



УНИВЕРЗИТЕТ “СВ. КИРИЛ И МЕТОДИЈ“
ГРАДЕЖЕН ФАКУЛТЕТ-СКОПЈЕ
КАТЕДРА ЗА ХИДРАУЛИКА, ХИДРОЛОГИЈА И УРЕДУВАЊЕ НА ВОДОТЕЦИТЕ



ОСНОВИ НА ХИДРОТЕХНИКА

ДЕЛ 1 ХИДРОЛОГИЈА

Библиографија

Цветанка Поповска, Виолета Ѓешовска
Хидрологија - Теорија со решени задачи
УКИМ, Градежен факултет, Скопје, 2012
ISBN 978-608-4510-11-6

Скопје 2013

СОДРЖИНА

1. ВОВЕД

- 1.1 Општо за хидрологијата
- 1.2 Расположливи количини на вода

2. ХИДРОЛОШКИ ЦИКЛУС

- 2.1 Кружење на водата
- 2.2 Воден биланс

3. МЕТЕОРОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ

- 3.1 Сончева радијација
- 3.2 Температура на воздухот
- 3.3 Температура на почвата
- 3.4 Температура на водата
- 3.5 Атмосферски притисок
- 3.6 Ветер
- 3.7 Врнежи
 - 3.7.1 Распоред на врнежите

4. МАТЕМАТИЧКИ МЕТОДИ ВО ХИДРОЛОГИЈАТА

- 4.1 Статистички параметри на хидролошки низи

5. ХИДРОМЕТРИЈА

- 5.1 Мерење на водостоежи
- 5.2 Мерење на брзини
- 5.3 Мерење на протокот
- 5.4 Мерење на наносот

6. ИСТЕКУВАЊЕ

- 6.1 Општо за истекувањето
- 6.2 Карактеристики на истекувањето
- 6.3 Фактори кои влијаат на истекувањето
- 6.4 Хидрограм

1 ВОВЕД

1.1 Општо за хидрологијата

Хидрологијата е наука за режимот на водите на површината на земјата, во атмосферата и под земјата. Таа ги проучува, без разлика на агрегатната состојба, процесите на преод на водата од атмосферата на површината, од површината под земјата и обратните процеси. Со други зборови хидрологијата е физика на хидросферата и ги истражува врските помеѓу појавите во споменатите процеси. Геофизиката е општа наука што ја изучува Земјината кора, а метеорологијата, геологијата и хидрологијата се нејзини главни дисциплини. Метеорологијата е физика на атмосферата, хидрологијата на хидросферата, а геологијата на литосферата.

Хидрологијата го проучува режимот на водата не само од квантитативен, туку и од квалитативен аспект. Така, се создаваат подлоги за решавање на сите водостопански проблеми како основен предуслов за опстанок на човекот и општествената заедница. Значи, улогата на хидрологијата не е мала имајќи во предвид дека водата отсекогаш била основа за создавање на цивилизациите. Без водата нема живот и таа е темел на секоја култура. Хидрологијата како издвоена научна дисциплина, може да се смета за нова наука. Нејзиниот почеток како наука се поврзува со ренесансниот период. На основа на набљудувања, сестраниот гениј Леонардо да Винчи (1452÷1519) го напишал делото “За движењето и мерењето на водата”. Покасно, Бернар Палиси во 1580 година го објавил делото “Разговор за природата на водата и изворите”, каде ги поставил основите за кружењето на водата, понирањето на врнежите и нивното враќање преку изворите. Првите хидролошки мерења се извршени во 7 век од Перол и Мариот, кои за регионот на Сена ги мереле врнежите, испарувањето и капиларноста. Покасно, со развитокот на хидрауликата, се развивале нови експериментални методи, кои имале големо влијание врз хидрологијата.

Хидрологијата ги изучува појавите на однесувањето на водата во природата со историски податоци, односно со набљудување и мерење во минатото и од нив извлекува заклучоци. Новите појави не се потполно слични на оние од минатото. Задача на хидрологијата е да изнајде закономерност во историските случувања и да направи нивно воопштување, така да со голема веројатност може истите да се очекуваат и во иднина. Имено, во природата се случуваат одредени периодични појави, а повторувањето на истите се викаат циклуси. Хидрологијата како научна дисциплина може да се подели на: (а) хидрометеорологија - ги изучува водите во атмосферата, (б) потамологија - ги изучува површинските води, (в) лимнологија - ги изучува водите во езерата; (г) криологија или глациологија - ја изучува водата во форма на снег и мраз и (д) геохидрологија - ги изучува подземните води, односно појавите на водата во литосферата.

Ваквата поделба треба да се сфати условно. Многу често, за потамологијата се користи зборот хидрографија, од каде посебно се издвојува хидрометријата. Затоа, во хидрологијата и нејзината поделба невозможно е да се бараат јасно дефинирани граници, бидејќи хидролошките феномени не можат да се разграничат. Проблемите се комплексни и нивните карактеристики се променливи во просторот и времето. Решенијата на проблемите во хидрологијата мора да се бараат на научно, интердисциплинарно ниво. Доследно на ова, извонреден придонес во хидрологијата имаат следните научни дисциплини: математиката, статистиката, геологијата, географијата, физиката, хемијата, хидрауликата, шумарството, педологијата, екологијата и компјутерската техника како моќно помошно средство. Некои сакаат хидрологијата да ја делат на општа хидрологија и инженерска хидрологија. Општата хидрологија ги изучува основните карактеристики на површинските води, а инженерската хидрологија ги изучува: водниот биланс на реките, водните ресурси и нивната променливост, режимот на реките, формирањето на речните корита и

ерозивните процеси. Инженерската хидрологија треба да го осигури решавањето на следните практични задачи: правилно водостопанско планирање, сигурност на објектите од големите води, економично димензионирање на објектите, востановување на режимот на површинските и подземните води и нивното влијание врз водостопанските објекти.

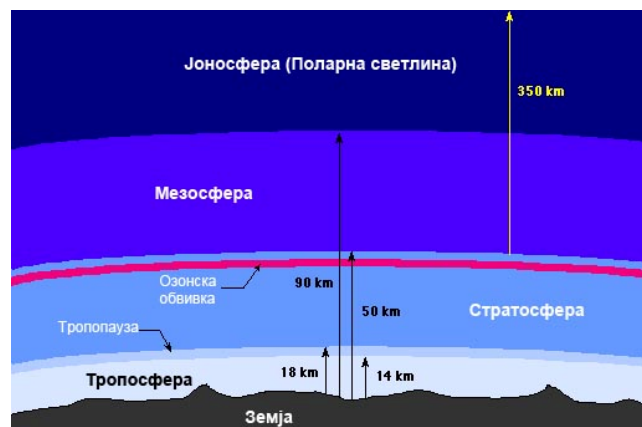
Во минатото, денес, а веројатно и уште долго во идниот период, најголем проблем на хидрологијата ќе биде утврдувањето на односот на паднатите и истечените врнежи. Овој отворен проблем од ден на ден ќе побарува поголема точност во решавањето, бидејќи водата станува се поскапа сировина чија вредност тешко може реално да се оцени. Потрошувачката на вода е голема. Се смета дека човекот троши $100\div 300$ l/s дневно. Во индустријата на секој тон челик се трошат 20 m^3 вода, на секој тон бензин околу 80 m^3 вода, а на секој тон свила околу 800 m^3 вода. Со зголемување на стандардот се зголемуваат и потребите на вода, а при тоа не смее да се заборава и на големиот прираст на населението. Во оваа смисла очигледно е дека развитокот на хидрологијата е напосто економска нужност на човештвото. Генерално земено можат да се постават следните еднакво важни хидролошки дејности: (а) прибирање и обработка на хидролошки параметри со мерење и набљудување и (б) систематско анализирање на тие податоци со максимално користење на теориските достигнувања и нивно користење во практични цели.

1.2 Расположливи количини на вода

Процентите за вкупните количини на вода на планетата земја варираат од автор до автор. Вкупните количини на свежа вода изнесуваат околу $88,32\cdot 10^3\text{ km}^3$ или помалку од 6%, а само 0,5% е пристапно за користење од реките и езерата. Распределбата на количината на вода и по континенти е различна. Европа и Азија заедно имаат околу 76% од светското население, а само 27% од вкупната свежа вода. Ресурсите на свежа вода се недоволни, а тоа го покажува и фактот дека за производство на $1\div 3,5$ kg земјоделски производи или за 14 kg хартија, потребно е околу 1 m^3 вода.

Сферите на планетата Земја над копното се: тропосфера на висина до 14 km од копното, стратосфера на висина до 50 km на чија горна граница се наоѓа озонската заштита, мезосферата на висина до 90 km и јоносферата или поларната светлина на висина до 350 km, Слика 1.1.

Количините на вода во различните сфери на планетата Земја се различно оценети. Во Енциклопедијата за клима и време (Encyclopedia of Climate and Weather, 1996) изнесени се понови податоци за распределбата на водните количини, Табела 1.1. Очигледно е дека застапеноста на свежата вода на копното, реките и езерата, е најмала. Најголемата количина на вода на копното се наоѓа во ледниците и глечерите.



Слика 1.1 Сферите на атмосферата

Табела 1.1 Водни количини на планетата Земја

	Количина (10 ³ ·km ³)	Застапеност (%)
Атмосфера:		
Водена пареа	12,90	0,001
Хидросфера:		
Океани	1.338.000,00	96,500
Копно:		
реки	1,70	0,0002
езера	125,00	0,013
влажност во почвата	16,50	0,001
вода во биомасата	1,12	0,0001
ледници и глечери	24.064,00	1,74
Литосфера:		
Подземна вода	23.400,00	1,70
Вкупно:	1.385.621,22	100,00

1.3 Водни капацитети во Република Македонија

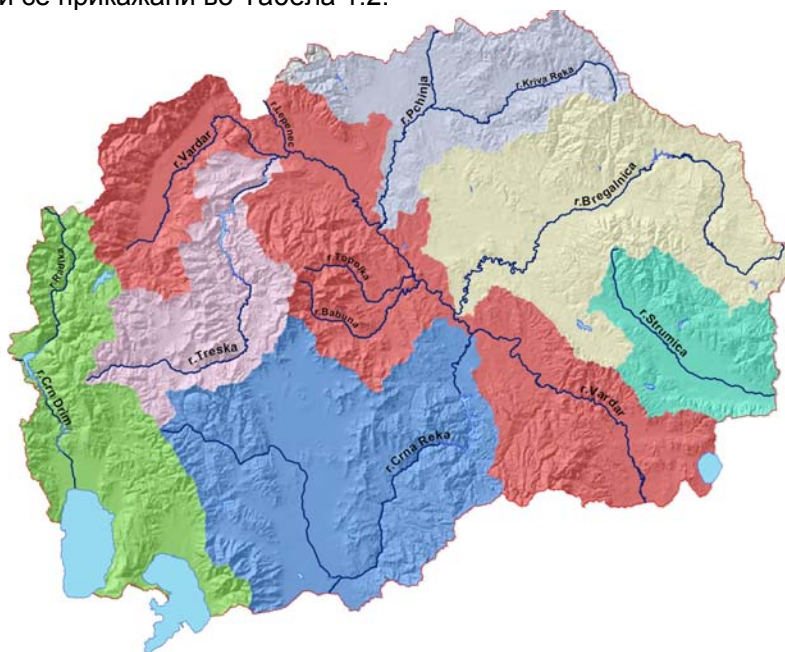
Република Македонија има географска површина од 25.713 km². Таа зафаќа простор со разновидни физичко-географски карактеристики. Релјефот е разновиден и динамично различен и исполнет со планини, долини, котлини, клисури и други орографски форми. Климатските услови се разновидни. На еден дел климата е континентална, а на другиот дел е медитеранска, но има региони со вариетети помеѓу овие две.

Хидрографската мрежа е релативно развиена, а теренот е претежно ридско-планински со просечна надморска височина од 829 m. Под влијание на тектонски процеси и флувијална ерозија формирана е речната долина на Вардар со долините на Треска, Лепенец, Тополка, Бабуна, Пчиња, Брегалница и Црна, потоа долините на Црн Дрим и Струмица. Композитот на долините ја карактеризираат повеќе клисури. На реката Вардар се клисурите: Дервенска (21,5 km), Таорска (31,0 km) и Демир Каписка (16,6 km). На реката Треска се клисурите: Преглево- Девич (17,5 km), Девич-Здуње (36,7 km) и Здуње-Шишево (29,5 km). На Црна Река се клисурите: Скочивир-Чебрин (19,7 km) и Вовско-Брушани (34,7 km). На реката Брегалница се клисурите: Будинарци-Трабовиште (19,1 km) и Тодоровци-Истибања (10,5 km). Вкупната површина под карст изнесува 2400 km или 9%. Западниот дел на Република Македонија е покриен со варовничко-доломитски карпи, кои овозможуваат сложени карстни облици, кои пак условуваат комплексни хидролошки и геолошки услови на истекување (на пример подземните врски помеѓу Преспанското и Охридското Езеро, изворите Рашче, Студенчица, Росоки и други). Глацијални форми се застапени на планините Бистра, Галичица, Пелистер, Кожуф, Шар Планина, Стогово и Јакупица. Висинската застапеност на површините во нашата земја е следна: 25% до 500 m, 45% од 500÷1000 m, 22% од 1000÷1500 m, 5% од 1500÷2000 m и 3% над 2000 m.

Температурите во Република Македонија се намалуваат од југ кон север но и од пониски кон повисоки надморски висини. Највисоката средногодишна температура е 14,5°C во Гевгелија, а најниската е 7,3°C во Маврово. Врнежите преку влажните воздушни маси доаѓаат од северозапад и запад кон исток. Средногодишните врнежи во западниот дел изнесуваат и над 1300 mm, во источниот дел 800 mm, а во централниот дел и помалку од 500 mm.

Хидрографската територија на Република Македонија припаѓа на сливовите: Вардарски, Струмички, Црнодримски и Јужноморавски. Вардарскиот и Струмичкиот слив гравитираат кон Егејско Море (22.351 km² или 86,9%). Црнодримскиот слив гравитира кон Јадранско Море (3.318 km² или 12,9%), а сливот на Јужна Морава припаѓа на Црно Море (44 km² или 0,2%). Најдолга река е Вардар (301,6 km), со сливна површина од 22.456 km², со просечни врнежи од 660 mm и со вкупно годишно

истекување од $4,56 \cdot 10^9 \text{ m}^3$. Границите на главните сливови во Македонија се прикажани на Слика 1.2, а основните хидрографски карактеристики на најголемите речни сливови се прикажани во Табела 1.2.



Слика 1.2 Главните сливови во Република Македонија

Табела 1.2 Хидрографски карактеристики на речните сливови во РМ

Река	A (km ²)	H _{sr} (m)	L _r (km)	S (‰)	Q (m ³ /s)	V (10 ⁶ ·m ³)
Вардар	22.456,0	793,0	301,6	2,12	144,9	4.564,35
Треска	2.068,0	1.010,0	138,3	10,54	24,2	762,30
Пчиња	2.840,7	758,0	136,4	10,62	12,6	396,90
Брегалница	4.306,8	722,0	225,0	6,90	14,1	444,15
Црна	5.890,0	863,0	228,0	4,56	37,4	1.178,10
Струмица	1.520,0	638,0	75,1	18,03	4,2	132,30
Црн Дрим	4.348,2	1.166,0	56,2	4,18	47,7	1.502,55

За хидрографијата на Република Македонија големо значење имаат и трите природни езера: Охридското, со вкупна површина 348,8 km² (дел на РМ 229,9 km²) и со најголема длабочина од 285 m, потоа Преспанското, со вкупна површина од 274,0 km² (дел на РМ 176,8 km²) и со најголема длабочина од 52,4 m и Дојранското, со вкупна површина од 43,0 km² (дел на РМ 27,4 km²) и со најголема длабочина од 10 m. Езерата не само што се реткост по својата природна убавина, туку се и вистинска ризница на биодиверзитетот.

За искористување на хидролошкиот потенцијал на реките изградени се 23 големи и повеќе од 100 мали акумулации (вештачки езера) со вкупна зафатнина од 1.854 милиони m³ вода. Најголеми од нив се Тиквешкото Езеро формирано со браната “Тиквеш” на Црна Река и она формирано од браната “Козјак” на реката Треска. Првото вештачко езеро во Македонија е формирано во кањонот на реката Треска со изградба на браната “Матка” во 1938 година. За целосно искористување на хидроенергетскиот потенцијал на реката Треска возводно изградени се уште браната “Козјак” и браната “Св. Петка”.

Во нашата земја се регистрирани 4.414 извори со вкупна издашност од 991,9 милиони m³/год. Од овие извори три се во централниот дел на Повардарието, а сите

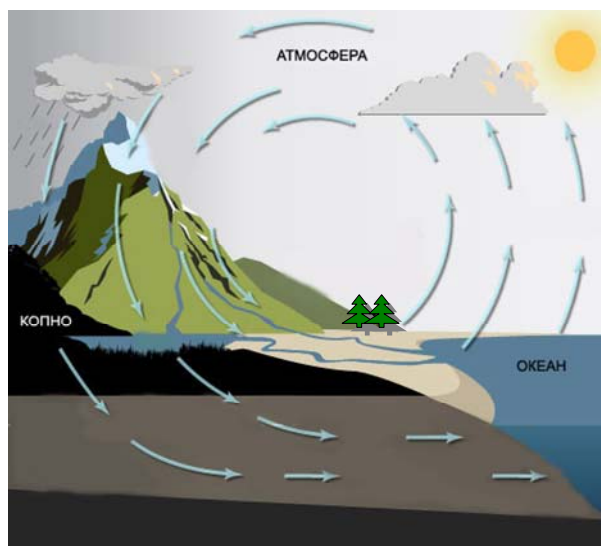
останати се во западниот регион. Позначајни извори се: Извор (издашност над $3,0 \text{ m}^3/\text{s}$), Студенчица (издашност $0,4\div 4,3 \text{ m}^3/\text{s}$), Питран, Пешница и Белица (издашност над $6 \text{ m}^3/\text{s}$) во сливот на Треска, потоа Свети Наум (издашност над $10 \text{ m}^3/\text{s}$), Билјана, Дувло, Вевчани (издашност над $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$) и Росоки (издашност над $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$) во сливот на Црн Дрим со Охридското Езеро. Во сливот на Црна Река има четири извори од кои најголем е Извор со издашност над $1 \text{ m}^3/\text{s}$. Во сливот на реката Вардар без Треска има 19 извори од кои најголем е Рашче со издашност и над $6,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Источна Македонија, или левата страна на Вардар е сиромашна со вода и таму се регистрирани само седум извори со многу мала издашност.

Подземни води исто така се регистрирани, но за нивната издашност и количина сè уште не постојат соодветни и доволни сознанија. Следењето и проучувањето на подземните води не се врши систематски и континуирано, освен за локални потреби во одредени региони. Статичките резерви на подземните води изнесуваат: за Полог 193 милиони m^3 , за Скопската котлина 925 милиони m^3 , за Кумановската котлина 675 милиони m^3 , за Овчеполието 256 милиони m^3 , за Струмичката котлина 850 милиони m^3 и за Гевгелиско-Валандовското Поле 342 милиони m^3 .

2 ХИДРОЛОШКИ ЦИКЛУС

2.1 Кружење на водата

Водата од океанот и копното испарува во атмосферата, а потоа во вид на врнежи се враќа од атмосферата на копното. Паднатите врнежи на копното преку површинско и подземно истекување се враќаат во океанот. Таквиот процес се вика кружење на водата. Вкупната количина на водата на земјата во овој процес на кружење практично не се менува. Квантитативниот приказ на овој процес се покажува со методот на билансирање. Ако се означат врнежите со (P), испарувањето со (E) и површинскиот истек со (S), тогаш водниот биланс за океанот, копното и атмосферата се пишува: за океанот ($P_o + S_o = E_o$), за копното ($P_k = E_k + S_o$) и за атмосферата ($E_o + E_k = P_o + P_k$). Ознаките (к) и (о) се однесуваат на копното и на океанот, соодветно. Кружниот процес на водата се извршува преку два мали круга (копно-атмосфера-копно) и (океан-атмосфера-океан) и еден голем круг (океан-атмосфера-копно-океан).



Слика 2.1 Кружење на водата

2.2 Воден биланс

Паднатите врнежи на копното се трансформираат во површински и подземни текови, а подземната вода може да се претвори во површинска, во испарување и во подземен дотек во океанот. Водно билансната равенка за дел од копното, односно за еден речен слив, може да се напише:

$$V - I = \pm \Delta W \quad 2.1$$

Во оваа равенка (V) се влезни води, (I) се излезни води, а (ΔW) е промена на зафатнината на водните маси. Влезните и излезните води се определуваат:

$$V = (P + K) + (D_1 + D_2 + D_3) + R \quad 2.2$$

$$I = (E_1 + E_2) + (S_1 + S_2 + S_3) + (N_1 + N_2) \quad 2.3$$

а равенката на водниот биланс се пишува:

$$[(P + K) + (D_1 + D_2 + D_3) + R] - [(E_1 + E_2) + (S_1 + S_2 + S_3) + (N_1 + N_2)] = \pm \Delta W \quad 2.4$$

каде (P) се врнежи, (K) е кондензирана вода, (D_1) е површински дотек, (D_2) е подземен дотек низ порозна средина, (D_3) е подземен дотек низ карстни средини, (E_1) е испарување од водена површина, (E_2) е испарување од копно, (S_1) е површински истек, (S_2) е подземен истек низ порозна средина, (S_3) е подземен истек низ карст, (N_1) е вештачки одведена вода, (N_2) е неповратно потрошена вода, а (R) е вештачки доведена вода. Оваа равенка се користи за глобални оценки на водниот потенцијал и има едноставна форма, но многу е тежок процесот на определување на сите компоненти. Сите членови во оваа равенка најчесто се изразуваат во волумен (m^3) или проток (m^3/s), но можат да се изразат и во висина на врнежи (mm) или интензитет (mm/s). Компонентите на хидролошкиот циклус се прикажани на Слика 2.2.



Слика 2.2 Компоненти на хидролошкиот циклус

При долготрајни дождови, ако интензитетот на дождот е поголем од капацитетот на инфилтрацијата на почвата, започнува површинското истекување. Еден дел од инфилтрираната вода продолжува да тече низ растреситиот слој од почвата и доаѓа во речните корита со извесно задоцнување. Оваа компонента од истекувањето се вика подповршинско истекување. Дел од инфилтрираната вода се спојува со нивото на подземната вода и станува подземен дотек во реките. Дел од инфилтрираната вода останува над нивото на подземната вода во незаситениот со влага почвен слој и тоа е почвена влага. Оваа вода делумно ја користат растенијата во процесот на транспирација, а друг дел испарува. Билансната равенка на хидролошкиот циклус

секогаш се однесува за одреден простор или сливна површина. Бидејќи големината на сливот се зголемува со оддалечување на излезниот профил на реката, тогаш влезната компонента се врнежите (P), а излезните се испарувањето (E) и протокот во реката (Q). Равенката на водниот биланс за слив со површина (A) се пишува:

$$(P-E) \cdot A \cdot \Delta t - Q = \pm \Delta W \quad 2.5$$

аде (P) се врнежи, (E) е испарување со вклучена транспирација или евапотранспирација (E+T), (Q) е проток во реката мерен на излезниот профил, (A) е површина на сливот до излезниот профил, а (ΔW) е промена на зафатнината на водната маса во сливот за одреден период (Δt).

3 МЕТЕОРОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ

3.1 Основни метеоролошки карактеристики

Метеорологијата е наука која ги изучува феномените во атмосферата, особено оние поврзани со времето и временските услови. Доаѓа од грчкиот збор “meteo” (атмосфера) и “logos” (наука). Основоположник на оваа наука е Аристотел (Aristotle, 384-322 BC) кој прв ги формулирал четирите взаемно поврзани елементи на планетата Земја (вода, оган, воздух и почва) и ги истражувал атмосферските феномени и земјотресите.

Главни метеоролошки параметри се: сончево зрачење, температура на воздухот, влажност на воздухот, атмосферски притисок, ветер, врнежи и испарување. Овие параметри се исклучително важни за опстанок на екосистемите и заедниците, особено за загадувањето на воздухот, користењето на почвата и водата и за урбано и регионално планирање на просторот. Заради ова, мерењето на метеоролошките параметри треба да се извршува организирано со воспоставување на мрежа од метеоролошки станици. Метеоролошките станици на национално ниво се организираат и мерењата се спроведуваат во согласност со препораките и критериумите на Светската метеоролошка организација (World Meteorological Organization-**WMO**).

Метеоролошките станици се класифицираат како главни, климатолошки и дождомерни. Главните метеоролошки станици обично се лоцирани во поголеми населени места и се опремени со автоматски уреди за систематско и континуирано мерење на сите параметри. Климатолошките станици се поставуваат на копно или на отворено море или езеро и се опремени со уреди за автоматско и мануелно мерење на параметрите за анализа и прогноза на временските услови. Дождомерните станици се или обични (вообичаено се поставуваат на помалку достапни места) или автоматски (плувиографи). Бидејќи главните метеоролошки станици се оградени простори со објекти и уреди снабдени со електрична енергија, телефонска и компјутерска врска со централна институција за собирање, процесирање и чување на податоците и со персонал, нив ги има во многу помал број. Затоа, обичните дождомерни станици се поставуваат така да со нив се покриваат многу помали географски простори со цел да се добијат мерени податоци за дистрибуцијата на врнежите во различните топографски и климатски подрачја со различен степен на искористеност на земјиштето.

3.1 Сончева радијација

Преку сончевото зрачење атмосферата и земјата добиваат топлотна енергија која ги покренува сите физички процеси па и метеоролошките, кои пак влијаат врз хидролошките процеси. Најголемо е влијанието врз испарувањето од водните површини (океани, мориња, езера, реки) и од копното. Мерењето на сончевото зрачење е со антимоетри, кои го мерат релативниот интензитет на зрачењето, а со

хелиографи се мери траењето на сончевиот сјај во (W/m^2) или (Lux), Слика 3.1. Се разликува потенцијално или астрономско и вистинско сончево траење. Потенцијалното траење на сончевиот сјај зависи само од географската широчина. Вистинското траење на сончевиот сјај е многу пократко од потенцијалното и зависи првенствено од облачноста. Во Република Македонија јужните подрачја (Гевгелиско, Валандовско, Дојранско Поле) имаат најголемо траење на сончевиот сјај, повеќе од 2500 часови годишно. Месечните податоци покажуваат дека декември е месец со најмало сончево траење (помалку од 100 часови), а јули со најдолго траење (повеќе од 300 часови). Во тесна врска со траењето на сончевиот сјај и интензитетот на сончевото зрачење е облачноста. Облачноста се изразува во десеттини од 0 до 10 (0 кога е наполно ведро и 10 кога е наполно облачно).



Слика 3.1 Хелиограф

3.2 Температура на воздухот

Загревањето или ладењето на воздухот се врши преку земјината површина. Деноноќната амплитуда на температурата на воздухот зависи од: географската широчина, орографските карактеристики на земјината површина, врнежите, облачноста и други локални фактори. Амплитудата на деноноќната температура е поголема во топлиот период од годината, а помала во студениот. Деноноќниот минимум е обично наутро пред изгрев на сонцето, а максимумот е попладне помеѓу 14 и 15 часот. Од посебен интерес е и промената на температурата со промена на надморската височина. Најчесто, со зголемување на надморската височина температурата опаѓа, но познати се и инверзни состојби, најчесто во зима и при магли, кога со зголемување на надморската височина се зголемува и температурата на воздухот. Температурата на воздухот се мери со термометри и со термографи. Термометрите можат да бидат живини, алкохолни, метални, биметални, гасни и електрични. Кај нас, најчесто се употребуваат живини манометри со скалата на Целзиус (*Celsius*). Термометрите се поставуваат во метеоролошки закони на височина од 2,0 m. Со термометрите се мери моментната температура што значи мерењето е во одреден временски интервал, односно дисконтинуално. Со термографите се запишува континуално промената на температурата во текот на времето, Слика 3.2.



Слика 3.2 Термограф

3.3 Температура на почвата

Примената топлина од сончевата радијација, Земјината површина ја предава во две насоки. Еден дел оди во атмосферата, а другиот кон внатрешноста на земјата. Преку ноќ сончевата радијација престанува, а површинскиот слој на почвата се оладува и неговата температура најчесто е помала од температурата на подлабоките слоеви во почвата. Способноста на почвата да прима и да предава топлина зависи од многу локални фактори како што се: видот и бојата на почвата, нејзиниот состав, влажноста на почвата, покриеноста со вегетација и слично. Влажните почви преку ден побавно примаат топлина од сувите, додека преку ноќ сувите почви побрзо се ладат од влажните. Температурата на почвата се мери со термометри или геотермометри. Стандардните длабочини на мерење се: 2, 5, 10, 20, 30, 50 и 100 cm, но за специјални потреби може да се мери и на други длабочини.

3.4 Температура на водата

Сончевите зраци ја загреваат површината на водата, но поради нејзината проѕрачност, зраците навлегуваат и во длабочина сè додека не бидат сосема апсорбирани. Температурата на водата со длабочината опаѓа но само до 4 °C кога водата има најголема густина од 1000 kg/m³. Средната температура на речните води е поголема од средната температура на почвата во исто време. Дневните колебања на температурата на водата се мали 0,5°C до 3 °C. Максимумот се јавува околу 15÷16 часот, а минимумот 2÷3 часа по изгрев на сонцето. Годишните амплитуди на температурата на површинските води е помеѓу 25 °C и 40 °C за води на копното, а помеѓу 17 °C и 20 °C за морињата и океаните. Минималните годишни температури на површинските води за нашите краеве се јавуваат во февруари или почетокот на март, а максималните во август или почетокот на септември. Екстремните вредности на годишните колебања на температурата на водата во однос на оние на воздухот задоцнуваат. Од посебен интерес за хидрологијата е замрзнувањето на водата што се случува кога температурата на околниот воздух опадне за неколку степени под нулата. Меѓутоа, на создавањето на мразот големо влијание имаат и други фактори како што се брзината на течење, длабочината и другите физички својства на водата. Температурата на водата се мери со посебно изработени термометри и тоа еднаш или повеќе пати дневно и во време кога се мерат другите хидролошки големини.

3.5 Влажност на воздухот

Испарената вода од океаните, морињата, езерата, реките, почвата и растенијата, оди во атмосферата во вид на пареа, каде се меша со воздухот и се однесува според законот на Далтон (Dalton), односно парцијалниот притисок на водената пареа е независен од другите гасови. Содржината на водената пареа во воздухот го чини повеќе или помалку влажен. Водената пареа е полесна од воздухот (со однос 0,622) и колку е воздухот повлажен толку е тој полесен. Со зголемување на водената пареа во воздухот се зголемува и притисокот на водената пареа. Меѓутоа, за одредена температура воздухот може да прими само одредена количина на водена пареа. Ако воздухот при одредена температура ја прими максималната количина на водена пареа се вели дека воздухот е заситен со водена пареа. Притисокот на заситена водена пареа се вика максимален притисок на водена пареа, се обележува со (e_s) и се изразува во (mmHg) или во (mbar). Температурата на воздухот за која содржината на водена пареа претставува максимален притисок на водена пареа, се вика температура на росна точка. Зависноста на максималниот притисок на водена пареа и температурата на воздухот дефинирана емпириски според Магнус (*Magnus*) изнесува:

$$\log e_o = \frac{a \cdot t}{t+b} + 0,786 \quad \text{или} \quad e_o = 6,11 \cdot 10^{\frac{a \cdot t}{t+b}} \quad 3.1$$

каде константите изнесуваат ($a=7,5$) и ($b=277,3$) за над водена површина и ($a=9,5$) и ($b=265,5$) за над мраз. Овој израз дава задоволителни резултати за температури помеѓу $+40$ °C и -40 °C. За влажноста на воздухот често се користат и следните терминологи: релативна влажност, апсолутна влажност, специфична влажност и дефицит на влажност.

Релативна влажност. Релативна влажност претставува однос помеѓу притисокот на водена пара (e) и максималниот притисок на водена пара (e_o) при иста температура на воздухот и се изразува во проценти. При $u=100$ % воздухот е заситен со водена пара, а при $u=0$ % воздухот е сув.

$$u = 100 \frac{e}{e_o} \quad 3.2$$

Апсолутна влажност. Апсолутна влажност или густина на влажност, претставува маса на водената пара содржана во единица волумен од воздухот и се изразува во (kg/m^3).

$$\rho_v = \frac{e}{R_v T} \quad 3.3$$

каде (R_v) е гасова константа на водената пара, а (T) е термодинамичка температура.

Специфичната влажност. Специфична влажност (s) се дефинира како однос на количината на водена пара во 1 kg воздух без разлика на неговиот волумен.

$$s = \frac{\rho_a}{\rho_v + \rho} \quad 3.4$$

каде (ρ_a) е густина на сув воздух.

Дефицит на влажност. Дефицит на влажност (D) или заситеност, претставува разлика помеѓу максималниот притисок на водена пара и вистинскиот притисок на водена пара во даден момент.

$$D = e_o - e \quad 3.5$$

3.6 Атмосферски притисок

Притисокот на воздухот на 1 cm^2 површина се вика атмосферски или воздушен притисок. Воздухот, како и секоја материја, има тежина и под влијание на гравитацијата и ротацијата на земјата се јавува притисок од него. Во нормални услови владее воздушен притисок од 760 mmHg при температура на воздухот од 0°C на висина на морето и за географска ширина од 45° .

Нормалниот воздушен притисок изнесува $101.325 P_a$ или 101 kPa , односно 10,3 m воден столб. Воздушниот притисок во хоризонтален правец не се менува при мирна атмосфера, но затоа се менува во вертикален правец. Промената настанува затоа што со зголемување на надморската висина се намалува густината на воздухот, а со тоа и притисокот од воздушниот столб врз земјината површина. Атмосферскиот притисок не се менува подеднакво со промената на височината. На поголеми височини опаѓањето на притисокот е помало. Атмосферскиот притисок се менува и во зависност од температурата. Тој опаѓа побрзо во студен воздух, а поспоро во топол воздух. Заради промените на температурата, атмосферскиот притисок се менува и во текот на 24 часа. Кога воздушниот притисок во текот на денот опаѓа, се очекува промена на временската ситуација со наоблачување и врнежи, а кога се покачува, временската ситуација се стабилизира, односно се очекува ведро и тивко време. Промената на

атмосферскиот притисок особено влијае на испарувањето (при намален притисок се зголемува испарувањето) и на колебањето на нивото на подземните води. Автоматско мерење на притисокот се врши со барограф.

3.7 Ветер

Струењето на воздушните маси во приближно хоризонтален правец се вика ветер. Ветерот претставува векторна големина и за негово определување потребно е да се познава правецот, насоката и интензитетот. Во практиката најчесто ветерот се дефинира со два елемента: правец и брзина или јачина.

Табела 3.1 Јачина на ветерот според скалата на Бофор

Јачина	Тип на ветер	Опис на дејство	Брзина (km/час)
0	Тишина	Тивко, чадот се издига вертикално	0
1	Лесен ветер	Лесно треперење на лисјата	3
2	Многу слаб ветер	Лисјата треперат, се движи ветроказот, се бранува мирна водена површина	9
3	Слаб ветер	Треперат лисја и гранки, се бранува мирна водена површина	16
4	Умерен ветер	Се крева прашина и хартија од земјата, значително се бранува мирна водена површина	24
5	Умерено јак ветер	Помали дрва се клатат	34
6	Јак ветер	Поголеми гранки треперат, сунат телеграфски жици	44
7	Силен ветер	Отежнато движење во спротивен правец, пенливи бранови на водна површина	55
8	Олуен ветер	Се кршат гранки, отежнато е движењето на отворен простор	68
9	Многу силен ветер	Се соборуваат оџаци и керамиди	82
10	Силна олуја	Се кршат или искорнуваат дрвја, се оштетуваат објекти	96
11	Силна бура	Се рушат кровови, се корнат големи стебла	110
12	Ураган, оркан	Се руши и пустоши со големи штети	125

Правецот на ветерот се определува во зависност од која страна на светот дува. Ако дува од север се вика северен, ако дува од запад се вика западен и тн. За означување на правецот на ветерот се употребуваат латинските букви **N** (север), **E** (исток), **S** (југ) и **W** (запад). Со комбинација на овие букви можат да се претстават

ветрови од 32 правци. Така претставените правци за определен временски период и определен регион се вика роза на ветерот. За потребите на хидрологијата доволна е роза на ветрови од 16 или од 8 правци. Брзината на ветерот се мери во (m/s) или (km/час). Јачината на ветерот го изразува дејството на ветерот врз различни предмети и се определува со Бофоровата скала на која има 13 степени, Табела 3.1. За тишина се употребува степен 0 или буквата **С**. Правецот на ветерот се определува со помош на ветроказ, а брзината на ветерот се мери со анемометар. Мерењето на брзината на ветерот се врши на височина од 10 m над теренот. Автоматско мерење на ветерот со правец и брзина се врши со анемограф.

На ветровите големо влијание имаат поместувањата на воздушните маси. Разликите во загревањето на половите и екваторот предизвикуваат постојани воздушни струења познати како постојани ветрови во кои спаѓаат: пасати, антипасати, западни ветрови и северни ветрови. Периодични ветрови дуваат во одреден период во еден правец, а во следниот период во обратен правец. Во оваа категорија ветрови се ветровите од копно и од море, потоа долинските ветрови, планинските ветрови и монсоните. Ветровите кои се јавуваат повремено и имаат карактер на слегувачки струења се викаат слаповити ветрови. Кај нас вакви ветрови се: фен, кошава и бура.

3.8 Врнежи

Под врнежи се подразбира вкупната вода што паѓа на земјата во форма на дожд, снег, иње или град. Појавата на врнежите е резултат на кондензација на водената пара во атмосферата. Одредена количина на влажност на земјината површина настанува и како резултат на директната површинска кондензација во форма на роса или мраз. Оваа влажност по пат на испарување бргу се враќа во атмосферата и обично се занемарува како ефективен извор на влажност на земјата. Врнежите, кои уште се нарекуваат и талози, се карактеризираат со количина, јачина (интензитет), траење и зачестеност. За да се разберат карактеристиките на врнежите потребно е да се познаваат видовите на облаците. Облаците претставуваат згустена (кондензирана) водена пара во атмосферата која се наоѓа на помала или поголема висина. Тие ја менуваат формата под влијание на температурата, релативната влажност и ветерот. На висина до 4 km се наоѓаат најчесто следните видови на облаци: нимбуси кои носат дожд, кумулуси и стратуси, Слика 3.5 и 3.6. На висина 4÷8 km се наоѓаат алтокумулуси и алтостратуси, а на висини 8÷10 km се наоѓаат цируси кои се тенки пердувести облаци, Слика 3.6. Максималната висина на која можат да се сретнат облаците е 11÷12 km. Степенот на облачноста се мери во степени од 0 што значи ведро, до 10 што значи потполна заоблаченост.



Слика 3.5 Облаци нимбуси и стратуси



Слика 3.6 Облаци кумулуси и циркуси

Водената пара од која настануваат врнежите во атмосферата се наоѓа како гас во различни количини. За да настанат врнежите покрај влажноста на воздухот треба да постојат и атмосферски преместувања кои настануваат со конвергенција на воздушните маси, односно со издигнување на големи воздушни маси од топол и влажен воздух на поголеми височини каде воздушната маса се разладува до под точката на росење. Хоризонталниот ветер претставува атмосферско преместување, но нема врнежи сè додека ветерот не ги издигне воздушните маси на планинските падини или на ладен воздушен фронт.

Најчест врнеж е дождот кој го носат облаците нимбуси. Дождот се формира кога водените капки во облакот со коагулација се зголемуваат и кога пречникот ќе им стане поголем од 0,12 mm, тие почнуваат да паѓаат кон земјата. Најголемите капки дожд можат да имаат пречник од 7 mm, а најголемата брзина со која паѓаат е 8 m/s. Снегот се формира кога воздухот ќе се засити со водена пара на температура под 0 °C, односно на температура под -12 °C. Тогаш водата сублимира, односно преоѓа во цврста состојба. Ако е сублимацијата постепена и бавна, замрзнатите честички имаат правилни кристални форми. На температура под -20 °C, снегот паѓа како замрзнати иглички со призматична форма. Градот претставува замрзнати топчиња со пречник (5÷50) mm. Тој се појавува исклучиво при силно и долготрајно невреме проследено со грмотевици, но никогаш при температура на Земјината површина под 0 °C. Градот најчесто го донесуваат облаците кумулонимбуси кои се издигнуваат до големи висини.

Според причината за создавање, врнежите се делат на циклонски, конвективни и орографски. Основните причини за создавањето на овие врнежи се компримирање на воздухот обогатен со влага, издигнување на тој воздух на поголеми височини и негово ладење и ладење со кондензација. Циклонските врнежи, или врнежи од атмосферските вртлози, се појавуваат од следните атмосферски вртлози: торпедо, ураган или тајфун и екстра тропски циклон. Циклонските врнежи се поврзани за области со низок притисок (депресии), кои што се преместуваат под влијание на кружењето на земјата и влијанието на сонцето. Обично овие врнежи се фронтални, бидејќи при пресекот со земјината површина и навалената разделна граница помеѓу масите на ладниот и топлиот воздух се создава фронт. Конвективните врнежи настануваат како резултат од издигнувањето на влажниот воздух од земјината површина, каде што истиот се загрева од сонцето. Издигнатиот загреан воздух се шири и лади, при тоа водената пара се кондензира и паѓа во вид на врнежи. Сончевата радијација е главен и единствен причинител за конвективното движење на воздухот. Овие врнежи се последица на топлото време и може да бидат проследени со грмотевици, молњи и локални ветрови. Овие врнежи воглавно паѓаат како дожд, а локално и како град.

Орографските врнежи се предизвикани од издигнување на воздухот на одредена висина во планинските предели. Кога издигнатиот воздух доаѓа во контакт со косините на теренот, настанува ладење и кондензација. Овие врнежи особено се изразени на страните низ кои дуваат постојани ветрови и кои доаѓаат од релативно топли подрачја, како што се Алпите, Кораб, Шар Планина, приморската страна на Динарските Планини и други.

3.8.1 Мерење на врнежите

Врнежите што паѓаат на Земјината површина било во течна или цврста состојба, се мерат така што се определува висината на слојот од вода во (mm) што паѓа врз хоризонтална површина во тек на одреден временски период. Количината, односно висината на цврстите врнежи се мери на ист начин, со тоа што врнежите претходно се истопуваат. Врнежите се мерат со дождомери, плувиографи и со тотализатори. Дождомерот претставува цилиндричен сад кој има три дела: горен, долен и кантичка, Слика 3.7. Горниот дел има површина од 200 cm^2 и на него паѓаат капките дожд. Овој инструмент се поставува на отворен терен, така да горниот дел биде на висина 1 m на површината. При мерење на висината на врнежите, долниот дел (кантичката) се излева во стаклена мензура со поделби од 0 до 10 што претставуваат цели милиметри. Кога се мери висината на паднат снег, дождомерот со паднатиот снег се внесува во загреана просторија и се остава снегот да се истопи, а отворот на горниот дел се затвора за да не испарува снегот при топењето. На секоја станица треба да има два дождомера. Висината на врнежи од 1 mm вода одговара на 1 литар количина на 1 m^2 површина.



Слика 3.7 Обични дождомери



Слика 3.8 Плувиограф

Слика 3.9 Тотализатор

Плувиографот е регистратор на врнежите, Слика 3.8. Има различни типови, а најчесто се употребуваат оние со сатен механизам, со уред за континуално регистрирање, со пливка и натеза за повремено празнење на наполнетиот сад. Тотализаторот се употребува за мерење на врнежите, во тврда или во течна состојба, во понедостапни места како високи планински области, Слика 3.9. Со овој инструмент се добива количеството на паднатите врнежи во кумулативна форма за подолг временски период. Овој инструмент овозможува да се топат цврстите врнежи

непрекинато со поставување на калциев хлорид (антифриз) во садот кој дејствува до – 30 °C. Испарувањето се спречува со натриев хлорид или вазелинско масло.

Врз висината на врнежите имаат влијание многу фактори, како што се: географската широчина, близината на морето, релјефот, пошуменоста, индустриските населби и други. Невозможно е строго математичко поврзување на висината на врнежите и факторите што ги условуваат врнежите. Годишните врнежи најчесто следат прости физички закони како што се законот за височината и законот за оддалечување од морето. Висината на врнежите се зголемува со зголемување на надморската висина. За Европа оваа врска е до надморска висина 3000÷3500 m, а потоа стагнира. Во врска со пошуменоста постојат различни мислења. Некои тврдат дека врнежите се до 10% поголеми во пошумени подрачја, а други дека шумите не влијаат на висината на врнежите. Врз врнежите влијаат и индустриските населби и големите градови каде што постои изобилство на кондензациони јадра (прашина, честици, чад) кои ја зголемуваат висината на врнежите и до 12 %.

3.8.2 Распоред на врнежите

Количините на врнежите се различни за поодделни подрачја. На просторите на поранешна Југославија, најмногу просечни годишни врнежи се регистрирани на станицата Црквица до Цетиње и изнесуваат повеќе од 5000 mm. Во Македонија најмногу врнежи се регистрирани на станицата Лазарополе (околу 1000 mm), а најмалку во подрачјето на Велес, Штип и Кавадарци (под 500 mm). Од планинските предели, најбогати со врнежи се Кораб и Шар Планина. За практично користење на податоците за врнежите се изработуваат изохиетски карти за одреден временски период и од нив може лесно да се види распоредот на врнежите на површината и по времето. Распоредот на врнежите во текот на еден ден се изучува ако врнежите се регистрирани со плувиограф (омброграф). Податоците за мерените врнежи можат да се прикажат и како хронолошки дијаграми, и тоа хистограмски или криволиниски.

За практични потреби во хидрологијата се проучуваат врнежите што паднале на даден слив со одредена површина. Најчесто се дефинираат следните карактеристики на врнежите: зафатнина на талог ($W_T=A \cdot P$) и се мери во (m^3), количина на талог ($Q_T=W_T/t$) во (m^3/s), модул на врнежите ($q=Q_T/A=W_T/A$) во ($m^3/s \cdot km^2$) и интензитет или јачина на врнежите ($i=P/t$) во (m/s). Освен овие параметри, во хидрологијата се употребуваат и следните карактеристични поими: месечни врнежи или сума на врнежи во одредени месеци, сезонски врнежи или сума на врнежи во одредени сезони и годишни врнежи или сума на врнежи во одредени години.

