to stosunkowo łatwa i szybka w użyciu metoda. W pierwszej kolejności na obszarze zlewni rysuje się najdłuższą możliwą do przeprowadzenia linię prostą (ryc. 4.2). Następnie prowadzi się do niej symetralną, która określana jest mianem osi drugorzędnej. Główną osią jest symetralna do linii drugorzędnej. Następnie rysuje się dwie linie wychodzące od każdej stacji opadowej położonej na jej obszarze i w najbliższym sąsiedztwie w ten sposób aby łączyły one daną stację z dalszymi końcami osi głównej i drugorzędnej.



RYCINA 4.2. Schemat metody podwójnych osi.

Kąt jaki tworzą tak wyznaczone linie α_n jest zawsze mniejszy od 90° . Następnie sumuje się kąty wyznaczone w ten sposób dla wszystkich stacji:

$$\alpha = \sum_{n=1}^N \alpha_n \quad (4.3)$$

Średni opad w zlewni dany jest wzorem:

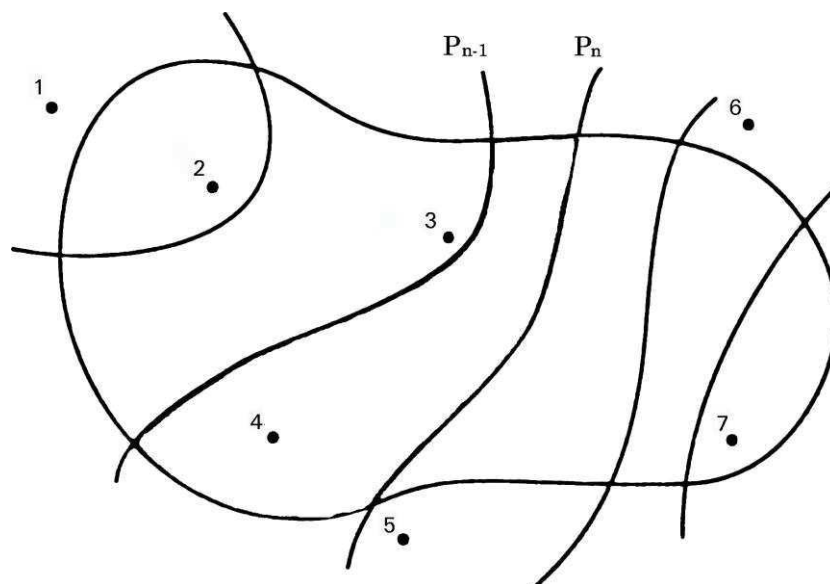
$$\bar{P} = \frac{\sum_{n=1}^N \alpha_n P_n}{\alpha} \quad (4.4)$$

gdzie: N - ilość stacji pomiarowych.

Metoda ta, podobnie jak poprzednia powinna być wykorzystywana dla zlewni nizinnych o niezbyt urozmaiconej powierzchni terenu. Jej zaletą jest fakt, że uwzględnienie dodatkowej stacji lub wyeliminowanie jakiegokolwiek z wziętych pod uwagę nie pociąga za sobą konieczności nowej interpretacji rozkładu opadów.

METODA IZOHIET

Izohiety są to linie łączące punkty o jednakowej wysokości opadów. Izolinie można wykreślić ręcznie lub oprzeć się na jednej z wielu metod interpolacyjnych. Ręcznie izohiety wykreśla się poprzez interpolację między wartościami opadów na poszczególnych stacjach opadowych, w nawiązaniu do rzeźby terenu (zgodnie z przebiegiem poziomicy). W obszarze nizinnym, gdzie zmienność opadów jest mniejsza, izohiety można prowadzić za pomocą interpolacji liniowej.



RYCINA 4.3. Schemat metody izohiet.

Dla każdej z wyznaczonych tak powierzchni przyjmuje się wartość opadu będącą średnią arytmetyczną dwóch izohiet ograniczających tę powierzchnię (ryc. 4.3). Średni opad w zlewni oblicza się więc zgodnie z wzorem:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{n=1}^N A_n \frac{P_{n-1} + P_n}{2}}{\sum_{n=1}^N A_n} \quad (4.5)$$

gdzie: A_n - powierzchnia pomiędzy sąsiednimi izohietami, P_{n-1} i P_n - wartości kolejnych izohiet, N - ilość wydzielonych pól.

W przypadku pól skrajnych, to znaczy takich, które ograniczone są izohietą o najniższej lub najwyższej wartości i granicą zlewni, sposób obliczenia opadu zależy od przebiegu następnych (poprzednich) izohiet w pobliżu analizowanego obszaru. Jeżeli kolejna izohieta położona jest w pobliżu granicy zlewni to obliczenia prowadzone są zgodnie z powyższym wzorem. Natomiast jeżeli kolejna izohieta położona jest daleko od granicy zlewni wówczas opad w danym polu oblicza się mnożąc powierzchnię tego pola przez wartość opadu wyznaczoną przez ostatnią izohietę znajdującą się na obszarze zlewni.

Metoda izolinii jest szczególnie zalecana dla obszarów górskich, chociaż z powodzeniem może być wykorzystywana również na obszarach nizinnych.

Wiele kontrowersji budzi u wielu hydrologów wykorzystanie technik komputerowych (statystycznych) umożliwiających przestrzenną interpretację rozkładu opadów i wyznaczanie na tej

podstawie średniego opadu w zlewni. Jednak przy w miarę równomiernym rozłożeniu punktów pomiarowych na obszarze zlewni, a w obszarach górskich również w poszczególnych przedziałach wysokościowych, metody te dają zadawalające wyniki. Są one obiektywne, opierają się na statystycznych podstawach a więc uwzględniają zmienność przestrzenną rozkładu opadów, czego na przykład pozbawiona jest metoda hipsometryczna. Niestety podstawową wadą istniejącej sieci obserwacji opadów (IMGW) jest fakt, że w obszarach górskich większość stacji ograniczona jest do dolin rzecznych (obszarów zamieszkałych), a jedynie nieliczne usytuowane są w wyższych partiach stoków, czy w obszarach szczytowych. Z tego względu w tych rejonach wykorzystanie komputerowych metod wyznaczania izohiet i na ich podstawie określanie średniego opadu w zlewni może prowadzić do znacznych błędów. W takich przypadkach należy poprzestać na ręcznym wykreśleniu izohiet, co jednak obarczone jest dużym subiektywizmem, lub wykorzystać inną metodę, na przykład hipsometryczną.

Metody interpolacyjne stosowane w technice komputerowej sprowadzają sieć nierówno rozmieszczonych punktów do sieci regularnej a następnie na jej podstawie dokonywana jest interpolacja izoliniowa. Do najbardziej popularnych metod interpolacyjnych należą:

- » metoda odwróconych odległości
- » metoda najmniejszej krzywizny
- » metoda powierzchni trendu
- » metoda krigingu

Sposób ich zastosowania znaleźć można w podręcznikach z geostatystyki oraz w pracy Shawa i Lynna (1972).

METODA HIPSOMETRYCZNA

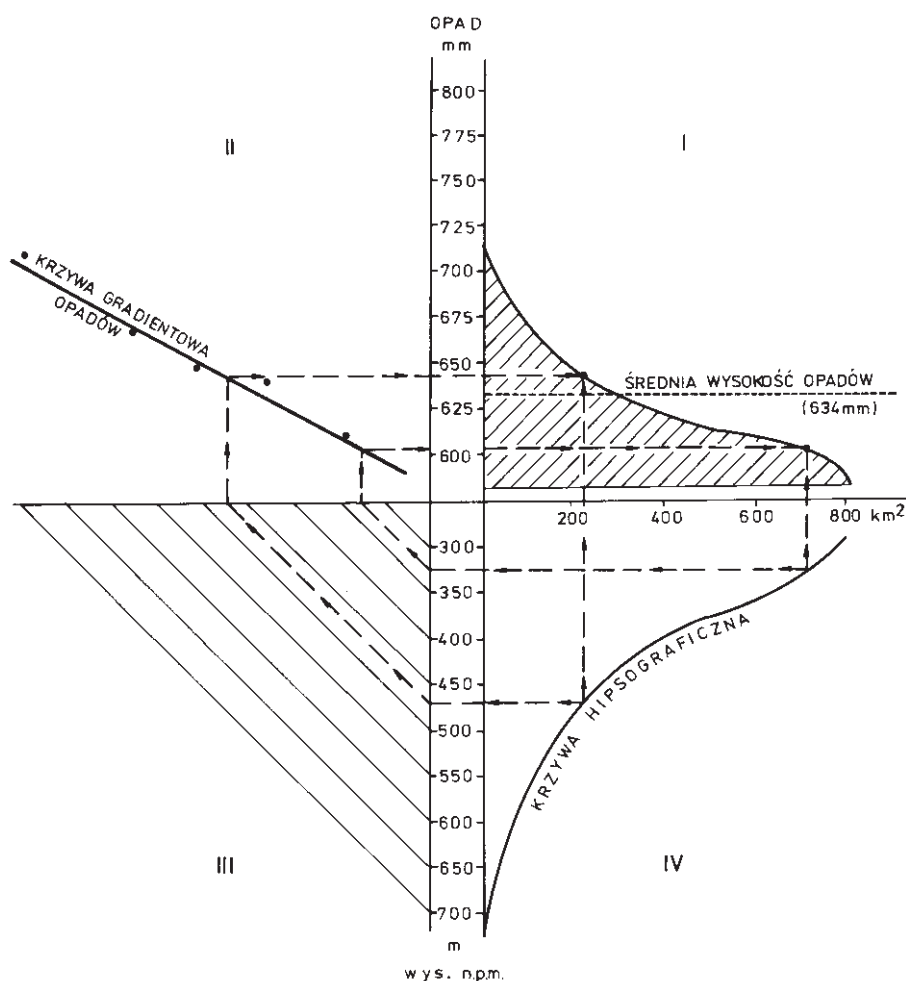
W metodzie tej uwzględnia się zależność wysokości opadów od wzniesienia nad poziom morza. Na podstawie mapy poziomicowej ustala się krzywą hipsograficzną i nanosi się ją na IV ćwiartkę układu współrzędnych (ryc. 4.4). W II ćwiartce na osi odciętych oznaczone jest wzniesienie stacji opadowych (m. n.p.m.), a na osi rzędnych oznaczona jest wartość opadów. W tej części wykresu nanosi się punkty wynikające z wysokości stacji opadowych i zmierzonych wysokości opadów, a następnie interpoluje się krzywą wyrażającą gradient opadów w badanej zlewni. Najczęściej interpolacji dokonuje się za pomocą linii prostej chociaż może być to również zależność krzywoliniowa.

Określenie średniego opadu w zlewni prowadzi się metodą wykreślną poprzez rzutowanie z dowolnego punktu krzywej hipsograficznej bezpośrednio na ćwiartkę I oraz na tę samą ćwiartkę ale przez ćwiartkę II i III. Tok postępowania ilustruje rysunek 4.4, na którym przeprowadzono tylko dwa rzutowania z krzywej hipsograficznej. Rzutowań takich dokonuje się dowolnie dużo - tyle, aby z otrzymanych punktów w ćwiartce I można było wykreślić krzywą. Średni opad w zlewni ustala się przez splanimetrowanie pola (cm²) pod krzywą w I ćwiartce (powierzchnia zasrafiowana) i podzielenie tego pola przez podstawę (cm). Otrzymałą wartość odkłada się na osi rzędnych od końca wykresu krzywej i odczytuje się w ten sposób średni opad.

Uproszczona wersja tej metody, przy której nie jest konieczne planimetrowanie, polega również na wykreśleniu krzywej hipsograficznej i krzywej zależności wysokości opadu od wysokości położenia punktu pomiarowego. Następnie wybiera się interwał wysokości Δh , przy pomocy którego dokonuje się podziału deniwelacji zlewni na przedziały o szerokości Δh . Dla przedziałów tych odczytuje się z krzywej hipsograficznej powierzchnie jakie zajmują na obszarze zlewni A_n , $n=1,2,3,\dots,N$. Dla wysokości środkowej każdego z przedziałów z krzywej zależności opadu od wysokości odczytuje się wysokość opadu P_n . Średni opad w zlewni oblicza się zgodnie ze wzorem:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{n=1}^N P_n \cdot A_n}{A} \quad (4.6)$$

gdzie: N - ilość przedziałów.



RYCINA 4.4. Schemat metody hipsometrycznej.

PODSUMOWANIE METOD

Wybór metody określenia średnich opadów na obszarze zlewni uzależniony powinien być od charakteru obszaru (zlewni), jakości danych (ilości i rozłożenia punktów pomiarowych) oraz od okresu dla którego wyznacza się opad. Dla obszarów górzystych najbardziej przydatna jest metoda izohiet i metoda hipsometryczna. Jeżeli jednak na obszarze zlewni obserwuje się równomierne rozłożenie punktów zarówno w poszczególnych przedziałach wysokościowych jak i przestrzenne, to możliwe jest wykorzystanie także pozostałych omówionych wyżej metod.

W polskich stacjach meteorologicznych pomiary opadów prowadzi się zwykle za pomocą deszczomierza Hellmana. Wyniki uzyskane z obserwacji opadów atmosferycznych, prowadzonych zgodnie z obowiązującą na terenie Polski instrukcją dla obserwatorów meteorologicznych, są zaniżone (Kędziora 1995). Prawdziwe sumy opadów są wyższe niż zmierzone. Wynika to z wpływu wielu czynników. W przypadku pomiarów prowadzonych deszczomierzem Hellmana największe błędy pomiaru powoduje wiatr. Ustawienie deszczomierza na pewnej wysokości nad ziemią wpływa na zaburzenie i zwiększenie prędkości opływającego go strumienia powietrza. Powoduje to uniesienie części opadu przez ruchy turbulencyjne powietrza i zmniejszenie liczby kropeł deszczu wpadających do otworu recepcyjnego deszczomierza. Błędy pomiaru opadu związane są również z parowaniem wody z deszczomierza oraz z pochłanianiem części wody przez wewnętrzne ścianki deszczomierza (błąd adhezji lub zwilżania). Korygowanie opadów jest problematyczne i budzi wiele wątpliwości oraz kontrowersji. Na zmierzoną wysokość opadu wpływ mają nie tylko warunki atmosferyczne ale również usytuowanie deszczomierza, jego konstrukcja (Lenart 1980), złożoność

formowania się opadów, szczególnie w obszarach górskich i wiele innych czynników, które trudno jest określić bez szczegółowych badań. Szczególnie trudne jest przeprowadzenie korekcji opadów w obszarach górskich, gdzie bardzo ważne hydrologicznie są opady poziome (szron, mgła).

Na podstawie badań porównawczych (pomiaru opady na wysokości 1 m i przy powierzchni ziemi) i obliczeń Chomicz (1976) ustalił, wykorzystując dane z wielolecia 1951-65, średnie miesięczne poprawki opadu dla deszczomierza Hellmana ze względu na wiatr, parowanie z deszczomierza jak i zwilżanie jego ścianek. Łączne wartości poprawek zawiera tabela 4.1. Problemy związane z korekcją opadów omówione są również między innymi w pracach: Kwiatkowski (1978), Jaworski (1979), Lenatr (1980), Woźniaka (1991).

TABELA 4.1. Średnie poprawki dla opadów w Polsce (w %)

Wysokość stacji m n.p.m.	Miesiąc											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
< 250	27,7	26,8	26,0	23,1	19,7	16,4	14,1	15,1	18,6	20,9	22,0	25,0
250-500	25,4	24,8	24,0	20,2	15,8	12,9	11,2	13,1	17,0	18,8	19,8	23,8
500-1000	23,1	22,6	22,3	17,4	13,6	10,0	9,2	10,8	15,0	17,4	18,0	22,1

ZADANIE

1. Na podstawie Roczników Opady Atmosferyczne i innych dostępnych źródeł danych należy wybrać posterunki opadowe z obszaru zlewni Białej Łądeckiej i jej pobliza i nanieść na mapę zlewni.
2. Dla pięciolecia 1976-80 (lata hydrologiczne) oraz roku 1976 wynotować wysokości opadów.
3. Obliczyć średni opad dla tego pięciolecia metodą średniej arytmetycznej, izohiet, podwójnych osi i metodą hipsometryczną (bez uwzględniania poprawek).
4. Porównać wyniki.
5. Metodą najbardziej wiarygodną obliczyć opad dla roku 1976.

SPRAWOZDANIE Z ĆWICZENIA

Sprawozdanie powinno zawierać:

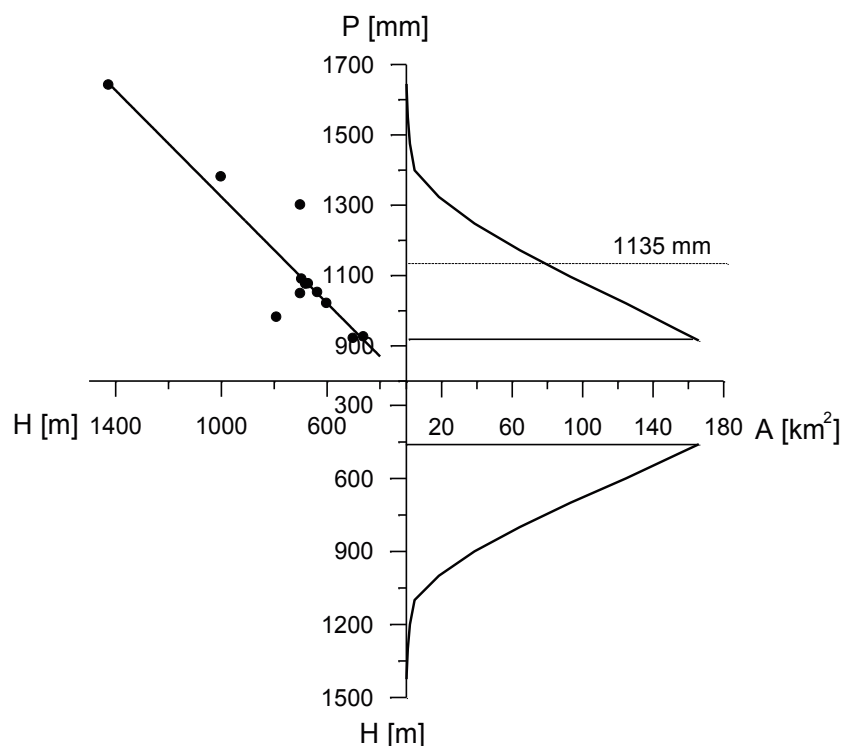
- Tabelę z rocznymi (w układzie hydrologicznym) wartościami opadów w analizowanym okresie i wartością średnią na wybranych punktach obserwacyjnych.

Zestawienie opadów na obszarze Masywu Śnieżnika w latach 1976-80 (lata hydrologiczne)

Posterunek	Wysokość położenia [m n.p.m.]	Opad [mm]					
		1976	1977	1978	1979	1980	średni
Bielice	695	1062	1447	856	876	1205	1089
Bolesławów	600	1012	1121	799	946	1220	1020
Kamienica	700	1197	1576	1147	1100	1479	1300
Kletno	680	1103	1290	875	979	1127	1075
Łądek Zdrój	461	832	1184	706	907	997	925
Marcinków	790	912	1212	797	952	1034	981
Międzygórze	700	992	1266	888	893	1199	1048
Nowa Morawa	670	1103	1351	825	932	1169	1076
Nowy Gierałtów	635	1005	1347	803	916	1182	1051
Stronie Śląskie	500	947	1104	678	901	975	921
Śnieżnik	1425	1279	1879	1390	1665	1991	1641
Wielki Lej	1000	1205	1806	1267	1227	1393	1380

Roczniki Opadów Atmosferycznych jak i Roczniki Meteorologiczne publikowane są w układzie lat kalendarzowych, liczonych od 1.I do 31.XII. Bilanse natomiast przeprowadza się najczęściej w układzie lat hydrologicznych, liczonych od 1.XI jednego roku do 31.X następnego roku. Taki podział czasu lepiej zgadza się z przebiegiem zjawisk cyklu odpływowego. Zima w naszym klimacie zaczyna się w jednym z dwóch ostatnich miesięcy roku, a odpływ wód opadowych utrudniony w zimie z powodu mrozu odbywa się dopiero w ciągu wiosennych miesięcy następnego roku kalendarzowego. Posługując się hydrologicznym podziałem czasu uzyskuje się to, że początek i koniec całego cyklu zjawisk hydrologicznych zimowych i wiosennych zamyka się w jednym i tym samym roku odpływowym, czyli hydrologicznym (Dębski 1970). Rok hydrologiczny dzieli się na dwa półrocza: zimowe od 1.XI do 31.IV i letnie od 1.V do 31.X.

- Konstrukcja mapy izohiet, mapy głównych osi Bethlahmya oraz konstrukcja graficzna do metody hipsometrycznej z wyznaczonymi charakterystykami do obliczenia średniego opadu na obszarze zlewni.



Wyznaczenie średniego opadu na obszarze zlewni Białej Łądeckiej metodą hipsometryczną.

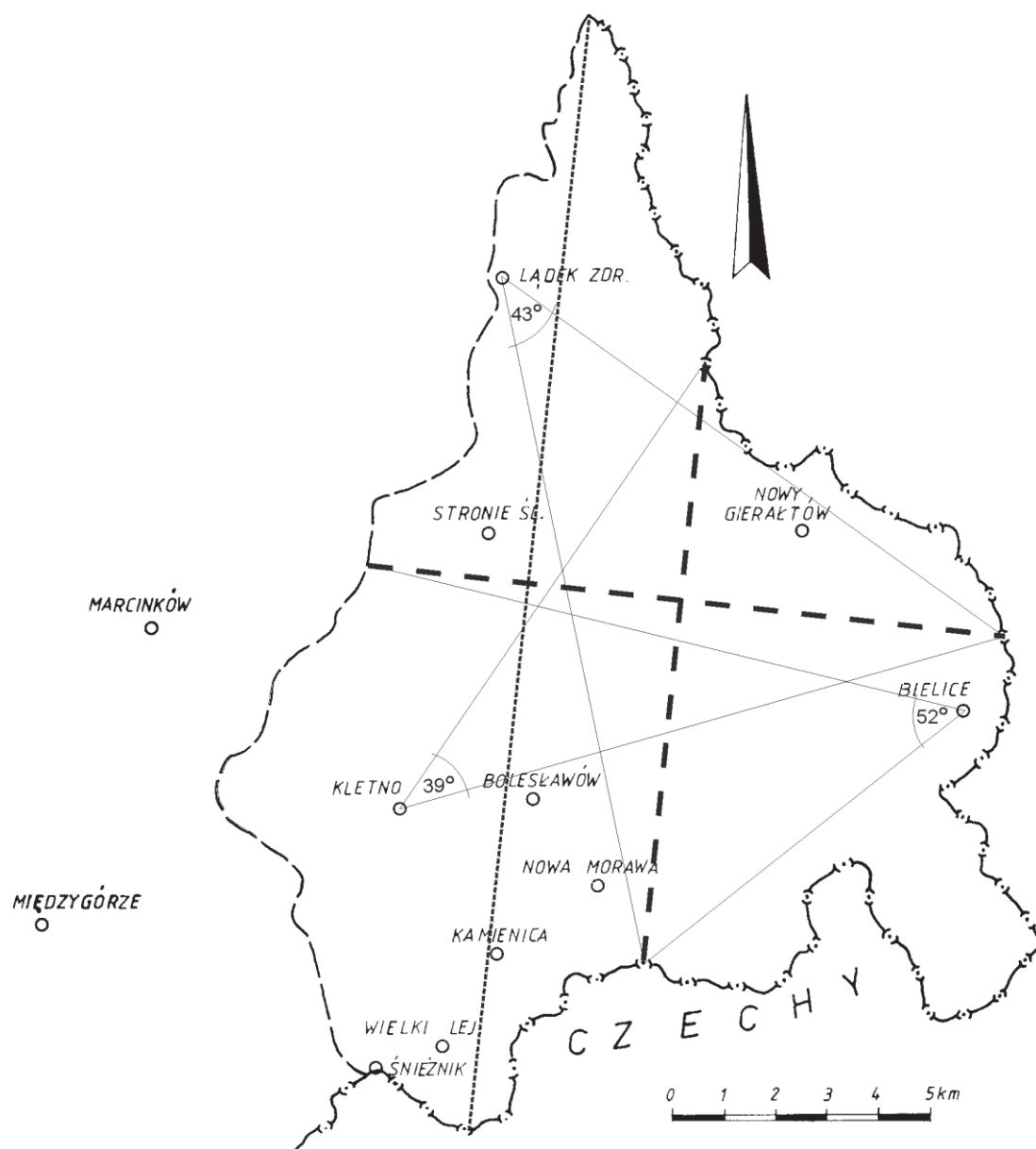
- Zestawienie wyników obliczeń średniego rocznego opadu na obszarze zlewni Białej Łądeckiej w latach 1976-1980.

Średni roczny opad na obszarze Zlewni Białej Łądeckiej po profil w Łądku Zdroju w latach 1976-80

Metoda	średni opad [mm]
Średniej arytmetycznej	1126
Podwójnych osi	1102
Izohiet	1064
Hipsograficzna	1135

- Wnioski (Która z metod daje najbardziej wiarygodne wyniki?)
- Obliczenie średniego opadu w zlewni dla roku 1976.

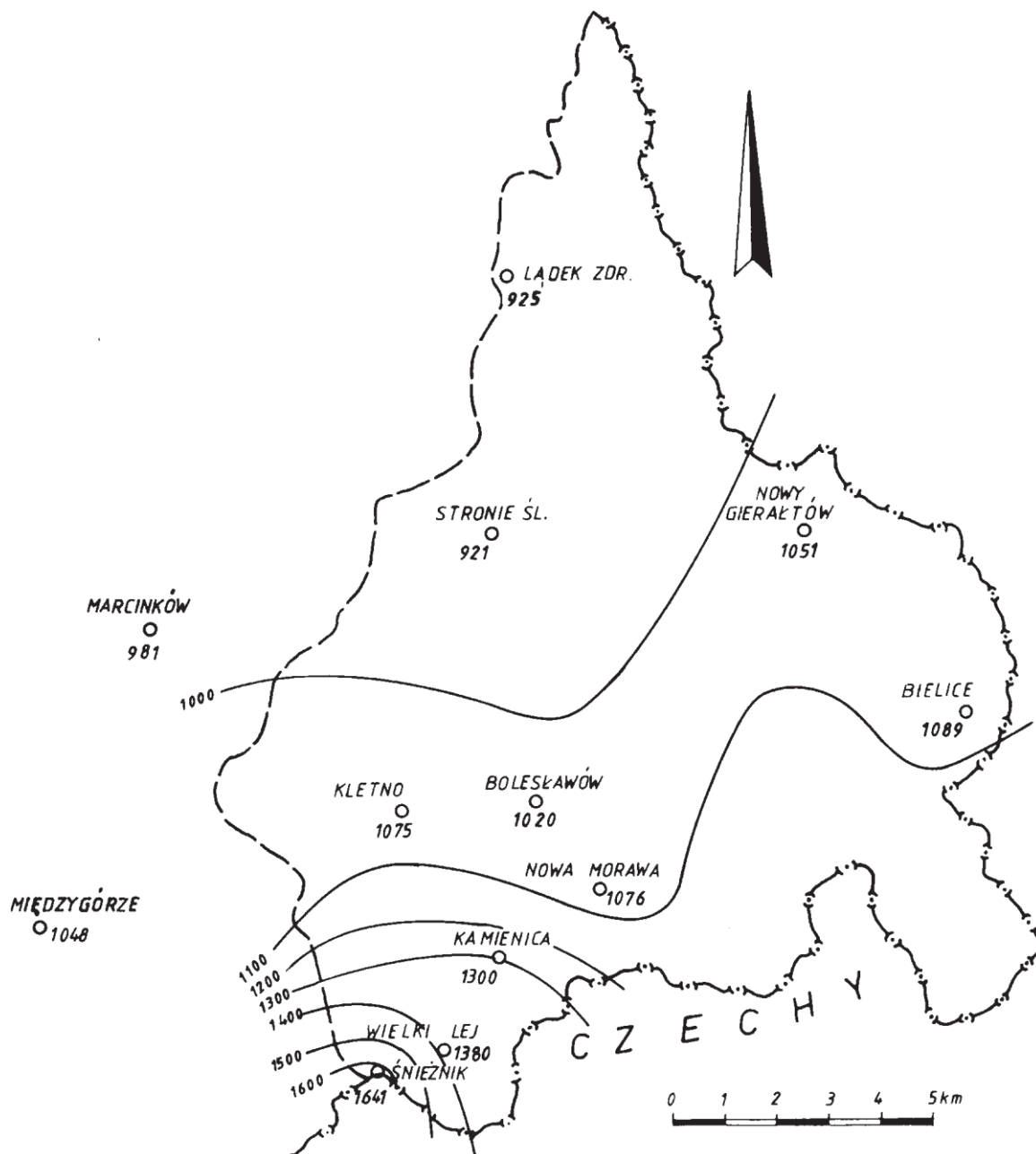
Wyznaczony metodą hipsometryczną opad na obszarze zlewni Białej Łądeckiej po Łądek Zdrój w roku 1976 wynosi 1039 mm.



Posterunek opadowy	Kąt α_n [°]	Opad 1976-80 P_n [mm]	Iloczyn $\alpha_n \cdot P_n$
Międzygórze	23	1048	24104
Marcinków	26	981	25506
Nowa Morawa	44	1076	47344
Bielice	52	1089	56628
Nowy Gierałtów	66	1051	69366
Stronie Śląskie	59	921	54339
Łądek Zdrój	43	925	39775
Śnieżnik	30	1641	49230
Wielki Lej	32	1380	44160
Kamienica	38	1300	49400
Bolesławów	47	1020	47940
Kletno	39	1070	41925
Suma	499		549717

$$\hat{P} = \frac{549717}{499} = 1102 \text{ mm}$$

Wyznaczenie średniego opadu w zlewni Białej Łądeckiej metodą podwójnych osi



Przedział [mm]	Średni opad [mm]	Powierzchnia A_n [km ²]	Opad x Powierzchnia
<1000	950	56,4	53580
1000-1100	1050	58,7	61635
1100-1200	1150	36,4	41860
1200-1300	1250	4,7	5875
1300-1400	1350	6,8	9180
1400-1500	1450	1,8	2610
1500-1600	1550	1,0	1550
>1600	1600	0,2	320
Suma		166	176610

$$\hat{P} = \frac{176610}{166} = 1064 \text{ mm}$$

Wyznaczenie średniego opadu w zlewni Białej Łądeckiej metodą izohiet