

POLITECHNIKA KRAKOWSKA
INSTYTUT INŻYNIERII I GOSPODARKI WODNEJ
ZAKŁAD HYDROLOGII



HYDROLOGIA
materiały pomocnicze



dr inż. Marek BODZIONY



Kraków 2006

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie.....	2
2. Pomiar wysokości opadu.....	7
3. Stan i głębokość wody.....	14
4. Metody pomiaru objętości przepływu.....	28
5. Literatura.....	38

WPROWADZENIE do LABORATORIUM z METEOROLOGII i HYDROLOGII

METEOROLOGIA bada zjawiska i procesy zachodzące w atmosferze ziemskiej, jest działem geofizyki i stanowi jedną z nauk fizycznych (meteoros - unoszący się w powietrzu, logos - nauka).

HYDROLOGIA (hydro- + logos 'nauka') geogr., fiz., biol. nauka stanowiąca część geofizyki, zajmująca się badaniem właściwości wody w obrębie wszystkich sfer Ziemi oraz jej obiegiem w przyrodzie.

Podstawowym źródłem poznania procesów zachodzących w przyrodzie są obserwacje dokonywane na stacjach meteorologicznych i posterunkach wodowskazowych. W zależności od położenia geograficznego i właściwości podłoża procesy te wykazują dużą zmienność w czasie i przestrzeni. Raz zaobserwowane warunki nigdy się już nie powtarzają, ta "niepowtarzalność" powoduje, że tak ważne jest rejestrowanie możliwie dużej liczby parametrów meteorologicznych. Uzyskane dane są materiałem do prac naukowych nt. atmosfery ziemskiej, a także są wykorzystywane do prognozowania pogody. Odbiorcy prognoz meteorologicznych są różni, stąd wiele różnych typów prognoz.

POLSKA SIĘĆ METEOROLOGICZNA

Polską sieć meteorologiczną tworzą trzy rodzaje stacji pracujących w ramach Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej:

- Stacje meteorologiczne (ok. 60) - najważniejsze, zakres obserwacji szeroki, służący m.in. do sporządzania prognozy warunków pogodowych, mającej duże znaczenie dla komunikacji, (szczególnie lotniczej i morskiej), rolnictwa czy budownictwa. Najmniej 8 obserwacji na dobę.
- **Posterunki meteorologiczne** (ok. 260) - zakres mniejszy. Wyniki wykorzystywane w nauce i dla planowania przestrzennego. 3 obserwacje na dobę.
- **Posterunki opadowe** (ok. 500) - raz na dobę mierzy się opad i pokrywą śnieżną.
- **Posterunki wodowskazowe** (ok. 500) - pomiar stanu raz w ciągu doby, pomiar i określenie przepływu
- Istnieje szereg stacji nie wchodzących do sieci IMGW, a zakładanych przez placówki naukowe dla celów badawczych. Min. Politechnika Krakowska (Zakład Hydrologii) posiada 2 stacje badawcze (w Stróży - zlewnia rzeki Trzebuńki oraz w Wielkiej Puszcz - zlewnia potoku Wielka Puszcza), oprócz standardowych obserwacji hydro-meteorologicznych prowadzone są tam obserwacje specjalne nie tylko z uwagi na wykorzystane przyrządy, ale również na częstość samych pomiarów.



Stacja badawcza eksperymentalnej zlewni w Wielkiej Puszcz



Terminy i zakres obserwacji:

Obserwacje meteorologiczne powinny być między sobą porównywalne, a więc na całym obszarze Polski ustalono w jakich terminach, jakimi przyrządami (obecnie następują zmiany w tym względzie) i w jaki sposób zainstalowanymi będą wykonywane pomiary.

Na stacjach meteorologicznych pomiary są wykonywane w godzinach: 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 i 21 przy czym cztery z nich są głównymi terminami synoptycznymi: 00, 06, 12 i 18 GMT. Na posterunkach meteorologicznych obserwacje wykonuje się w trzech terminach: 07, 13 i 19 (w lecie) oraz 8, 12, 18 (w zimie). Posterunki opadowe prowadzą pomiar o godzinie 07.

Pomiarami meteorologicznymi objęto zespół parametrów fizycznych powietrza, wody atmosferycznej oraz gleby, do których należą:

- **temperatura powietrza** (na różnych wysokościach nad poziomem gruntu) i **gleby** (na różnych głębokościach), a także niekiedy **wody** (w zbiornikach wodnych),
- **ciśnienie powietrza** (przy powierzchni ziemi ale także jego pionowy rozkład),
- **wilgotność powietrza** (także jej pionowy rozkład wraz z powierzchniową warstwą gruntu),
- **kierunek i prędkość wiatru** (na różnych wysokościach),
- **składowe bilansu promieniowania i bilansu ciepłego**,
- **widzialność, przeźroczystość i zanieczyszczenie powietrza**,
- parametry charakteryzujące wymianę wody między atmosferą, a powierzchnią Ziemi, takie jak: **opady atmosferyczne** (we wszystkich stanach skupienia wody), **osady** oraz **parowanie z powierzchni gruntu i wód**.
- **pomiar stanu i przepływu**.

Do mierzenia wyżej wymienionych parametrów wykorzystuje się całą gamę metod i przyrządów pomiarowych, od najstarszych i najprostszych po najnowsze zdobycze techniki.

Przyrząd pomiarowy składa się z **czujnika, systemu przenoszenia i wskaźnika**.

Najistotniejszą częścią jest czujnik. Jest to, bowiem ten element, który reaguje na zmianę mierzonego parametru. Systemy przenoszenia mogą być mechaniczne (układ dźwigni i przekładni) lub elektryczne (elektroniczne). Wskaźniki natomiast mogą być różne ze względu na rodzaj elementu wskaźnikowego wyróżnia się następujące typy przyrządów:

- **mierniki** - miarą mierzonej wielkości jest wychylenie wskazówki (mechaniczne lub elektryczne),
- **rejestratory** - mierzona wielkość przekazywana i rejestrowana w sposób ciągły. Mechaniczne noszą nazwę samopisów - zapis graficzny. Elektryczne lub elektroniczne mogą mieć zapis analogowy lub cyfrowy.
- **rejestratory odległościowe** - zawierają system przekazywania impulsów czujnika na większe odległości drogą przewodową lub radiową.

STACJA METEOROLOGICZNA

Większość obserwacji prowadzi się w **ogródku meteorologicznym**. Jest to odsłonięty, ogrodzony obszar o powierzchni wyrównanej i porośniętej trawą. Powinien być odsunięty od wysokich elementów w terenie, o co najmniej pięciokrotną wysokość tych elementów



Ogródek meteorologiczny na terenie zlewni
Wielka Puszcza

Przyrządy meteorologiczne służące do określania temperatury i wilgotności powietrza są umieszczane w specjalnej, żaluzjowej **klatce**, chroniącej je przed działaniem promieni słonecznych, opadów, osadów i silnych wiatrów. Klatka jest ustawiona na czterech nogach tak, żeby zbiorniki zawieszonych w niej pionowo termometrów znajdowały się na wysokości 2 m nad powierzchnią gruntu. Drzwiczki klatki są skierowane na północ.

Oprócz klatki w ogródku znajdują się: deszczomierz (lub deszczomierze), poletko z termometrami gruntowymi i termometrem minimalnym przy powierzchni gruntu oraz wiatromierz. W niektórych stacjach znajduje się szereg dodatkowych przyrządów pomiarowych (pluviograf, zmarzlinomierz, aparatura aktywnometryczna i wiele innych).

Część przyrządów znajduje się w pomieszczeniu stacji - są to przyrządy do pomiaru ciśnienia (barometr, barograf, aneroid), a także aparatura do wymiany i części zapasowej.

Obserwacje należy wykonywać w takiej kolejności, aby termometry suche i zwilżony były odczytane dokładnie w danym terminie. Do obowiązków obserwatora należy odczytanie i zanotowanie wskazań wszystkich przyrządów oraz postawienie reperu na paskach przyrządów samopiszących. Repery wykonuje się w każdym terminie obserwacyjnym przez podniesienie i opuszczenie piórka samopisu, które w ten sposób rysuje kreskę poprzeczną w stosunku do kreślonej krzywej.

Z miejsca o dobrej widoczności obserwator ocenia zachmurzenie, rodzaj chmur i zjawiska meteorologiczne, a także ocenia widzialność poziomą i stan gruntu. W okresie zimowym, w porannym terminie obserwacyjnym, mierzy grubość pokrywy śnieżnej.

Paski w samopisach zmienia się codziennie rano (przyrząd o zapisie dobowym) lub w poniedziałki rano (zapis tygodniowy) i wtedy też nakręca się zegary i uzupełnia tusz w piórkach samopiszących.

Obserwator powinien śledzić zmiany pogody także pomiędzy terminami obserwacji, powinien dbać o czystość i sprawność przyrządów.

Obecnie coraz częściej wykorzystuje się najnowsze zdobycze techniki do pomiaru i rejestracji zjawiska meteorologicznych. Dane mierzone w terenie są przekazywane drogą telefoniczną lub drogą radiową bezpośrednio do stacji badawczych (odbiorców) i zapisywane w sposób cyfrowy.



Radiowa stacja meteorologiczna. Pomiar: temperatura, wilgotność, opady, wiatr, temp. punktu rosy, temperatura odczuwalna. Rejestracja danych (433 MHz - zasięg 200 m).

Radiowa stacja meteorologiczna



Klatka meteorologiczna

POSTERUNKI WODOWSKAZOWE

Posterunki wodowskazowe są to specjalne przekroje na ciekach koryt rzecznych, w których prowadzone są obserwacje stanów i przepływów wody. Lokalizacja posterunków wodowskazowych musi zapewniać możliwość całodobowych obserwacji przy całym zakresie pomiarowym (możliwość dokonania obserwacji przy każdym przepływie występującym w cieku). Posterunek powinien być zlokalizowany w przekroju, który będzie stabilny (brak akumulacji i erozji) oraz w miejscu, w którym na poziom wody nie mają wpływu inne elementy czy obiekty (budowle hydrotechniczne, dopływu czy odpływu wody).

Na posterunkach pomiaru stanu wody dokonuje przy pomocy wodowskazów (najczęściej są to **łaty wodowskazowe**). W przypadku obserwacji ciągłej stosuje się **limnimetry**.



Profil wodowskazowy na cieku Wielka Puszczka

ZAPISYWANIE wyników obserwacji - dzienniki i wykazy.

Wyniki obserwacji z okresu jednego miesiąca zapisywane są w przeznaczonych do tego dziennikach. Są to:

- **Dziennik synoptyczny** - dla stacji meteorologicznych,
- **Dziennik klimatologiczny** - na posterunkach meteorologicznych,
- **Dziennik temperatury gruntu.**

Bezpośrednio po obserwacji wpisuje się do dzienników wskazania przyrządów i wyniki spostrzeżeń wizualnych. Następnie uwzględnia się poprawki do wartości odczytanych i wyznacza z tablic potrzebne charakterystyki. Po ostatniej, wieczornej obserwacji oblicza się wartości średnie dobowe poszczególnych parametrów i dokonuje się zestawień przebiegu zjawisk w danej dobie.

Co miesiąc zestawia się:

- miesięczny wykaz spostrzeżeń meteorologicznych,
- miesięczny wykaz opadów,
- wyniki pomiaru temperatury gruntu.

Po przepisaniu wyników codziennych obserwacji do wykazu, sporządza się charakterystyki miesięczne:

- wartości średnie miesięczne,
- sumy miesięczne opadu i parowania,
- wartości ekstremalne,
- liczby dni o charakterystycznych wartościach poszczególnych parametrów,
- rozkład wiatrów.

Podobnie zapisuje się obserwacje stanów wody, które przelicza się na przepływ w danym profilu używając do tego krzywej konsumpcyjnej. W określonych okresach czasu sprawdza się zgodność krzywej z rzeczywistym przepływem poprzez pomiar przepływu.

OPRACOWANIE pasków z przyrządów samopiszących.

Ze względu na czas obrotu bębna z taśmą wyskalowanego papieru, rozróżniamy samopisy dobowe i tygodniowe.

Do ciągłego zapisu ciśnienia służy barograf (pasek papieru z wykresem zmian ciśnienia nosi nazwę barogram), temperatury - termograf (wykres - termogram), wilgotności względnej - higrograf (wykres - higrogram), opadów - pluwiograf (wykres - pluwiogram), a usłonecznienia - heliograf (zapis - heliogram).

Wszelkie niedokładności przyrządów samopiszących powodują, że wartości parametrów odczytane z wykresu obciążone są błędami. W dokonywaniu poprawek pomagają repery zaznaczone w czasie obserwacji wykonywanych przyrządem podstawowym (np. barometrem rtęciowym).

Opracowanie pasków polega na odczytaniu i wyliczeniu wartości poprawionych, mierzonego elementu w żądanych odstępach czasu (godzinowych lub mniejszych). Obecnie paski podlegają obróbce komputerowej. Pierwszą czynnością jest wprowadzenie poprawek czasowych - jeśli reper z danej godziny nie pokrywa się z odpowiednią linią siatki na pasku samopisu, należy odstępy między kolejnymi reperami podzielić na tyle części ile godzin dzieli zaznaczone nimi obserwacje. Następną czynnością jest odczytanie wartości parametrów w przyjętych odstępach czasu (n p godzina) i wpisanie ich do formularza. W terminach obserwacji (7, 13, 19 – w lecie; 8, 12, 18 – w zimie) wyliczamy różnicę pomiędzy odczytem z samopisu (np. barografu) i przyrządu podstawowego (barometru) - stanowi ona poprawkę do odczytu z samopisu. Poprawkę rozkładamy równomiernie na poszczególne odstępy czasu (np. godzinne) i po dodaniu (z uwzględnieniem znaku) otrzymujemy właściwą wartość mierzonego elementu. Zostają do wyznaczenia wartości ekstremalne, które nie zawsze występują w pełnych godzinach. Do ich odczytów wprowadza się poprawkę średnią z wartości poprawek dla sąsiednich godzin.

Heliograf nie jest typowym samopisem. Taśma jest tu przepalana przez Słońce i stąd możemy wnioskować o czasie i natężeniu usłonecznienia. Opracowanie polega na odczytaniu z dokładnością do 0,1 godziny czasu bezpośredniego świecenia Słońca i wpisaniu tej wartości do formularza. Uwzględniamy nawet najłabsze ślady wypalenia.

Opracowanie pluwiogramu polega na odczytaniu sum opadów w przedziałach czasu (np. godzina) i czasu trwania opadu.

Roczniki meteorologiczne i hydrologiczne

Wyniki obserwacji meteorologicznych i hydrologicznych odpowiednio zestawione i obliczone są publikowane przez IMGW w „**Rocznikach meteorologicznych**”. Roczniki ukazują się od 1921 roku i w różnych okresach zmieniały swoją formę i zawartość, pozostając jednym, czasem wieloczęściowym rocznikiem. Po roku 1982 roczniki przestały być dostępne, obecnie IMGW oferuje dane odpłatnie w postaci zapisów na płytach CD.

Codzienne mapy synoptyczne z godziny 00 i 12 GMT są publikowane w „**Biuletynach synoptycznych**”.

Uśrednione dane z okresów wieloletnich zamieszczane są w publikacjach i pracach naukowych (atlas opadów, atlas klimatyczne itp.) Instytutu lub poszczególnych jego pracowników.

OPAD

Opad jest to produkt kondensacji pary wodnej, który w stanie stałym (śnieg, grad) lub ciekłym (deszcz) dociera do powierzchni terenu.

Od opadu należy odróżnić osady - stanowiące również produkt kondensacji - ze względu na odmienny sposób ich formowania.

Opad mierzymy wysokością warstwy wody, jaka powstałaby na terenie gdyby był szczylny, płaski i nie byłoby parowania. Wysokość opadu wyrażamy w mm.

Opad wyrażony w mm odnosi się do punktu pomiarowego i jego najbliższego otoczenia. Jeśli pod uwagę bierze się obszar objęty opadem wówczas wygodniej jest posługiwać się objętością opadu, jaka spada na dany teren w jednostce czasu. Mówimy wówczas o wydajności opadu (ale w połączeniu z jednostką czasu na jednostkę powierzchni).

Dla przykładu:

Jeśli na pow. 1 m² - spadnie deszcz o wysokości 1 mm to objętość wody wyniesie - 1 litr

Jeśli na pow. 1 ha - spadnie deszcz o wysokości 1 mm to objętość wody wyniesie - 10 m³

Jeśli na pow. 1 km² - spadnie deszcz o wysokości 1 mm to objętość wody wyniesie - 1000 m³

Rodzaj opadów atmosferycznych.

Jako najczęściej występujące opady można wymienić: deszcz, mżawkę, śnieg z deszczem, krupy śnieżne i grad.

DESZCZ - opad złożony z kropeł wody o średnicy większej niż 0,5 mm. Jest to najczęściej pojawiający się opad w naszym klimacie.

MŻAWKA - opad drobnych kropelek wody o średnicy mniejszej od 0,5 mm, które spadają bardzo wolno i są łatwo przenoszone przez wiatr w kierunku poziomym.

ŚNIEG - opad kryształków lodu, które mają zwykle delikatną, rozgałęzioną strukturę. Podstawową formą cząstek tego opadu są gwiazdki sześcioramienne o pięknej i bogatej kompozycji. Przy temperaturach nieco niższych od zera kryształki łączą się zwykle w płatki (śnieżynki), a te często w duże platy.

ŚNIEG Z DESZCZEM - opad śniegu i deszczu lub mokrego śniegu, występujący w temperaturach zbliżonych do zera i wyższych od zera.

KRUPY ŚNIEŻNE - opad białych, kulistych lub stożkowatych ziarenek o średnicy od 2 do 5 mm. Podczas spadania na twarde podłoże odbijają się i rozpryskują.

GRAD - opad kulek lub bryłek lodu nieforemnego kształtu (gradzin) o średnicy do 50 mm, czasami większych. Pada przy temperaturach wyższych od 0°C, w ciepłej porze roku, zwykle towarzyszy mu burza atmosferyczna. Najczęściej występuje w niższych szerokościach geograficznych, a największe gradziny spotykane są w strefie międzyzwrotnikowej.

Znane są ponadto takie opady, jak **deszcz marznący**, **mżawka marznąca**, **śnieg ziarnisty**, **ziarna lodowe** i **słupki lodowe**.

Opady można także podzielić na **ciągłe**, **z przerwami**, **przelotne** i **roszące**.

OPADY CIĄGŁE - są to opady deszczu lub śniegu trwające przez dłuższy czas bez przerwy (więcej niż 6 godzin) lub z bardzo krótkimi przerwami, o przeciętnym i dość równomiernym natężeniu (większym niż 0,5 mm/godz.), obejmujące na ogół swym zasięgiem duże obszary. Padają zwykle z chmur warstwowych deszczowych *Ns* i średnich warstwowych *As* uformowanych przy wznoszeniu się powietrza wzdłuż powierzchni frontowych.

OPADY Z PRZEWAMI - są to równomierne opady, zazwyczaj o małym natężeniu, z chmur warstwowych, padające z przerwami.

OPADY PRZELOTNE - są to opady zwykle krótkotrwałe o zmiennym, lecz dużym natężeniu (ulewy). Pochodzą z chmur kłębiastych deszczowych (*Cb*). Opadom przelotnym towarzyszą często silne i porywiste wiatry oraz burze, błyskawice i grzmoty. Opady te, dlatego są zazwyczaj krótkotrwałe, że pochodzą z oddzielnych chmur lub z chmur występujących w stosunkowo wąskich strefach opadowych, szybko przemieszczających się frontów chłodnych.

OPADY ROSZĄCE - są to niewielkie opady bardzo drobnej mżawki lub bardzo małych śnieżynek, pochodzące z chmur niskich warstwowych (St) lub kłębiasto-warstwowych (Sc).

Inne podziały:

OPADY OROGRAFICZNE - związane z rzeźbą terenu i występują po dowiejstrnej stronie gór. Poziomo przemieszczająca się masa powietrza napotyka na przeszkodę w postaci gór ulegając spiętrzeniu i wznosi się po zboczu do góry. Ochładza się adiabaticznie w wyniku, czego powstają chmury i ciągłe, na ogół długotrwałe, opady (do kilku dni).

DZESZCZCE ULEWNE - ulewami nazywamy takie opady, które w krótkim czasie dają duże ilości wody. Ten rodzaj opadu charakteryzowany jest przez następujące parametry: natężenie, czas trwania oraz wydajność.

Osady atmosferyczne.

Do najczęściej występujących u nas osadów atmosferycznych zaliczamy: rosę, szron, szadź i gołoledź.

ROSA - jest to zbiór kropelek wody tworzących się bezpośrednio na powierzchni gleby, roślinności i przedmiotach znajdujących się na powierzchni Ziemi, w wyniku kondensacji pary wodnej otaczającego powietrza w temperaturze wyższej od 0°C. Osad ten powstaje wówczas, gdy temperatura wymienionych powierzchni spada poniżej temperatury punktu rosy otaczającego jej powietrza. Przyczyną takiego oziębienia jest zwykle wypromieniowywanie energii cieplnej z powierzchni czynnej, które osiąga największe wartości podczas bezchmurnych nocy. Dlatego bezchmurne noce sprzyjają powstawaniu rosy. Ilość osadzającej się rosy rośnie wraz ze wzrostem wilgotności przygrunтовой warstwy powietrza. Im więcej pary wodnej zawiera przygrunтовой powietrze, tym więcej jej może się skraplać w postaci rosy przy odpowiednim spadku temperatury. Duży wpływ na ilość i częstość występowania rosy wywiera prędkość wiatru.

SZRON - jest to osad lodu o wyglądzie krystalicznym powstający w podobny sposób jak rosa, ale przy temperaturze powietrza niższej niż 0°C.

SZADŹ - jest to uwarstwiony osad w postaci ziarenek lodu, o barwie białej lub jasno-perłowej, osiadający niekiedy znaczną grubość, dochodzącą nawet do 200 mm i więcej. Gromadzi się na wyziębionych poniżej 0°C drzewach, krzewach, przewodach telekomunikacyjnych, budynkach itp., przeważnie po stronie zwróconej do wiatru, który niesie wilgotne powietrze lub często mgłę. W odróżnieniu od szronu, do którego podobna jest budowa, szadź powstaje w każdej porze doby. W wysokich górach osad ten często odgrywa bardzo dużą rolę ze względu na częste pojawianie się i na znaczne ilości wody, jakie wnosi w ogólny bilans produktów kondensacji pary wodnej. Szadź obciąża i łamie gałęzie drzew, obrywa przewody telekomunikacyjne. Szkody wywołane w ten sposób mają niekiedy charakter katastrofalny. W Polsce, na obszarach nizinnych szadź występuje zwykle tylko w chłodnej porze roku i to bardzo rzadko. Średnia roczna liczba dni z tym osadem wynosi zaledwie kilka dni.

GOŁOLEDŹ - jest to gładki, szklisty osad lodu tworzący się na powierzchni gleby oziębionej do temperatury niższej lub nieco wyższej od 0°C i na przedmiotach znajdujących się na niej, w wyniku zamarzania przechłodzonych spadających kropeł deszczu lub mżawki. Osad ten osiąga znaczną grubość, zwłaszcza na przedmiotach wystawionych na bezpośredni wpływ wiatru, i podobnie jak szadź, wyrządza wówczas duże szkody, łamiąc gałęzie, a nawet słupy telekomunikacyjne itp.

Mgły

Mgłą nazywamy zawieszinę bardzo małych kropelek wody (rzadziej, przy bardzo niskich temperaturach, kryształków lodu lub jednych i drugich jednocześnie) w powietrzu, zmniejszając widoczność poziomą poniżej 1 km². Mgła tworzy białą zasłonę przesłaniającą krajobraz. Jeśli przy występowaniu takiej zasłony widzialność jest większa niż 1 km, wówczas zjawisko to nazywamy nie mgłą, lecz zamgleniem. Owo zmniejszenie widzialności stanowi kryterium przy obserwacjach mgły. Mgła powstaje zwykle wskutek oziębienia się powietrza poniżej punktu rosy, przy czym skraplanie się pary wodnej następuje tuż nad glebą lub na stosunkowo niewielkich odległościach od powierzchni Ziemi. Wskutek małych rozmiarów kropełek mgły unoszą się w powietrzu i bardzo wolno opadają. Pod względem sposobu powstawania można rozróżnić takie główne rodzaje mgieł, jak: radiacyjną i frontową.

MGŁA RADIACYJNA - nazywana również mgłą z wypromieniowania, powstaje przy silnym oziębieniu się powierzchni Ziemi wskutek wypromieniowania ciepła z jej powierzchni, od niej oziębia się powietrze i gdy jego temperatura spadnie poniżej punktu rosy, zawarta w powietrzu para wodna skrapla się. Mgła radiacyjna utrzymuje się albo tuż przy glebie, jako mgła przyziemna (niska), albo sięga do kilkuset metrów wysokości i nosi wtedy nazwę mgły wysokiej (górnej). Mgła przyziemna pojawia się u nas najczęściej w drugiej połowie lata i na jesień, podczas pogodnych i bezwietrznych nocy. Związana jest z nocną inwersją temperatury powietrza. Po wschodzie Słońca, a także wraz z pojawieniem się silniejszego wiatru, mgła i inwersja zanikają. W płaszczyźnie poziomej mgła przyziemna rozprzestrzenia się zwykle w formie oddzielnych płatków, przeważnie w zagłębieniach terenu, w sąsiedztwie bagien, na polanach leśnych, a więc nad obszarami silnie wyziębionymi wskutek dużego wypromieniowywania efektywnego.

MGŁA ADWEKCYJNA - tworzy się wówczas, gdy napływające ciepłe i wilgotne powietrze ochładza się wskutek przepływu lub stagnacji nad znacznie chłodniejszym podłożem. Okresem sprzyjającym powstawaniu mgły adwekcyjnej jest raczej chłodna pora roku, przede wszystkim listopad i grudzień. Występuje ona u nas w tym czasie dosyć często przy adwekcji wilgotnego powietrza zwrótnikowo - morskiego lub ciepłego powietrza polarno - morskiego. Sięga do wysokości wielu setek metrów. Towarzyszy jej zwykle dosyć silny wiatr.

Sposoby pomiaru opadu

Pomiar opadu polega na zmierzeniu wysokości warstwy wody jaka spada na badany teren. Wykonuje się go na stacjach meteorologicznych i wybranych posterunkach opadowych. Pomiar odbywa się przy użyciu przyrządów standardowych (deszczomierzy i pluwiografów) bądź przy użyciu czujników wchodzących w skład automatycznego systemu rejestracji danych. Deszczomierz mierzą sumy dobowe (wpisywane zawsze za poprzednią dobę). Są to najczęściej blaszane pojemniki o określonej powierzchni wlotu, posiadające we wnętrzu zbiornik na wodę opadową. Mimo prostej konstrukcji pomiar opadu obciążony jest błędami wywołanymi deformacją strugi w pobliżu samego deszczomierza, zwilżeniem ścianek naczynia przez opad, parowaniem wody ze zbiornika.

Pomiar wysokości opadu za pomocą deszczomierza

Pomiary opadu na posterunkach opadowych przeprowadza się 1 raz dziennie o godz. 7⁰⁰. Dla celów synoptycznych mierzy się opad cztery razy na dobę oraz dodatkowo w pewnych szczególnych przypadkach. Wyniki pomiarów wpisuje się do dziennika obserwacyjnego, przy czym pamiętać należy, że zmierzoną sumę dobową wpisuje się do dziennika z datą dnia poprzedniego. Pomiar opadu wykonuje się przy pomocy specjalnie do tego celu wyskalowanej menzurki, która w dolnej części posiada skalę skażoną, pozwalającą na odczytywanie opadów mniejszych od 1 mm. Menzurka dostosowana jest do powierzchni standardowej równej 200 cm² i wyskalowana jest bezpośrednio w mm wysokości opadu. Wlewając do menzurki objętość wody zgromadzonej w naczyniu odczytujemy na skali wprost wysokość danego opadu.

Deszczomierz Hellmanna

Przyrząd standardowy stosowany do wysokości 500 m. n. p. Składa się z odbiornika, podstawy, zbiornika, wkładki używanej podczas opadów śniegu oraz trzymadła służącego do zawieszenia przyrządu na paliku. Powierzchnia chwytana wynosi 200 cm². Deszczomierz przytwierdza się do słupka tak, by wlot do niego znajdował się w poziomie na wysokości 1 m nad powierzchnią terenu. Powyżej 500 m n.p.m. deszczomierz montuje się tak by ich powierzchnia wlotowa znajdowała się na wysokości 1,5 m nad powierzchnią terenu.



Deszczomierz Hellmanna

Błędy w pomiarze deszczomierzem Hellmanna

Opad mierzony deszczomierzem obarczony jest błędem spowodowanym działaniem wiatru, który powoduje, że część kropli deszczu jest wywiewana znad powierzchni chwytniej deszczomierza. Opracowane poprawki wskazują, że ich wartość rośnie wprost proporcjonalnie do kwadratu prędkości. W celu uniknięcia zakłóceń spowodowanych wiatrem stosuje się specjalne osłony deszczomierzowe.

Poprawka na parowanie wiąże się z wpływem deficytu wilgotności powietrza i prędkości wiatru na proces parowania wody zgromadzonej w zbiorniku. W okresie letnim można przyjąć wielkość parowania od 0,2 – 0,5 mm na dzień.

Poprawka na zwilżenie deszczomierza spowodowana jest stratą opadu, który spływając do dolnego zbiornika zwilża ścianki deszczomierza. Jednorazowe zwilżenie deszczomierza wynosi 0,26 mm, z czego na górną część (naczynie przechwytyjące opad) przypada 0,15 mm.



Deszczomierz Hellmanna

Pluviograf

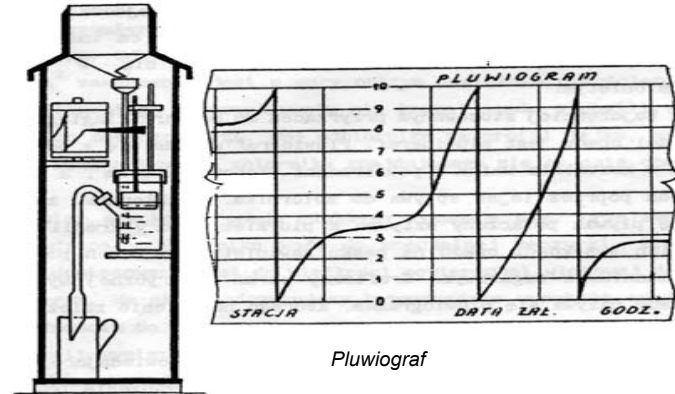
Pluviografy rejestrują przebieg opadu dostarczając tym samym pełnej informacji o przebiegu procesu.

Są to urządzenia rejestrujące przebieg zjawiska w ciągu całego rozpatrywanego okresu czasu. Zbudowane są z obudowy metalowej, część chwytna składa się z otworu wlotowego o powierzchni standardowej 200 cm² zakończonej dnem wykształconym w postaci lejka. Zbierany opad poprzez lejek, gumowym węzłem dostaje się do zbiorniczka, w którym znajduje się pływak. Przymocowane za pomocą pręta połączonego z pływakiem piórko, przylegające do taśmy papieru nawiniętej na metalowy bęben poruszany mechanizmem zegarowym, kreśli wykres zwany pluwiogramem, przedstawiający aktualny stan wody w zbiorniczku, odpowiadający sumie opadu od jego początku do momentu analizowanego. Ponieważ objętość zbiorniczka jest ograniczona (10 mm), wyposażono go w urządzenie przelewowe oparte na zasadzie działania lewara. Dzięki temu pomiar opadu nie zależy od jego wysokości. W miejsce zbiorniczka wprowadza się często urządzenia korytkowe, znacznie łatwiejsze w obsłudze i znacznie pewniejsze. Składa się ono z dwóch bliźniaczych korytek umieszczonych pod otworem wlotowym w ten sposób, by po wypełnieniu się wodą jednego z nich nastąpił wywrócenie, powodujące umieszczenie pod otworem wlotowym drugiego z nich (zobacz: deszczomierz korytkowy).



Pluviograf

Analiza zarejestrowanych w ten sposób pojedynczych opadów pozwala na odczytanie początku i końca opadu, czasu jego trwania, wyodrębnienia okresów o różnych natężeniach opadu w przyjętych jednostkach czasu. Pluviogram to krzywa sumowa opadu, której koniec wskazuje całkowitą wysokość zarejestrowanego opadu. Jeżeli połączymy koniec tej krzywej z jej początkiem uzyskamy prostą, której nachylenie do osi odciętych przedstawia średnie natężenie zarejestrowanego opadu. Nachylenie stycznej do krzywej w dowolnym jej punkcie przedstawia natężenie chwilowe dla danego punktu. Największe nachylenie stycznej do krzywej przedstawia maksymalne natężenia opadu.



Pluviograf

Deszczomierz wagowy

Do ciągłej rejestracji opadu w czasie służą deszczomierze sprzęgnięte z rejestratorami. Jednym z takich rozwiązań jest **deszczomierz wagowy**. Zasada działania jest zbliżona do deszczomierza Hellmanna, z tą jednak różnicą, że zbiornik, w którym gromadzi się opad znajduje się na wadze. Waga jest sprzęgnięta z rejestratorem, który rejestruje przyrost wagi (objętości) opadu w czasie – co później jest przeliczane na wysokość opadu. Takie rozwiązanie wymaga jednak, aby obserwator (raz na dobę) opróżniał zbiornik.



Deszczomierz wagowy

Deszczomierz korytkowy

Innym rozwiązaniem do ciągłego pomiaru deszczu jest **deszczomierz korytkowy**. Deszczomierz składa się z dwóch symetrycznych zbiorników (korytek) podpartych centralnie. Objętość korytek jest znana. Podczas wystąpienia opadu korytka są wypełniane naprzemiennie. W wyniku napełniania zmienia się ciężar i po całkowitym napełnieniu korytka zachwiana zostaje równowaga w wyniku, czego urządzenie przechyliło się. Następuje wówczas opróżnienie jednego z korytek, a drugie napełnia się. Rejestrator zlicza liczbę przechyleń urządzenia i na tej podstawie określa się objętości (wysokość) opadu w czasie.



Deszczomierz korytkowy

Automatyczne stacje opadowe

Automatyczne stacje opadowe pozwalają na ciągłą rejestrację wysokości opadów czasie, dodatkową zaletą tego rozwiązania jest możliwość Przekazywania danych na drogą radiową do stacji pomiarowych i ich rejestracja na nośnikach cyfrowych. Przyspiesza to znacznie analizę zachodzących zmian, jak również ułatwia gromadzenie danych.



Radiowy deszczomierz o zasięgu 200 m. Pomiar 1 h, 24 h, całkowity, wykres opadów z 24 h.



Stacja meteorologiczna w aluminiowej obudowie (wodoodporna). Pomiar temperatury, wilgotności, ciśnienia, opady, kierunek i prędkość wiatru, temp. punktu rosy, temp. odczuwalna (radiowa 86.8 MHz, zasięg do 1000 m).

Deszcze nawałne, natężenie, wydajność, skala Chomicza

Deszcze o dużym natężeniu i krótkim czasie trwania nazywamy deszczami nawałnymi. Z pojęciem deszczu nawałnego łączy się jego natężenie i wydajność.

Natężeniem opadu (intensywnością) nazywamy stosunek wysokości opadu do czasu jego trwania i wyrażamy go w mm/min.

Wydajność opadu jest to objętość opadu, jaka spadła na jednostkę powierzchni w jednostce czasu i wyrażamy ją w l/s-ha lub w m³/s-km².

Czas trwania opadu jest to czas od chwili wystąpienia opadu do jego zakończenia.

Podstawową jednostką intensywności opadu jest jednostka wyrażona w mm/min lub mm/godz.

Natężenie opadu mierzy się też w jednostkach objętości opadu przypadających na jednostkę czasu – sekundę- i jednostkę powierzchni np. ha lub km² powierzchni. Tę typową jednostkę stosuje się np. do projektowania kanalizacji miejskiej odprowadzającej wody burzowe.

Należy pamiętać, że wydajność opadu odnosi się do całego opadu natomiast natężenie odnosi się do pewnego przedziału czasu.

W Polsce deszcze nawałne występują tylko w lecie, najczęściej w czerwcu, lipcu i sierpniu. Deszcze nawałne z racji swojej wydajności, która wiąże się z zagrożeniem powodziowym, podlegają klasyfikacji. Prowadzona jest ona w zależności od natężenia opadu. W Polsce klasyfikacją deszczu zajmował się między innymi Chomicz. Analizował on zależność wydajności opadu od czasu jego trwania i na bazie uzyskanych wyników sporządził wykresy, gdzie na osi odciętych przedstawiony jest czas trwania opadu, na osi rzędnych odpowiadająca mu suma. Zależność mająca kształt paraboli pozwala na określenie każdego zdarzenia opadowego i jego klasyfikację. Można w ten sposób porównywać ze sobą różne deszcze zarówno pod względem wydajności jak i natężenia. Chomicz przez wydajność rozumie całkowitą sumę opadu.

Ogólne równanie, które stało się podstawą opracowywanych nomogramów i tabel pozwalających na klasyfikację deszczów o dużym natężeniu ma następującą postać:

$$u = \alpha \sqrt{t}$$

gdzie: u - wydajność deszczu w mm

α - współczynnik wydajności opadu równy $\alpha = 2^{\frac{k}{2}}$

k - numer skali Chomicza

t - czas trwania opadu w minutach

Skala Chomicza

Stopień skali	Współczynnik wydajności opadu α	Kategoria deszczu	
		Określenie	Znak literowy
0	0.0 - 1.0	zwykły deszcz	
1	1.01 - 1.40	silny deszcz	A ₀
2	1.41 - 2.00	deszcz ulewny – I st	A ₁
3	2.01 - 2.82	deszcz ulewny – II st	A ₂
4	2.83 - 4.00	deszcz ulewny – III st	A ₃
5	4.01 - 5.65	deszcz ulewny – IV st	A ₄
6	5.66 - 8.00	deszcz nawałny – V st	B ₁
7	8.01 - 11.30	deszcz nawałny – VI st	B ₂
8	11.31 - 16.00	deszcz nawałny – VII st	B ₃
9	16.01 - 22.61	deszcz nawałny – VIII st	B ₄
10	22.62 - 32.00	deszcz nawałny – IX st	B ₅
11	32.01 - 45.23	deszcz nawałny – X st	B ₆
12	45.24 - 64.00	deszcz nawałny – XI st	B ₇

Polska jest krajem, w którym deszcze nie osiągają najwyższych natężeń. Najczęściej notowane kategorie deszczu to deszcze ulewne III i IV stopnia.

Pomiar pokrywy śnieżnej

Zasoby wody w śniegu określa się na podstawie pomiarów punktowych grubości szaty śnieżnej wykonywanych za pomocą przyrządów stałych (*lata śniegowa*) lub przenośnych (*laska śniegowa*). Pomiaru muszą być wykonywane na większym obszarze w wielu punktach, ponieważ różnice grubości szaty śnieżnej są bardzo duże.

Metoda trójkątów polega na wytyczeniu trójkąta o bokach długości ok. 1 km. Grubość pokrywy śnieżnej określa się na bokach trójkąta w odległościach ok 100 m (osobno w terenie otwartym i zalesionym). **Metoda poligonów** polega na wytyczeniu w terenie ciągu poligonowego oraz na pomiarze grubości szaty śnieżnej w punktach wierzchołkowych założonego poligonu. Najbardziej praktyczną jest **metoda patrolowa**, polegająca na obraniu na mapie kierunków patrolu, natomiast punkty pomiarowe wyznacza się w trakcie pomiaru. Pomiaru wykonuje się nie rzadziej, niż co 20 dni w okresie przystania pokrywy śnieżnej i nie rzadziej niż co 5 dni w okresie jej zanikania. Na podstawie wyników pomiarów punktowych wykreśla się linie jednakowych grubości pokrywy śnieżnej – **izohiony**. Średnią grubość warstwy śniegu w zlewni oblicza się metodą izohii. Zapas wody w pokrywie śnieżnej na obszarze całej zlewni oblicza się jako iloczyn punktowego zapasu wody i powierzchni obszaru.

Skrajnym przypadkiem retencji zimowej są lodowce tworzące się na obszarach, na których śnieg występuje cały rok.

Ilość wody zawartej w śniegu, zwaną zapasem wody w pokrywie śnieżnej h określa się ze wzoru:

$$h = 10 \frac{\rho_{sn}}{\gamma_w} h_s = 10 \rho_{sn} h_s \text{ [mm]}$$

gdzie:

γ_w – ciężar objętościowy wody, $\gamma_w = 1 \text{ [g/cm}^3\text{]}$,

h_s – grubość pokrywy śnieżnej [cm],

ρ_{sn} – gęstość śniegu [g/cm³].



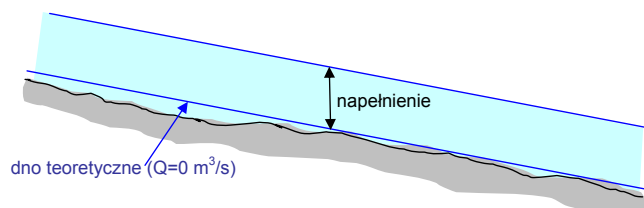
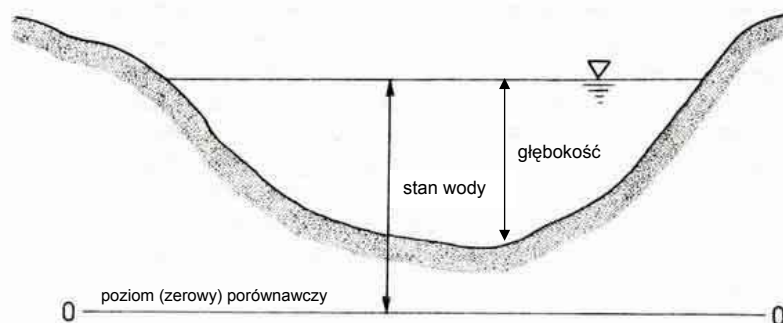
Przyrząd do pomiaru pokrywy śnieżnej

POMIAR STANU WODY I GŁĘBOKOŚCI WODY

Stan wody - wysokość zwierciadła wody ponad poziom (zerowy) porównawczy.

Głębokość - wysokość zwierciadła wody ponad dno cieku.

Napełnienie - wysokość zwierciadła wody ponad dno teoretyczne (dotyczy profilu cieku). Dno teoretyczne – jest to dno wyznaczone przez zwierciadło wody przy przepływie równym zero.



POMIAR STANU WODY

Stany wody są podstawową charakterystyką hydrologiczną rzeki. Mierzy się je za pomocą wodowskazów. Miejsce prowadzenia pomiarów stanów wody nazywa się posterunkiem wodowskazowym, natomiast punkt na rzece, w którym zainstalowany jest wodowskaz, nosi nazwę profilu wodowskazowego.

Profile wodowskazowe:

Profil wodowskazowy powinien być tak zlokalizowany, aby możliwe było właściwe funkcjonowanie posterunku.

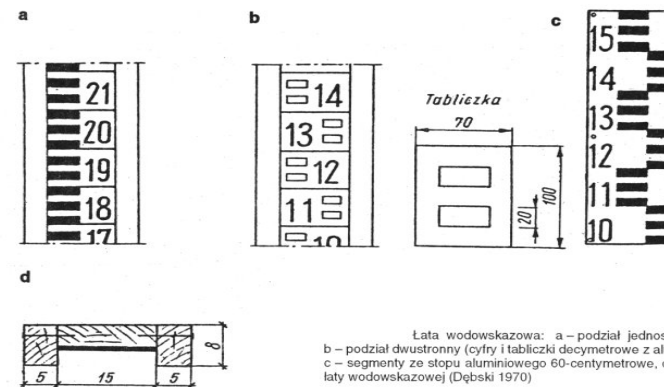
Lokalizacja profilu winna spełniać następujące warunki:

- ✓ koryto rzeki w profilu wodowskazowym powinno być zwarte, jednolite i mieścić (w miarę możliwości) cały przepływ rzeki,
- ✓ zwierciadło wody w profilu wodowskazowym powinno być swobodne (nie powinno znajdować się pod wpływem spiętrzeń i depresji wywołanych przez czynniki naturalne i sztuczne),
- ✓ dno rzeki nie powinno ulegać zmianom (erozji lub akumulacji), jak również nie powinno zarastać roślinnością rzeczna,
- ✓ profil musi być tak dobrany, aby istniały w nim dogodne warunki techniczne do założenia wodowskazu oraz by można było zapewnić dobrą ochronę wodowskazu przed uszkodzeniami,
- ✓ wodowskaz musi być łatwo dostępny dla obserwatora przy każdym stanie wody, odczytanie zaś podziałki wodowskazowej możliwe o każdej porze (również w nocy).

Wodowskazy:

Wodowskazy łatwe

Najczęściej spotykany typ wodowskazu, stosowany przez służby hydrologiczne. Najważniejszą częścią składową tego wodowskazu jest łąta wodowskazowa oraz podziałka.

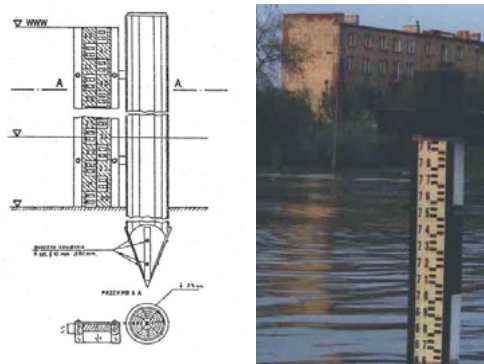


Łata wodowskazowa: a – podział jednostronny, b – podział dwustronny (cyfry i tabliczki decymetrowe z aluminium), c – segmenty ze stopu aluminium 60-centymetrowe, d – przekrój łaty wodowskazowej (Dębski 1970)

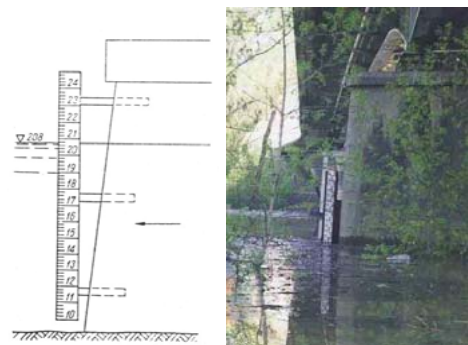
Istotnym elementem wodowskazu jest poziom zera podziałki wodowskazowej. Poziom ten, ustalany niwelacyjnie i jest w zasadzie dowolny. W praktyce poziom zera wodowskazu przyjmuje się poniżej najniższego stanu wody lub z uwagi na erozję denną powodującą pogłębianie dna rzeki (w ten sposób unika się odczytów ujemnych).

Łaty wykonywane są z różnych materiałów: drewno, metal, tworzywo sztuczne. Wyposażone są w podziałki. Skala podziałki oraz cyfry mogą być namalowane lub wypalone, lub stanowić jednolitą całość z łatą (odlew z żeliwa lub aluminium). Najczęściej podziałka składa się z segmentów o długości od 60 – 100 cm, które są przymocowane do łaty.

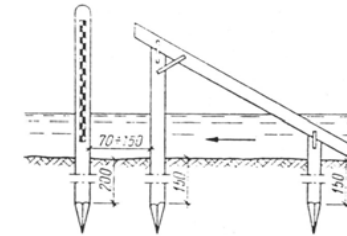
Lokalizacja łat wodowskazowych:



Wodowskaz wolno stojący na palu



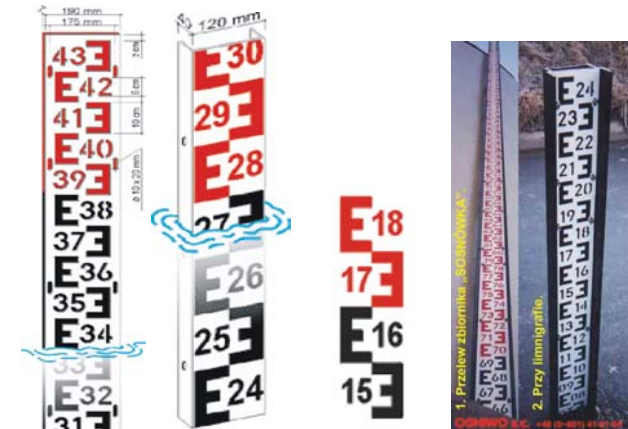
Wodowskaz przy filarze mostu



Wodowskaz przy izbicy.

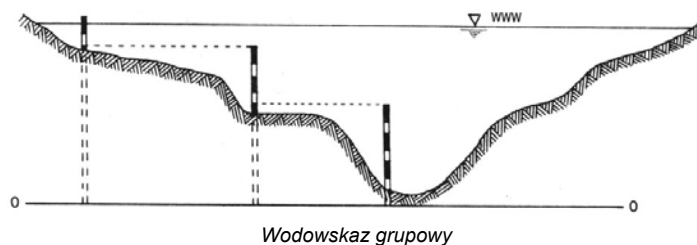
Typy wodowskazów łatowych:

Łata prosta – podziałka na łacie jest określona co 2 cm (dokładność odczytu co 1 cm) opisana poprzez 3 cyfry. Łatę taką można stosować w przypadku niezbyt dużych wahań stanów wody – najczęściej północna część Polski.



Łata prosta

Wodowskaz grupowy – w przypadku, gdy zakres pomiarów na łacie jest dość duży stosuje się łaty dzielone. Wchodzą one w skład jednego wodowskazu i mają wspólny poziom (zera) odniesienia. Powinny być tak usytuowane, aby podziałki „zachodziły na siebie” (w przypadku stanów granicznych można dokonywać jednocześnie odczytu na dwóch sąsiadujących łatach). Pozwala to na zmniejszenie się wysokości poszczególnych łat i lepszą ochronę przed uszkodzeniem.



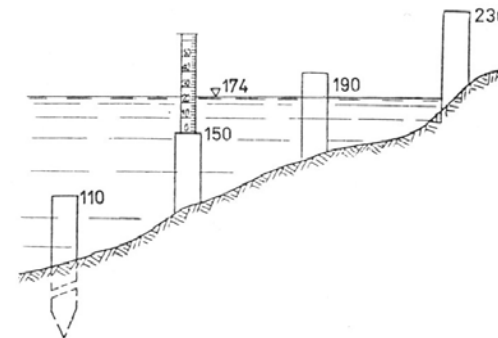
Wodowskaz schodkowy – stosowany w korytach uregulowanych. Fragmenty łat są przymocowane do schodów usytuowanych na skarpach cieku. Przy tego typu położeniu łat odczyt jest bardzo dokładny, ponieważ łata usytuowana jest bokiem do nurtu (nie następuje podpiętrzanie wody na wodowskazie).



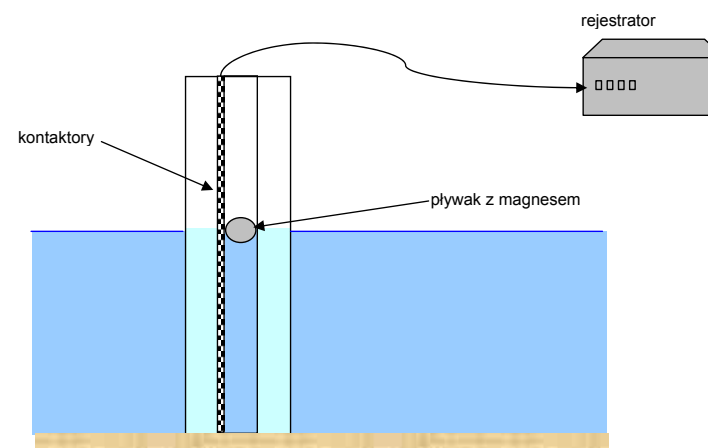
Łaty skośne – montowane na skarpach cieków po regulacji (w żłobach). W tego typu łatach podziałka jest skażona (wielkość skażenia zależy od kąta nachylenia skarp cieku). Przy takim położeniu łat odczyt jest bardzo dokładny, ponieważ łata usytuowana jest bokiem do nurtu (nie następuje podpiętrzanie wody na wodowskazie).



Wodowskaz palowy – składa się z szeregu pali wbitych w przekroju poprzecznym rzeki w dno i skarpy. Główki pali mają określone rzędne ponad poziom porównawczy. Pomiar polega na określeniu wzniesienia zwierciadła wody ponad główką pala zanurzonego w wodzie. Stosowany na nieuregulowanych ciekach.

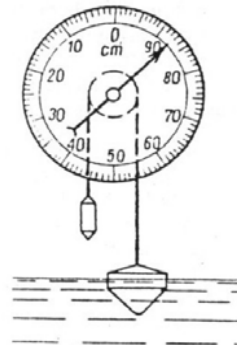


Łaty cyfrowe – stosowane na wodach niezamarzających. Zasada działania łat cyfrowych oparta jest o magnes, który umieszczony jest w pływak (float) poruszającym się w rurze. Na zewnątrz rury umieszcza się kontaktory (urządzenie, które zamyka obwód pod wpływem pola magnetycznego). Pod wpływem zmian poziomu wody - pływak przesuwa się i powoduje zamknięcie obwodu w kontaktorze umieszczonym na odpowiedniej wysokości. Po zamknięciu obwodu impuls elektryczny przekazywany jest do rejestratora.



Wodowskazy pływakowe

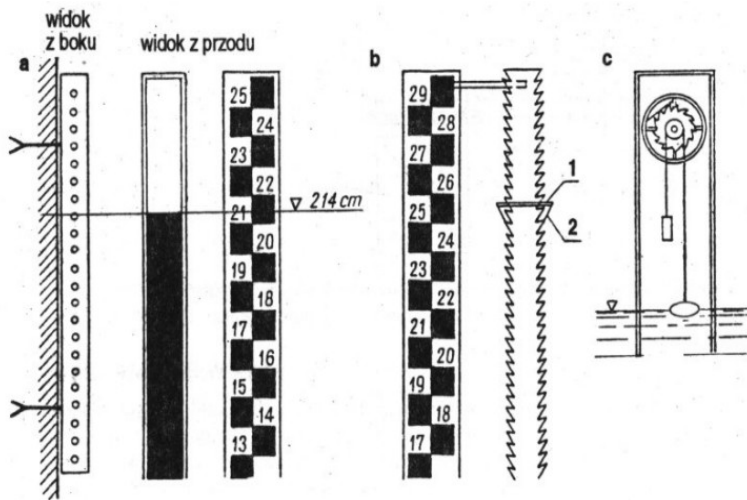
Wodowskazy składają się z pływaka, utrzymującego się na powierzchni wody oraz podnoszącego się i opadającego wraz ze zmianami stanów wody. Pływak zawieszony jest na linie sprężonej z mechanizmem wskazującym. Na rzekach szybko płynących pływaki umieszcza się zazwyczaj w rurach lub studniach stojących na brzegu i połączonych z rzeką. Zgodnie z zasadą naczyń połączonych zwierciadło wody w rurze znajduje się na tej samej wysokości co w rzece.



Wodowskaz pływakowy, ze skalą tarczową

Wodowskazy maksymalne

Na rzekach górskich oraz małych ciekach, na których wezbrania są gwałtowne i krótkotrwałe, gdy nie ma możliwości założenia limnimetru, stosuje się wodowskazy maksymalne. Urządzenia te pozwalają na zarejestrowanie kulminacji wezbrania występującego pomiędzy terminami obserwacji wodowskazowych.



Wodowskazy maksymalne: a – skrzynkowy; b – z zębatką; 1 – pływak, 2 – sprężyna; c – pływakowy

(Dębski 1970)

Limnimetry

Limnimetr – przyrząd do rejestracji zmiany stanu wody w czasie. Przyrząd składa się z urządzenia pomiarowego i urządzenia rejestrującego.

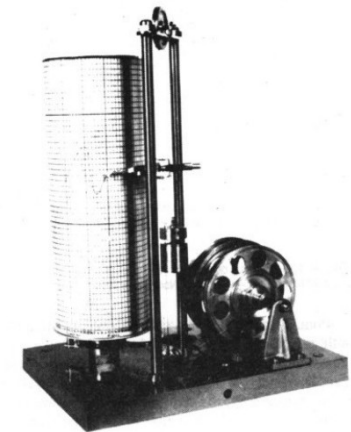
Limnigraf – przyrząd rejestrujący w sposób graficzny zmiany stanu wody w czasie. Limnigrafy przystosowane do rejestracji zmian stanów wody na brzegach mórz noszą nazwę mareografów. W przekrojach wodowskazowych, w których zainstalowane są limnigrafy, w celu kontroli ich działania zakłada się przeważnie wodowskazy łatowe.

Urządzenie pomiarowe – przenosi wszelkie zmiany zwierciadła wody w profilu wodowskazowym na urządzenie rejestrujące. Stosowane są limnimetry:

- pływakowe
- ciśnieniowe
- elektroniczne

Urządzenia rejestrujące mogą być:

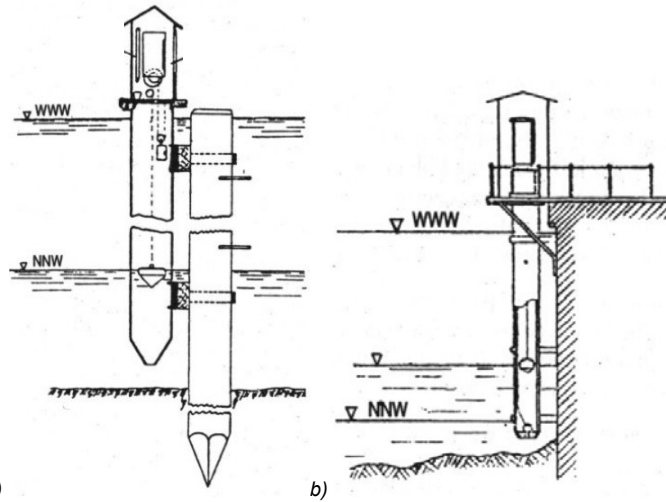
- mechaniczne
- analogowe
- cyfrowe



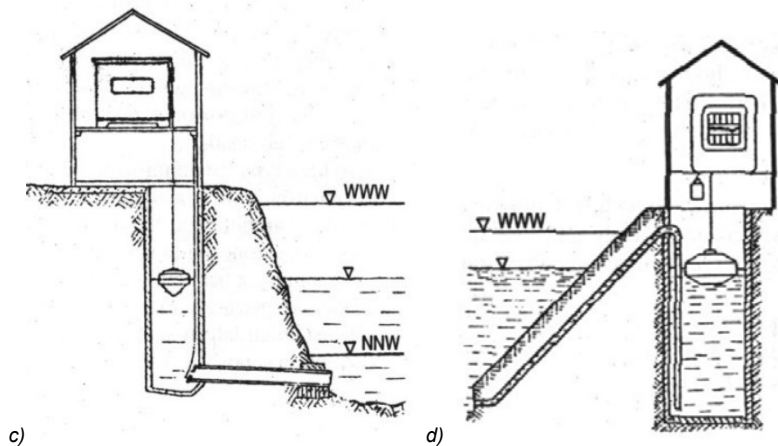
Limnigraf KB-2

Limnigrafy pływakowe – urządzeniem pomiarowym jest wodowskaz pływakowy. W zależności od sposobu zainstalowania pływaka rozróżnia się limnigrafy:

- rurowe – stosowane na mniejszych rzekach, o niewielkiej amplitudzie stanów wody. Ze względu na ustawienie rury rozróżnia się limnigrafy wolno stojące i brzegowe. Dopływ wody może odbywać się poprzez otwór w korku lub w płaszczu rury. Zapobiega to przenoszeniu falowania wody w rzece na zwierciadło wody w rurze. Aby zapobiec zamarzaniu wody w rurze, wlewa się do rury ropę naftową, której warstwa pokrywa powierzchnię wody. Ponad rurą umieszczona jest budka lub skrzynka, w której znajduje się urządzenie rejestrujące,
- z ujęciem poziomym – są najczęściej stosowane. Wylot rury powinien znajdować się poniżej najniższego znanego stanu wody. Rura zakończona jest kształtką skierowaną zgodnie z biegiem rzeki. Na rzekach o zmiennym dnie często zakłada się rury na różnych poziomach. Rejestrator znajduje się w budce nad studnią i jest umieszczany powyżej najwyższego stanu wody,
- lewarowe – wykonanie takich limnigrafów jest bardziej ekonomiczne, ponieważ nie ma potrzeby wykonywania robót ziemnych przy zakładaniu rury poziomej, jednak eksploatacja jest bardziej kłopotliwa.

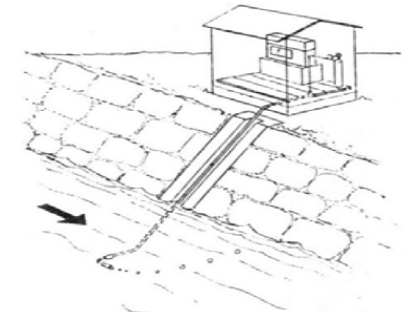


Limnigrafy pływakowe: a) w rurze na palu wolnostojącym; b) w rurze na murze oporowym



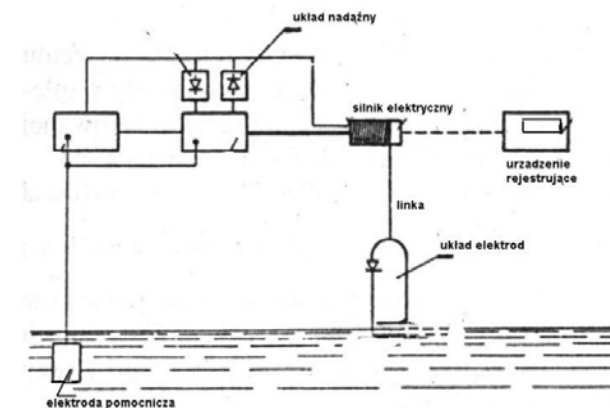
Limnigrafy pływakowe: c) w studni z ujęciem poziomym; d) w studni połączonej z wodą lewarem

Limnigrafy ciśnieniowe - Zasada działania limnigrafów ciśnieniowych, zwanych również pneumatycznymi lub manometrycznymi, polega na pomiarze ciśnienia wody, jakie panuje w określonym punkcie przekroju wodowskazowego.



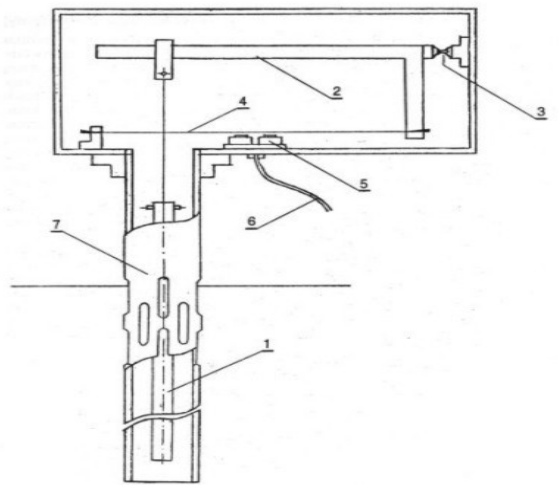
Schemat limnigrafu ciśnieniowego

Limnigrafy nadążne - Oparte na układach elektronicznych. W limnigrafach tego typu urządzenie pomiarowe stanowi czujnik – sonda, zawieszona na linie przewodzącej. Czujnik składa się z dwóch elektrod. Położenie czujnika w stosunku do zwierciadła wody wywołuje odpowiedni sygnał w elektronicznym układzie sterującym, zwanym układem nadążnym. Układ pozostaje w spoczynku, gdy zwierciadło wody znajduje się między elektrodami. Przy zmianie poziomu wody obydwie elektrody mogą znaleźć się pod lub ponad zwierciadłem wody. Wówczas w układzie nadążnym wzbudzone zostają sygnały sterujące, uruchamiające silnik elektryczny, który powoduje obrót sprzężonego z nim bębna linowego, a tym samym podnoszenie lub obniżenie czujnika. Ruch bębna ustaje, gdy zwierciadło znajdzie się ponownie między elektrodami. Opisane urządzenie nie zapewnia jednak zadowalającej dokładności pomiaru przy szybkich zmianach poziomu zwierciadła wody.



Limnigraf nadążny

Limnigraf strunowy – opracowany przez W.Gądkę z Politechniki Krakowskiej. Wykorzystano w nim zależność częstotliwości drgań struny metalowej od siły napinającej strunę. Metalowa struna pobudzana jest do drgań impulsem elektrycznym poprzez elektromagnesy. Drgania struny zgodnie z prawem Maxwella wytwarzają zmienne pole elektryczne. Zmiana siły naprężającej strunę powoduje zmianę częstotliwości jej drgań, co jest rejestrowane przez czujnik. W przypadku pomiaru wahań stanów wody, siłą zmieniającą naprężenie struny jest parcie hydrostatyczne wywołane przez słup wody na czujniku.



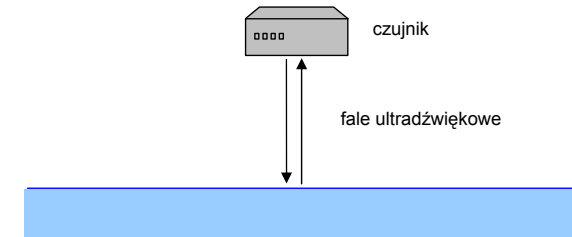
Schemat limnigrafu strunowego; 1 – pływak, 2 – ramię przekazujące, 3 – przegub, 4 – struna, 5 – elektromagnesy, 6 – kabel, 7 – perforowana rura ochronna (Gądek, Włózik 1987)

Limnigraf strunowy

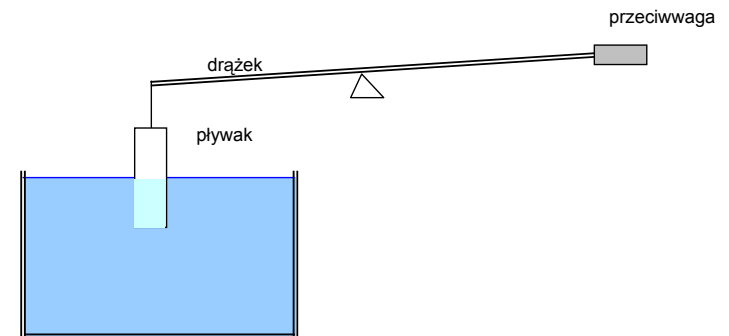
Sonda poziomowskazowa - składa się z łańcucha rezystorów. Zmiany zwierciadła wody powodują zatopienie pewnej liczby rezystorów, co zmienia rezystancję sondy proporcjonalnie do liczby zatopionych rezystorów.

Sonda ultradźwiękowa – pomiar zmian stanu wody przy pomocy fal ultradźwiękowych. Czujnik jest montowany nad ciekiem i wysyła wiązkę fali ultradźwiękowej, która po odbiciu wraca do czujnika. Na podstawie czasu przebiegu fali ultradźwiękowej określa się odległość zwierciadła wody od czujnika i zarazem stan wody. Częstotliwość wiązki powinna tak być dobrana, aby ignorowane były zjawiska atmosferyczne (deszcz, śnieg, mgła). Na pomiar nie powinno mieć wpływu falowanie wody. Urządzenie dość kosztowne w zakupie i eksploatacji z uwagi na duży pobór energii elektrycznej.

Czujnik wypornościowy – przyrząd ten składa się z dźwążka podpartego w jednym punkcie. Na jednym końcu dźwążka znajduje się pływak (element wypornościowy), na drugim przeciwwaga. Pod wpływem zmian zwierciadła wody pływak zmienia swoją pozycję, co powoduje przechylenie się dźwążka. Wychylenie dźwążka określa stan wody.



Sonda ultradźwiękowa

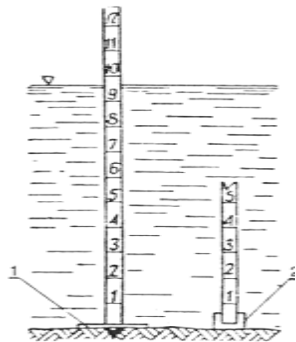


Czujnik wypornościowy

POMIAR GŁĘBOKOŚCI

Do pomiaru głębokości służą przyrządy zwane sondami.

Sondy drążkowe



Sonda drążkowa;
1 – talerz, 2 – okucie (Dębski 1970)

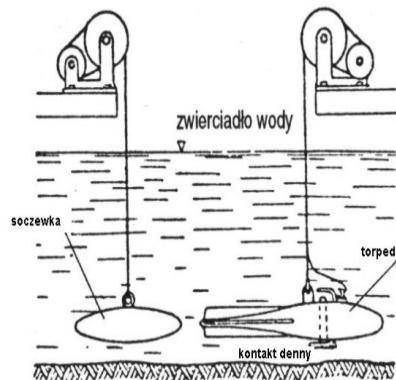
□

Sondy ciężarkowe

Przy głębokościach większych niż 4 m i prędkościach większych niż 1 m/s stosowane są sondy ciężarkowe. Sondy te wykonywane są zazwyczaj z żelaza lub ołowiu w kształcie kul, soczewek lub torped i zawieszane na linie stalowej.

Sondy o masie do 3 kg opuszcza się ręcznie. Cięższe sondy opuszcza się do wody ze specjalnych wyciągów linowych zaopatrzonych w liczniki. Przy większych głębokościach stosuje się czujnik, który sygnalizuje oparcie sondy na dnie.

W ciekach o dużych prędkościach przepływu napór hydrodynamiczny wody oddziałuje na sondę i linę, powodując odchylenia. W tych wypadkach należy pomiar zweryfikować o poprawkę zależną od prędkości przepływu, głębokości wody oraz masy liny i ciężarka.

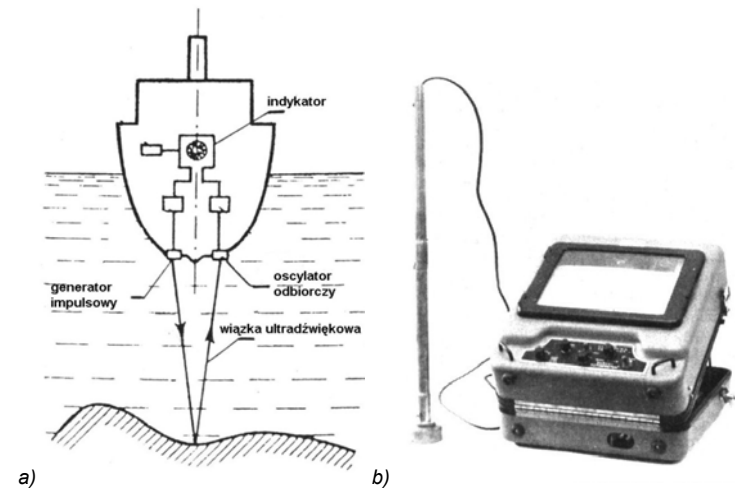


Echosondy

Echosonda (sonda akustyczna) działa na zasadzie odbicia fali ultradźwiękowej od dna rzeki lub zbiornika wodnego. Podczas pomiaru na zwierciadle wody (lub w jego pobliżu) umieszcza się źródło i odbiornik dźwięku. Nadajnik echosondy wysyła fale akustyczne w postaci krótkich impulsów, które dochodzą do dna, odbijają się od niego i powracają do odbiornika. Na podstawie czasu przebiegu fal określa się głębokość wody.

Podstawowym elementem echosondy jest indykator sterujący całą aparaturą oraz wskazujący mierzoną głębokość.

Produkowana w Polsce echosonda SP-405/2 służy do pomiaru głębokości w zakresie od 0 do 45 m. Minimalny zasięg pomiaru waha się w granicach od 0.5 do 0.8 m. Błąd pomiaru około 1.5%



Echosonda: a) schemat, b) SP-405/2

Literatura

A.Byczkowski - „Hydrologia”; tom.1; Wydawnictwo SGGW - Warszawa 1996

METODY POMIARU OBJĘTOŚCI PRZEPŁYWU

Pomiary objętości przepływu mają na celu określenie ilości wody Q przepływającej w cieku naturalnym lub sztucznym w jednostce czasu t .

$$Q = \frac{V}{t}$$

gdzie: V – objętość przepływającej wody [m^3 , dm^3],
 t – czas [s, min].

Mogą one być wykonywane w różny sposób, przy czym wybór odpowiedniej metody pomiaru zależy zarówno od rodzaju i wielkości cieku wodnego, jak i od rodzaju posiadanych przyrządów.

Rozróżnia się dwie grupy metod pomiarowych:

- A. **Metody jednoparametrowe** nazywane również bezpośrednimi, polegają na pomiarze jednej zmiennej funkcji opisującej przepływ, np. wysokość strumienia wody przelewającej się przez przelew.
- B. **Metody wieloparametrowe** nazywane pośrednimi polegają na pomiarze kilku zmiennych mających wpływ na wielkość przepływu, takich jak prędkość średnia, powierzchnia przekroju hydrometrycznego i inne.

W zależności od sposobu określania prędkości rozróżnia się trzy rodzaje metod:

- a) metody polegające na pomiarze powierzchni przekroju i prędkości punktowej w tym przekroju,
- b) metody polegające na pomiarze prędkości wody na pewnym odcinku (pomiar odcinkowe) i powierzchni przekroju przeciętnego na tym odcinku cieku,
- c) metody polegające na pomiarze przekroju poprzecznego i spadku zwierciadła wody w tym przekroju.

Przykłady metod pomiaru i obliczania przepływu

A. Metody jednoparametrowe

1. Pomiar za pomocą podstawionego naczynia

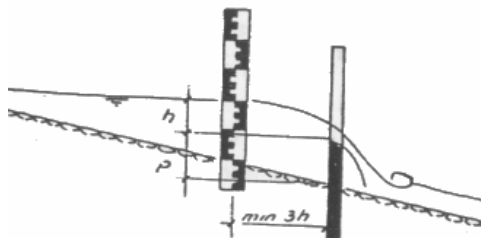
Jest to najprostsza metoda polegająca na pomiarze ilości wody dopływającej do podstawionego wycechowanego naczynia. Znając objętość naczynia V i czas jego napełnienia t , określa się natężenie przepływu. Jest to metoda najdokładniejsza, lecz możliwość jej stosowania ogranicza się do cieków o bardzo małym przepływie.



Pomiar metodą podstawionego naczynia

2. Pomiar za pomocą przelewów

Metoda wymaga zainstalowania w przekroju pomiarowym przelewu, którego kształt jest zależny od amplitudy zmian przepływu. Przepływ obliczamy ze wzorów, mierząc wysokość warstwy przelewającej się wody h w odległości co najmniej $3h$ od przelewu z uwagi na krzywiznę zwierciadła wody nad przelewem.



Pomiar napełnienia na przelewie



Sposoby instalacji przelewu w korycie cieku

Najczęściej stosowanymi przelewami są:

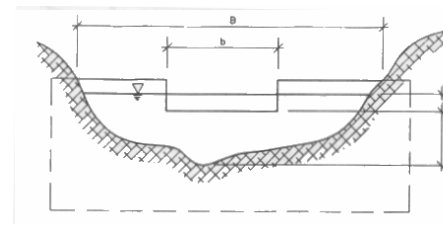
- a) przelew Ponceta – jest to przelew prostokątny ze zwężeniem bocznym i dolnym.

$$Q = \frac{2}{3} \mu h^{2/3} \sqrt{2gh}$$

gdzie:

Q – przepływ [m^3/s],
 b – szerokość przelewającej się wody [m],
 h – wysokość warstwy wody [m],
 μ – współczynnik wydatku przelewu

$$\mu = \left(0.578 + 0.037 \left(\frac{b}{B} \right)^2 \frac{3.615 - 3 \left(\frac{b}{B} \right)^2}{h + 1.6} \right) \left(1 + 0.5 \left(\frac{b}{B} \right)^4 \left(\frac{h}{h+p} \right) \right)$$



Przelew Ponceta

- b) przelew Thomsona – jest to przelew trójkątny ze zwężeniem bocznym.

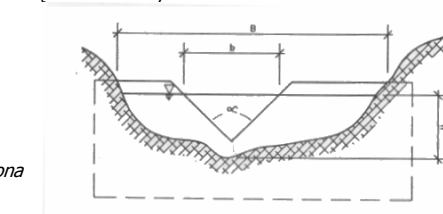
$$Q = k h^{2.5}$$

gdzie:

$$k = -0.000191 h + 0.014325$$

Dla $\alpha = 90^\circ$

$$Q = 0.014 h^{2.5} \quad 40 < h < 250 \text{ cm}$$



Przelew Thomsona

Aby ułatwić obliczenie przepływu za pomocą przelewów, opracowano tabele, z których odczytuje się wartości przepływu dla pomierzonych wysokości napełnienia.

Zainstalowane w przekroju koryta przelew i łąta wodowskazowa umożliwiają w sposób łatwy i dokładny określenie wielkości przepływu.

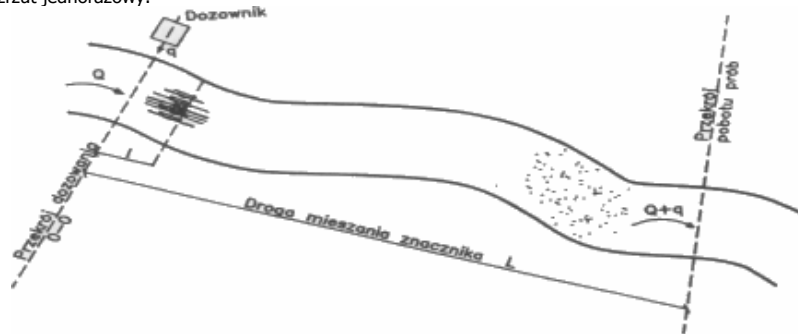
Wartości napełnienia i przepływu dla przelewu Thomsona

Napełnienie h [cm]	Przepływ Q [m^3/s]
40	0.448
60	1.235
80	2.534
100	4.427
120	6.984
140	10.267
150	12.200
160	14.336
180	19.244
200	25.044
220	31.782
240	39.505
250	43.750

3. Metoda kolorymetryczna

Znajduje ona zastosowanie dla małych potoków górskich charakteryzujących się dużą burzliwością ruchu, co zapewnia dobre wymieszanie dawki wskaźnika z płynącą wodą. Metodę tę stosuje się w zakresie przepływów od 0.02 do 4.00 m^3/s .

Polega ona na wprowadzeniu do wody płynącej korytem potoku roztworu znacznika (barwnika) o znanym stężeniu, przy czym wprowadzenie to może odbywać się poprzez dozowanie ciągle z wydatkiem q lub zrzut jednorazowy.



Metoda kolorymetryczna

W przekroju kontrolnym pobiera się próbki wody zabarwione znacznikiem, których stężenie mierzy się przyrządem zwanym kolorymetrem zaopatrzonym w fotokomórkę. Przez badane próbki zabarwionej wody przepuszcza się wiązkę światła, która wpada do fotokomórki połączonej z galvanometrem o dużej czułości.

Między stopniem rozcieńczenia barwnika a wskazaniami galvanometru istnieje związek, który przedstawia krzywa tarowania.

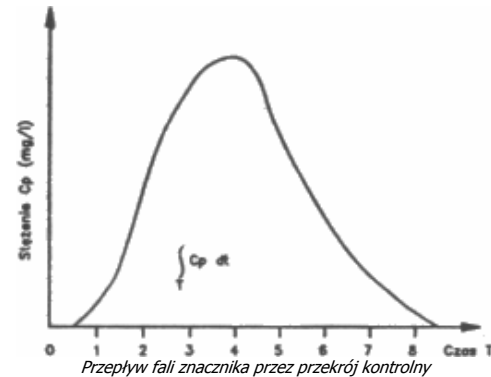
Metoda jednorazowego zrzutu znacznika polega na punktowym wprowadzeniu całej objętości roztworu znacznika w krótkim czasie. Wskutek zjawiska dyspersji wytworzy się fala znacznika, której przejście przez przekrój kontrolny zarejestrowane jest jako krzywa stężeń w funkcji czasu.

Wielkość przepływu Q obliczamy ze wzoru:

$$Q = \frac{M}{\int C_p dt}$$

gdzie:

Q - aktualna wielkość przepływu w cieku (l/s),
 M - masa wprowadzonego znacznika (mg),
 C_p - stężenie roztworu w próbkach pobranych w przekroju kontrolnym (mg/l),
 t - czas (s).



Poprawne wyniki pomiaru można uzyskać, gdy:

- przepływ Q jest stały podczas trwania pomiaru,
- nie ma strat znacznika przy przejściu od przekroju dozowania do przekroju kontrolnego,

- całka $\int C_p dt$ ma wartość stałą w poszczególnych punktach przekroju,

- odcinek pomiarowy pozbawiony bocznych dopływów jest zwarty bez szerokich rozlewisk i martwych zastoisk wodnych. Jego długość oraz warunki przepływu powinny gwarantować zupełne wymieszanie wprowadzonego roztworu wskaźnika z wodą w rzece.

Długość odcinka L ustala się, wlewając roztwór fluoresceiny w przekroju 0 i obserwując miejsce, w którym fluoresceina zabarwi wodę na całej szerokości rzeki. L wynosi zazwyczaj $L = 3l \div 6l$

Najczęściej stężenie barwnika oraz liczbę próbek pobieranych w przekroju pomiarowym określa się stosownie do istniejących warunków przepływu. Jeżeli szerokość cieku jest mniejsza niż 5 m, wtedy próbki należy pobierać ze środka rzeki, jeśli jest większa od 5 m, wówczas dodatkowo pobiera się próbki w odległości 0.25 m od obydwu brzegów.

Metoda kolorymetryczna w praktyce



Wprowadzanie barwnika

Pobieranie próbek

Określanie stężenia

B. Metody wieloparametrowe

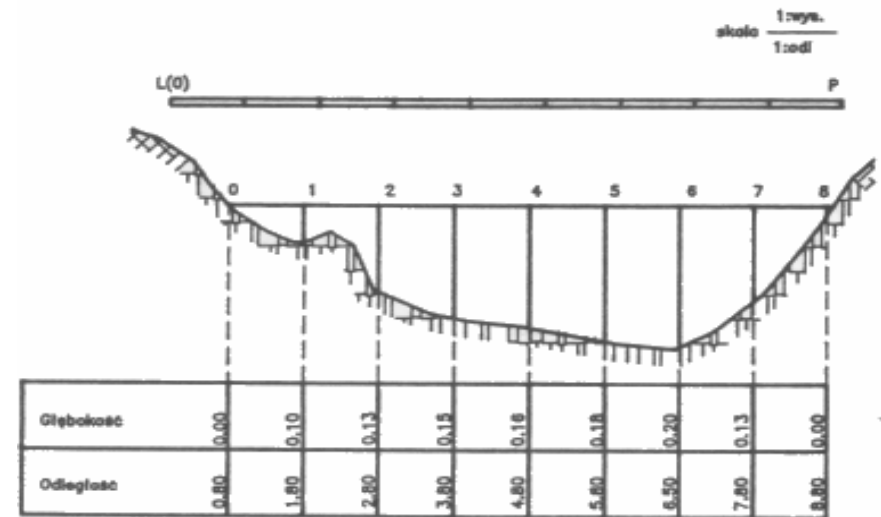
Metody wieloparametrowe dzielimy na punktowe i odcinkowe.

Metody punktowe polegają na mierzeniu prędkości w wybranych punktach przekroju poprzecznego.

Metody punktowe

Przekrój wybrany do pomiaru nazywamy przekrojem hydrometrycznym. Powinien on być regularny, położony na prostym odcinku rzeki i wytyczony prostopadłe do kierunku ruchu wody.

Przed przystąpieniem do właściwego pomiaru należy odczytać stan wody na wodowskazie i zanotować datę i czas jego wykonania. Podczas wykonywania pomiaru należy kontrolować stan wody na wodowskazie lub tymczasowo wbitym paliku w dno rzeki przy brzegu. Pomiar przepływu składa się z dwóch części: sondowań głębokości i pomiaru prędkości. Aby dokonać sondowania przekroju należy nad zwierciadłem wody rozciągnąć wyskalowaną linę pomiarową lub taśmę.



Przekrój poprzeczny koryta rzeczego

Koniec liny (zero podziałki) powinien być umocowany na brzegu lewym, tak aby odczyty podziałki wzrastały od brzegu lewego do prawego. Głębokość należy mierzyć tym gęściej, im mniej regularny jest kształt dna koryta.

Do pomiaru głębokości służą sondy. Są to rurki mosiężne lub aluminiowe zaopatrzone w dolnym końcu w talerz i krótki kolec, co pozwala na ich dobre oparcie o dno. Sondy zwykle mają średnicę 20 mm i naciętą podziałkę co 1 cm. Wykorzystywane są do małych i średnich głębokości. Głębsze przekroje mierzone są za pomocą sond sztywnych z podziałem co 5 lub 10 cm. Do sondowania dużych zbiorników wodnych jezior i mórz wykorzystuje się echosondy. Z powierzchni wody wysyłane są impulsy dźwiękowe w kierunku dna zbiornika i za pomocą odpowiednich aparatów odbiorczych przyjmowane odbite fale dźwiękowe. Znając prędkość rozchodzenia się fal w wodzie (1500 m/s) oraz mierząc czas potrzebny na przejście fali na drodze nadajnik no odbiornik, można określić głębokość zbiornika.

Zasady rozmieszczenia sondowań i pionów hydrometrycznych w przekroju poprzecznym (wg IMGW)

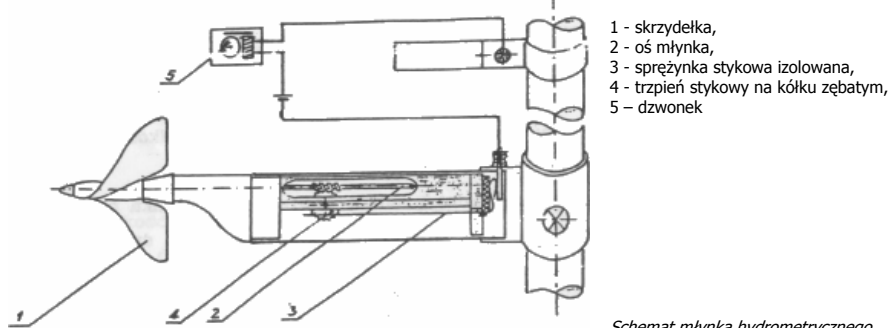
Lp.	Rozmieszczenie sondowań		Rozmieszczenie pionów hydrometrycznych	
	przy szerokości rzeki do	nie rzadziej jak co	przy szerokości rzeki do	liczba pionów
1	2 m	0.2 m	2 m	minimum 3
2	10 m	0.5 m	10 m	4 – 6
3	30 m	1.0 m	30 m	do 8
4	80 m	2.0 m	80 m	do 10
5	200 m	5.0 m	200 m	do 12
6	ponad 200 m	10.0 m	ponad 200 m	ponad 15

Rozmieszczenie punktów pomiarowych w pionie hydrometrycznym (wg IMGW)

Głębokość h [cm]	Przy przepływie swobodnym		Przy pokrywie lodowej lub zarastaniu koryta	
	Rozmieszczenie punktów pomiarowych	Liczba punktów pomiarowych	Rozmieszczenie punktów pomiarowych	Liczba punktów pomiarowych
< 0.2 m	0.4 h	1	0.5 h	1
0.2 – 0.6 m	0.2 h	3	0.15 h	3
	0.4 h		0.5 h	
	0.8 h		0.85 h	
> 0.6 m	przy dnie	5	przy dnie	6
	0.2 h		0.2 h	
	0.4 h		0.4 h	
	0.8 h		0.8 h	
	przy powierzchni		przy powierzchni	

Po przesondowaniu przekroju poprzecznego koryta wyznacza się w nim pion hydrometryczny, w których dokonuje się pomiaru prędkości wody na różnych głębokościach..

Do punktowych pomiarów prędkości przepływów służą młynki hydrometryczne.



Schemat młynka hydrometrycznego

Zasada działania młynka hydrometrycznego jest następująca:

Skrzydła umieszczone na osi poziomej ustawia się pod prąd wody. Obracają się one wraz z osią, na której nacięta jest ślimacznica. Porusza ona kółko zębate, na którym mieści się trzpień. W miarę obrotu kółka zębatego zbliża się on do sprężynki stykowej 3. Zetknięcie trzpienia ze sprężynką zamyka obwód elektryczny, co sygnalizowane jest sygnałem dźwiękowym,

(dzwonek). Zetknięcie to następuje za każdym pełnym obrotem kółka zębatego, któremu odpowiada dokładnie określona liczba obrotów skrzydełek. Czas upływający między kolejnymi sygnałami mierzy się stoperem.

Młynek hydrometryczny może być mocowany na rurze bądź zawieszony na linie. Sposób pierwszy jest stosowany w przypadku, gdy głębokość w pionie pomiarowym nie przekracza 3 metrów. W praktyce jednak pomiar młynkiem zamocowanym na rurze jest kłopotliwy już przy głębokości 2 m i prędkości wody powyżej 1.5 m/s.

W przypadku konieczności zawieszenia młynka na linie należy dobrze dobrać odpowiednie jego obciążenie i średnicę linki zawieszenia

Wielkość obciążenia i średnica linki		
Prędkość wody [m/s]	Wielkość obciążenia [KG]	Średnica linki [mm]
1	10 – 15	1.0
1 - 2	25 – 50	1.5 – 1.8
2 – 3	50 – 75	2.0 – 3.0
3	75 – 100	3.0 – 4.0

Obciążenie młynka powinno mieć kształt opływowy, tak aby stawiało jak najmniejszy opór płynącej wodzie; unika się przez to zbyt dużego odchylenia linki od pionu. Ponieważ jednak zawsze występuje pewne jej odchylenie, to przy określaniu głębokości zanurzenia młynka należy długość linki pomnożyć przez cosinus kąta odchylenia.

Po opuszczeniu młynka do wody na żadaną głębokość można rozpocząć pomiar prędkości. Równocześnie z wystąpieniem sygnału dźwiękowego, który przyjmuje się za zerowy, uruchamia się stoper. W chwili wystąpienia następnego sygnału odczytuje się (nie wyłączając stopera) czas z dokładnością do 0.2 s i otrzymaną wartość wpisuje się do dzienniczka pomiarowego.

Metoda punktowa w praktyce



Sondowanie



Zestaw: młynek + rejestrator



Pomiar prędkości wody młynkiem hydrometrycznym

Pomiędzy prędkością wody a liczbą obrotów skrzydełek młynka zachodzi związek liniowy, który jest wyrażony równaniem:

$$v = \alpha + \beta n$$

gdzie:

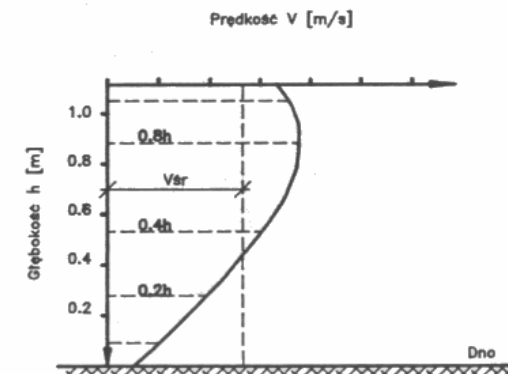
v - prędkość wody (m/s),

n - liczba obrotów skrzydełek młynka na sekundę,

α, β - wielkości stałe, określone na podstawie tarowania i podane w metryce młynka.

Pomiary prędkości wykonane w poszczególnych pionach hydrometrycznych służą do określenia tachoid, krzywych rozkładu prędkości w pionach.

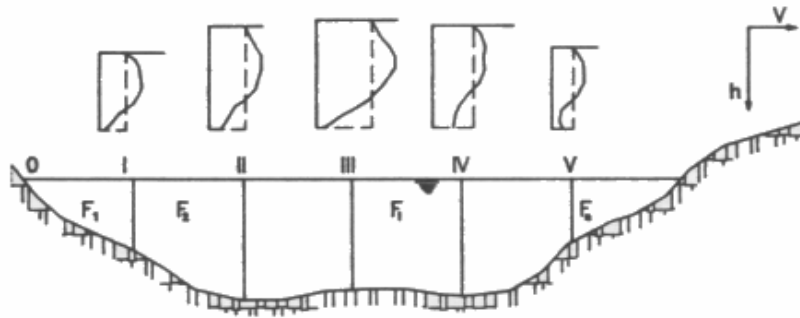
Dzieląc pole tachoidy przez wysokość otrzymujemy średnią prędkość w pionie.



Zależność prędkości przepływu od głębokości (tachoida)

Obliczenie objętości przepływu na podstawie wyników punktowych pomiarów prędkości,**a) metoda rachunkowa**

Po wykreśleniu przekroju poprzecznego z zaznaczeniem pionów hydrometrycznych, w których dokonano punktowego pomiaru prędkości przepływu, należy obliczyć pola przekroju wydzielone tymi pionami $F_0, F_1, F_2, \dots, F_n$ oraz prędkości średnie w pionach w oparciu o tachoidy. Przeciętne wartości prędkości średnich dla pól zawartych między pionami można obliczyć jako średnią arytmetyczną prędkości średnich w pionach ograniczających dane pole,



Przekrój poprzeczny koryta z pionami hydrometrycznymi

Wielkość prędkości średniej dla dwóch sąsiadujących ze sobą pól

$$v_{sr\ I-II} = \frac{v_{sr\ I} + v_{sr\ II}}{2}$$

Dla pól skrajnych średnia prędkości jest równa 2/3 prędkości w najbliższym pionie

$$v_{0-I} = \frac{2}{3} v_I$$

Obliczenie objętości przepływu polega na zsumowaniu iloczynów pól częściowych F_i i prędkości średnich v_i

$$Q = \sum_{i=1}^n F_i v_{sr\ i}$$

gdzie:

Q - natężenie przepływu (m³/s),
 F_i - powierzchnie przekroju między pionami hydrometrycznymi (m²),
 v_i - przeciętna wartość prędkości średnich w sąsiadujących pionach (m/s) obliczona ze wzoru.

b) metoda Harlachera

Po obliczeniu prędkości średnich w poszczególnych pionach sporządza się wykres rozkładu prędkości w przekroju poprzecznym. Następnie oblicza się iloczyny prędkości średnich i głębokości wody w poszczególnych pionach hydrometrycznych, odkładając te wartości ($v_{sr} \cdot h$) w dół od zwierciadła wody. Wykres krzywej iloczynów powinien być wykonany w takiej skali, by w całości mieścił się wewnątrz przekroju poprzecznego.

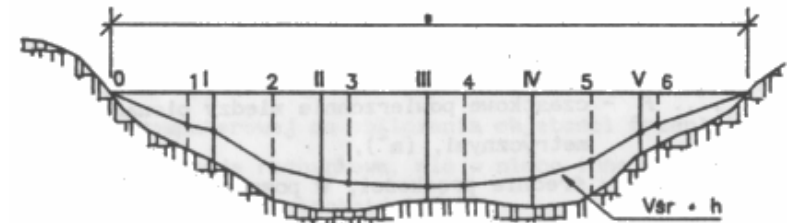
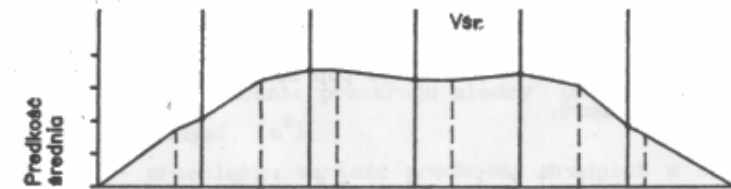
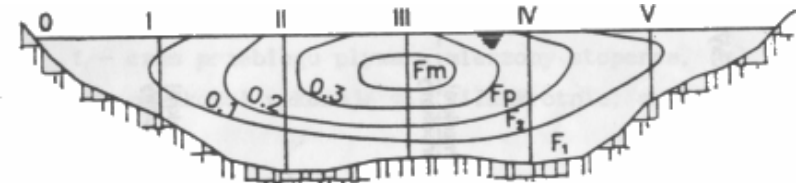
Pole zawarte pomiędzy tą krzywą a linią poziomą określającą położenie zwierciadła wody przedstawia w przyjętej podziale objętość przepływu Q .

$$Q = \int_B h v_{sr} dB$$

gdzie:

B – szerokość koryta [m].

Wartość całki określa się poprzez planimetrywanie pola zawartego między zwierciadłem wody a krzywą iloczynów prędkości v_{sr} i głębokości h .

Przekrój poprzeczny koryta, wykres rozkładu prędkości średnich w przekroju, krzywa iloczynów ($v_{sr} \cdot h$)**c) metoda Culmanna**

Linie jednakowych prędkości (izotachy)

W oparciu o wykreślone wcześniej tachoidy należy skonstruować krzywe jednakowych prędkości, tzw. izotachy. Obliczenie przepływu polega na planimetryowaniu pól ograniczonych liniami jednakowych prędkości. Średnia prędkość $v_{sr\ C}$ między dwoma izotachami jest równa średniej arytmetycznej z prędkości granicznych w każdym polu F_C . Przepływ obliczamy następująco:

gdzie:

i – liczba pól,

F_{C_i} – powierzchnia zawarta między izotachami (m²),

$v_{sr\ C_i}$ – średnia prędkość przepływu wody przez pole i (m/s).

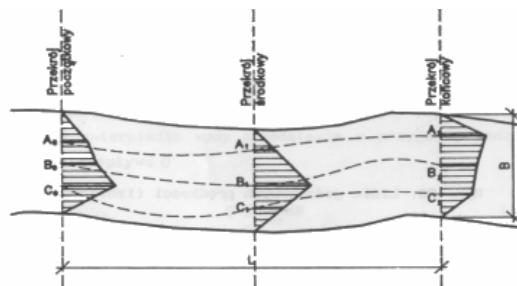
$$Q = \sum_{i=1}^n F_{C_i} v_{sr\ C_i}$$

Metoda odcinkowa

Odcinkowe pomiary przepływu polegają na pomiarze prędkości na wybranym odcinku cieku za pomocą pływaków. Do pływającej wody wrzuca się przedmioty nietonące, które poruszają się z prędkością powierzchniową. Pływakiem może być krążek drewniany, butelka częściowo napełniona wodą itp.



Metoda pływakowa w praktyce



Schemat pomiaru pływakowego

Odcinek cieku, na którym ma być przeprowadzony pomiar pływakowy, powinno się tak dobrać, aby strugi wody przebiegały równolegle do linii nurtu. Długość odcinka powinna być większa od szerokości B. Przy szerokości od 3 do 20 m długość odcinka przyjmuje się w granicach od 10 do 40 m, zależnie od prędkości wody. Przed przystąpieniem do pomiaru należy przesondować przekroje poprzeczne na początku, w środku i na końcu badanego odcinka. Prędkość na drodze pływaka określa się z równania:

$$v = \frac{L}{t}$$

gdzie:

- v - prędkość pływaka (m/s),
- L - długość odcinka pomiarowego (m),
- t - czas przebiegu pływaka na długości odcinka L (s).

Pomiar prędkości wykonuje się kilkakrotnie, a wyniki uśrednia się. Jeśli pomiar prowadzony jest na potoku o niewielkiej szerokości, to prędkość mierzy się w nurcie i można ją uznać za maksymalną prędkość powierzchniową. Do obliczenia przepływu przyjmuje się przekrój środkowy. Prędkości pomierzone na poszczególnych torach pływaków odnosimy do punktów przekroju środkowego, w których torę te przecinają przekrój w punktach (A₁, B₁, C₁). Przepływ Q₀ obliczamy np. metodą Harlachera, wykreślając krzywą iloczynów prędkości powierzchniowej i głębokości. Planimetrując pole pod krzywą (v h) otrzymujemy wartość przepływu.

Przepływ średni w wybranym przekroju koryta obliczamy ze wzoru:

$$Q = \varphi Q_0$$

gdzie: φ - współczynnik redukcyny.

Wartość współczynnika φ powinna być obliczona na podstawie jednoczesnych pomiarów młynkiem i pływakami. W przypadku, gdy pomiar prędkości przepływu został wykonany tylko w nurcie, czyli gdy została określona prędkość maksymalna v_{max}, do obliczenia prędkości średniej w przekroju można wykorzystać wzór Matakiewicza:

$$v_{sr} = m_{max} \left(0.59 + 0.02 h_{sr} + \frac{0.006}{I} \right)$$

gdzie:

- v_{sr} - prędkość średnia w przekroju poprzecznym (m/s),
- v_{max} - największa prędkość na powierzchni, równa prędkości mierzonej w nurcie (m/s),
- h_{sr} - średnia głębokość w przekroju (m),
- I - spadek zwierciadła wody (‰).

Mnożąc obliczoną prędkość v_{sr} przez pole środkowego przekroju poprzecznego koryta F (m²) otrzymujemy wartość przepływu średniego Q.

Metoda obliczania przepływu na podstawie pomiaru spadku podłużnego zwierciadła wody

Ten sposób obliczania przepływu stosowany jest w tych przypadkach, gdy zachodzi konieczność oceny przepływu szczególnie w strefie stanów wysokich, a warunki terenowe uniemożliwiają bezpośrednie wykonanie pomiaru przepływu za pomocą młynka hydrometrycznego. Do obliczenia przepływu należy wyznaczyć na wybranym odcinku powierzchnię przekroju oraz średnią głębokość w trzech przekrojach poprzecznych. Za miarodajne do określenia przepływu przyjmuje się średnią arytmetyczną powierzchni przekroju i głębokości średniej, obliczone dla każdego z trzech przekrojów. Jeśli istnieje możliwość dokładnej oceny współczynnika szorstkości koryta, przepływ można obliczyć ze wzoru Chezy:

gdzie:

$$Q = F c \sqrt{RI}$$

Q - natężenie przepływu (m³/s),
F - przekrój poprzeczny koryta (m²),
c - współczynnik prędkości określony ze wzorów empirycznych,
R - promień hydrauliczny (m),
I - spadek zwierciadła wody (‰).

W praktyce zamiast promienia hydraulicznego przyjmuje się głębokość średnią, jeśli spełniony jest warunek, że szerokość koryta jest równa co najmniej 30 -krotnej głębokości średniej. Wartość współczynnika prędkości c obliczana jest najczęściej ze wzoru Manninga:

$$c = \frac{1}{n} R^{1/6}$$

gdzie: n - współczynnik szorstkości Manninga

Wielkość współczynnika szorstkości n jest stabilizowana.

Przepływ można również obliczyć ze wzoru na prędkość średnią, uzależnioną przez Matakiewicza od głębokości średniej w przekroju h_{sr} i spadku zwierciadła wody I

$$v_{sr} = h_{sr}^{0.7} I^{0.439+101}$$

Współczynniki szorstkości "n" do wzoru Manninga

Opis koryta	Współczynnik szorstkości "n"
Rzeki i potoki w terenie płaskim i pagórkowatym, koryto ziemne proste, zwarte, czyste brzegi, dno gładkie	0.022 - 0.025
Koryta w dobrych warunkach bez większych nieregularności dna	0.025 - 0.030
Koryta ze słabo porośniętymi brzegami lub miejscami z kamienistym dnem	0.030 - 0.035
Uszkodzone lecz czyste koryta	0.028 - 0.033
Koryta uszkodzone z odkładami piasku i wybojami lub z dnem miejscami kamienistym to samo, ale przy niskiej wodzie	0.035 - 0.040
Brzegi porośnięte, koryto zwyrodniałe	0.040 - 0.045
Koryta z szypotami przy niskiej wodzie	0.040 - 0.050
Potoki górskie, koryta ze żwirem i otoczkami, z nieregularnym zw. wody	0.050 - 0.060
Koryta z otoczkami, nieregularne zw. wody bryzgi wody	0.067
Na dużych spadkach, szumiący pienisty potok	0.080
Koryta z dużą ilością otoczek, z szypotami, wodocięki płynące okresowo z bardzo dobrym, gładkim korytem	0.100 - 0.113
Koryta ziemne w stosunkowo dobrym stanie	0.033
Koryta porośnięte, ze znacznym ruchem rumowiska w czasie wielkiej wody	0.040
Koryta uszkodzone z odkładami rumowiska	0.050
	0.067
Wodocięki okresowe na terenach zalewowych przy głębokości wody h	Współczynnik szorstkości "n"
Tereny zalewowe bez wegetacji:	
h = 1.0 m	0.060
h = 2.0 m	0.058
h = 4.0 m	0.051
h = 6.0 m	0.048
Tereny zalewowe z 25%-owym porostem:	
h = 1.0 m	0.092
h = 2.0 m	0.077
h = 4.0 m	0.065
h = 6.0 m	0.060
Tereny zalewowe z 50%-owym porostem:	
h = 1.0 m	0.115
h = 2.0 m	0.095
h = 4.0 m	0.080
h = 6.0 m	0.073

Literatura:

1. „**HYDROLOGIA**” - A.Byczkowski - tom I, Wyd. SGGW, W-wa 1996
2. „**ĆWICZENIA TERENOWE Z HYDROLOGII**” – B.Więzik, A.Bardzik – Wyd.PK, Kraków 1993
3. Woda w atmosferze ziemskiej - ***<http://www.republika.pl/kabak/2.htm>***
4. Elementy meteorologiczne, przyrządy, standardy pomiarów - Katedra Meteorologii i Oceanografii Nautycznej Wydziału Nawigacyjnego Akademii Morskiej w Gdyni -
http://ocean.wsm.gdynia.pl/student/meteo1/ele_xx.htm
5. Meteo Serwis - ***<http://www.stacjameteo.com>***
6. Zakład Elektroniki i Automatyki Przemysłowej - ***<http://www.aster.com.pl/index.htm>***
7. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej -
<http://www.imgw.pl/wl/internet/index.jsp>