

3.9 Просечни врнежи на сливна површина

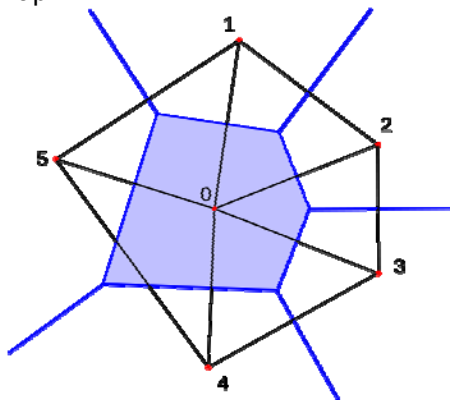
Определувањето на просечните врнежи во даден речен слив е потребно за да може да се пресметува водниот биланс и да се дефинира односот помеѓу врнежите, истекувањето и испарувањето. Најчесто се применуваат следните методи:

Метода на средна аритметичка вредност. По оваа метода просечната висина на врнежите во даден слив се пресметува со изразот:

$$P_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} P_i}{n} \quad 3.6$$

каде ($\sum P_i$) е сума на висината на врнежите на сите дождемерни станици, а (n) е број на дождемерните станици во сливот. Овој израз дава добри резултати кога во сливот нема поголеми промени на релјефот, кога разликата помеѓу мерените врнежи е мала, а распоредот на станиците во сливот правилен.

Метода на Thiessen (Тисен). Со оваа метода за секоја дождемерна станица се определува соодветната површина од сливот. Овие површини се определуваат на следниов начин. На карта со прави линии се поврзуваат дождемерните станици во сливот, со што се формира мрежа од триаголници, Слика 3.10. Потоа, од секоја страна на триаголниците се повлекуваат нормални правци-симетрали, кои ќе се пресечат во секој триаголник во една точка на триаголникот. Ако потоа се поврзат пресечните точки на тие симетрали, се добиваат неправилни многуаголници, кои ја претставуваат површината на соодветната дождемерна станица. Оваа метода се употребува за рамничарски терени. За планински-брдовити терени дава грешка (5÷8) % во споредба со методата на изохиетни карти.



Слика 3.10 Метода на Тисен

Ако со (A_i) се означи припадната површина на дождемерната станица, а со (P_i) висината на врнежите на таа станица, тогаш просечните врнежи на разгледуваниот слив се определуваат со равенката:

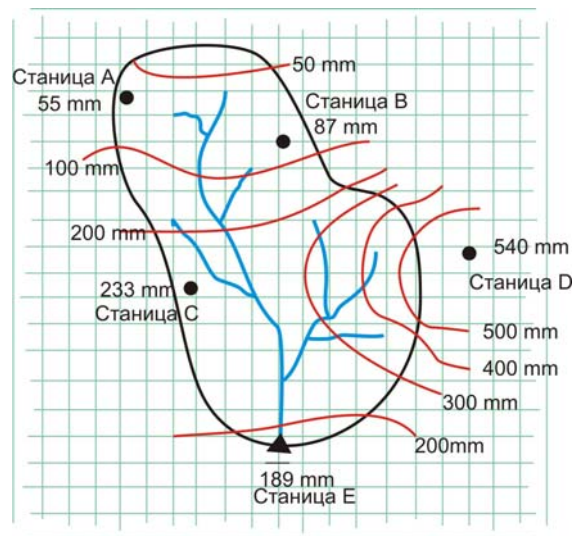
$$P_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} A_i \cdot P_i}{\sum_{i=1}^{i=n} A_i} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} A_i \cdot P_i}{A} = \sum_{i=1}^{i=n} a_i \cdot P_i \quad 3.7$$

каде (a_i) е однос на поединечната припадна површина на дождемерната станица и вкупната површина на сливот ($a_i = A_i/A$).

Метода на изохиети. Оваа метода е најточна и може да се применува за секакви временски услови и секакви физичко-географски карактеристики на сливот. За оваа метода потребни се карти во погодна размера на кои постои висинска претстава на сливот со изохипси. Оваа висинска претстава овозможува да се врши интерполација (екстраполација) на врнежите по височина. На картите се повлекуваат линии изохиети, кои всушност се линии што поврзуваат точки со еднакви висини на врнежите. На карта се внесуваат дождемерните станици, се нанесуваат висините на карактеристичните врнежи за анализираниот период и се повлекуваат изохиетните линии со линеарна интерполација. За да може да се изврши линеарна интерполација треба станиците да се соседни, теренот да има рамномерна промена, станиците да се расположени на иста падина и да имаат сличност на врнежите. Просечните врнежи со методата на изохиети се определуваат со изразот:

$$P_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \Delta A_i \cdot P_i}{A} \quad 3.8$$

каде (ΔA_i) е површина помеѓу две соседни изохиети, Слика 3.11. Овие површини најдобро се определуваат со планиметрање.



Слика 3.11 Метода на изохиети

3.10 Испарување

Испарувањето, сублимација или евапорација, е промена на течната состојба на водата во гасовита и претставува директен губиток во хидролошкиот циклус, односно во билансот на водата која паднала и истекла на површината на земјата. Овој губиток не е мал и се движи од 57 % за Европа и Северна Америка, до 80% за Африка. Во овој губиток може да се разликува евапорација, како едноставен процес на испарување од слободна површина, и евапотранспирација како комплексен губиток од површината на почвата, вегетацијата и други предмети. Факторите кои влијаат на евапорацијата се многу, но уште помногубројни се оние што влијаат на евапотранспирацијата. Најголемо влијание имаат температурата на воздухот, температурата на водата, влажноста на воздухот, сончевата радијација, ветерот, атмосферскиот притисок.

Испарувањето од слободна водна површина се определува по неколку начина: со определување на трансферот на масите, со енергетскиот биланс, со водниот биланс и со директно мерење. Сите методи поаѓаат од определени физички закони кои

имаат за цел со нив да се постави и објасни природот. Практиката обично побарува овие поставки да се симплифицираат или доведат во форма погодна за користење. Токму заради ова многу од методите се модифицирани во емпириска форма.

Во продолжение се наведени емпириските формули на Фиџералд (Fitzgerald) (1886), равенка 3.9, Мејер (Meyer) (1915), равенка 3.10, и Пенман (Penman) (1948), равенка 3.11, кои често се користат во практиката.

$$E=C(e_o-e) \quad 3.9$$

каде ($C=0,4+0,199 \cdot V$), а (V) е брзина на ветер.

$$E=C(e_o-e) \quad 3.10$$

каде ($C=1+0,1 \cdot u$), а (u) е релативна влажност.

$$E=0,35(1+0,24V)(e_o-e) \quad 3.11$$

За наши подрачја најчесто се користи изразот:

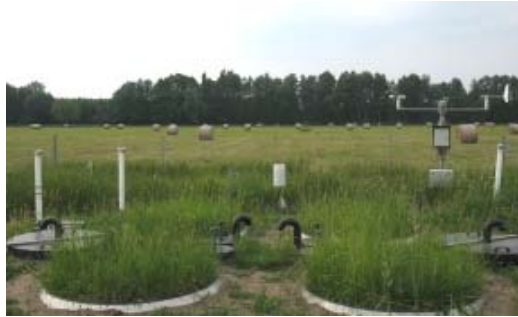
$$E=0,35(1+0,24V)(e_o-e) \quad 3.12$$

Метода на директно мерење. Мерењето на евапорацијата се врши со садови испарители, кои се разликуваат според начинот на поставување. Светската хидрометеоролошка служба ги стандардизирала и препорачала испарители од типот Class A Pan, Слика 3.12. Можат да бидат потопени, површински или што пливаат. Сите испарители имаат недостаток поврзан со оперативното мерење заради фактот што доаѓа до големи разлики помеѓу топлинскиот капацитет на езерото (водата во акумулацијата) и садот. На пример, испарувањето од езерото во тек на еден ден зависи од размената на енергијата во временскиот период што претходел на мерењето, додека во садот тој ефект е релативно независен, првенствено заради ограничената способност за примање на топлина.



Слика 3.12 Испарител од типот Class A Pan

За елиминирање на грешките од овој вид кај површинските испарители се користи коефициент на корекција со вредност околу 0,7. Резултатите на директното мерење поправени со овој коефициент добро се сложуваат со резултатите добиени со енергетскиот и водниот биланс, доколку периодот е сезона. При определување на пократки временски периоди (на пример месечни) отстапувањата се значителни. Димензиите на овие садови се различни. Во Русија како еталон испарител е прифатен сад со површина од 20 m^2 и длабочина 2 m, и претставува цилиндричен резервоар со рамно дно изработен од челичен лим. Испарувањето од почвени слоеви со подземна вода мери со лизиметри, Слика 3.13.



Слика 3.13 Лизиметри

4 МАТЕМАТИЧКИ МЕТОДИ ВО ХИДРОЛОГИЈАТА

4.1 Статистички параметри на хидролошките низи

Хидролошки низи претставуваат серии на емпириски податоци добиени со набљудувања и мерења на карактеристични хидролошки појави, како што се врнежите, водостоите, протоците и други. Големината на секој член во низата се менува и може да се појави иста вредност повеќе пати. Заради ваквата променливост на вредноста на членовите во низите истите се нарекуваат и варијациони низи. Податоците за некоја хидролошка големина што ја сочинуваат низата се обработуваат со методите од статистиката. Од големиот број на податоци статистички се пресметуваат параметрите кои целосно ја карактеризираат хидролошката низа. Тие параметри се: средна аритметичка вредност, модулен коефициент, медијана, мода, средно квадратно отстапување, коефициент на варијација и коефициент на асиметрија.

Средна аритметичка вредност. Ако во една хидролошка низа членовите се $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$, тогаш средната аритметичка вредност на низата се пресметува:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_{n-1} + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} x_i}{n} \quad 4.1$$

каде (n) е број на членови во низата. Членовите (x_i) може да претставуваат протоци, водостои, врнежи, температури и други хидролошки големини.

Модулен коефициент. Односот на било кој член од низата и средната вредност на низата се вика модулен коефициент (K) и е бездимензионална големина:

$$K_i = \frac{x_i}{\bar{x}} \quad 4.2$$

Медијана на низата. Средниот по положба член во една низа која е наредена во ред што опаѓа, се вика медијана, или тоа е големината во низата што одговара на траење од 50 %. Медијаната ја дели кривата на повторување на два еднакви дела и се означува со (m) .

Мода на низата. Најчесто повторуваната вредност во низата се вика мода и се означува со (μ).

Средно квадратно отстапување. Разликата помеѓу било која вредност и средната вредност на една низа се вика отстапување. Средното квадратно отстапување се определува со изразот:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad 4.3$$

Овој израз се однесува за хидролошки низи со неограничен број на членови. За кратки низи ($n < 30$) овој израз се корегира според равенката:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad 4.4$$

Коефициент на варијација. Односот на средното квадратно отстапување и средната вредност на една низа го дава параметарот што се вика коефициент на варијација:

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum (K_i - 1)^2}{n}} \quad 4.5$$

Овој израз е во важност за ($n > 60$). За ($n < 60$) поткореновата големина се дели со ($n - 1$).

Коефициент на асиметрија. При споредување на две низи тие може да имаат исти отстапувања, но знаците да им се различни. Заради ова, се воведува параметар кој го определува степенот на симетричност и се вика коефициент на асиметрија:

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (K_i - 1)^3}{nC_v^3} \quad 4.6$$

За точно пресметување со горниот израз потребно е низата да има најмалку 60 членови. За пократки низи овој коефициент се пресметува емпириски:

$$C_s = 2C_v \quad 3.7$$

За низи со големина од ретка појава, овој коефициент се пресметува:

$$C_s = (3 \div 6)C_v \quad 3.8$$

Од кривата на распределба на Пирсон (*Pearson*) се добива следниот израз:

$$C_s = \frac{2C_v}{1 - K_{\min}} \quad 3.9$$

каде (K_{\min}) е минимален модулен коефициент. Според големината на овој коефициент може да се изврши следната класификација. Кога ($C_s = 0$) кривата на зачестеност е симетрична. Кога ($0 < C_s < 0,10$) практично нема асиметрија. Кога ($0,10 < C_s < 0,25$) асиметричноста на низата е мала. Кога ($0,25 < C_s < 0,50$) асиметричноста на низата е средна и кога ($C_s > 0,50$) асиметричноста е голема.

5 ХИДРОМЕТРИЈА

5.1 Хидрометрија

Хидрометријата може да се дефинира како наука за мерење на водата. Оваа научна дисциплина се занимава со изучување на методите и инструментите за мерење на хидрометеоролошките појави и обработка на собраните податоци. Со ваквата дефиниција, хидрометријата може да се именува и како наука за прибирање на основните податоци за хидролошка анализа. Така, основните задачи на оваа дисциплина се:

- Разработка на метода и избор на инструменти за квантитативно определување и изучување на различните компоненти од режимот на водите
- Обработка на податоците од мерењата и набљудувањата
- Организирање на мрежа на станици во просторот и спроведување на временски распоред на мерењата, се со цел добивање на оптимални информации на хидролошките големини по квантитет и квалитет

Со оглед дека водата во природата ја има во различна состојба и во различни средини, хидрометријата може да се подели на: (а) хидрометрија на мориња и океани, (б) хидрометрија на атмосферски води, (в) хидрометрија на површински води, која пак може да се подели на хидрометрија на реки или потахометрија и хидрометрија на езера или лимнометрија, (г) хидрометрија на мраз или глациометрија, и (д) хидрометрија на подземни води.

Основни хидрометриски активности на реките, природните езера и акумулациите се: избор на мерно место, поставување и опремување на мерна станица, мерење на водостоите, мерење на длабочините на течење, мерење на формата на попречниот пресек и на дното на речното корито, мерење на надолжниот наклон на слободната водна површина, мерење на температурата на водата и следење на појавата на мраз, мерење на физичко-хемиските својства на водата, мерење на брзините и насоките на текот, и мерење на суспендирањето и влечениот нанос и определување на неговиот гранулометриски состав.

За проучување на поодделни појави и карактеристики кај реките и езерата, можат да се спроведуваат и специјални мерења, како што се: мерење на рапавината на коритата, мерење на бранувањето (од ветер или други влијанија), мерење на деформациите на речните корита, мерење на топлотниот биланс кај езерата, мерење на водите во карстни предели, посебни мерења кај изградени хидротехнички објекти, како што се кавитации, водопропустливост, абразија и друго.

5.2 Мерење на водостој

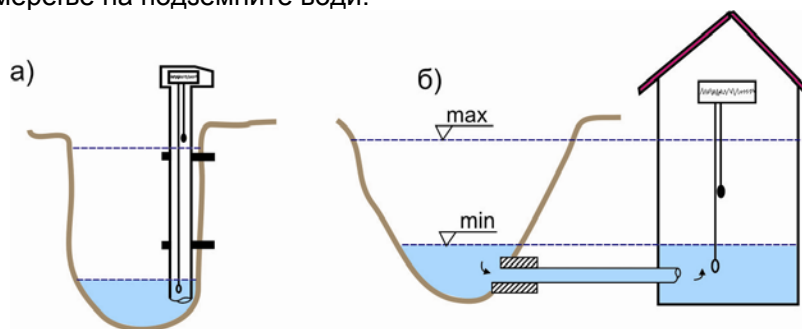
Положбата на нивото на водата во однос на некоја постојана точка се вика водостој. Нивото на водата се мери на природни водотеци и езера, на мориња, на вештачки езера, на подземни води и на хидротехнички објекти. Инструментите за мерење на нивото можат да бидат: обични, преносни, автоматски и далечински. Водомерна летва е наједноставен и најчесто употребуван инструмент за мерење на водостоите, Слика 5.1. Водомерните летви најчесто се поставуваат вертикално на челични или на дрвени колови или се анкеруваат на карпи или на конструкции од изградени објекти (на пример мостови, насипи и друго), а може да се постават и наклонето (косо) и скалесто.

По однос на насоката на текот, летвата секојпат се поставува со широката страна во насока на текот и по можност во мирна зона од текот. Читањето на водомерната летва се извршува со точност од 1 cm.



Слика 5.1 Водомерна летва во езеро

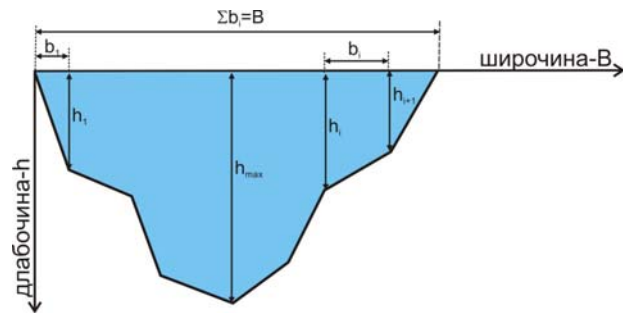
Лимниграф или автоматски регистратор на водостој е инструмент кој автоматски и непрекинато го мери нивото на водата. Составен е од пливка, градуирано јаже/жица, преносен механизам и регистратор. Со промена на нивото пливката се движи (се спушта или се качува), а преку преносниот механизам тие промени се забележуваат (се цртаат) со регистраторот на лентовидна хартија. Оваа хартија се вика лимниграфска лента и нејзината должина може да биде 8, 15, 32, 93 или 365 дена. Посовремените инструменти овозможуваат и записи на дискети кои покасно се обработуваат компјутерски. Според начинот на заштита и монтажа на пливката, лимниграфските станици можат да бидат островски или бунарски, Слика 5.2. Лимниграфските инструменти се користат на хидролошките станици од основната мрежа и за мерење на подземните води.



Слика 5.2 Лимниграфски станици: а) островски, б) бунарски

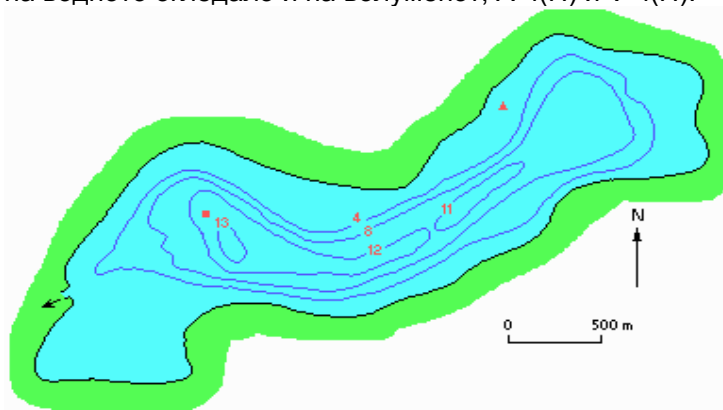
5.3 Мерење на длабочини

Со мерење на длабочините на водата во реките и езерата се определува геометријата/релјефот на коритото. Со овие мерења се добиваат ситуации на реките, природните и вештачките езера. Од овие ситуации може да се прочитаат карактеристични попречни и подолжни профили, а од нив се добиваат елементи за пресметување на основните геометриски и хидраулички параметри, како на пример: површина на протечен/жив пресек, натопен обем, површина на водно огледало, зафатнина на езеро/акумулација и други параметри. Мерењето на длабочините се врши со метални стапови/шипки во избрани точки/вертикали од попречниот профил или со геодетско континуирано снимање на линијата на дното и бреговите, Слика 5.3. При континуираните снимања на големите реки и езера се користат и специјални инструменти (ехосондери). Површинските текови се изложени на геометриски и морфолошки промени во тек на времето, што има влијание врз режимот на течење. Затоа, овие мерења треба да се повторуваат на одреден период.



Слика 5.3 Попречен пресек со мерени длабочини

Мерените длабочини освен во попречен пресек, можат да се прикажат и во ситуација за неколку попречни профили кога се добиваат елементи за продлабочување или насипување на речното корито, Слика 5.4. При проектирање на хидротехнички објекти и системи со зафаќање на вода од водотеци, овие зависимости можат да се прикажат и графички како функции од длабочината: $A=f(h)$, $O=f(h)$, $R=f(h)$, $D=f(h)$ и $V=f(h)$. Кај природните езера и акумулациите овие функции најчесто се претставени со линиите на површината на водното огледало и на волуменот, $A=f(H)$ и $V=f(H)$.



Слика 5.4 Основа со изохипси на снимено езерско дно

5.4 Мерење на брзини

Брзината на течење е векторска големина и се опишува со интензитет, правец и насока. Речните текови најчесто имаат вектор на брзина во подолжен правец на течење, односно течењето е едодимензионално или линиско. Во случај на проширувања, стеснувања или вливања на реки во езера и мориња, векторот на брзина има проекции (компоненти) во двете хоризонтални насоки на течење и тогаш течењето е дводимензионално или рамнинско. Кај големите водни просторства, како што се езерата, морињата и океаните, течењето е всушност струење или циркулација и векторот на брзините речиси секојпат има три проекции, односно струењето е тродимензионално или просторно.

Брзината се мери во точка на некоја струјна линија и се определува како изминат пат во единица време:

$$u = \frac{ds}{dt} \quad 5.1$$

Точките на мерење треба да се наоѓаат на вертикалата каде се мерени длабочините на течење, а средната брзина во една вертикала се определува со:

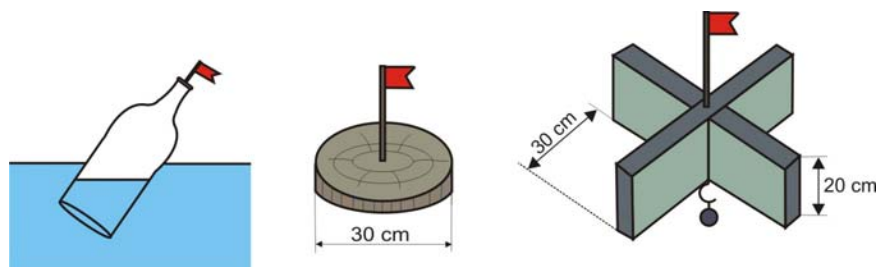
$$V = \frac{\int_0^h u \cdot dh}{h} \quad 5.2$$

каде изразот над дробната црта е специфичен елементарен проток q (m^2/s). Средната брзина на течење во целиот попречен пресек се определува:

$$V = \frac{Q}{A} \quad 5.3$$

каде (Q) е проток во (m^3/s), а (A) е површина на проточен или жив пресек во (m^2).

Методите за мерење на брзините се: (а) кинематски кога се користат тела што пливаат, хидрометриски крила и хидрометриски цевки, (б) термоелектрични, (в) електромагнетни, и (г) трасерски кога се користат растворливи хемиски елементи. Телата што пливаат или пливките можат да бидат направени од дрво, пластика, стакло и слични материјали, кои се видливо обележани со силни бои и знаменца, Слика 5.5.



Слика 5.5 Површински пливки

Хидрометриско крило, Слика 4.6, е инструмент кој е составен од подвижен дел или елиса, преносен дел и регистратор. Работи на принципот на функционална зависност помеѓу брзината на вртење на елисата и брзината на течење. Генерално, хидрометриските крила можат да бидат со елиса која се врти на хоризонтална осовина (вакви се употребуваат кај нас) и со венец од чашки кои се вртат околу вертикална осовина. Производителот на инструментот ја дава функционалната зависност за пресметување на брзината, која најчесто е во форма

$$V = a + b \cdot n \quad 5.4$$

каде (a) и (b) се параметри дефинирани по пат на баждарење (тарирање) од страна на производителот, а (n) е број на вртења на елисата во одреден временски интервал, на пример 30, 50, 60 секунди.



Слика 5.6 Хидрометриско крило

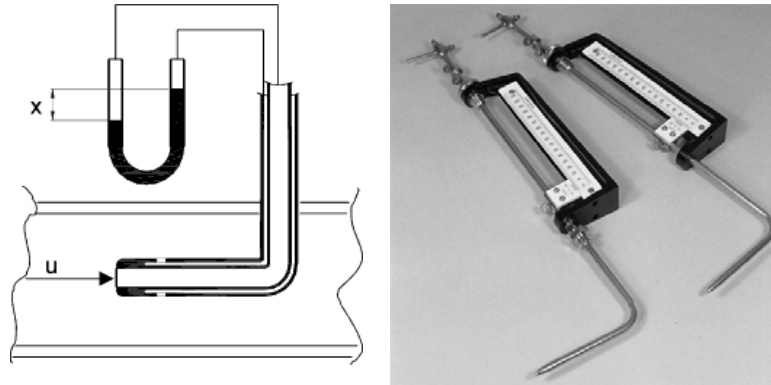


Слика 5.7 Мерење на брзините со хидрометриско крило

Хидрометриските цевки или Пито (Pitot) цевки, се стаклени цевчиња извиткани во (L) форма кои работат на принципот на трансформација на хидродинамичкиот притисок во хидростатички, Слика 5.8. Се поставуваат нормално на текот (струјната линија) и се мери разликата помеѓу нивото во текот и нивото во цевчето. Таа разлика е разликата помеѓу хидродинамичкиот и хидростатичкиот притисок во точката каде е поставена цевката. Брзината во таа точка се определува:

$$U = \sqrt{2gx} \quad \text{или} \quad U = C\sqrt{2gx} \quad 5.5$$

каде (C) е коефициент на брзината и ги изразува губитоците во хидрометриската цевка, ($C < 1$).



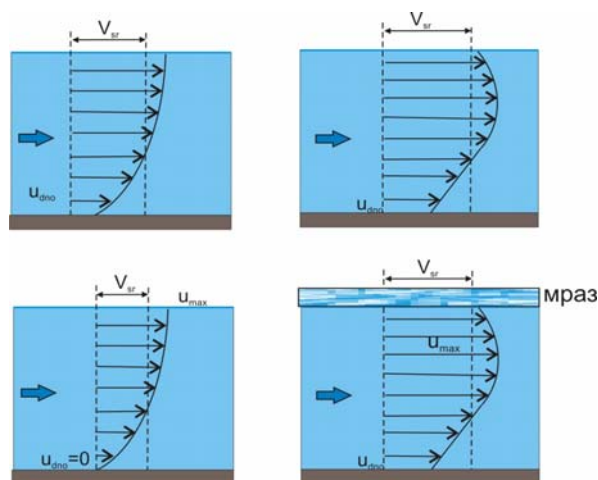
Слика 5.8 Хидрометриски цевки - Пито цевки

5.4.1 Начин на мерење и обработка на брзините

Брзините се мерат во точка, и тоа во повеќе точки на една вертикала и во повеќе вертикали во еден попречен профил. Бројот на точките и на вертикалите зависи од длабочините на течење и од широчината на речното корито. Целта на ваквите мерења е да се определат средните брзини во вертикалите, а потоа и средната брзина во целиот попречен профил.

Распоредот на брзините во попречните профили е сложен физички процес. Карактеристични форми на распоред на брзините во една вертикала се прикажани на Слика 5.9. Засега познавањата за вистинскиот распоред на брзините базираат исклучиво на резултатите од мерењата. Врз основа на мерењата, констатирано е дека брзината зависи од рапавината и формата на протечниот пресек и од падот на слободната водна површина. Брзината е променлива како во надолжен така и во попречен правец. На бреговите и при дното брзината е помала од онаа на средината и на површината на текот.

Во даден попречен профил брзините се мерат во поделни вертикали и точки, кои се избираат така да се добие јасна слика за распоредот на брзините во целиот попречен пресек. Постојат критериуми по кои се врши изборот на вертикалите и мерните точки на тие вертикали, кои пак зависат од карактерот на водотекот и од целта на мерењата.



Слика 5.9 Распоред на брзините во вертикала

Бројот на вертикалите во еден попречен профил се определува според широчината на водотекот, како што прикажано во Табела 5.1, а бројот на точките во секоја вертикала се определува според длабочината на водата во време на мерењата, Табела 5.2.

Табела 5.1

Широчина на водотек B (m)	Број на вертикали n
50	5
50÷100	5÷7
100÷200	7÷9
200÷500	9÷13
500÷1000	13÷15

Табела 5.2

Длабочина h (m)	Број на точки во вертикала
0,10÷0,25	1 точка на 0,5h
0,26÷0,35	1 точка на 0,6h
0,36÷0,60	2 точки на 0,2h и 0,8h
0,61÷1,00	3 точки на 0,2h, 0,6h и 0,8h
>1,00	5 точки на површината, 0,2h, 0,6h, 0,8h и дно

Средните брзини во една вертикала можат да се пресметаат со мерените брзини во точките, а во зависност од бројот на точките во вертикалата:

За измерени брзини во 5 точки:

$$V_{sr}=0,1 \cdot (V_p+3V_{0,2h}+3V_{0,6h}+2V_{0,8h}+V_d) \quad 5.6$$

За измерени брзини во 3 точки:

$$V_{sr}=0,25 \cdot (V_{0,2h}+2V_{0,6h}+V_{0,8h}) \quad 5.7$$

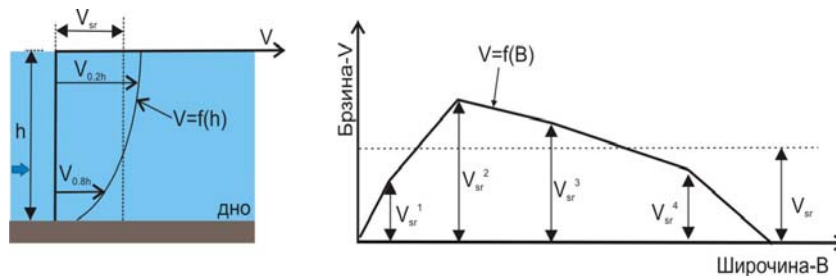
За измерени брзини во 2 точки:

$$V_{sr} = 0,5 \cdot (V_{0,2h} + V_{0,8h}) \quad 5.8$$

За измерени брзини во 1 точка:

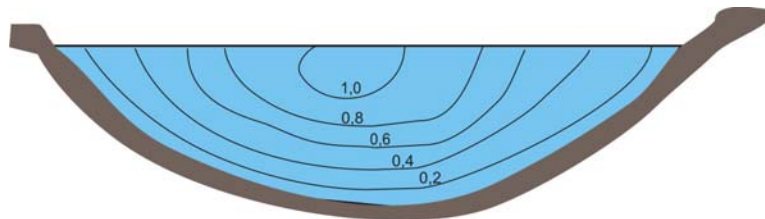
$$V_{sr} = V_{0,5h} \quad \text{или} \quad V_{sr} = V_{0,6h} \quad 5.9$$

Средната брзина во целиот попречен пресек може да се определи со средните брзини во вертикалите со графички метод како што е тоа покажано на Слика 5.10. Се нанесуваат на дијаграм средните брзини на вертикалите за соодветните мерени длабочини и се конструира дијаграмот (V - B). Потоа, неправилната површина заградена со линијата $V=f(B)$ и оската (B) се планиметрира и се трансформира визуелно во правоаголник. Средната брзина се определува ($V_{sr} = A_p/B$), каде (A_p) е површина на правоаголникот со висина (V_{sr}) и должина (B).



Слика 5.10 Определување на средна брзина во попречен пресек

Распоредот на брзините во попречен пресек може да се прикаже и со линии на еднакви брзини кои се викаат изотахи, Слика 5.11.



Слика 5.11 Распоред на брзини во попречен пресек со изотахи

5.5 Мерење на протокот

Волуменот на вода што поминува низ даден попречен пресек во единица време се вика проток и се изразува во (m^3/s) или (dm^3/s)= (l/s) . Протокот и волуменот на вода се основни параметри при проектирање, изградба и експлоатација на водостопанските системи. Сите останати мерења на хидролошките и метеоролошките параметри (длабочини, брзини, температури, врнежи, ветер, нанос, хемизам и други параметри), само помагаат во определувањето на протокот. Методите за определување на протокот се различни, но генерално можат да се групираат како: хидролошки, хидраулички, зафатнински, хемиски и физички со користење на законите на термодинамиката, електромагнетиката и ултразвукот.

Хидролошките методи се приближни и се базираат на принципот на расчленување на попречниот профил на лесно пресметливи волумени. Попречниот профил, односно “живиот” пресек, се дели на помали делови со вертикални рамнини каде се мерени длабочините и брзините.

Хидрауличките методи за определување на протокот ги користат основните принципи во механиката на флуидите за конзервација на масата (равенката на

континуитет) и на енергијата (динамичката равенка). При тоа се користат мерењата на длабочините, брзините и подолжниот наклон/пад на водната површина помеѓу два пресека. Со овие мерени податоци се пресметува загубената енергија помеѓу двата пресека (h_f) и хидрауличкиот градиент ($S_f=h_f/L$) со изразите:

$$h_f = f \frac{L}{4R} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad 5.10$$

$$Q = A \sqrt{\frac{8g}{f}} \sqrt{R \frac{h_f}{L}} = AC \sqrt{RS_f} \quad 5.11$$

Во овие равенки (R) е хидраулички радиус, а (C) е коефициент на отпорот или Chezy-ев коефициент кој се определува со изразите на Манинг (Manning), Кутер (Kutter) или Базен (Bazin), со коефициентот на триење (f) или со коефициентот на рапавина (n). Многу често, за определување на протокот со хидрауличките методи и концепти, на површинските текови се градат и соодветни објекти/преливи од постојан карактер.

Зафатнинските методи за мерење на протокот се користат за мали проточни количини кај извори, бразди, чешми и слично. Со овие методи всушност се мери времето за кое се полнат садовите со познат волумен, а потоа се пресметува протокот:

$$Q = \frac{W}{t} \quad 5.12$$

5.6 Мерење на наносот

Содржината на честички од геолошко потекло кои дошле во површинските води, реките и езерата, од површината на сливот по паѓање на дожд или со ерозија на речните корита, се вика нанос. Изучувањето на движењето на наносот е особено важно при проектирање, градење и експлоатација на хидротехнички објекти и водостопански системи. Наносот предизвикува матност на водата и ја намалува содржината на кислород што може да доведе до еколошки катастрофи преку уништување на флората и фауната, влошување на квалитетот на обработливите површини, намалување на пропусната способност на речните корита, намалување на корисниот простор на акумулациите и друго.

Според начинот на транспорт на наносот во речните корита тој може да биде: влечен, суспендиран и растворен. Влечениот нанос се материјали или зрна од геолошко потекло со поголеми димензии кои се движат по речното дно, најчесто со брзина помала од онаа на водата. Суспендираниот нанос се ситни честички од геолошко потекло кои пливаат/лебдат во водата над речното дно и се движат заедно со водата. Матноста на водата е резултат на концентрацијата на суспендираниот нанос што пак ја определува густината, односно специфичната тежина на површинските води. Растворениот нанос водата го растворила од минералите и како хемиски раствор го носи со себе. Растворен нанос во себе има и бистрата вода. Растворениот нанос се определува со хемиски анализи, односно содржината на растворениот нанос го определува квалитетот на водата. Ако определен волумен на вода се загрева на одредена температура сè додека водата не испари, во садот ќе остане сув остаток од растворени минерали што ќе го карактеризира квалитетот на водата. Со овие анализи се вршат и испитувања на реакцијата на водата на различни материјали и нејзината агресивност. Овие својства можат да се оценат ако се познава содржината на железо, олово, манган, хлор, нитрати, нитрити, амонијак, јод, калциумови и магнезиумови соли и други минерали. Со познавање на хемискиот состав на водата следува и оценката за нејзината употребливост или штетност за користење и за животната средина низ која се пренесува или се чува водата.

Проток на нанос се дефинира како количина на нанос, суспендиран или влечен, кој поминува во единица време низ зададен попречен пресек и се изразува во (kg/s). Сумарниот проток на нанос во ден, месец или година, се изразува во тони. Режимот на транспорт на нанос зависи од брзината на водотекот и од големината на зрната и се утврдува со голем број мерења. Големината на зрната на наносот се определува со геомеханички истраги во лабораториски услови, кога се конструира гранулометриската крива на процентуална застапеност на поодделни зрна на нанос во однос на вкупната количина на нанос.

5.6.1 Суспендиран нанос

Суспендираниот нанос ја предизвикува матноста на водата. За истражување на истиот корисно е да се наведат некои глобални заклучоци од литературата добиени со голем број мерења, а тие се:

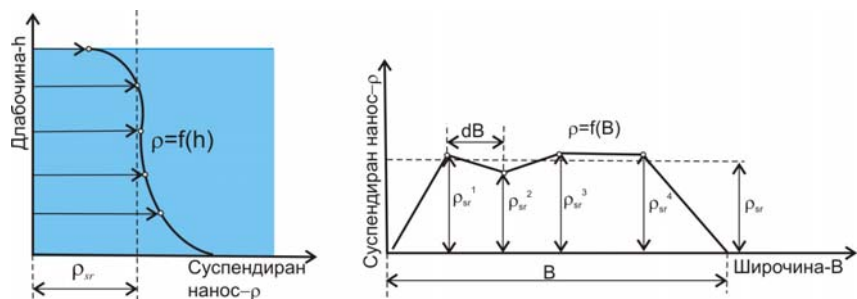
- Матноста на водата се зголемува со зголемување на длабочината на водата.
- Матноста на водата се зголемува од бреговите кон матицата на текот (матица на текот е најактивен дел од текот или дел од текот со најголеми брзини).
- Матноста во еден профил помалку се менува кога честичките/зрната во суспендираниот нанос се со помали димензии и се еднакви меѓу себе.
- Брзините на течење се менуваат и пулсираат, па грешките при земање на проби од нанос ќе бидат помали доколку мерењето, односно земањето на пробите, трае подолго.

Проби од водата заради испитување на наносот се земаат со батометри, кои можат да бидат со моментално или со продолжено полнење. Пробите се земаат на репрезентативни точки од текот и тоа најчесто на вертикалите каде се мерени длабочините и брзините. Земените проби се носат во лабораторија каде се определува концентрацијата на наносот за секоја точка од каде е земена проба, а потоа се определува и гранулометрискиот состав. Матноста на водата се определува со изразот ($\rho=G/W$), каде (G) е тежина на цврстите честички, а (W) е волумен на пробата. Тежината на цврстите честички се определува со филтрирање и сушење. Земената проба на вода со батометарот се става да се исцеди на филтер хартија со позната тежина во сува (неупотребена) состојба. По филтрирање, филтерот се суши за да испари сета вода, а потоа се мери тежината на употребениот филтер со наталожениот нанос. Разликата на неговата тежина пред употреба и онаа по употреба е големината (G).

Бројот на точките во кои се земаат проби за определување на наносот треба да одговара на бројот на точките во кои се мерени длабочините и брзините за определување на протокот. На ваков начин, се овозможува суспендираниот нанос да се определи и теориски со изразот:

$$G = \int_0^h \int_0^B V \cdot c \cdot dh \cdot dB \quad 5.13$$

каде (V) е брзина, а (c) е матност или концентрација на суспендиран нанос ($c=\rho$). Во практиката, често се користат аналитичката и графоаналитичката метода за определување на суспендираниот нанос, кои сепак треба да се прифатат апроксимативно. Овие методи базираат на следното. Се пресметуваат матностите во поодделните точки на секоја вертикала, потоа со осреднување се добива средната матност во секоја вертикала и се исцртува линијата $\rho=f(B)$ за целиот профил и повторно со осреднување на овој дијаграм (ρ - B) се определува средната матност на текот во тој попречен профил (ρ_{cp}), Слика 5.12.



Слика 5.12 Графоаналитичко определување на суспендиран нанос

5.6.2 Влечен нанос

За мерење на влечениот нанос се користат механички направи таканаречени батометри, Слика 5.13, и радиоактивни или флуоресцентни трасери. Користењето на механичките направи има одредени негативности кои придонесуваат кон необјективни резултати, а тие се: (а) со спуштање на инструментот се пореметува струјната слика на текот, (б) инструментот е постојано под вибрации од јажињата што го држат на дното, (в) инструментот има лош контакт со дното и (г) инструментот тешко се одржува при дното или е невозможно да се одржи на дното во услови на поминување на големи води, односно поплави.



Слика 5.14 Батометар за влечен нанос

6 ИСТЕКУВАЊЕ

6.1 Општо за истекувањето

Под истекување се подразбира дел од врнежите кои истекуваат, или со други зборови тоа е онаа вода која во даден слив површински или преку подземни патишта доаѓа до водотеците и се појавува во излезниот профил/граница на сливот. Процесот на истекување е гравитационо течење во коритата на водотеците во даден слив. Големината на коритата може да биде различна, од мали потоци и реки до многу големи реки, како што се Амазон, Индус или Дунав. Додека врнежите на копното се изразито нерамномерно распределени по време, простор и количина, кај процесот на истекување оваа карактеристика е помалку изразена. Ова е последица на акумулационите капацитети на површинските слоеви на земјата, каде значителен дел од врнежите се задржува и постепено се дренира во водотеците на дадениот слив. Процесот на истекување во даден слив е природен ако врз режимот на истекување не влијае човекот со своите активности, како што е изградба на објекти.

Истекувањето може да биде површинско, подповршинско и подземно. Површинско истекување е оној дел од вкупното истекување што тече по површината на теренот од сливот и во коритата на водотеците. Подповршинското истекување

настанува од делот на врнежите кои се инфилтрирале во површинскиот слој на сливот, а потоа со течење низ тој горен слој, речиси паралелно на површината на теренот, доаѓа до коритото на водотекот. Од моментот на инфилтрација во површинскиот терен, до моментот на влез во водотекот, овој дел на водата не доаѓа во контакт со нивото на подземната вода. Подземното истекување се формира од оној дел на врнежите кој се инфилтрира во површинскиот слој на теренот, а потоа со вертикално понирање доаѓа до нивото на подземната вода, за потоа со движење на подземната вода да дојде до коритото на водотекот и да се поврзе со останатите компоненти на истекувањето.

Во практиката, при хидролошките анализи, истекувањето од даден слив најчесто се дели на две компоненти: *директно* и *базно* истекување. Директно истекување е оној дел од вкупното истекување кој доаѓа во водотеците на сливот брзо по престанување на врнежите или топење на снегот. Ова истекување по количина е еднакво на збирот на површинското и подповршинското истекување и на врнежите над водотекот, Базното истекување е оној дел од истекувањето кој потекнува од дотекот на подземната вода од крајбрежните подземни издани, Истекувањето во водотеците за време на долготрајни сушни периоди, односно периоди без врнежи, во целост е базно, Ова истекување го сочинуваат подземното и закаснетото подповршинско истекување. Ефективните или нето врнежи се всушност “вишок” на врнежите или оној дел од вкупните врнежи кој директно го формираат површинското истекување. Останатиот дел од вкупните врнежи се “губитоците”, или оној дел од вкупните врнежи кој не доаѓа во ниту едно речно корито во сливот. Губитоците ја вклучуваат задржаната вода со испарување, транспирација, инфилтрација, интерцепција, локална депресија на сливот и друго. Овие компоненти на задржана вода се третираат како губитоци само во процесот на формирање на истекувањето во речните корита, односно во процесот на зафаќање на водата за практична употреба. Строго гледано, поимот “губитоци” не е исправен, бидејќи во хидролошкиот циклус водата не може вистински да биде изгубена.

Вкупното истекување во излезниот профил на даден слив се појавува како временска функција $Q=f(t)$, чија графичка претстава се вика хидрограм на истекување или само хидрограм. Постојат и водотеци кои немаат базно истекување. Во случај кога нивото на подземната вода е пониско од коритото на разгледуваната река, тогаш дел од водата во реката се инфилтрира и понира во нејзиното подземно крајбрежје и таквиот водотек е инфлуентен, Ако во разгледуваната река дотекува вода од нејзиното подземно крајбрежје, тогаш таквиот водотек е ефлуентен.

6.2 Карактеристики на истекувањето

За дефинирање на истекувањето во некоја сливна површина или регион, најчесто се определуваат следните параметри: средно повеќегодишно истекување, зафатнина на средно повеќегодишно истекување, модул на истекување, коефициент на истекување, висина или слој на истекување и норма на истекување. Истите се определуваат како што следува.

Зафатнина на средно повеќегодишно истекување. Се изразува во (m^3), а се определува со ефективните врнежи:

$$W_o = \bar{W} = P_e \cdot A \quad 6.1$$

Средно повеќегодишно истекување. Се изразува во (m^3/s), а се определува со изразот:

$$Q_o = \bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} Q_i}{n} \quad 6.2$$

Модул на истекување. Се изразува во ($m^3/s \cdot km^2$), а се определува како однос на средното повеќегодишно истекување и површината на сливот:

$$M_o = q = \frac{Q_o}{A} = \frac{\bar{Q}}{A} \quad 6.3$$

Коефициент на истекување. Коефициентот на истекување е бездимензионална големина и се определува како однос на истечените (нето) врнежи и на вкупните (брuto) врнежи, или како однос на истечената (нето) и паднатата (брuto) зафатнина од врнежите:

$$\eta = \frac{P_e}{P} = \frac{W_o}{W} \quad 6.4$$

Многу често коефициентот на истекување (η) се усвојува врз основа на физичко-географските карактеристики на сливот, па можно е при познати (мерени) вкупни врнежи да се определат истечените (ефективни) врнежи ($P_e = \eta \cdot P$), каде ($0 < \eta < 1$). Висината или слојот на истекување ($h_o = P_e$) може да се определи и како однос на зафатнината на истекувањето и површината на сливот, ($P_e = W_o/A$).

Норма на истекување. Под норма на истекување се подразбира средна аритметичка вредност на доволно долг период на набљудување. За површинските текови тоа би претставувал протекот (Q_o) за повеќегодишен период на набљудување (n). Потребната должина на набљудување зависи од промените на истекувањето и точноста со која сакаме да ја дефинираме нормата. Со методите од математичката статистика, за должината на периодот и точноста, можат да се напишат следните релации:

$$n = \frac{10^4 C_v^2}{\sigma^2} \quad \text{и} \quad \sigma = \frac{100 \cdot C_v}{\sqrt{n}} \quad 6.5$$

каде (C_v) е коефициент на варијација на низата, (n) е број на години на набљудување и (σ) е грешка на оценка во (%). На пример, ако се сака грешката на оценка на нормата на истекување да изнесува 5%, кога коефициентот на варијација на низата изнесува ($C_v = 0,6$), тогаш потребната низа од набљудувања треба да има 144 години, а за коефициент на варијација ($C_v = 0,15$), потребна е низа од набљудувања со само 9 години.

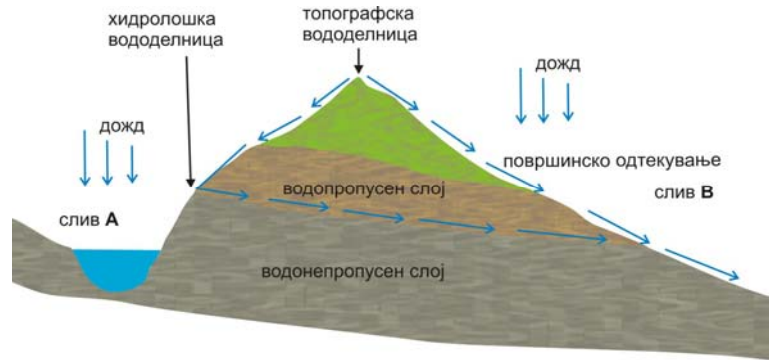
6.3 Фактори кои влијаат на истекувањето

Врз истекувањето во еден слив влијаат климатските фактори и физичко-географските фактори. Во климатските фактори спаѓаат: врнежите, ветерот, испарувањето, транспирацијата и друго. Овие фактори имаат годишни варијации и циклуси. Физичко-географските фактори можат да се поделат во две подгрупи: (а) карактеристики на сливот, како што се големина, форма, наклон, ориентација кон страните на светот, хидрографска развиеност, геолошки карактеристики, педолошки карактеристики, растителен покривач, начин на обработка на земјиштето и друго, (б) карактеристики на водотекот, како што се големина и форма на попречниот пресек на коритото, наклон на коритото, рапавина, должина и друго.

Врз временската распределба на истекувањето има влијание и трета група на фактори, антропогени или човечки фактори. Влијанието на овие фактори се гледа преку изградбата на насипи, регулациони објекти, брани и нивни придружни објекти, потоа претварање на природни пасишта и шуми во земјоделски површини, мочуришни терени во шумски површини, полупустински терени во зелени култивирани површини и урбанизирање на земјиштето со вештачки водонепропустливи површини под асфалт, бетон и друго.

Во зависност од факторите кои влијаат на истекувањето, сливовите можат да се поделат на големи и мали и тоа не само по нивната големина, туку врз основа на одредени доминантни фактори. Кај малите сливови на врвот од хидрограмот или на

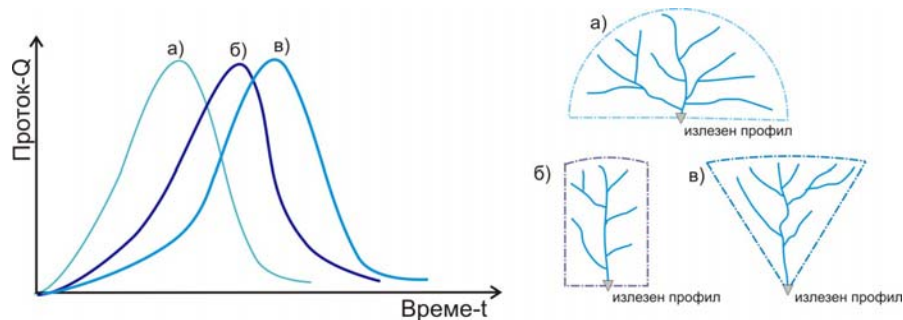
вршниот протек, доминантно е влијанието на површинското дотекување, а не течењето во самото речно корито. Имено, времето на течење на водата по површината на сливот е релативно долготрајно во споредба со времето на течење во главниот водотек кај малите сливови, додека кај големите сливови тоа не е случај. Освен тоа, малите сливови се силно изложени на влијанието од краткотрајните дождови со силен интензитет и од начинот на обработка на земјиштето во сливот. Големината на малите сливови може да варира од неколку хектари до 25 km^2 , некаде и до 200 km^2 . Поголемиот број на сливови кои се анализираат при проектирање на пропусти, сообраќајници, помали мостови, канализации и аеродроми, спаѓаат во оваа категорија. Во процесот на истекување може да се дефинираат топографски и хидролошки слив, кои можат, но не мора да се поклопуваат, Слика 6.1.



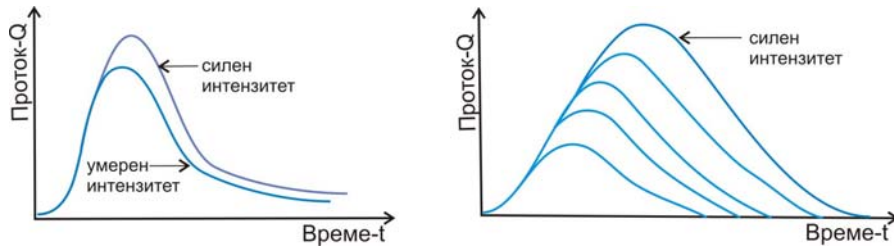
Слика 6.1 Топографски и хидролошки слив

Протокот во еден профил на некој водотек е пропорционален на големината на сливот над, односно возводно од локацијата на профилот. Поголеми наклони на сливот овозможуваат поголеми протоци во водотеците што го дренираат сливот. Поголемите наклони на сливот влијаат врз пократкото задржување на дождот на теренот, а ова пак врз намалување на количината на инфилтрираната вода во површинскиот слој на сливот. Поголемиот наклон на сливот овозможува поголеми брзини на површинското истекување, а последица на ова е шилеста форма на хидрограмот на истекување, односно стрми линии на пораст (концентрација) и опаѓање (ретардација). Ова доведува до релативно голем вршен (максимален) проток кој се постигнува брзо. Кај малите наклони на сливот овие ефекти се спротивни, па хидрограмот има сплостена форма, помал вршен проток и подолго време на површинско истекување, односно поголема временска база.

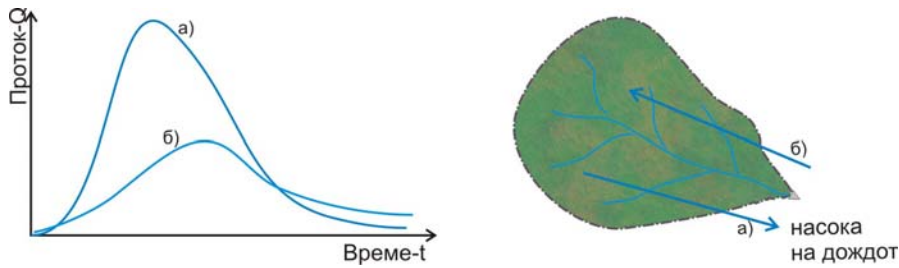
Треба да се истакне дека покрај наклонот на сливот, важна улога во формирањето на хидрограмот има и наклонот на водотекот, потоа формата на сливот, влажноста на почвата пред појава на дождот, интензитетот и насоката на дождот и други топографски, геолошки и климатски фактори. Какво е влијанието на различните фактори врз формата на хидрограмот на истекување, прикажано е на Сликите 6.2÷ 6.6.



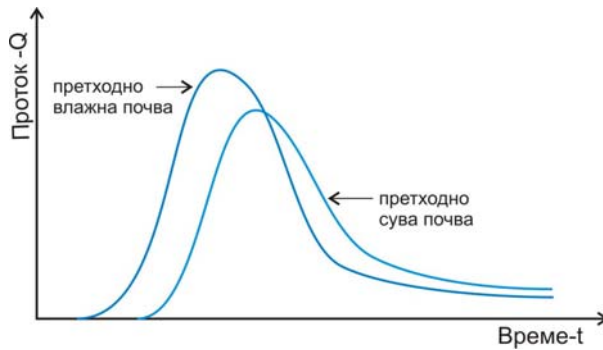
Слика 6.2 Влијание на формата на сливот



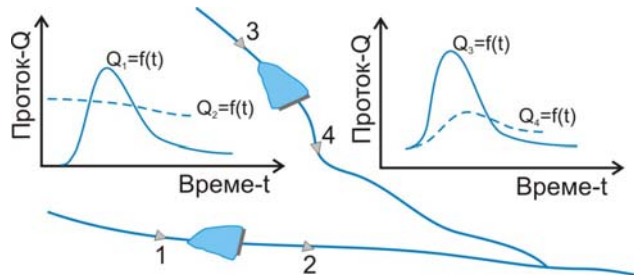
Слика 6.3 Влијание на интензитетот и траењето на дождот



Слика 6.4 Влијание на насоката на дождот



Слика 6.5 Влијание на влажноста на почвата



Слика 6.6 Влијание на активностите во сливот

6.4 Хидрограм и негови карактеристики

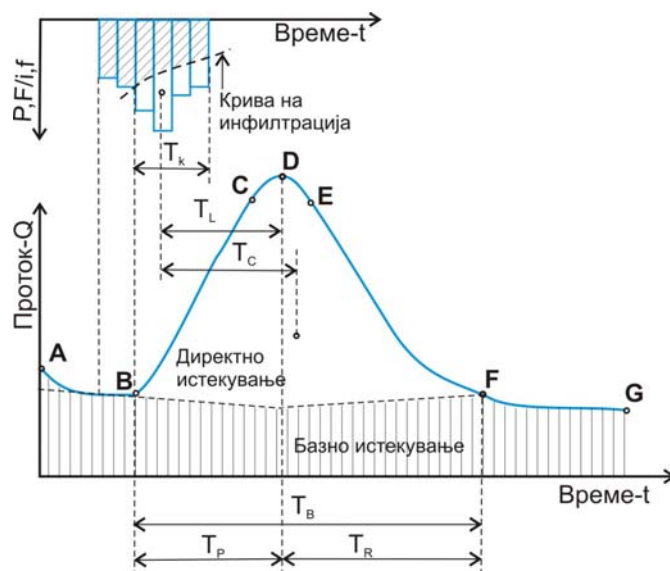
Дијаграмот кој ја прикажува временската промена на протокот во некој водотек на одреден профил (локација), се вика хидрограм. Ако наместо протокот, се прикаже временската промена на водостојот, таквиот дијаграм се вика нивограм. Хидрограмот може да се смета за интегрален израз на физичко-географските и климатските карактеристики со процесот кој ја определува зависноста помеѓу врнежите и истекувањето во даден слив. Хидрограмот го изразува овој сложен процес со една емпириска крива линија. Вообичаениот хидрограм на истекување како резултат на

еден интензивен дожд, има релативно стрм сегмент на пораст, вршен дел или врв, и нешто поблага гранка на опаѓање која се вика рецесиона крива или крива на ретардација, Слика 6.7.

Можна е и појава на хидрограм со повеќе врвови, таканаречен сложен хидрограм, што може да биде резултат на нагла промена во интензитетот на врнежите, или последователни силни (интензивни) дождови, или несинхронизирано истекување од неколку притоки во главниот водотек, или несиметрична форма на сливот и друго.

Формата на гранката на пораст на хидрограмот зависи од траењето, интензитетот и временскиот распоред на врнежите во сливот, потоа од претходната влажност во сливот, од инфилтрационите карактеристики на почвата, од формата и наклонот на сливот. Вршниот проток или врвот на хидрограмот е поврзан со најголемата концентрација на истекувањето од сливот, Во тој момент целата сливна површина допринесува во истекувањето.

Формата на гранката на рецесија претставува повлекување на водата од сливот и од неговите акумулациони простори по престанок на секаков дотек во коритото на главниот водотек и во коритата на неговите притоки, Нејзината форма зависи од топографските и хидрографските услови во сливот, Ако од неколку хидрограми на даден слив поврзани за еден профил се ускладат долните делови на рецесионите криви, се добива една анвелопна крива која претставува рецесиона крива на подземната вода со која се храни водотекот. Оваа крива се вика деплециона крива и понекогаш истата се конструира посебно за вегетационен и посебно за зимски период.



Слика 6.7 Хидрограм на истекување и хиетограм на дожд

Карактеристичните точки (делови) на хидрограмот се: **AB**-претходно истекување, **BD**-гранка на пораст, **DF**-гранка на опаѓање, **CE**-вршен дел, T_k -време на траење на ефективниот дожд, T_C -време на концентрација или време од тежиштето на ефективниот дожд до тежиштето на хидрограмот на директното истекување, T_p -време на подигнување, T_R -време на опаѓање или време на ретардација, $T_L=t_p$ -време на задоцнување во сливот или време од тежиштето на ефективниот дожд до вршниот проток, T_B -временска база на хидрограмот или време на површинското истекување, **D**-точка во која се постигнува максималниот или вршен проток (Q_{max}), **C** и **E**-превојни или инфлексии точки, **FG**-рецесиона крива на подземно истекување. Физичкиот процес што ги условува овие геометриски карактеристики на хидрограмот може да се опише како што следува подолу.

Со почетокот на врнежите над сливот прво се јавува еден почетен период на интерцепција, инфилтрација и површинско задржување на водата во локалните депресији, во кој период нема мерливи промени на истекувањето во водотеците. Со зголемување на времето на траење на врнежите, овие губитоци сèуште се формираат, но во сè помала количина, па на хиетограмот на врнежите потребно е да се одвојат таканаречените нето или ефективни врнежи од бруто или вкупните врнежи. Бидејќи интензитетот на врнежите е поголем од интензитетот на инфилтрацијата, и по заситување на почетните губитоци, почнува површинското истекување кое се зголемува сè до појавата на максималниот проток. По ова настанува период на рецесија или опаѓање на површинското истекување во водотекот, сè додека водата од сливот целосно не истече. За ова време инфилтрираната вода со понирање стигнува до подземната вода и го покачува нивото, заради што доаѓа до зголемување на дотекот на вода во речното корито од крајбрежниот водоносен слој. По ова, дотекот на подземната вода во водотекот континуирано се намалува по законот на деплеционата крива.

Од останатите фактори кои влијаат врз големината и режимот на истекување, ќе се споменат: надморската висина на сливот, хидрографската развиеност на сливот, хидрауличката состојба на коритата на водотеците и интензитетот и траењето на врнежите. Генерално, вкупните годишни врнежи се зголемуваат со зголемување на средната надморска висина на сливот, но може да има и исклучоци. Кај сливови со добро развиена хидрографска мрежа и правилно формирани речни корита, хидрограмите се шилести со кратко време на концентрација. Кај сливови со многу површински депресији и слабо развиен речен систем, хидрограмите се сплостени со релативно долга временска база. Истекувањето е побрзо кај чисти, необраснати и стабилни речни корита, а е по бавно кај обраснати и нестабилни речни корита со изразени процеси на ерозија и засипување.

Од климатските фактори најголемо влијание врз истекувањето има интензитот и траењето на врнежите. Интензитот на врнежите директно влијае врз големината на истекот. Доколку иста висина на дожд падне во даден слив со две различни траења, резултатот ќе биде два многу различни хидрограми на истекување. Во Македонија локално дождовите може да се појават со интензитет до 5 mm/мин, но ваквите дождови не траат повеќе од десетина минути. Во Индија, монсунските дождови, кои можат континуирано да паѓаат со недели, имаат просечен интензитет поголем од 10 mm/час, која појава може да се смета единствена во светот. Значењето на траењето на дождот варира со големината и топографијата на сливот.