

KOMISJA WYDAWNICZA

Towarzystwa Bratniej Pomocy Studentów Politechniki Warszawskiej.

Wacław Jędrzejewski

BUDOWNICTWO WODNE

CZĘŚĆ I-sza

według wykładów

prof. K. POMIANOWSKIEGO



Nr Wyd. 163.

Rok 1923/24.

WARSZAWA — 1923.

Skład Główny Komisji Wydawniczej: Politechnika — Polna 3. Telefon 88-60.

Drukarnia i Litografia „SATURN” Marszałkowska 91. Telefon 20-44.

l.z. 4111



~~1051~~

~~1051.~~



nr 412

BG02P/421-10

BUDOWNICTWO WODNE.

Budownictwo wodne obejmuje następujące działy według ich logicznego po sobie następstwa:

1. Hydraulika i hydrostatyka teoretyczna. 2. Hydraulika stosowana czyli hydrologja. 3. Regulacja rzek i potoków. 4. Budowa rowów i kanałów. -
5. Budowa fundamentów. 6. Budowa jazów i zbiorników. 7. Budowa zakładów o sile wodnej. 8. Żegluga.

Roboty meljoracyjne i asanizacyjne w miastach /kanalizacja, wodociągi/ należą do oddzielnych wykładów. Hydrauliki teoretycznej rozpatrywać tu nie będziemy, przejdziemy do 2-go działu, t.j. hydrologji.

H Y D R O L O G J A .

POTRZEBY STUDJUM HYDROLOGICZNEGO.

W przeważnej większości robót inżynierskich spotykamy się z wodą, czy to w postaci tego żywiołu, który mamy daną budowlą ujarzmić, np. przy regulacji rzek, lub zużytkować jak w wodociągach lub zakładzie o sile wodnej, czy też w

postaci bardzo nie milego towarzysza przy zakładaniu wszelkich fundamentów, budowie mostów i t.d. Spotykamy się więc z wodą na każdym kroku i pierwszym pytaniem jakie sobie zadać musimy jest: wiele jest tej wody, jaki jest jej poziom, i jeśli mamy do czynienia z rzeką - spad.

Otóż codzienna obserwacja uczy nas, że ilość wody napotykanej gdziekolwiek nie jest stałą, zmienia się w ciągu doby czy roku, i że zmiany te następują naogół perjodycznie w ciągu zamkniętego okresu czasu, jakim jest jeden rok. Zmiany te następują równolegle do opadów, a ilość wody jest niemal zawsze dokładnie zależna od ilości opadu.

Zajmiemy się więc obecnie opadami atmosferycznymi.

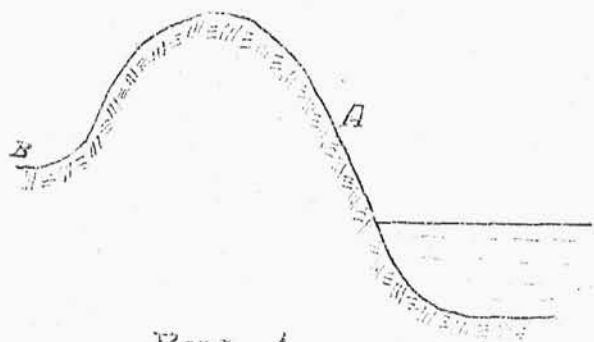
Dokładne obserwacje stwierdziły ścisły związek między opadami a ilościami wód, tak że można praktycznie przyjąć, że cała ilość wód na globie pochodzi z opadów.

Jedynie nieznaczna część wody pochodzi ze skroplenia się par wodnych, istniejących w głębi ziemi. Istnieją przypuszczenia, że pewne źródła mineralne zawdzięczają swe istnienie owym parom podziemnym. Wody w ten sposób powstałe z wnętrza ziemi, przed-

stawiają ilościowo tak nikłe wielkości, iż na całość naszego gospodarstwa wodnego żadnego wpływu nie mają.

Otóż, chcąc poznać, jak wielki ilości wody bieżącej czy stojącej w danym punkcie istnieć mogą, należy zbadać w pierwszym rzędzie, jak wielkie mamy opady atmosferyczne.

Opady są nierównomiernie rozłożone tak w przestrzeni jak i w czasie, zależą od położenia geograficznego, kierunku stałych wiatrów, blis-



Rys. 1

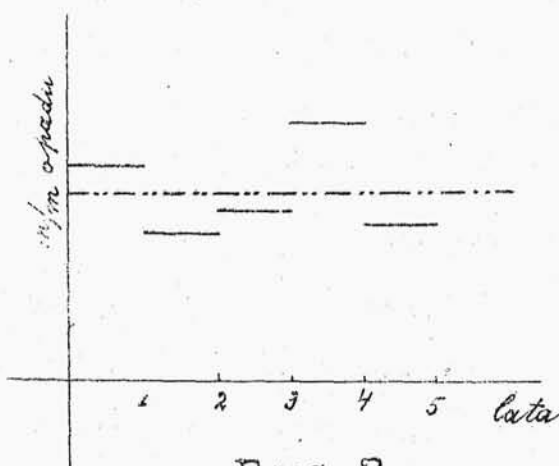
kości morza i t.d.

W górach są opady większe niż w dolinach, w pobliżu morza większe niż zdale na kontynencie, tam gdzie wiatry idące z

morza natrafiają na pasmo gór, opady są wyższe /Część A/, niż w pasie górami zasłoniętym /Część B/, w końcu w okolicach podzwrotnikowych są ściśle rozgraniczone dwa okresy: długotrwałej pory suchej i bez przerwy padającego deszczu. - Stąd pochodzi np. zjawisko, że jeżeli na Nizinie niemieckiej

i na Niżu polskim są opady 500 - 600 mm., to w Czarnym Lesie 2000 mm.; jeśli w Małopolsce 700 - 800 mm., to w Czechach, osłoniętych górami, 400 - 500 mm.

Ilość opadu mierzymy w jednostce czasu, w zamkniętym okresie jakim jest rok, miesiąc, dzień, godzina, a nawet minuta.



Rys. 2

Jeżeli na osi rzędnych będziemy odkładać wielkość opadów, na osi odciętych lata - otrzymamy szereg prostych równoległych do osi odciętych, przedsta-

wiających wielkości opadów każdego roku. Linja przerywana wyrazi średni opad w ciągu tych kilku lat.

Sumy roczne opadu są dla danej okolicy mało zmienne i wynoszą w średnicę wziętych z całego szeregu lat:

Niż Polski

550 mm.

Pomorze

600 - 650 mm.

Na południe od Nizu 600 - 700 mm.

Wyżyna Tomaszewska i Lubelska 800 mm.

Pod dawną granicą Królestwa i Małopolski

700 - 800 - 1000 mm.

Karpaty i Tatry 1600 "

Wołyń i Podole 600 "

Czarne Morze 400 "

Są to opady średnie. - W ciągu tego okresu czasu pewne lata są bardziej, inne mniej obfite w opady i wahania te mogą być dosyć znaczne. Jeśli

średni opad oznaczymy 100 % , to
maximum opadu może dojść do 150 %
i minimum " " " " 60 %

Wybitnie zaznacza się zależność ilości opadu od wysokości nadmorskiej terenu. Prawo wzrostu opadu w zależności od wysokości zlewni nie jest dokładnie zbadane, głównie z tego powodu, iż na szczytach gór brak stacji pomiarowych. Nie brak jednak prób dla ustalenia związku między opadem rocznym a wysokością nadmorską; i tak dla

Czarnego Lasu
$$h_{m/m} = 630 + \frac{0,810}{1000} H_m.$$

Dla dorzecza Opezu w Karpatach

$$h_{m/m} = 530 + \frac{0,666}{1000} H_m.$$

gdzie H oznacza wysokość terenu od poziomu morza, wyrażoną w metrach.

Dla pewnych celów inżynierskich jest potrzebna znajomość ilości opadu w znacznie krótszym okresie czasu. I tak kilkudniowy deszcz ulewny, jest w stanie spowodować katastrofę powodziową, wskutek wezbrania wielkiej rzeki. Kilkugodzinna nawałnica powoduje wezbranie małego potoku, w miastach przepełnienie kanałów i zalanie ulic. Prócz sumy rocznej znać musimy zatem sumy opadu w ciągu doby oraz natężenie i czas trwania deszczów, w ciągu jeszcze krótszego czasu, niewielu minut.

Ze względu na niezmierną ważność tych opadów krótkotrwałych, wykonywano oddawna obserwacje, które pozwoliły na ustalenie pewnego prawa, według którego czas trwania opadu jest zależny od jego natężenia i odwrotnie. Oczywiście prawa te ustalono dla bezwzględnie najwyższych natężeń, przy równocześnie najdłuższym czasie trwania opadu. I tak Hellman podał:

$$I_{max} = \frac{218}{\sqrt[3]{t}} = 18,66 \frac{m}{m} \quad /Niemy/.$$

gdzie I w mm. na godzinę, t - w minutach.

Związek powyższy wyraża nam krzywa rys.3.

Dla Lwowa:

$$I_{max} = \frac{250}{\sqrt{t}} = 20 \frac{m}{m}$$

Całkowita suma opadu $n = I \cdot t$ i chcąc znaleźć jej maximum należy pochodną $\frac{dn}{dt}$ przyrównać do 0.

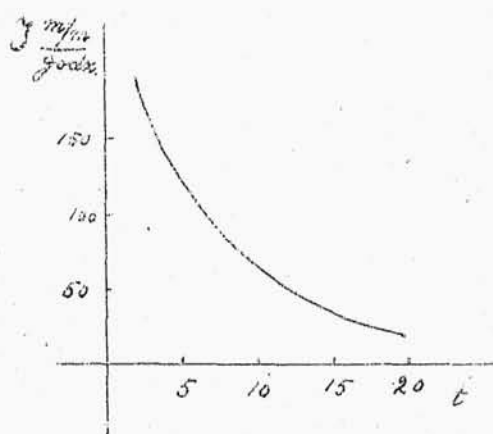
Dla Lwowa:

$$\frac{d(I \cdot t)}{dt} = 0; \quad \frac{2}{3} \cdot 250 t^{-1/3} - 20 = 0$$

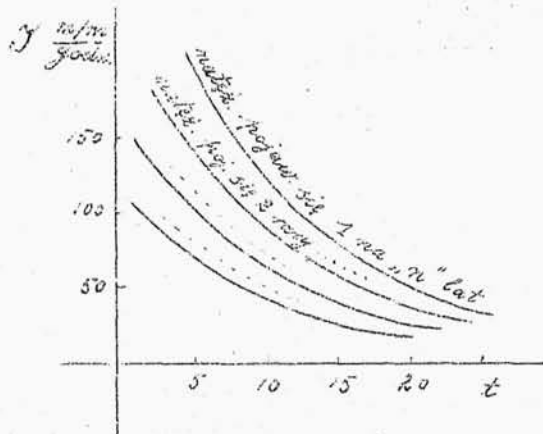
skąd

$$I = 10 \frac{m}{m} / \text{godz.} \quad t = 9^h 39' \quad H_{max} = 96,5 \frac{m}{m}$$

Należy zaznaczyć, że wzory powyższe są słuszne tylko dla tej okolicy, dla której je ustalono.



Rys. 3

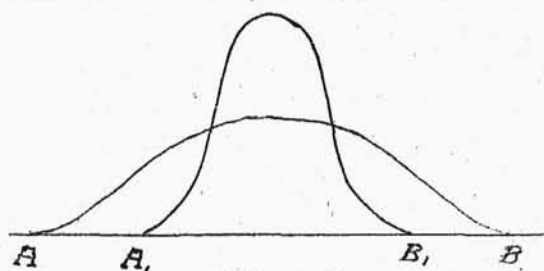


Rys. 4

i podają związek między największym bezwzględnie natężeniem opadu, a przynależnym mu czasem trwania. Nie zawsze jednak chodzi nam o te najwyższe opady, które zdarzają się raz na długi szereg lat i stanowią żywiołową katastrofę. Często trzeba wykonać

budowie, które będą bardziej ekonomicznie wyzyskane, jeśli obliczymy je na opady zdarzające się częściej, np. raz do roku. Jako takie opady uważa Hellman opady o natężeniu równym połowie natężenia wypadającego z poprzedniego wzoru. W konkretnym wypadku, przy obserwacji w ciągu „ n ” lat można wykreślić z danych obserwacyjnych „ n ” krzywych dla opadów o różnym prawdopodobieństwie pojawiania się, /rys. 4/.

Związek między natężeniem i czasem trwania odnosi się jedynie do największego natężenia, jakie powstaje w centrum opadu. Deszcz każdy pada na ograniczonej tylko przestrzeni i obejmuje przestrzeń tem mniejszą, im większe jest natężenie. Deszcz rozlewny o natężeniu kilkudziesięcia m/m. na dobę obejmuje przestrzeń kilku a nawet kilku dziesiątków tysięcy km^2 . Na całym tym obszarze natężenie jest niemal równe. Natomiast deszcze o natężeniu kilkudziesięciu m/m. na godzinę obejmują przestrzeń małą, około 1 km^2 , i jest rzeczą oczywistą, że na



RYS. 5

tym obszarze, natężenie nie będzie jednostajne, lecz w centrum opadu najwyższe, na

krawędziach maleć będzie do zera. Najlepiej dowodzą tego obserwacje. I tak w czasie nawałnicy, będącej powodem wielkiej powodzi /między 4 i 10 października 1910 roku w dorzeczu Ohio i Missisipi/ stwierdzono w centrum deszczu, na obszarze bardzo małym 356 mm., na 2330 km² zmalało ono do 305 mm. na 5900 km² - 279 mm., wreszcie na 66300 km² - natężenie to wynosiło już tylko 203 mm.

W czasie podobnej obserwacji w Medjolanie zanotowano w centrum opadu 65,5 , zaś średnie natężenie na obszarze 375 ha już tylko 47,5 mm. Stąd wniosek, iż najwyższych obserwowanych opadów nie można brać za podstawę obliczenia objętości opadu na jakiegokolwiek większej przestrzeni, lecz że trzeba ich wartość odpowiednio zredukować. Obserwacje Lwowskie doprowadziły do ustalenia wzoru na obliczenie średniego natężenia I_{sr} w mm. na godz. dla wskazanego obszaru „f” hektarów i natężenia

$$I_{max.} \text{ z wzoru } I_m = \frac{250}{\sqrt{t}} - 20$$

$$I_{sr} = I_{max} \left\{ 1 - I_{max} \sqrt[4]{f} \cdot 0,001032 \right\}$$

Dla zlewni dużych związek pomiędzy obszarem zlewni a natężeniem dotąd nie został nigdzie jasno określony, natomiast mieści się implícite we wzo-

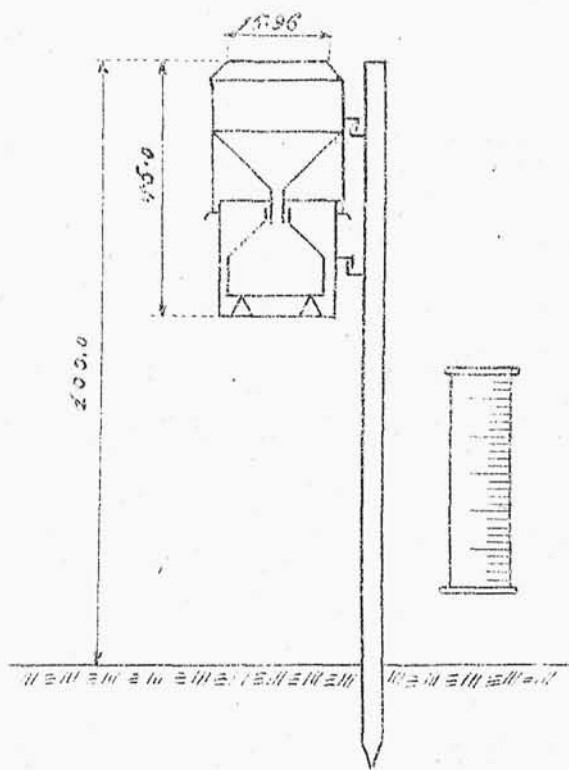
rach praktycznych na wyznaczenie wielkich wód w rzekach.

Zanim przejdziemy do opisu przyrządów, służących do pomiaru natężenia opadów, zaznaczyć musimy, że w hydrologji rok liczymy od 1 października jednego roku do 1 września roku następnego, i nosi nazwę roku hydrologicznego. Gdybyśmy bowiem brali w naszych badaniach pod uwagę rok kalendarzowy, to całe masy śniegu, który upadł w grudniu jednego roku, topniałyby dopiero w roku następnym, wobec czego i źródła zasilane byłyby opadami nie tylko jednego roku. Żeby tego uniknąć przyjmujemy podział roku jak wyżej.

PRYZRZĄDY DO POMIARU IŁOŚCI OPADÓW.

Do pomiaru opadów służą przyrządy zwane deszczomierzami lub ombrometrami. Ombrometry są dwu typów: zwykły i samopiszący czyli ombrograf.

Ombrometr zwykły jest to naczynie, składające się z miski blaszanej o przekroju $F = 200 \text{ cm}^2$, połączonej lejkiem z naczyniem A , służącym jako zbiornik opadu. Zbiornik ten stoi na nóżkach ze złego przewodnika ciepła: ma to na celu ochronę zebranych opadów od strat wskutek parowania.



Rys. 6

Z miski tej opady spływają do podstawionego naczynia, skąd raz na dobę wylewa się je do szklanej miarki. Miarka posiada podział tak skonstruowany, iż odczytać można odrazu ilość opadu w m/m. grubości warstwy. Jeśli

powierzchnia miski jest „ F ” cm^2 a miarki „ f ” cm^2 , to każdy m/m. opadu da $\frac{F}{f}$ m/m. wody w miarce.

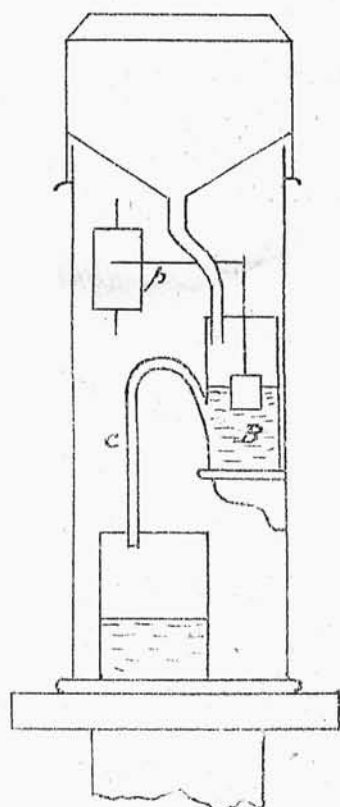
Rozumie się, że w zimie musi być obserwowany opad śniegowy. Śnieg zbiera się raz na dobę z miski, topi i mierzy miarką. Są jednak ombrometry zaopatrzone w lampkę, która topi odrazu śnieg na wodę spływającą do dolnego naczynia.

W wysokich górach lub na miejscach trudno dostępnych zastosowane w Szwajcarii inny typ deszczomierzu. Jest to naczynie u góry otwarte, o ściś-

le wymierzonym polu poziomego przekroju, wypełnionym roztworem chlorku wapniowego. Roztwór ten, przykryty u góry cienką warstwą oleju. Roztwór chlorku nie samorza, a będąc silnie hygroskopijnym rozpuszcza wodę tak deszczową jak i śniegową, rosę z mgieł i t.d., która gromadzi się w naczyniu. - Warstwą oleju służy do tego, aby ochronić roztwór chlorku od utlenienia się bezpośredniego z powietrzem, z którego mógłby czerpać wilgoć poza ilością rzeczywistych opadów. Co pewien czas bada się stopień rozcieńczenia roztworu i stąd wnosi o ilości opadów.

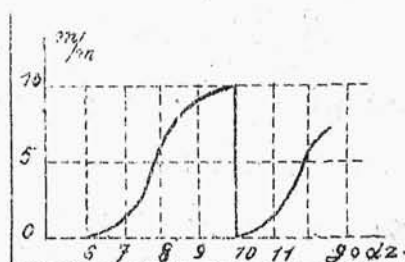
Ombrometr zwykły nie pozwala oznaczyć ani czasu w którym deszcz padał, ani natężenia jednostkowego. Daje on jedynie sumę opadów w ciągu 24 godzin. - Dane stąd otrzymane wystarczą w zupełności do oznaczenia rocznych sum opadów, do obliczenia prawdopodobnych ilości wody powodziowej, średniej i najniższej dużej rzeki, lecz nie wystarczą do obliczenia wody burzowej w kanałach miejskich, małych potokach i t.d. Dla tych celów obserwacja musi następować ciągle, podawać dokładne granice czasu, w którym opad nastąpił oraz jednostkowe natężenie. Temu zadaniu odpowiadają ombrometry samopiszzące czyli ombrografa.

Ombrograf. Naczynie 200 cm² przekroju, otoczone ostro zakończoną metalową obręczą, chwytą opad deszczowy i odprowadza do naczynia *B* niżej położonego, w którym znajduje się pływak z ramieniem poziomym, zakończonym piórem „*p*”, przyciśkanym sprężynką do papieru nawiniętego na wał. Jeden obrót walca odbywa się w ciągu 24 godzin, zaś po-



Rys. 7

działka jest tak dobrana, że 1 mm. opadu odpowiada ściśle określone podniesienie się pływaka, a co zatem idzie i pióra. Gdy pióro dojdzie do skrajnego położenia



Rys. 8

10 mm. opadu, lewar szklany *C* opróżnia naczynie aż do poziomu „0”.

Aparat funkcjonuje dobrze, odczyt wysokości opa-

du da się uskuteczyć z dokładnością do 0,1 mm., a nawet mniej, natomiast odczyt czasu jest mniej ścisły, dokładność tu mamy do 2 minut.

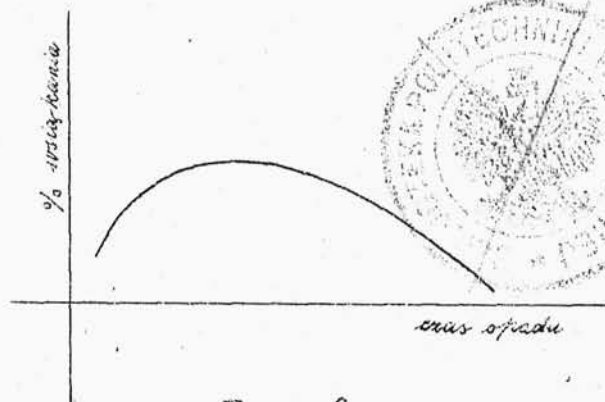
Co się dotyczy ilości stacji ombrometrycznych, to sieć ich powinna być dosyć gęsta /1 ombrometr na 50 - 100 km²/, w Małopolsce znajduje się 565 ombrometrów /1 na 146,5 km²/, co jest stanowczo za mało.

Dla oznaczenia wartości opadu w miastach, a zwłaszcza dla wykrycia związku między zasięgiem a natężeniem, trzeba znacznie gęstszej sieci ombrografów, a mianowicie: 1 na 5 km² czyli 500 ha. Praga miała 10 na 6000 ha, Lwów 6 na 3600 ha.

Odpływ wody. Odpływ jest oczywiście mniejszy od opadu wskutek strat na: 1. wsiąkanie i 2. parowanie. Znaczna część paruje już w czasie deszczu, następnie z lustra wody, w końcu dość znaczny % wody wsiąka w teren, gromadzi się tam i płynie podziemnie w postaci wody gruntowej. Woda, która wyparowała, jest już dla nas bezpowrotnie stracona. Natomiast woda gruntowa zasila źródła i ostatecznie znajduje się z powrotem w łóżyskach rzek, lecz

ze znacznem opóźnieniem i nie zawsze w tej rzeczy, z której pochodzi. Należy jeszcze należy, że strata na parowanie jest bardzo znaczna w klimacie ciepłym i suchym, mniejsza w wyższych szerokościach geograficznych.

Wsiąkanie zależy przede wszystkim od rodzaju terenu: w terenach krasowych np. przepuszczalność wynosi 100% /tereny takie znajdują się w Alpach, we Francji/, przepuszczalność skał = 0; między tymi skrajnymi wartościami znajduje się cały szereg innych terenów o mniejszym lub większym stopniu przepuszczalności. Ponadto wsiąkanie zależy



Rys. 9

jeszcze od natężenia i czasu trwania opadu. Dla deszczów krótkotrwałych proces wsiąkania jest bardzo mały, następnie rośnie

ze wzrostem czasu, wreszcie gdy czas trwania przedłuża się wsiąkanie maleje i może spaść do zera wskutek nasycenia terenu. Przebieg tego procesu ilustruje nam załączona krzywa.

PAROWANIE. Zależy ono od szeregu warunków, któremi są: położenie geograficzne, klimat, bezwzględna ilość opadów, proces nasycania powietrza parą wodną, wreszcie i rodzaj terenu w danej miejscowości.

Parowanie odbywa się nie tylko na powierzchni gruntu - sięga ono około 2 metrów w głąb gleby, dzięki naczyniom kapilarnym /włoskowatym/, które podnoszą wodę w górę i to parowanie podtrzymują. Mechaniczna uprawa roli, jak bronowanie, płytka orka, niszczy te naczynia, przerywa je i przez to zmniejsza parowanie. Ma to duże znaczenie w rolnictwie, zwłaszcza tam, gdzie roczne opady są małe i chodzi o utrzymanie wód wiosennych w gruncie na okres wegetacyjny.

Tereny, pokryte roślinnością, parują znacznie więcej, niż tereny nagie. Wyjątkiem są lasy. Drzewa na gałęziach i liściach zatrzymują około 1/3 część rocznego opadu, lecz ta część wody, która dostała się na grunt, paruje w stopniu bardzo nieznacznym, chroniona ściółką leśną od kapilarnego podciągania. Stąd często zdarza się, iż wysychają śródla po wycięciu lasu. Ponieważ ściółka zatrzymuje duże ilości wody i zwalnia szybkość spływu wód powierzchniowych, lasy w rezultacie regulują

odpływ wód opadowych, zniżają wezbrania a podnoszą niskie stany, mimo iż w lasach tylko 66 % opadu dostaje się na teren, a 33 % z liści i gałęzi odrazu paruje. Zauważono, iż torfy pokryte piaskiem, nawet kilkucentymetrową warstwą, parują znacznie mniej, niż torfy nieprzykryte. Wskutek tego w torfowiskach przykrytych, poziom wód gruntowych utrzymuje się wyżej, niż w torfach nagich.

Czem klimat cieplejszy, tem parowanie jest większe. W Kopenhadze zaobserwowano roczną wysokość wyparowania z wolnego zwierciadła wody równą 209 mm., w Dreźnie, leżącym bardziej na południe - 381 mm., w Lozannie - 738 mm., w Turynie /Lombardia/ - 1103 mm., w Rzymie wreszcie roczne parowanie zwierciadła wody dochodzi do 2462 mm.

Dla pomiarów parowania miarodajne są lata najcieplejsze, gdy parowanie jest największe.

Straty wskutek parowania uwzględniać należy przy obliczaniu zbiorników na wodę, jako też przy budowie kanałów żeglugi. Przy projektowaniu kanałów niezbędna jest wiadomość nie tylko ilości rocznego parowania, ale i dziennego, które bywa znaczne i dochodzi do 10 mm. w ciepłe dni letnie.