

PORÓWNANIE METOD OCENY OPADÓW RZECZYWISTYCH W KRAJACH ZLEWISKA
MORZA BAŁTYCKIEGO

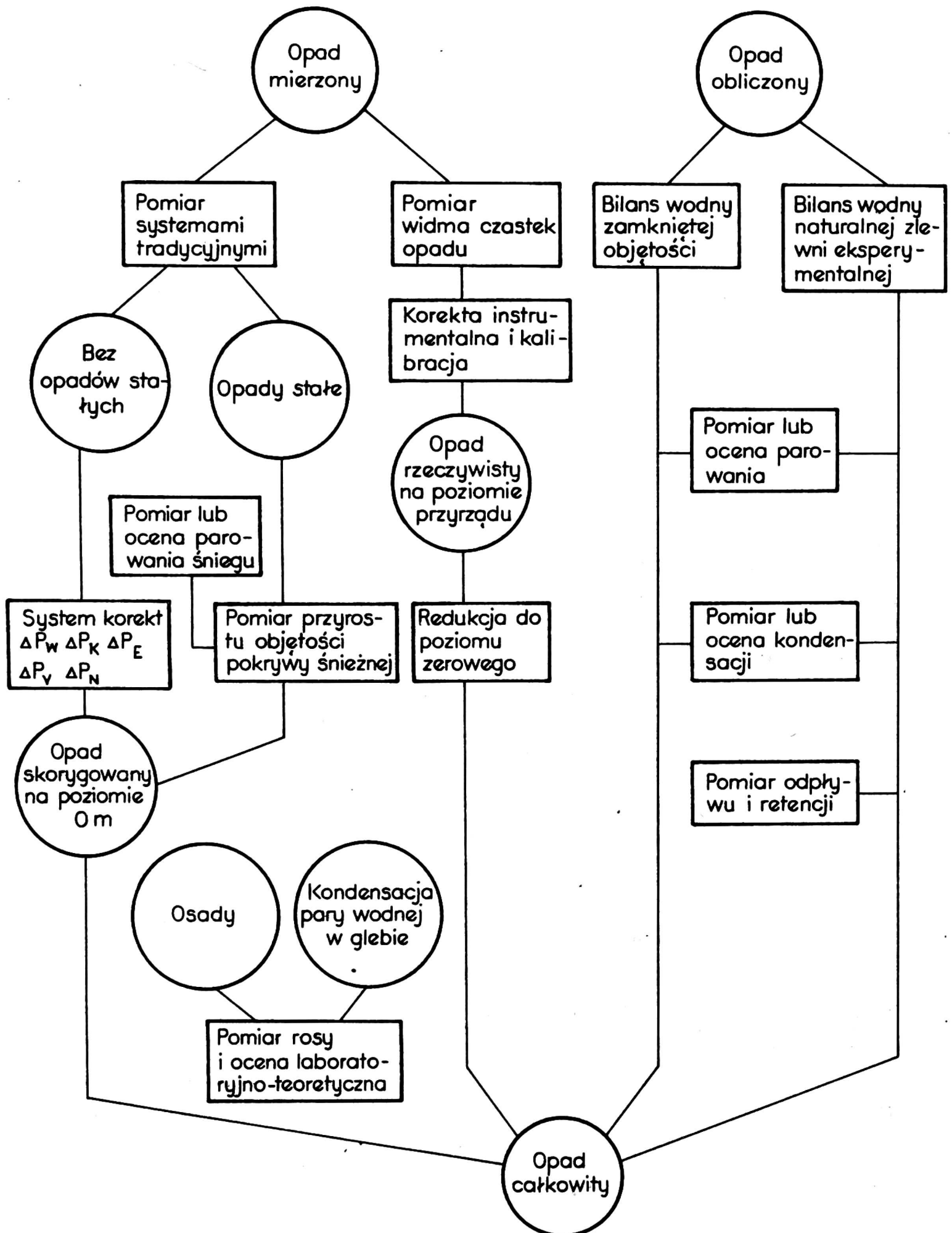
Witold Lenart

Instytut Nauk Fizyczno-Geograficznych
Uniwersytet Warszawski

Z opadem rzeczywistym łączy się wiele nie do końca wyjaśnionych problemów, niekiedy nawet niezbyt jasno zdefiniowanych. Dlatego przed przystąpieniem do zasadniczego tematu, konieczne jest krótkie wprowadzenie do teorii opadu rzeczywistego. Będzie to analiza postępowania przy wyznaczaniu rzeczywistych, skorygowanych i całkowitych wartości opadu (rys. 1). Ostateczną wielkością jest opad całkowity rozumiany jako pionowy, skierowany w dół strumień wody w stanie ciekłym lub stałym, mierzony na poziomie powierzchni lądów lub oceanów. Opad rzeczywisty, czyli teoretyczna suma opadu, bez uwzględnienia osadów, docierająca do powierzchni gruntu, jest głównym przedmiotem tych rozważań.

W 1981 roku skończyła się wielka międzynarodowa praca badawcza dotycząca bilansu wodnego Bałtyku. Uczestniczyły w niej, w ramach Międzynarodowego Programu Hydrologicznego UNESCO, zespoły ekspertów z siedmiu państw bałtyckich pod kierunkiem polskiego koordynatora prof. Zdzisława Mikulskiego [6]. Prawie 10-letni okres pracy zespołu, 7 oficjalnych narad oraz liczne spotkania specjalistów wąskotematycznych świadczą o wielu trudnych do rozwiązania problemach warunkujących prawidłowe zestawienie bilansu. Jednym z tych problemów jest opad atmosferyczny, jego rzeczywista wysokość nad zlewiskiem oraz akwenem wraz z odpowiednio precyzyjnie określoną zmiennością sezonową i przestrzenną.

Zadaniem grupy roboczej, zajmującej się zagadnieniem opadu atmosferycznego, w której zabrakło jedynie uczestnika z NRD, było zebranie wszelkiego dostępnego materiału pluwiometrycznego z obszaru zlewiska za okres normalny (1931-1960), uzyskanie takiego samego materiału dla okresu badań porównawczych (Pilot Study Year VII 1975 - XII 1976) oraz zestawienie w wyniku uzgodnień metodycz-



Rys. 1. Schemat przetwarzania opadu mierzonego w opad całkowity

nych dla tych okresów sumy opadu rzeczywistego w odniesieniu do 100-200 km pasa wybrzeży oraz akwenu Bałtyku. Intensywne prace metodyczne rozpoczęły się od czwartego posiedzenia ekspertów w Häs-selby pod Sztokholmem i były kontynuowane w następnych latach (V posiedzenie - 1977 r. w Rostocku, VI posiedzenie - 1979 r. w Hana-sari pod Helsinkami). W końcu 1979 roku zorganizowano w Kilonii specjalną naradę poświęconą tematyce opadu i parowania.

Materiał pochodzący z uzgodnionej na wstępie pełnej wymiany doświadczeń metodycznych oraz z dyskusji pozwala przedstawić główne problemy metodyki pomiaru i oceny opadu rzeczywistego w kra-jach bałtyckich.

Na wstępie wypada przypomnieć, że wokół Morza Bałtyckiego opad mierzony jest różnymi lub różnie ustawionymi przyrządami. Na przy-kład deszczomierz Hellmanna (Polska, NRD i Dania) jest umieszczany w Danii na wysokości 1,5 m. Szwedzki Instytut Hydro-Meteorolo-giczny opracował własny typ deszczomierza (SMHI), który różni się od deszczomierza Hellmanna brakiem zbiorniczka wstawianego (woda zbiera się w naczyniu zewnętrznym) oraz osłoną aerodynamiczną o dwóch kątach nachylenia blaszanego płaszcza. Deszczomierz ten ma powierzchnię recepcyjną 200 cm^2 i nieco mniejszą niż deszczomierz Hellmanna wysokość (38 cm). Finowie zastosowali deszczomierz z osłoną Niphera, także bez zbiorniczka wstawianego, w Związku Ra-dzieckim pomiary wykonuje się przyrządem Tretiakowa z osłoną ażu-rową. Jednocześnie zarówno kraje skandynawskie, jak i RFN wprowadzają deszczomierz Światowej Organizacji Meteorologicznej (Snow-don) o powierzchni recepcyjnej 125 cm^2 oraz eksperymentują na zu-pełnie odmiennych deszczomierzach nowych typów (np. Pluvius z pły-wakiem korkowym). W tej sytuacji bezcelowe okazały się postulaty wprowadzenia jednolitego systemu korekty sum opadowych dla całego obszaru badań. Zrealizowano jedynie wnioski o przeprowadzeniu po-równawczych pomiarów przy zastosowaniu deszczomierza Hellmanna na poziomie 0 m (jamowego). W Polsce prace takie zorganizowała Wiel-bińska [11].

Co do opadów stałych, to w wyniku wymiany doświadczeń uzgod-niono, że pomiar deszczomierzem lub pluwigrafem podgrzewanym (ga-zem lub energią elektryczną) prowadzi do błędów większych niż się spodziewano, a niekiedy większych niż związane z nawiewaniem lub wywiewaniem śniegu. Badania przeprowadzone w RFN i Danii wskazu-ją, że dla regionów o około 10-proc. udziale opadów stałych w rocz-nej sumie opadów błąd powodowany parowaniem z podgrzewanego recep-

tora sięga 25%. Uznano, że w obecnej sytuacji najlepszym systemem oceny ilości opadów stałych jest pomiar wysokości pokrywy śnieżnej i równoważnika wodnego śniegu przy zwiększeniu częstotliwości tych obserwacji oraz rozszerzeniu sieci. Słuszne jest to zwłaszcza na obszarach o stałej pokrywie śnieżnej. Badania prowadzone w Finlandii i ZSRR wskazują, że nie ma praktycznego sensu wprowadzania poprawek aerodynamicznych dla opadów stałych mierzonych deszczomierzami. Przeciętna wartość błędu wynikającego z wywiewania lub nawiewania śniegu wynosi w okolicach Leningradu 35%, w Finlandii południowej zaś - 32%. Warto tu jednak dodać, że przejście do wyłącznych pomiarów pokrywy śnieżnej wymaga przeprowadzenia, choćby reperowego, bezpośrednich pomiarów parowania śniegu. Natomiast w krajach i na obszarach z niestałą pokrywą śnieżną powinno się pozostać przy obecnym sposobie pomiaru wody pochodzącej ze stopienia śniegu, jednak należy uwzględniać poprawki aerodynamiczne, poprawki na parowanie i zwilżanie. Poprawki takie stosowane są w Polsce [2], Szwecji [3, 4] i Danii [1].

Aerodynamiczna poprawka zimowa Chomicza [2] została wyznaczona metodą ekstrapolacyjną na podstawie dość niepewnych danych z miesięcy jesiennych i wiosennych. Przypomnijmy, że ustalono ją na poziomie 15%. Porównując wyniki prac duńskich, szwedzkich, a także innych prac, należy stwierdzić, iż w okresie przewagi opadów stałych wysokość najważniejszej poprawki aerodynamicznej należy uzależnić od położenia stacji pomiarowej (zacisżność) oraz od temperatury powietrza warunkującej obraz cząstek opadu. Jeżeli przyjmujemy, że położenie zacisżne występuje wtedy, gdy co najmniej 3/4 horyzontu jest zasłonięte przeszkodami terenowymi o wysokości kątownej co najmniej 15° , to dla zlewiska Morza Bałtyckiego i dla deszczomierzy bez osłon można ustalić, że:

- w temperaturze ujemnej wartość poprawki aerodynamicznej dla opadów stałych wynosi w położeniu nie osłoniętym i zacisżnym odpowiednio 45 i 25%,

- w temperaturze dodatniej te same wartości wynoszą 27 i 17%.

Dane te sprowadzono do pomiarów wykonywanych deszczomierzem Hellmanna na wysokości 1 m; to samo dotyczy wszelkich innych informacji liczbowych, również pochodzących z ZSRR, gdzie przeprowadzono długotrwałe i szczegółowe pomiary porównawcze różnych typów deszczomierzy. Prace szwedzkie, a także norweskie pozwoliły w przybliżeniu ocenić zależność między stopniem osłonięcia (zacisżności) a wielkością korekty aerodynamicznej. Dla opadów stałych korekta ta wynosi:

- polany leśne, place i ulice	5%
- zaciszne miejsca w głębi lądu	15%
- nie osłonięte miejsca w głębi lądu	25%
- nie osłonięte miejsca na wybrzeżu	40%
- eksponowane na wiatr nie osłonięte brzegi	80%

Ostatnią uwagą dotyczącą opadów stałych jest kwestia możliwości redukcji błędu aerodynamicznego przy zastosowaniu osłon. Panuje przekonanie, że osłony lepiej nadają się do tego celu w przypadku śniegu niż deszczu. Zasadniczym problemem wydaje się być konieczność konstrukcji osłon ruchomych, zmieniających kształt, a zwłaszcza nachylenie ściany nawietrznej, zależnie od siły wiatru. Prace takie prowadzone są w ZSRR.

Poprawka na parowanie i zwilżanie jest wyznaczana analogicznie jak dla deszczu.

Znacznie więcej opracowań dotyczy opadów ciekłych, przy których istnieje w obecnej sytuacji potrzeba wnikliwego ich skorygowania. Systemy korekty miesięcznych i rocznych sum opadów stosują wszystkie kraje bałtyckie. Niektóre z nich, w wyniku specjalnie zorganizowanych sieci pomiarów eksperymentalnych, dysponują systemami korekt możliwych do zastosowania w stosunku do dobowych sum opadu, pojedynczych opadów, a nawet ich części. Dzięki temu można szybko i bezpośrednio po pomiarze uwzględniać poprawki, co ma istotne znaczenie praktyczne i jest konieczne przy prowadzeniu takich obiektów badawczych, jak zlewnie eksperymentalne i reprezentacyjne, poletka spływowe, poligony ewapotranspiracyjne itd.

Prace szwedzkie kierowane przez Dahlströma [4] doprowadziły do wyznaczenia zależności między prędkością wiatru a niedoborem opadu ciekłego za pomocą poprawki aerodynamicznej według wzoru:

$$\Delta P_V = -0,002 P \cdot \bar{V}^2 - 0,1$$

gdzie: ΔP_V - poprawka aerodynamiczna [mm],
 P - opad mierzony na poziomie 1 m [mm],
 \bar{V} - średnia prędkość wiatru [m/s] podczas opadu na poziomie 10 m.

Analogiczne badania meteorologów radzieckich [5, 7, 9] pozwoliły na wprowadzenie do podstawowej formuły charakterystyki związanej z widmem kropel. Nie ma przecież wątpliwości, że wielkość kropli w znacznym stopniu decyduje o efektach aerodynamicznych w

pobliżu receptora. Jako wielkość charakteryzująca skład widmowy rozmiarów kropli opadu wprowadza się współczynnik N , oznaczający udział (w %) opadu drobnych kropli (definiowanych jak w mżawce), co występuje przy natężeniu opadu $P \leq 0,03$ mm/min. Najprostszym sposobem oceny wartości N jest odczyt pluwiogramu. Gdy założymy, że ΔP_V wyrażone jest w procentach, wtedy formuła radziecka przyjmie postać:

$$\Delta P_V = \frac{100}{100 - 0,038 N \cdot V}$$

Wydaje się, że najbliższe ostatecznego rozwiązania są prace prowadzone przez Duński Instytut Meteorologiczny. Zaproponowana przez Instytut formuła sprawdza się w warunkach polskich (odpowiednie pomiary przeprowadzono w okolicy Płocka) i nadaje się do dalszego korygowania. Jest ona następująca:

$$\frac{P_0}{P_0 - P} = \exp(a \ln l + b V \ln l + c V + d)$$

gdzie: P_0 - opad skorygowany aerodynamicznie,

a, b, c, d - współczynniki do wyznaczania empirycznego,

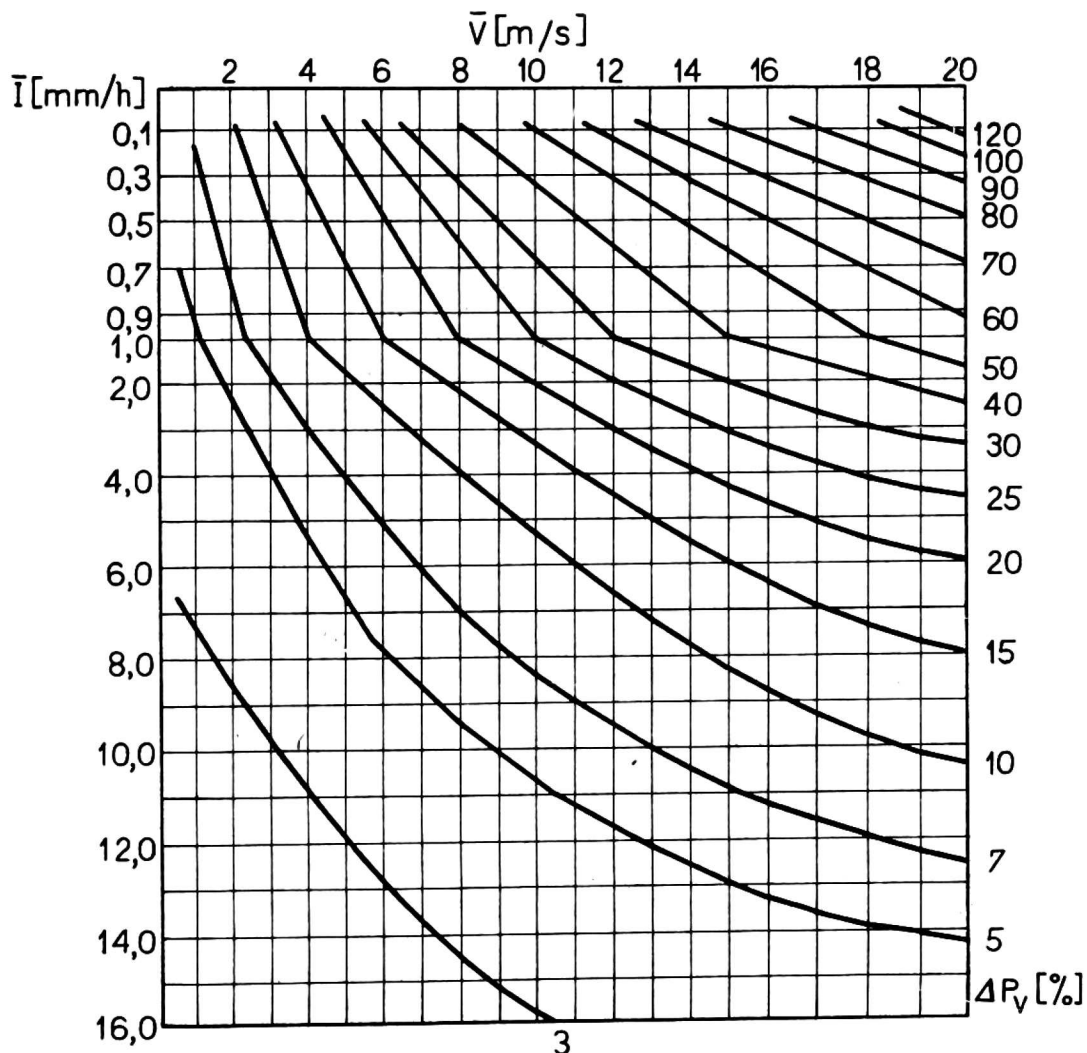
l - natężenie opadu.

Trzeba dodać, że natężenie opadu (l) mierzone jest na poziomie standardowym, a więc obarczone tym samym błędem, co podlegający korekcie opad. Można to poprawić korzystając z pluwiografów jamowych.

Ustalenie wartości współczynników a, b, c i d jest jeszcze sprawą otwartą. Liczne badania prowadzone przez uczestników grupy roboczej, a dotyczące opadu atmosferycznego, pozwalają w przybliżeniu podać zakresy, w których te współczynniki powinny się mieścić, mianowicie: $a \approx -0,001$; $b < -0,0080 - 0,0086 >$; $c < 0,040 - 0,045 >$; $d = 0,01$.

Umożliwia to skonstruowanie nomogramu (rys. 2) do wyznaczania poprawek ΔP_V zależnie od \bar{V} i l . W konstrukcji nomogramu uwzględniono średnie wartości ΔP_V przy danych prędkościach wiatru i/lub natężenia opadu, wyznaczone eksperymentalnie dla deszczomierza Hellmanna przez kilku autorów i podczas pomiarów własnych. Ten sam nomogram można stosować do wartości uśrednionych, przy czym oczywiste jest, że dane historyczne bardzo rzadko zawierają informacje o natężeniu opadów.

Najważniejszą zaletą systemu duńskiego jest uwzględnienie w



Rys. 2. Nomogram wyznaczania poprawki aerodynamicznej - ΔP_v [%] opadów mierzonych deszczomierzem Hellmanna

podstawowej formule natężenia opadu, dość dobrze charakteryzującego widmowy rozkład wielkości kropli. Według ostatnich badań amerykańskich [10], natężenie opadu jest w przybliżeniu proporcjonalnie do przeciętnej średnicy kropli. W mniejszym stopniu dotyczy to mżawek i ulew burzowych.

Poprawki na zwilżanie deszczomierzy oraz parowanie wody opracowane w Polsce przez Chomicza [2] są w przybliżeniu zgodne z wynikami prac duńskich, szwedzkich, fińskich i radzieckich.

Najciekawszym rezultatem wieloletnich prac grupy ds. opadu atmosferycznego przy zespole ekspertów badających bilans wodny Bałtyku są mapy sum opadu rzeczywistego akwenu Morza Bałtyckiego. Zostały one sporządzone w wyniku ujednoczenia systemu korekt dla całego wybrzeża, wyznaczenia poziomych gradientów zmienności opadów między wybrzeżem a obszarami wewnętrznymi Morza (pojedyncze stacje na wysepkach) oraz interpolacyjnego i ekstrapolacyjnego przeniesienia wyników na cały basen z uwzględnieniem specyfiki cyrkulacji atmosferycznej w poszczególnych regionach. Wyniki średnich wartości sum opadu przedstawiono w załączonej tabeli.

T a b e l a

Średnie wartości sum opadu [mm] w regionie Morza Bałtyckiego w latach 1931-1960

Region	Rocznie	Miesiące											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Zatoka Botnicka	551	46	32	27	34	30	43	55	64	59	52	58	51
Zatoka Fińska	655	54	41	33	41	40	50	66	74	68	67	65	56
Zatoka Kyska	648	55	40	32	36	41	51	72	73	71	63	57	57
Bałtyk właściwy	638	57	43	35	38	39	45	67	70	64	62	59	59
Bełty	685	58	45	38	46	46	53	75	81	65	65	58	55
Kattegat	676	58	42	33	40	39	51	78	77	72	68	61	57
Morze Bałtyckie	621	54	40	33	37	37	46	65	70	64	60	59	56

LITERATURA

1. Allerup P., Madsen H.: Accuracy of point precipitation measurements. Nordic Hydrology, Copenhagen 1980.
2. Chomicz K.: Ocena rzeczywistych wysokości opadu atmosferycznego w Polsce. IMGW, Warszawa 1971 (maszynopis).
3. Dahlström B.: A general classification of error sources at rain gauging and some applications. Medd. 104, Meteor. Inst. Uppsala Universitet, Nordisk Hydrologisk Konf. 2, 1970.
4. Dahlström B.: Investigation of errors in rainfall observations. Uppsala 1973.
5. Golubiev V. S.: O korriektnom izmiereniji atmosfiernych osadkov. Tr. GGI, 181, 1970.
6. Mikulski Z.: Monografia bilansu wodnego Morza Bałtyckiego. (Wyniki działalności zespołu ekspertów bilansu wodnego Bałtyku). Gos. wod. 5, 1979.
7. Struzer L. R.: Metod izmierienija pravilnych wieličin tvierdych atmosfiernych osadkov. Tr. GGO, 244, 1969.
8. Struzer L. R.: Analiz vozmožnosti ispolzovanija riezultatov mieždunarodnych sravnienij osadkomierov. Tr. GGO, 260, 1971.
9. Struzer L. R., Golubiev W. S.: Metodyka korriektirovki izmieriennych summ osadkov pri rasčietie vodnych bałansov. Leningrad 1976.
10. Waldvogel A.: The No. jump of raindrop spectra. J. Atm. Sc., 31, 4, 1974.
11. Wielbińska D.: Computing the quasi-true precipitation sums at the polish coastal stations for the purposes of water balance computations of the Baltic sea. Doc. No. 5, Sixth Meeting of Experts on the Water Balance of the Baltic Sea. Hanasari-Helsinki 1979.

Витольд Ленарт

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ ОСАДКОВ
В СТРАНАХ ВОДОСБОРА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Р е з ю м е

В труде рассматривается схема действий в определении действительных, исправленных и общих величин атмосферных осадков (рис.1) Сравняются также методы оценки и способы разработки этих осадков, применяемые в прибалтийских странах участвующих в работах Международной гидрологической программы ЮНЕСКО.

Witold Lenart

COMPARISON OF ESTIMATION METHODS OF REAL PRECIPITATIONS
IN COUNTRIES OF THE BALTIC SEA CATCHMENT AREA

S u m m a r y

A scheme of processing at determination of real, corrected and total values of atmospheric precipitations is presented in the paper (Fig. 1). Also estimation methods and elaboration ways of these precipitations applied in Baltic countries taking part in works of the International Hydrologic Programme of UNESCO are compared.