

1 ХИДРОЛОШКИ ПОЈАВИ

1.1 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.

1.2 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 ефективните врнежи:

$$W_o = \bar{W} = P_e \cdot A \quad 1.1$$

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

$$Q_o = \bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} Q_i}{n} \quad 1.2$$

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:

$$M_o = \frac{Q_o}{A} = \frac{\bar{Q}}{A} \quad 1.3$$

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:

$$\eta = \frac{P_e}{P} = \frac{W_o}{W} \quad 1.4$$

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:

$$n = \frac{10^4 C_v^2}{\sigma^2} \quad \text{и} \quad \sigma = \frac{100 \cdot C_v}{\sqrt{n}} \quad 1.5$$

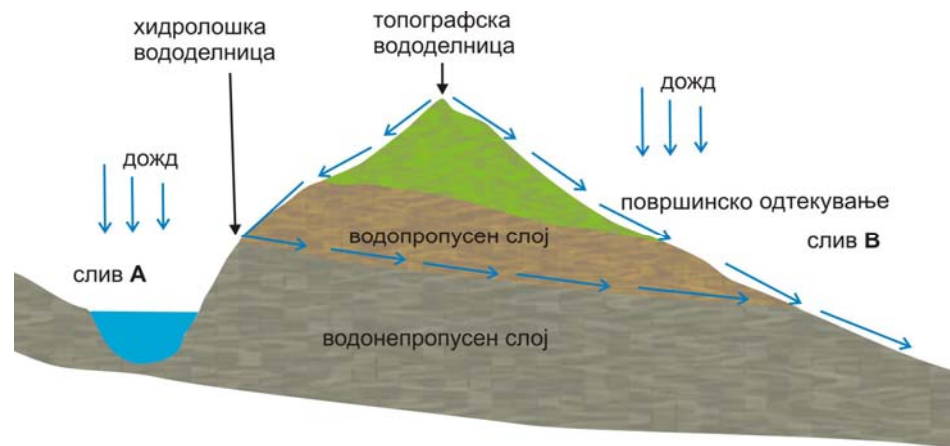
каде (C_v) е коефициент на варијација на низата, (n) е број на години на набљудување и (σ) е грешка на оценка во (%). На пример, ако се сака грешката на оценка на нормата на истекување да изнесува 5%, кога коефициентот на варијација на низата изнесува ($C_v=0,6$), тогаш потребната низа од набљудувања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

1.3 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 1.1.

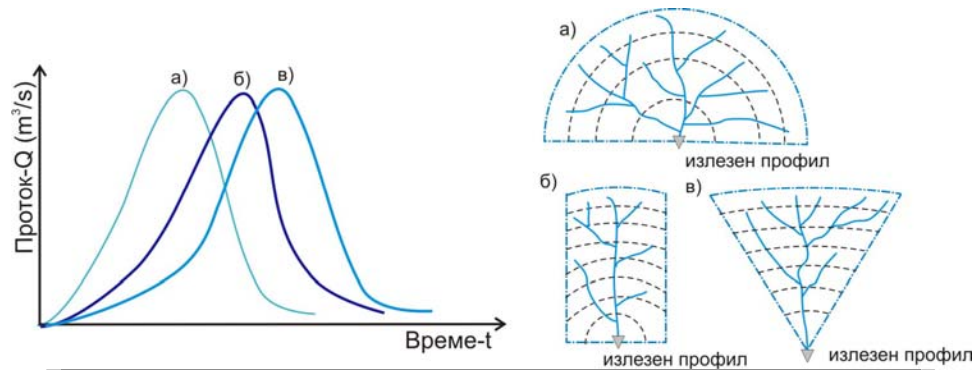


Слика 1.1 Топографски и хидролошки слив

Протокот во еден профил на некој водотек е пропорционален на големината на сливот над, односно возводно од локацијата на профилот.

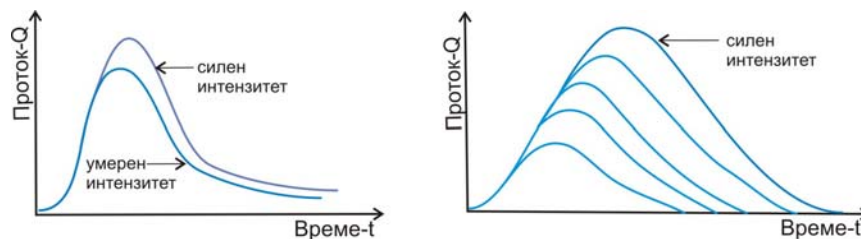
Поголеми наклони на сливот овозможуваат поголеми протоци во водотеците што го дренираат сливот. Поголемите наклони на сливот влијаат врз пократкото задржување на дождот на теренот, а ова пак врз намалување на количината на инфилтрираната вода во површинскиот слој на сливот. Поголемиот наклон на сливот 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.

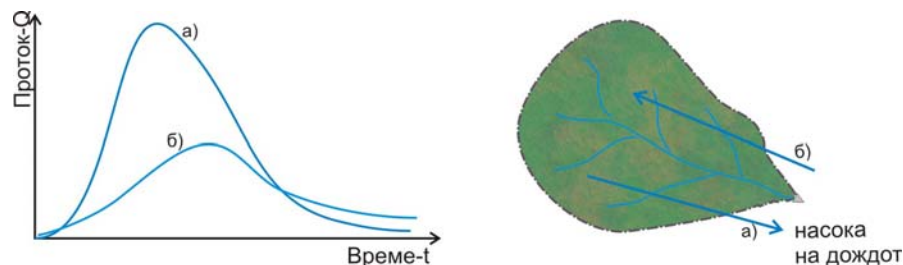


Слика 1.2 Влијание на формата на сливот

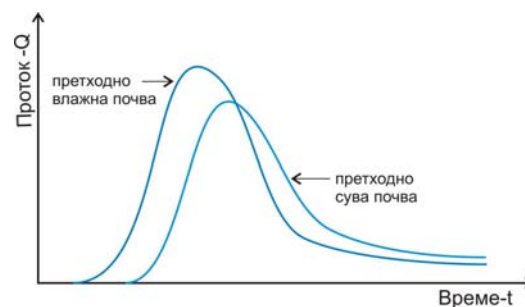
Треба да се истакне дека покрај наклонот на сливот, важна улога во формирањето на хидрограмот има и наклонот на водотекот, потоа формата на сливот, влажноста на почвата пред појава на дождот, интензитетот и насоката на дождот и други топографски, геолошки и климатски фактори. Каково е влијанието на различните фактори врз формата на хидрограмот на истекување, прикажано е на Сликите 1.2÷ 1.7.



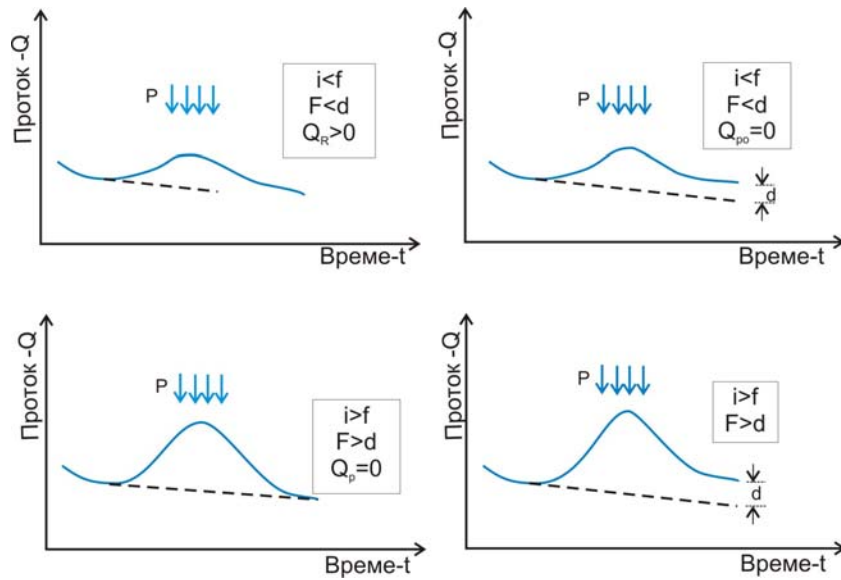
Слика 1.3 Влијание на интензитетот и траењето на дождот



Слика 1.4 Влијание на насоката на дождот



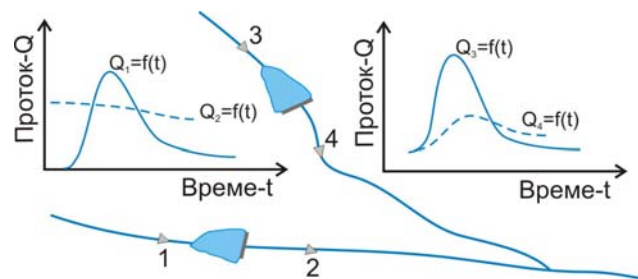
Слика 1.5 Влијание на влажноста на почвата



ЛЕГЕНДА:

f -капацитет на инфилтрацијата; F -зафатнина на инфилтрираната вода; i -интензитет на дождот; d -дефицит на влага; Q_R -врнежи кои паѓаат директно на водена површина; Q_{po} -површинско истекување; Q_p -подземно истекување

Слика 1.6 Влијание на геолошките фактори во сливот



Слика 1.7 Влијание на активностите во сливот

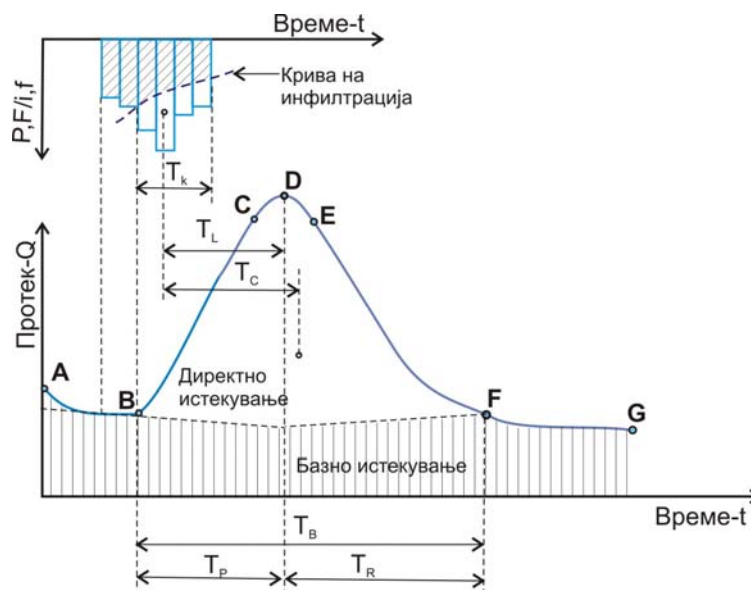
1.4 Хидрограм и негови карактеристики

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 1.8.

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 (бубрежна) форма на сливот и друго.

Формата на гранката на пораст на хидрограмот зависи од траењето, интензитет 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, Понекогаш оваа крива се конструира посебно за вегетационен и посебно за зимски период.



Слика 1.8 Хидрограм на истекување и хиетограм на дожд

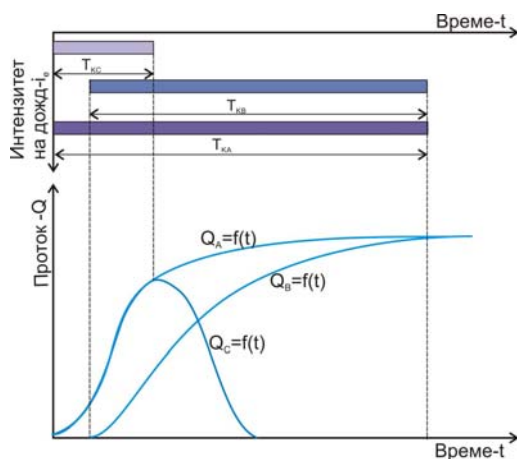
Карактеристичните точки/делови на хидрограмот се: **AB**-претходно истекување, **BD**-гранка на пораст, **DF**-гранка на опаѓање, **CE**-вршен дел, **TC**-време на концентрација (време од тежиштето на ефективниот дожд до тежиштето на хидрограмот на директното истекување), **T_p**-време на подигнување, **T_R**-време на ретардација, **T_L=t_p**-време на задоцнување во сливот (време од тежиштето на ефективниот дожд до вршниот проток), **T_B**-временска база на

хидрограмот или време на површинското истекување, Q_{\max} -максимален или вршен проток, **C** и **E**-превојни или инфлексииони точки, **FG**- рецесиона крива на подземно истекување, Физичкиот процес што ги условува овие геометриски карактеристики на хидрограмот може да се опише како што следува.

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 хидрограмот 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 интензитетот и траењето на врнежите. Интензитетот 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 хидрограма 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, монсонските 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.



Слика 1.9 Хидрограм на истекување под влијание на траење на дожд

Кај мали сливови со стрми падини, најголемо истекување се јавува од обилни дождови со многу кратко траење, што не е случај кај големи сливови со ридска топографија. Влијанието на траењето на дождот врз хидрограмот на истекување се објаснува со хидрограмот **A** кој е резултат на дожд со константен интензитет над целиот слив, Слика 1.9.

2 МЕТОДИ ЗА ПРЕСМЕТУВАЊЕ НА ИСТЕКУВАЊЕТО

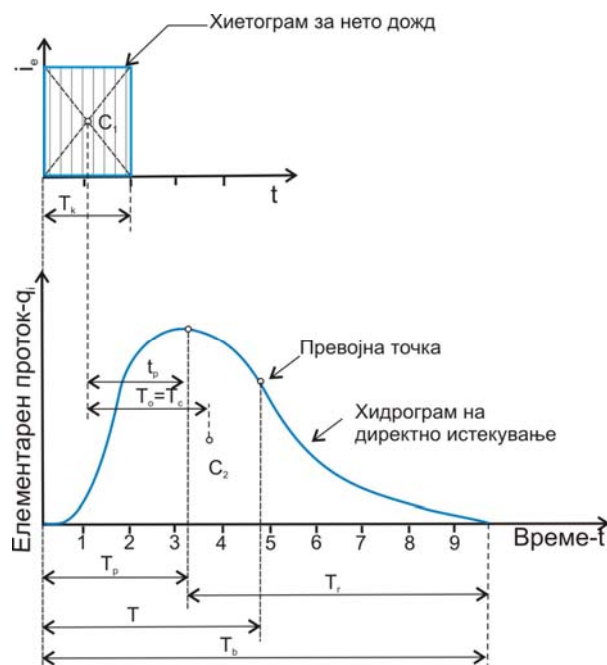
2.1 Детерминистички методи

2.1.1 Синтетички хидрограм

Во практиката многу често е потребно да се определи хидрограм на истекување за слив за чиј водотек не се располага со податоци од систематски мерења на водостојот и протокот. Ова се т.н. немерени или неизучени водотеци. Во вакви случаи, можно е со синтеза на набљудувани и изучени слични сливови, да се изработат хидрограмите за немерените сливови. Така определените хидрограми се синтетички. Методите за определување на овие хидрограми се параметарски и генерално се групираат во две групи. Едната група базира на основната претпоставка дека секоја сливна површина има свој единствен единечен хидрограм (се користи релацијата време-површина), а другата група на методи базира врз претпоставката дека сите единечни хидрограми можат да се претстават со една крива, со фамилија на криви или со равенка (се користат емпириски релации).

Shnyder-ов метод

Најчесто применувана постапка за определување на синтетичкиот хидрограм е онаа на Shnyder (Шнајдер) [1938].



Слика 2.1 Геометриски параметри на единечен хидрограм

За основен параметар на единечниот хидрограм тој го земал времето на закаснување на вршниот протек (t_p), а за основна карактеристика на сливот го земал производот ($L \cdot L_c$), каде (L) е должина на главниот водотек од излезниот профил на сливот (точката **M**), до возводниот пресек на водотекот и вододелницата (точката **T_c**), а (L_c) е должина на главниот водотек од излезниот профил на сливот, Shnyder предложил параметарот на единечниот хидрограм и параметарот на сливот да се поврзат со равенката:

$$t_p = C_t(L \cdot L_c)^{0,3} \quad 2.1$$

каде (t_p) се изразува во часови, а должините (L) и (L_c) во милји. Ознаките на Слика 2.1, се следни: (T_k) е траење на ефективниот дождот за кој се претпоставува дека со рамномерен интензитет паѓа на целиот слив во тек единечен временски интервал, (T_p) е време на пораст на хидрограмот, од почетокот на директното истекување до времето на максималниот проток, (T) е време од почетокот на директното истекување до превојната точка, (T_B) е база на единечниот хидрограм или вкупно време на директното истекување, (t_p) е време на задоцнување на максималниот/вршен протек, дефинирано како временски интервал од тежиштето на хиетограмот на ефективниот дожд до вршниот протек, (T_o) е време од тежиштето на хиетограмот на ефективниот дожд до тежиштето на хидрограмот на директното истекување, или време на концентрација ($T_o=T_c$) и (T_r) е траење на гранката на опаѓање на хидрограмот, односно на рецесиона крива. За времето на задоцнување Линсли (Linsley), Колер (Kohler) и Полус (Paulhus) предложиле следен израз:

$$t_p = C \left(\frac{L \cdot L_c}{\sqrt{S_2}} \right)^n \quad 2.1$$

каде (t_p) се изразува во часови, должините (L) и (L_c) во (km), (S_2) е осреднет наклон на водотекот во [%], а (C) коефициент кој зависи од големината и карактеристиките на сливот (рамничарски, планински). Откако го определил времето на појавување на вршниот протек, Shnyder претпоставил дека на рецесионата гранка на хидрограмот и е потребно 3 дена да опадне од вршниот проток до нултиот проток и ја предложил формулата:

$$T_B = 3 \left(1 + \frac{t_p}{24} \right) \quad 2.2$$

каде (T_B) се изразува во денови, а (t_p) во часови. За други траења на ефективниот дожд потребно е да се изврши корекција на времето на задоцнување, со равенката:

$$t_{p(R)} = t_p + \frac{1}{4} (T'_k - T_k) \quad 2.3$$

каде (T'_k) > (T_k), а $t_{p(R)}$ е време на задоцнување за дожд со ефективно траење (T'_k). Со овие вредности може лесно да се скицира формата на единечниот хидрограм. По оваа метода базата на хидрограмот секојпат е поголема од 3 дена, што значи дека се разгледуваат само поголеми сливови. Емпириските изрази за (T_B) најчесто имаат форма:

$$T_B = T_k + a \cdot A^b \quad 2.4$$

каде (A) е површина на сливот во [km^2]. За коефициентите Linsley ги предложил вредностите ($a=0,8$) и ($b=0,2$).

Американската организација SCS (Soil Conservation Service), ја поедноставила формата на хидрограмот во триаголник, Слика 8.18. Волуменот на истекување од 1 cm паднат дожд во слив изнесува:

$$V = \frac{q_{\max} T_B}{2} = \frac{q_{\max} (T_p + T_r)}{2} \quad 2.5$$

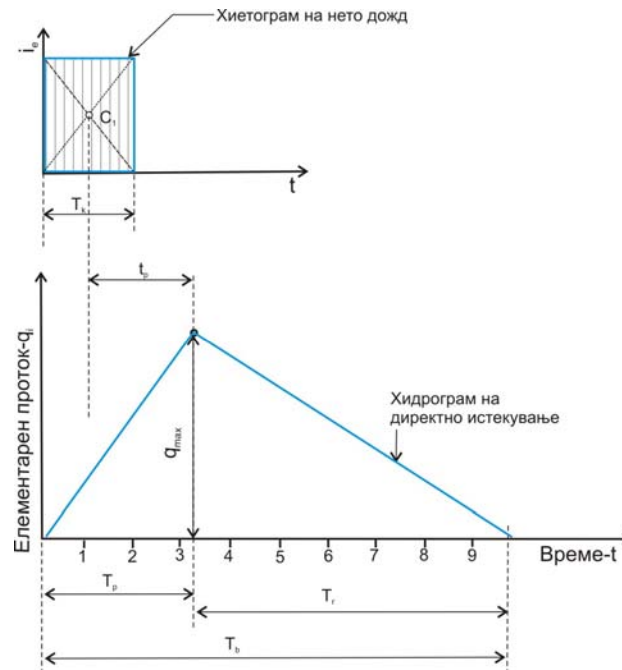
или

$$q_{\max} = \frac{0,75 \cdot V}{T_p} \quad 2.6$$

каде ($T_r \approx 1,67 \cdot T_p$) е добиено врз база на набљудување на терен, а ($T_p = T_k/2 + t_p$). Максималниот или вршен проток Шнајдер (Shnyder) го довел во врска со времето на задоцнување:

$$q_{\max} = 640 \frac{C_P}{t_P} A \quad 2.6$$

каде (q_{\max}) се изразува во (ft^3/s), времето (t_P) во часови, а (C_P) е коефициент со кој се земаат во предвид акумулационите (ретензионите) карактеристики на сливот во услови на поплавни бранови.



Слика 2.2 Синтетички хидрограм во форма на триаголник

Од Слика 2.2 можат да се напишат следните равенки:

$$\begin{aligned} T_P &= \frac{1}{2} T_k + t_P \\ T_r &= K \cdot T_P \\ T_B &= T_P + T_r = T_P(1+K) \\ t_P &= T_o + a \cdot T_k \end{aligned} \quad 2.7$$

Големините (a) и (T_o) се експериментални вредности добиени со регресиона анализа на времињата (t_P) и (T_k) за поголем број на регистрирани дождови и за осум избрани експериментални сливови. Регресиониот коефициент (a) изнесува: $a=0,76$ за слив со големина $A=183 \text{ km}^2$, $a=0,54$ за слив со $A=95 \text{ km}^2$ и $a=0,30$ за слив со $A=16 \text{ km}^2$. За определување на времето на концентрација ($T_o=T_c$) се користат следниве изрази:

$$\begin{aligned} T_o &= 1,06 \cdot \left(\frac{L}{S_2}\right)^{0,47} \\ T_o &= 0,74 \cdot \left(\frac{L \cdot L_c}{\sqrt{S_2}}\right)^{0,35} \\ T_o &= 0,40 \cdot L^{0,67} \cdot \left(\frac{L \cdot L_c}{\sqrt{S_2}}\right)^{0,086} \end{aligned} \quad 2.8$$

Во равенките 2.8, времето на концентрација ($T_o=T_c$) се изразува во часови, а за негово определување Кенеди (Kenedy) и Ват (Watt) ги предложиле следниве изрази:

$$T_0 = 1,864 \cdot A^{0,39} S_4^{-0,31}$$

$$T_0 = 2,30 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{S_3}}\right)^{0,66} \quad 2.9$$

каде (S_3) е осреднет наклон на текот ($S_3 = \Delta H/L$), а (S_4) е осреднет наклон на сливот, или однос на разликата на надморската висина помеѓу разгледуваниот (излезен) пресек и највозводната точка во која текот ја сече линијата (L_B) на место што одговара на 5% од вкупната површина на сливот, Слика 2.3.



Слика 2.3 Скица за прикажување на наклонот S_4

Волуменот на хидрограмот на директното истекување е еднаков на волуменот на паднатиот ефективен дожд, па може да се напише:

$$\frac{Q_{\max} \cdot T_B}{2} = A \cdot P_e \quad 2.10$$

или ($q_{\max} T_B/2 = A \cdot 1 \text{ cm}$). Од горната равенка може да се определи максималниот проток (Q_{\max}) со изразот:

$$Q_{\max} = 0,278 \frac{2A}{(1+K)} \cdot \frac{P_e}{T_p} \quad 2.11$$

каде (A) се изразува во (km^2), (P_e) во (mm), (T_p) во часови, (Q_{\max}) во (m^3/s), а (K) е бездимензионална големина, или:

$$Q_{\max} = 0,56A \cdot \frac{P_e}{T_B} \quad 2.12$$

Ефективните врнежи се определуваат со равенката:

$$P_e = \frac{(P - 0,2d)^2}{P + 0,8d} \quad 2.13$$

каде (P) е бруто дожд во (mm), а (d) е дефицит на влажност во (mm) и зависи од видот и покриеноста на почвата со вегетација. Дефицитот на влажноста се доведува во врска со бројот (CN) кој се пресметува со изразот:

$$CN = \frac{1000}{10 + 0,0394d} \quad 2.14$$

Вредностите на бројот (CN) се дадени во Табела 2.2, а номограмската зависност (P , CN , P_e) е прикажана на Слика 2.4. Од номограмските зависимости за познат бруто дожд (P) и за определен број (CN) се отчитува нето дождот или ефективниот дожд (P_e). За оцена на

времето на концентрација (T_c) во хидролошката литература постојат повеќе приближни формули, а најчесто се користи онаа на Кирпич (Kirpich):

$$T_c = 0,00025 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,80} \quad 2.15$$

каде (L) е должина на сливот мерена долж најдолгиот водотек во (m), а (S) е наклон на сливот во (m/m).

Табела 2.2 Вредности на бројот CN за земјишни комплекси

Опис на покриеноста на сливот	A	B	C	D
▪ Семејни куќи со дворови до 500 m ² (60% непропусно)	77	85	90	92
до 1000 m ² (38% непропусно)	61	75	83	87
до 2000 m ² (25% непропусно)	54	70	80	85
до 4000 m ² (20% непропусно)	51	68	79	84
▪ Паркинзи, тротоари, кровови	98	98	98	98
▪ Улицы и патишта поплочени со атмосферска канализација макадам, чакал земјани	98 76 72	98 85 82	98 89 87	98 91 89
▪ Трговски и работни површини (85% непропусни)	89	92	94	95
▪ Индустриски зони (75% непропусни)	81	88	91	93
▪ Тревници, паркови, гробишта до 70% под трева до 50% под трева	39 49	61 69	74 79	80 84
▪ Необработени земјоделски површини	77	86	91	94
▪ Култури во редови обработка во насока на наклон на теренот (сл)	72	81	88	91
обработка во насока на наклон на теренот (ср)	67	78	85	89
обработка по изохипси (сл)	70	79	84	88
обработка по изохипси на терасасто земјиште (сл)	66	74	80	82
▪ Жита обработка во насока на наклон на теренот (сл)	65	76	84	88
обработка по изохипси (сл)	63	74	82	85
обработка по изохипси на терасасто земјиште (сл)	61	72	79	82
▪ Соја, грав, грашок, боранија обработка во насока на наклон на теренот (сл)	66	77	85	89
обработка по изохипси (сл)	64	75	83	85
обработка по изохипси на терасасто земјиште (сл)	63	73	80	83
▪ Ливади, пасишта слабо (сл)	68	79	86	89
средно (ср)	49	69	79	84
добро (до)	39	61	74	80
▪ Детелина (до)	30	58	71	78
▪ Терени под шума слабо (сл)	45	66	77	83
средно (ср)	36	60	73	79
добро (до)	25	55	70	77

Ознаките во Табела 2.2 се: **A**-песоклива почва; **B**-песоклива иловица, лес; **C**-иловица; **D**-глина; **сл**-слабо; **ср**-средно; **до**-добро.

Доколку е позната брзината на течење (V) во (m/s) во главниот водотек, тогаш може да се користи изразот:

$$T_c = \frac{L}{V} \quad 2.16$$

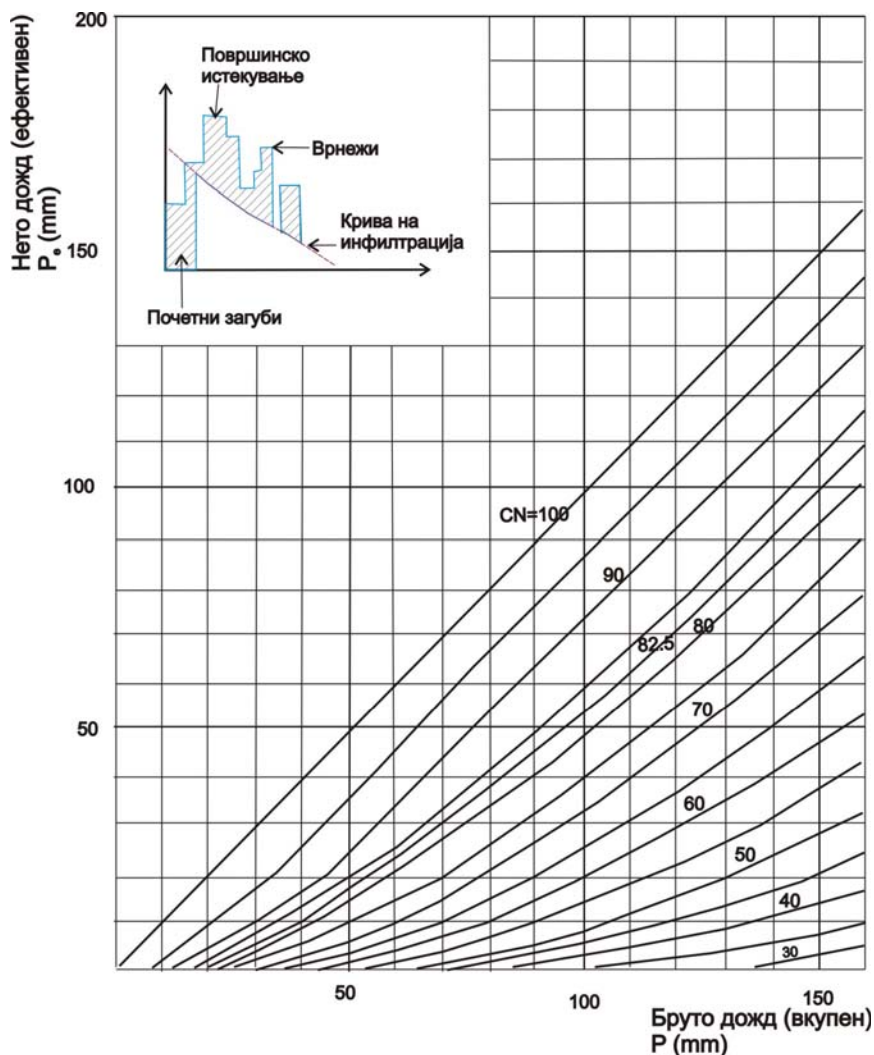
Брзината на течење на водата според Херкулдизе (Herheulidze) може приближно да се определи со наклонот (S_3) и со повратниот период (N):

$$V = (1,60 + 1,10 \log N) \cdot \sqrt[4]{S_3} \quad 2.17$$

Некои руски хидролози користат ориентациони вредности за оцена на брзината на течење во речните корита, Табела 2.3.

Табела 2.3 Брзини на течење во речни корита

Карактер на рељефот	Брзина (m/s)	
	Мали реки	Поголеми реки
Мочуришта	0,3÷0,5	0,4÷0,8
Рамничарски терени	0,8÷1,2	1,0÷1,5
Брдски терени	1,5÷2,5	2,0÷2,5
Планински терени	2,5÷3,5	2,0÷4,0



Слика 2.4 Зависност на вкупните и ефективните дождови и бројот CN

Рускиот хидролог Соколовски предложил времето на пораст (T_P) да се определува преку времето на концентрација (T_C) со помош на изразот:

$$T_P = k \cdot T_C \quad 2.18$$

каде ($k=1$) за краткотрајни дождови, а ($k=1,30 \div 1,60$) за долготрајни дождови. За овој коефициент Херкулидзе го предложил изразот:

$$k = 0,70 \cdot (T_c + 20)^{1/8} \quad 2.19$$

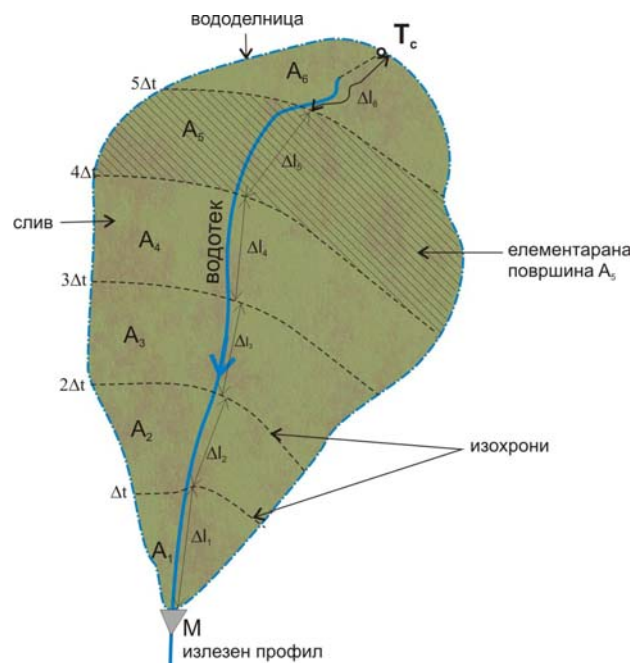
а за времето на опаѓање на хидрограмот изразот:

$$T_r = T_p \cdot (T_c + 1)^{1/6} \quad 2.20$$

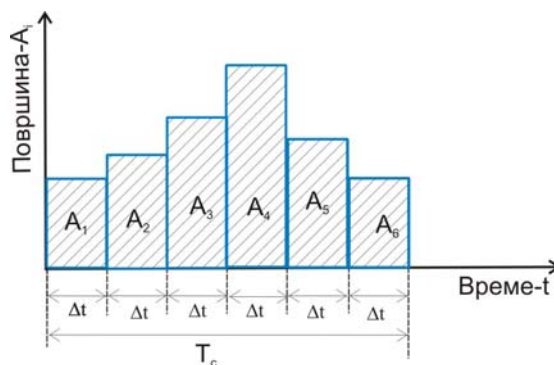
Метода на изохрони

Оваа метода базира врз претпоставката дека времето на патување на водените капки во процесот на истекување во сливот е независно од интензитетот на дождот. Тогаш, секоја точка во сливот ќе има единствено време на патување до излезниот профил на сливот. Така, на карта на сливот можат да се нацртаат линии на еднакво време на патување до излезниот профил. Овие линии се викаат изохрони. На рамна површина изохроните можат да бидат еквилифантни, Слика 8.4, а кај сливови со повеќе притоки, кога водата истекува побргу во коритата на реките отколку по теренот на падините, изохроните можат да бидат неправилни и со одредени аномалии во формата.

Времето на патување на водата помеѓу две соседни изохрони изнесува ($\Delta t = t_j - t_{j-1}$). Времето на патување на водата по должина на главниот водотек од најоддалечената точка на сливот T_c до излезниот профил, точката M , изнесува ($T_c = n \cdot \Delta t$), каде (n) е вкупен број на изохрони. Ова време се вика време на концентрација. Вкупната површина на сливот се определува како збир на елементарните површини ($A = \sum A_i$) каде ($i=1,2,3,\dots,n$). Во почетната фаза на дождот само најнизводните делови на сливот учествуваат во создавањето на протекот во низводниот/излезен профил. Со траење на дождот, во истекувањето сè повеќе се вклучуваат и возводните површини додека не настапи фазата ($t \geq T_c$), кога целиот слив учествува во формирање на излезниот протек. Дијаграмот на врската на површината на сливот и времето $A=f(t)$ го покажува зголемувањето на површината (која е пропорционална на протокот) од која дотекува истекот за време на траење на дождот, Слика 2.5.



Слика 2.5 Поделба на слив со изохрони



Слика 2.6 Хистограмски дијаграм A=f(t)

Постапката за определување на хидрограмот на површинското истекување од даден слив со методата на изохрони е како што следува. Нека е зададен хистограм на ефективен дожд што паднал на целиот слив. На крај на временскиот интервал $(0, t_1) = \Delta t$, протокот во излезниот профил изнесува $(Q_1 = A_1 \cdot i_1)$, а на крај на временскиот интервал $(0, t_2) = 2 \cdot \Delta t$, протокот во излезниот профил изнесува $(Q_2 = A_1 \cdot i_2 + A_2 \cdot i_1)$, или по временски интервал $(0, t_3) = 3 \cdot \Delta t$, протокот се пресметува $(Q_3 = A_1 \cdot i_3 + A_2 \cdot i_2 + A_3 \cdot i_1)$. Равенката на оваа постапка се вика генетичка формула на истекување и во општа форма се пишува:

$$Q_k = \sum_{j=1}^{j=k} A_j \cdot i_{k-j+1} \quad 2.21$$

Максималниот проток во излезниот профил на сливот се определува:

$$Q_{\max} = \sum_{j=1}^{j=n} A_j \cdot i_{n-j+1} \quad 2.22$$

Ако е брзината на течење (V) во главниот водотек од најоддалечената точка во сливот (T_c) тогаш времето на концентрација се определува:

$$T_c = \frac{L_s}{V} \quad 2.23$$

каде (L_s) е должина на главниот водотек од точката T_c до точката M, која се определува како збир на поединечните должини (Δl) на водотекот помеѓу две изохрони. Бројот на елементарните површини изнесува:

$$n = \frac{L_s}{\Delta l} = \frac{T_c}{\Delta t} \quad 2.24$$

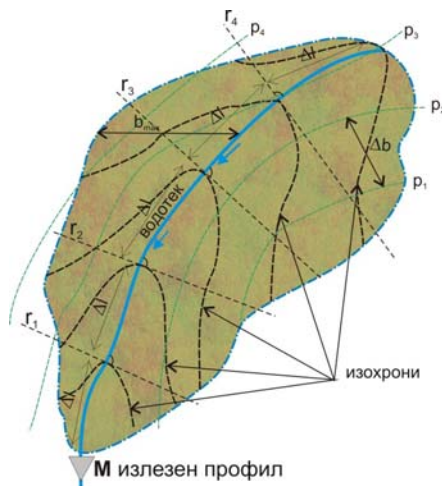
Определувањето на изохроните линии на слив може да се изврши со два вида на помошни линии (p_i) и (r_i), Слика 2.7. Помошните линии (r_i) се повлекуваат на картата на сливот долж главниот водотек и поголемите притоки на растојание:

$$\Delta l = \frac{L_s}{t_{\text{korito}}} \cdot \Delta t \quad 2.25$$

каде (t_{korito}) е време на патување во главното корито, а (Δt) е временски интервал на изохроните (на пример час). Овие линии се нормални на главниот тек. Помошните линии (p_i) се цртаат на картата на сливот паралелно со водотекот на растојание:

$$\Delta B = \frac{B_{\max}}{t_{\text{падина}}} \Delta t \quad 2.26$$

каде (B_{\max}) е најголемо растојание на падината до првиот водотек, а ($t_{\text{падина}}$) е време на патување по падината на сливот. Овие линии се всушност изохрони на падинското истекување. Изохроните на сливот се цртаат низ точките на пресекот на помошните линии (p_i) и (r_i),



Слика 2.7 Определување на изохрони линии на слив

2.1.2 Единечен хидрограм

Во практиката од голем интерес е да се дефинира врската помеѓу хидрограмот на директното истекување и дождовите што го предизвикале. Количеството и интензитетот на врнежите директно влијаат на хидрограмот на истекување, па е логично да се претпостави дека помеѓу нив постои некаква корелативна врска. Методата на единечен хидрограм делумно е емпириска, а делумно теориска што ја објаснува таа корелативна врска. Оваа корелативна врска ја изразува врската помеѓу ефективните (нето) врнежи, а тоа се врнежите кои истекуваат после одземање од вкупните (брuto) врнежи на сите губитоци од испарувањето, интерцепцијата, инфилтрацијата и површинското задржување и директното истекување, а тоа е вкупниот хидрограм намален за базното истекување.

По дефиниција, единечен хидрограм на даден слив е хидрограм на единечно директно истекување (на пример 1 cm), што е последица на ефективен дожд со траење (T_k) што паѓал рамномерно над целиот слив со константен интензитет за целото време на траење. Методата на единечен хидрограм базира врз следните претпоставки:

- Ефективниот дожд е рамномерно временски распореден за време на траењето (T_k),
- Ефективниот дожд е рамномерно просторно распореден на целата површина на сливот,
- Временската база на хидрограмот на директното истекување (T_B) е константна и не зависи од интензитетот на дождот,
- Ординатите на сите хидрограми (Q_t) со иста временска база (T_B) настанати од ефективни дождови со исто траење (T_k), а од различен интензитет на нето врнежите (i_e), меѓусебно се пропорционални, односно споменатите ординати се директно пропорционални на волуменот на директното истекување што е претставено со тој хидрограм,
- За даден слив и локација, хидрограмот на истекување од дожд со зададено траење, ги искажува сите физички карактеристики на сливот важни за процесот на истекување.

Всушност, теоријата на единечниот хидрограм базира врз фактот дека геофизичките карактеристики на сливот, големината, формата, наклонот, хидрографската развиеност, геолошката структура и ориентацијата кон страните на светот на сливот, грубо земено се константни, тогаш логично е да се очекуваат големи сличности и во формата на хидрограмите кои се резултат на дождови со слични плувиографски карактеристики.

Фактори на влијание врз хидрограмот

Траење на дождот. Со оглед дека единечниот хидрограм содржи секојпат 1 cm истекување (слој на вода со дебелина 1 cm по целиот слив), тогаш продолжувањето на траењето на дождот (T) го продолжува времето на базата на хидрограмот (T_B) и го намалува максималниот проток (Q_{max}), односно ординатата на хидрограмот. Теориски, за различно траење на ефективниот дожд потребен е посебен единечен хидрограм. Од практична гледна точка, ефектот на малите разлики во траењето на дождот (ΔT) не е значаен и толеранција од $\pm 25\%$ од усвоеното траење обично е прифатлива. Од друга страна, единечниот хидрограм за краткотрајни дождови, може со посебна техника да се употреби и за конструкција на хидрограмот за долготрајни дождови. Со други зборови, неколку единечни хидрограми за краткотрајни дождови можат да послужат и за други цели.

Интензитет на дождот. Единечниот хидрограм се определува под претпоставка за временски рамномерен распоред на интензитетот на дождот. Меѓутоа, големите промени во интензитетот на дождот, имаат влијание на формата на хидрограмот. Временските интервали на промена на интензитетот на дождот зависат воглавно од големината на сливот. Дождови кои траат само десетина минути можат да предизвикаат изолирани врвови на хидрограмот кај сливови од неколку квадратни километри, додека кај сливови од неколку стотини или илјади квадратни километри, тоа не е случај, и таму јасно видливи ефекти врз хидрограмот можат да предизвикаат само промени на интензитетот кои траат со часови. Во практиката најчесто се тежнее кон определување на единечниот хидрограм од дожд кој траел една четвртина од времето на закаснување во сливот ($1/4 T_c$). Со помош на овој хидрограм користејќи ја методата на суперпозиција можат да се определат единечните хидрограми за дождови со подолго траење. За определување на единечниот хидрограм потребно е да се анализираат регистрирани или набљудувани хидрограми и хиетограми на краткотрајни дождови со силен интензитет, бидејќи е поголема веројатноста ваквите дождови да дадат интензивен и релативно рамномерно распределен дожд по целиот слив, кој предизвикува јасно изразен шилест хидрограм со релативно мала временска база.

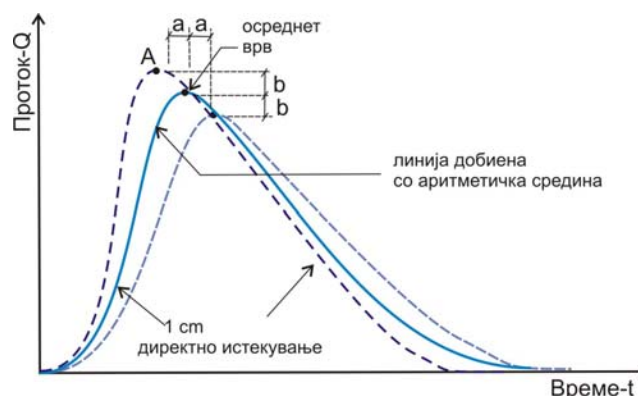
Просторна распределба на истекувањето. Просторната распределба на истекувањето од различните делови на сливот, може да предизвика промени во формата на хидрограмот. Доколку е површината од која се слева голема количина на истекување, во близина на низводниот, односно долниот дел на сливот, тогаш хидрограмот има стрм сегмент на пораст, шилеста форма и стрма рецесиона крива. Ако пак површината е во близина на возводниот, односно горниот дел на сливот, хидрограмот има благ сегмент на пораст, блага рецесиона крива и помал максимален протек. Кога е сливот многу голем за да може да биде рамномерно распределен дождот по целата површина, потребно е да се изврши поделба на подсливови. За секој подслив треба да се примени неговиот (соодветен) рамномерно распределен дожд и да му се определи неговиот хидрограм. Хидрограмот на директното истекување од сливот определен од одреден хиетограм на ефективен дожд без разлика кога тој ефективен дожд се случил, е непроменлив, односно не зависи од времето. Овој принцип е познат како “принцип на временска непроменливост“. Меѓутоа, карактеристиките на сливот донекаде се променливи од сезона до сезона, односно од едно годишно време до друго. Исто така и активностите на човекот имаат влијание врз овие промени. Затоа, многу често се појавува и потреба од определување на сезонски единечни хидрограми. Максималната големина на сливот, за која сè уште може да се примени методата на единечен хидрограм, зависи од точноста на пресметките и од климатските карактеристики во сливот. Се препорачува, методата на единечен хидрограм да не се применува кај сливови поголеми од 5000 km^2 .

Количина на истекување. Основната идеја кај теоријата на единечниот хидрограм е дека ординатите на хидрограмите се пропорционални на волумените на хидрограмите за сите дождови со исто траење. Овој принцип е познат како “принцип на линеарност” и се однесува на претпоставката дека базата (T_B) на сите хидрограми, произведени од дожд со исто траење, е константна. Во реалноста, должината на рецесионата крива е функција и од максималниот проток. Меѓутоа, се покажало дека принципите на линеарност и на временска непроменливост (стационарност) се доволно точни за инженерските пресметки.

Определување на единечниот хидрограм

Единечниот хидрограм најдобро може да се определи со помош на регистриран (мерен) хидрограм од интензивен дожд со релативно кратко траење и приближно рамномерно распореден по време и простор. Регистрираниот хидрограм треба да има вкупно истекување по површината на сливот од 1 cm или повеќе, Постапката на пресметување е како што следува:

- Анализа на омбрографските податоци за мерените врнежи,
- Раздвојување на хидрограмот на базно и директно истекување,
- Определување на волуменот на директното истекување,
- Ординатите на единечниот хидрограм се делат со регистрираното директно истекување во (cm),
- Ординатите на единечниот хидрограм за дожд со одредено траење се корегираат така да го дадат волуменот на единечното истекување, на пример од 1 cm (зафатнина под кривата на единечниот хидрограм поделена со површината на сливот дава 1 cm директно истекување),



Слика 2.8 Осреднување на единечниот хидрограм

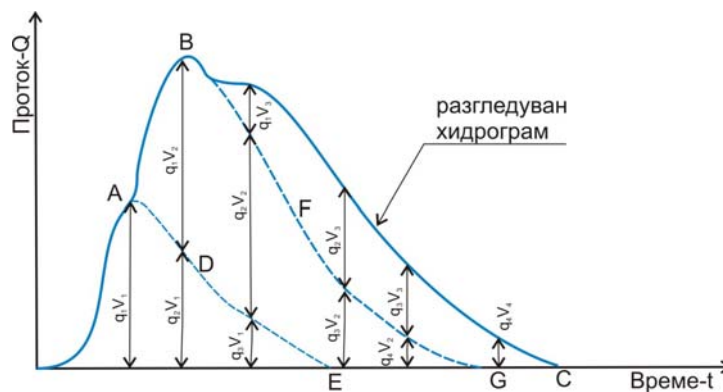
Единечниот хидрограм определен само од еден дожд може да има грешки, затоа се препорачува да се определи осреднет единечен хидрограм или хидрограм добиен од повеќе единечни хидрограми определени за повеќе дождови со приближно исто траење. Ова не значи во целост примена на аритметичка средина на соодветните ординати на хидрограмите, бидејќи нивните врвови нема да се случат во исто време. Постапката е прикажана на Слика 2.8. Треба да се определи аритметичка средина на максималните (вршни) протоци и аритметичка средина на нивните времиња на појавување, па така да се добие точката **A** и низ неа да се провлече осреднетиот единечен хидрограм. Другите ординати на хидрограмот се добиваат со осреднување и со контролата:

$$\frac{\sum_{i=1}^{i=n} q_i \Delta t (m^3)}{A (m^2)} \left(\frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \right) = 1 \text{ cm} \quad 2.27$$

Кај единечниот хидрограм кога се зборува за траење се мисли на траењето на ефективниот (нето) дожд (Т), а не на траењето на вкупниот (брото) дождот, ниту на траењето на истекувањето. Кај единечниот хидрограм тоа траење не може да биде поголемо од времето на концентрација, односно ($T \leq T_c$).

Единечен хидрограм од комплексен дожд

Претходно изложената постапка за определување на единечниот хидрограм е наједноставна, но не секојпат можна, бидејќи често нема регистриран идеален дожд и хидрограм од таков дожд. Во таков случај се јавува потреба од определување на единечен хидрограм со податоци од комплексен дожд, Слика 8.11. Ако поодделните делови на комплексниот хидрограм на дождот предизвикуваат изразени врвови на хидрограмот, тогаш е можно да се разложи сложениот хидрограм на поодделни делови и да се користат тие делови од хидрограмот како хидрограми од изолирани и независни дождови. Ако вака добиените единечни хидрограми се осреднат, грешките од разложувањето, односно сепарацијата на хидрограмот, се минимални.



Слика 2.9 Формирање на единечен хидрограм од комплексен дожд

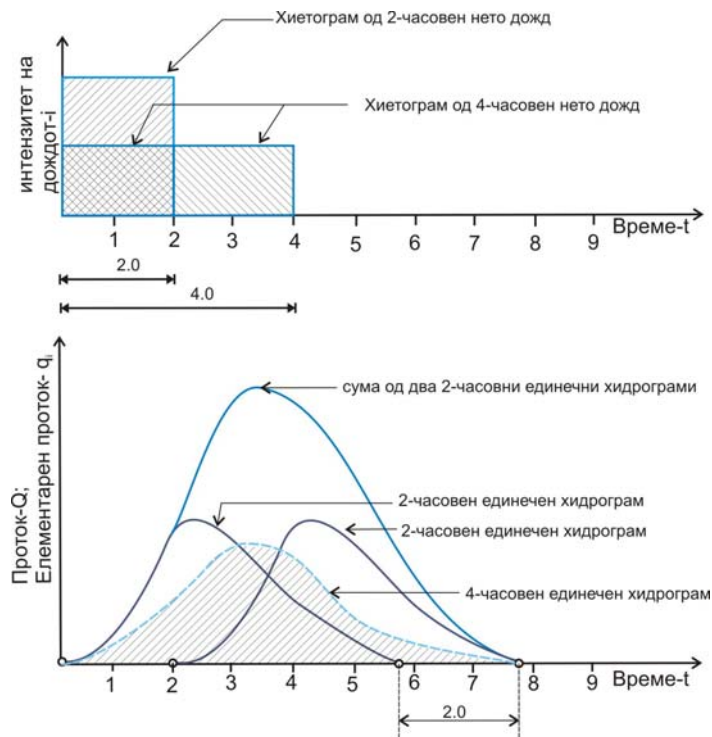
Кога хидрограмот не е изложен на сепарација, анализата почнува со определување на волумените на директното истекување (W_1), (W_2), ..., (W_n) во тек на sukcesивните периоди на траење на дождот. Равенката со која се определува било која ордината на вкупниот (сложен) хидрограм (Q_n) е:

$$Q_n = W_n q_1 + W_{n-1} q_2 + W_{n-2} q_3 + \dots + W_1 q_n \tag{2.28}$$

каде (W) е волумен на директното истекување (во cm^3 над сливот), а (q) е ордината на единечниот хидрограм во ($m^3/s \cdot cm$), Првата ордината на хидрограмот е ($Q_1 = W_1 \cdot q_1$), каде волуменот (W_1) во почетокот е непознат или се претпоставува, а големината (q_1) се определува од односот ($q_1 = Q_1 / W_1$). Втората ордината се определува ($Q_2 = W_1 \cdot q_2 + W_2 \cdot q_1$), каде (W_2) е волумен на директното истекување предизвикано од друг дожд. Единствена непозната во овој израз е (q_2). Сите останати ординати можат да се определат на сличен начин. Со ваквата постапка за определување на единечниот хидрограм без разлика што е исправна, во практиката ретко се добиваат задоволителни резултати. Ова е резултат на грешките кои се јавуваат при определување на деловите на ординатите на хидрограмот, потоа заради грешките при хидрометриските мерења на протокот, потоа заради грешките при набљудување и анализа на хидрограмот на сложениот дожд. Овие грешки можат да доведат до кумулативни грешки, особено на десниот дел од хидрограмот, каде може да се јават и негативни ординати, што секако не е логично и е неприфатливо.

Единечен хидрограм од дожд со подолго траење со помош на единечен хидрограм од дожд со кратко траење

Начинот на определување на единечен од дожд со подолго траење е прикажан на Слика 2.10.



Слика 2.10 Определување на 4-часовен единечен хидрограм со помош на 2-часовен единечен хидрограм

Нека се претпостави дека за даден слив се бара 4-часовен единечен хидрограм, а се располага со 2-часовен единечен хидрограм. Тогаш, може 2-часовниот хидрограм да се додаде (суперпонира) сам на себе, но поместен по временската оска за 2 часа. Потоа, ако ординатите се соберат, ќе се добие хидрограм на истекување со големина 2 cm по сливната површина од дожд со траење од 4 часа. Ординатите на новиот хидрограм ако се поделат со 2 ќе се добие единечен хидрограм од дожд со траење од 4 часа. Очигледно е дека 4-часовниот хидрограм има подолга временска база за 2 часа од 2-часовниот единечен хидрограм, што е разбирливо бидејќи во тој случај дождот паѓа со помал интензитет.

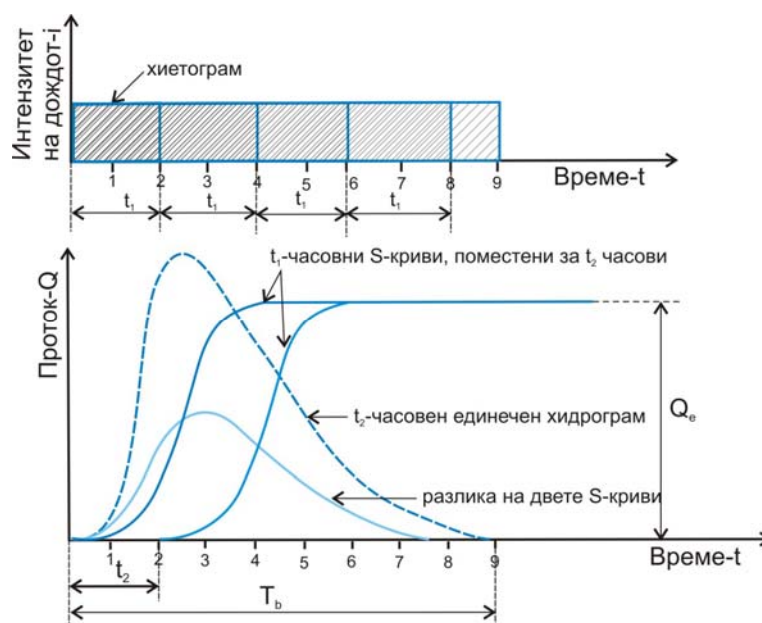
Единечен хидрограм од дожд со кратко траење со помош на единечен хидрограм од дожд со подолго траење

За решавање на овој проблем се користи S-кривата. Оваа крива претставува вкупен хидрограм како резултат на низа (серија) од континуални дождови со рамномерен интензитет, кои истураат во сливот количина од 1 cm во време од (t₁) часови. Тоа е всушност хидрограм на истекување од континуален дожд со интензитет (1/t₁). Конструкцијата на еден таков хидрограм е прикажана на Слика 2.11. Истекувањето од сливот станува константно после времето на концентрација (T_c), кога секој дел од сливот придонесува во излезниот протек и кога настапува стационарно истекување од сливот. Секоја S-крива е единствена за дадено траење на дожд на единечниот хидрограм и за даден слив. Доколку е потребно да се определи единечен хидрограм за дожд со помало траење, на пример (t₂) часови, тогаш се црта S-кривата поместена за (t₂) часови во временската оска. Времето (t₂) може да биде било

кој дел од (t_1). Разликата на ординатите на овие две S-криви претставува истекување од (t_2) часовен дожд со интензитет ($1/t_1$) во (см/час). Ординатите на овие разлики треба да се помножат со (t_1/t_2) за да се добие интензитет на дожд од ($1/t_2$) во (см/час). Со база на единечниот хидрограм од (T_B), стационарното истекување почнува во време ($t=T_B$) така да е доволен (T_B/t_1) на единечни хидрограми за да се појави константно истекување и да се добие S-кривата. Количина од 1 см нето дожд во сливот се додава и истекува секои (t_1) часови, Константниот проток изнесува:

$$Q_c = \frac{2,78 \cdot A}{t_1} \quad 8.11$$

каде (A) е површина на сливот во (km^2), (t_1) е траење на дождот во часови, а (Q_c) константен проток во (m^3/s). При определување на S-кривата се случува истата да флукутира околу константниот (рамнотежен) проток. Ова значи дека почетниот единечен хидрограм не е добро определен, односно истиот не го претставува точно истекувањето при рамномерен ефективен дожд.



Слика 2.11 Единечен хидрограм со користење на S-крива

2.2 Концептуален модел на слив

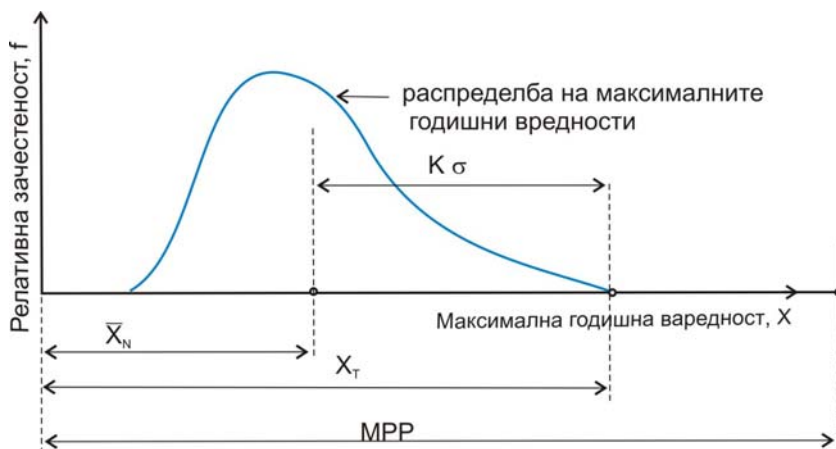
2.2.1 Метод на Hershfield

Во поново време со хидролошките анализи кај значајни хидротехнички објекти се определува и максимално можниот бран на голема вода (**Maximum Probable Flood-MPF**). Американскиот метеоролог Хершфилд (Hershfield), применил статистичко емпириска метода за определување на **MPF** со користење на максимални врнежи со 24 часовно траење (**Maximum Probable Precipitation - MPP₂₄**). Потребните податоци за оваа метода се низа од максимални годишни дневни врнежи кај некоја дождомерна станица, а равенката е:

$$P_{\max} = X_{\max} = \bar{X} + 15\sigma \quad 9.2$$

каде (X_{\max}) е екстремна висина на врнежите што треба да се оцени, (\bar{X}) е средна вредност на низата од максималните годишни вредности на врнежите, (σ) е стандардна девијација на таа низа, а $15=K_m=\max K(T)$ е фактор кој е определен емпириски.

За оцена на максималните врнежи со 24 часовно траење, трба да се определи максималната вредност на факторот $K(T)$. Математички гледано, овој фактор расте до бесконечност со зголемување на повратниот период (T) .



Слика 2.12 Параметрите на методата на Хершфилд

Меѓутоа, од практична гледна точка сепак овој фактор има некоја максимална вредност (K_m). Равенката на Хершфилд всушност е адаптација на општата равенка за веројатност на В. Т Чоу (V. T. Chow):

$$X_T = \bar{X} + \sigma K_T \tag{9.3}$$

каде (\bar{X}) е средна вредност на годишните максимуми на врнежите, (X_T) е максимална годишна вредност за повратен период од (T) години, (σ) е стандардна девијација на низата на максималните годишни врнежи и (K_T) е фактор на зачестеност кој зависи од повратниот период (T) и од усвоената веројатносна распределба. Хершфилд се обидел да го избегне прецизирањето на повратниот период и одредувањето на некоја фиксна функција на распределба, а се задоволил само со анализа на голем број на податоци. Во процесот на симулација на екстремните врнежи, тој ја задржал најголемата (измерена) вредност на годишните максимуми на дневните врнежи и го пресметал факторот (K_m) кој ја дава таа вредност од останатите вредности:

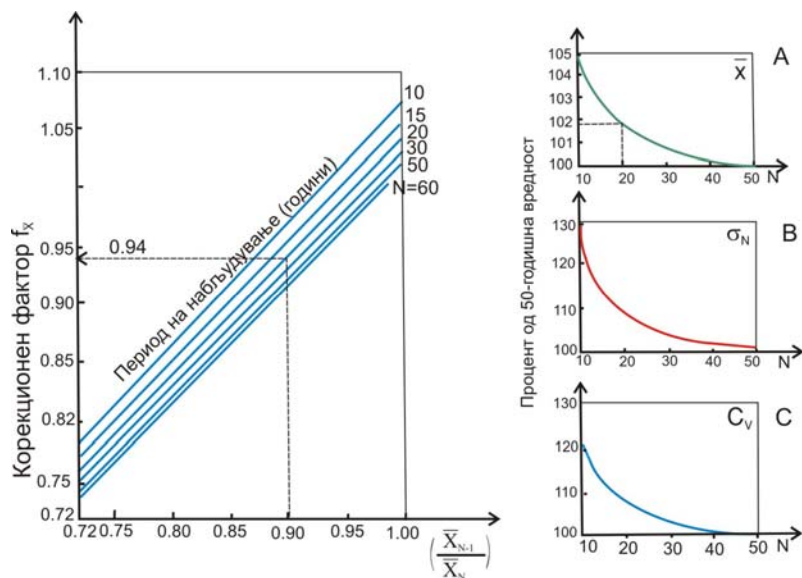
$$X_m = \bar{X}_1 + \sigma_1 K_m \tag{9.4}$$

каде (X_m) е најголема (измерена) максимална годишна висина на врнежи, (X_1) е средна вредност на годишните максимуми без најголемата вредност, (σ_1) е стандардна девијација на годишните максимуми без најголемата вредност. Оваа постапка Hershfield ја применил на повеќе од 2600 станици и така пресметаниот фактор (K_m) се движел во границите од 3 до 14,5. Најголемата вредност од 14,5 Хершфилд ја заокружил на 15 и ја предложил за оцена на веројатно максималните врнежи со 24 часовно траење (MPP_{24}). Факторот на зачестеност може да се претстави како стандардизирана променлива:

$$\frac{X_T - \bar{X}}{\sigma} = K \tag{9.5}$$

Оваа променлива има своја сопствена распределба. Таа може да покаже: (а) колку е ретка некоја набљудувана (мерена) максимална висина на врнежите на некоја станица во однос на некоја максимална висина на други станици и (б) колку е ретка некоја набљудувана максимална висина на врнежи на некоја станица, ако се претпостави дека набљудуваните податоци припаѓаат на некоја избрана теоретска распределба. Друга карактеристика на случајната променлива (K) е дека таа е еднозначно поврзана со веројатноста на појава на некој дожд на избрана станица. На пример, за 100 годишен дожд со одредено траење одговара $K=3,5$ кога ќе се примени Гумбеловата крива на распределба и $K=3,1$ кога ќе се

примени 2-параметрската логнормална распределба. Треба да се наспомене дека е многу тешко да се оправда изборот на една теоретска распределба над друга кога е во прашање многу голем повратен период (10^4 до 10^6 години). Затоа, наместо врзување за некоја теоретска распределба, доволно е да се определи аритметичката средина на низата (примерокот) и нејзината стандардна девијација, како и карактеристиките на (K). Распределбата на најголемите годишни вредности е позитивно асиметрична. Ова значи дека е поголема веројатноста да се добие поголем екстрем ако е низата подолга. Една анализа на 198 дождемерни станици со период на набљудување од 50 или повеќе години, покажала подоверливи аритметички средини од оние добиени за период од 10, 20, 30 или 40 години, Слика 2.13.



Слика 2.13 Фактор на корекција на аритметичката средина

За да се изврши корекција на аритметичката средина, потребно е истата да се определи со вклучување на сите податоци (\bar{X}_N), а потоа и аритметичката средина на истата низа, но без најголемиот член (\bar{X}_{N-1}). Испуштениот најголем член се вика уште и аутлаер. Потоа, се определува односот на двете аритметички средини:

$$\frac{\bar{X}_{N-1}}{\bar{X}_N} \leq 1,0 \quad 9.6$$

Со овој податок и со бројот на членовите во низата (N) се користи дијаграмот на Слика 2.13 и се отчитува корективниот фактор на аритметичката средина ($f_{\bar{X}}$).

Освен аритметичката средина, заради испуштањето на најголемиот член (аутлаер) треба да се коригира и стандардната девијација. Повторно се користи статистички принцип, односно се бара односот на двете стандардни девијации:

$$\frac{\sigma_{N-1}}{\sigma_N} \leq 1,0 \quad 9.7$$

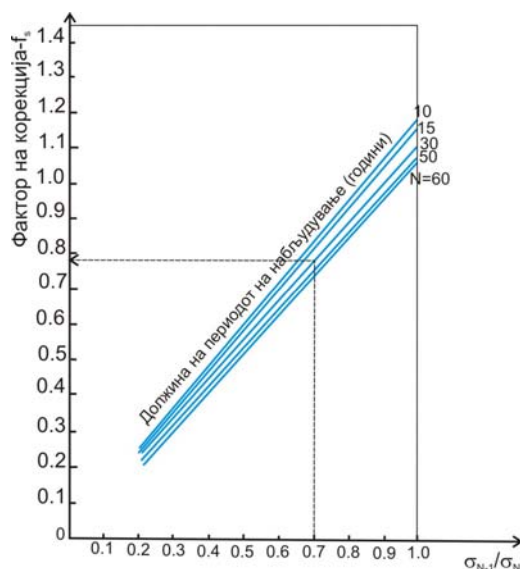
Потоа, од дијаграмот на Слика 2.14, за овој однос се отчитува поправената вредност (f_s). Ако овој однос $e \geq 1,0$ значи дека во низата нема аутлаер.

Кога низата има мал број на членови ($N < 50$), треба да се изврши корекција и на коефициентот на варијација, според дијаграмот на Слика 2.13-C, а со односот:

$$C_V = \frac{\sigma_N}{\bar{X}_N} \quad 9.8$$

Овој однос ја покажува променливоста на распределбата, односно растурањето на податоците, како процент од аритметичката средина. Колку е поголемо (C_V) толку е поголемо растурањето на податоците околу нивната средина. Во просек (C_V) се зголемува со зголемување на должината на низата.

Хершфилд вовел и емпириска корекција заради неточност на податоците. Имено, најголем број на податоци за врнежите се прибираат со обични дождомери како дневни суми на врнежите, а не на плувиографи со вистинско траење на врнежите. Така, со дождомерите на секој случен дожд му се дава еден произволен почеток и крај, наместо вистинскиот почеток и крај. Статистичката анализа на овие два вида на прибирање на податоци, покажала дека вистинските 1440 минутни врнежи (24 часовни дождови) прочитани со плувиограф се поголеми за 13% од оние добиени со еднодневно читање со обичен дождомер. Значи, при плувиограф се поголеми за 13% од оние добиени со еднодневно читање со обичен дождомер. Значи, при користење на податоци од обични дождомери треба да се изврши емпириска корекција со фактор 1.13.



Слика 9.6 Фактор на корекција на стандардната девијација

Постапката за определување на MPP_{24} со оваа метода се спроведува во следните фази:

- Прво се определуваат статистичките параметри на низата (средна аритметичка вредност и стандардна девијација) по вообичаена постапка.
- Потоа, аритметичката средина и стандардната девијација се коригираат заради евентуалниот аутлаер.
- Вака добиените вредности на аритметичката средина и стандардната девијација се поправаат (зголемуваат) ако е ($N < 50$). Оваа корекција не се прави ако е ($N = 50$) или ($N > 50$).
- Потоа, на така добиената аритметичка средина и се додава производот 15 пати од стандардната девијација.
- Потоа, се пресметува MPP_{24} така што резултатот од претходната фаза се зголемува за 13%, односно се множи со фактор 1,13.

На крај, треба да се споредат вредностите за коефициентот на варијација (C_V) за сите соседни станици. Доколку има големи разлики треба да се побараат причините.