

Лидија Трајаноска, дипл. инж. метеоролог
Душанка Танушевска, дипл. инж. метеоролог
Нина Алексовска, дипл. инж. метеоролог
Управа за хидрометеоролошки работи
e-mail: lidija@meteo.gov.mk



МК0300079

МЕТОДИ ЗА ПРЕСМЕТУВАЊЕ НА ИСПАРУВАЊЕ ОД СЛОБODНА ВОДЕНА ПОВРШИНА

ABSTRACT

The whole world water supply on the Earth is in close dependence on hydrological cycle connected with water circulation at Earth-Atmosphere route through evaporation, precipitation and water runoff.

Evaporation exists worldwide where the atmosphere is unsatiated of water steam (when there is humidity in short supply) and it depends on climatic conditions in some regions.

The purpose of this paper is to determine a method for estimation of evaporation of natural water surface in our areas, that means its determination as exact as possible.

ВОВЕД

Целата светска залиха на вода на Земјата е во тесна зависност од хидрометеоролошките процеси во природата.

Во тие процеси спаѓаат циркулацијата на водата на релација Земја-атмосфера-Земја, испарувањето, врнежите и воденото истекување.

Пресметувањето на испарувањето од водена површина, покрај другите хидрометеоролошки процеси е од голема важност во хидролошките студии за одредување на расположливиот воден биланс на земјата, што пак е мошне важно при неговото планирање.

На пример, пресметувањето на испарувањето (евапорацијата) може да послужи за:

- критично одредување на издашноста на одреден воден резервоар,
- дефинирање на оптимални оперативни процеси за градење, одржување, експлоатација на систем-резервоарите и др.

При планирањето на целокупниот живот на Земјата, при проектирање, експлоатација и одржување на хидротехнички објекти, испарувањето е важен фактор кој бара детално проучување.

ФАКТОРИ КОИ ВЛИЈААТ НА ИСПАРУВАЊЕТО

Испарувањето се врши насекаде на земјината топка каде што атмосферата е незаситена со водена пара (кога има дефицит на влажност) и зависи од климатските услови во одделни подрачја.

Од аспект на водните ресурси на копното, за човекот, од најголем интерес се слатководните залихи на вода во реките, езерата и во подземните слоеви.

Мошне е важно при испарувањето на водата од морските и слатководните (копнени) водени површини да се има предвид дека испарувањето се намалува со зголемувањето на содржината на разни соли во водата.

Затоа, испарувањето на морската вода е помало за 2 - 3 % од слатката вода при исти климатски услови.

На испарувањето влијаат следните фактори :

- ✓ температурата на воздухот,
- ✓ температурата на водата,
- ✓ дефицитот на влажност на воздухот,
- ✓ правецот и брзината на ветерот,
- ✓ инсолацијата,
- ✓ атмосферскиот притисок,
- ✓ особините на водата.

Според кинетичката теорија на гасовите и течностите, испарувањето се зголемува со покачувањето на температурата на водата, а способноста на воздухот за прием на водена пара се зголемува со покачувањето на температурата на воздухот. На тој начин се зголемува и дефицитот на влажност на воздухот, а со порастот на дефицитот се зголемува и испарувањето.

Далтон прв воведува директен однос меѓу дефицитот на влажноста и испарувањето и тој однос го изразува преку равенката:

$$E = C(e_v - e_a)$$

E - испарување во мм

e_v - притисок на водена пара по температура на водата

e_a - притисок на водена пара по температура на воздухот

C - константа која зависи од воздушниот притисок и брзината на ветерот.

МЕТОДИ ЗА ОДРЕДУВАЊЕ НА ИСПАРУВАЊЕТО ОД ПРИРОДНА ВОДЕНА ПОВРШИНА

Во светот постојат повеќе методи за пресметување и одредување на испарувањето од природна водена површина. Тоа се следните методи:

- ✓ метод на воден биланс,
- ✓ метод на топлотен биланс,
- ✓ метод на турбулентна дифузија,
- ✓ метод на директно мерење со инструменти,
- ✓ метод на емпириски пресметки.

Методот на воден биланс е најдиректен за одредување на големината на испарувањето, но тешко е спроведлив, бидејќи мале бројот на водени површини на кои постојат објективни услови за определување на сите параметри на овој биланс, притоа земајќи го предвид и подземниот прилив и одлив .

$$E = I + P - V_{ss} - O + dS$$

Методот на тоplotен биланс се состои во одредување на вкупната топлина што ја прима водата преку сончевата радијација и потрошената тоplotна енергија на испарувањето на водата. Овој тоplotен биланс се претставува со следната формула:

$$E = \frac{U-I-A-G}{V(1+R)}$$

Методот на турбулентна дифузија се базира на определување на вертикалната промена на водената пареа во приземниот слој на атмосферата преку промена на градиентите на метеоролошките елементи во слојот.

Методот на инструментални мерења на испарувањето се базира врз примената на разни типови инструменти - испарители. Појдовна поставка е испарувањето од големите водени површини да биде пропорционално на испарувањето од мерните инструменти.

Меѓутоа, испарувањето од природните водени површини е значително помало одошто од инструментите испарители.

Затоа, користењето на инструментите базен-испарители бара два вида на корекции:

- ✓ корекција меѓу испарителите и природните водени површини,
- ✓ корекција на самите испарители од разни типови и големини.

Со зголемување на површината на испарителите, испарувањето е поблиску до испарувањето од природните водени површини.

Во Македонија се користат следните инструменти од типот базен-испарители:

- GGI- 3000,
- Испарител класа "А",
- Базен-испарител 20m²

Во поранешниот СССР (како земја која користела најслични инструменти за мерење на метеоролошките елементи како нашите) за мерење на испарувањето се користеле повеќе видови базен-испарители. Меѓутоа најблиско испарување, како од природна водена површина, дава базен-испарителот со површина од 20m², пречник 5 метри и длабочина 2 метри. Тој за првпат е користен во СССР и е земен за еталон испарител (испарител кој дава вредност на испарувањето слично како во природни услови) и за него не е потребна дополнителна корекција на резултатите.

Ваков базен-испарител во времето и на територијата на бивша Југославија, а и сега, имало и сè уште има само еден и тоа во Македонија, на метеоролошката станица Скопје, на Зајчев Рид.

Мерењето на испарувањето од слободна водена површина со овој базен-испарител дава податоци најблиски до веродостојните.

Одредувањето на испарувањето од природна водена површина, имплицитно во наредниот текст, е со помош на метод на директно мерење со инструмент базен-испарител, 20m² и со помош на неколку методи за емпириско пресметување.

Методот за емпириско пресметување се базира на емпириски формули за определување на испарувањето во функција од метеоролошките големини.

Најпроста равенка за определување на испарувањето од природна водена површина во функција од метеоролошките големини е равенката:

$$E = (a + b \cdot W) \cdot d$$

E - испарување во мм/ден
 W - брзина на ветерот м/сек.
 d - дефицит на влага $d = (e_n - e_a)$
 a и b константи кои се определуваат

Предноста на емпириското пресметување е во тоа што испарувањето се пресметува за сите 12 месеци во годината, додека со испарителите се мери само за периодот со позитивни температури на воздухот. Исто така, предност е и тоа што преку формулите може да се пресметува испарувањето на голем број локалитети каде што се мерат основните метеоролошки елементи, додека инструменталното мерење со испарителите е застапено на мал број мерни пунктови.

Емпириското пресметување на испарувањето од природна водена површина во наредниот текст е изработено според методот на Ангеле Лазаревски (со пресметани коефициенти за нашето поднебје), според методот на Мајер и според методот на Пенман.

Пресметувањето на испарувањето според методот на Ангеле Лазаревски е со следната формула:

$$E = 0.22 * (e_v - e_a) (1 + 0.45 * W) \text{ (mm/den)} \quad (1)$$

Пресметувањето на испарувањето според методот на Маер е со следната формула:

$$E = 15 e_v (1 - U) (1 + 0.225 W) \text{ (mm/den)} \quad (2)$$

Методот на Пенман спаѓа во групата на комбинирани методи и е комбинација од методите на топлотниот биланс и турбулентна дифузија.

Пенмановата формула ги користи најважните метеоролошки елементи и параметри кои влијаат на испарувањето од слободна водена површина, а тоа се: температурата на воздухот и водата, зрачењето, брзината на ветерот и дефицитот на заситеност со влажност.

Формула на Пенман:

$$E = \frac{\Delta * H / \Lambda + \gamma * E_a / \Delta + \gamma}{\Delta + \gamma} \text{ (mm/den)} \quad (3)$$

E – вкупно испарување во мм/ден

Δ - градиент на максималниот напон на водена пара при температура на воздухот t

H - биланс на топлотна размена меѓу глобалното зрачење и долгобрановото излучување на земјата

Λ - латентна топлина на испарување

γ - психрометричка константа

E_a - енергија потрошена за испарување

Испарувањето од природна водена површина, според овие методи, се пресметува најчесто за месечни вредности, па затоа се користат средномесечни вредности за сите метеоролошки параметри кои се застапени во овие формули, бидејќи глобалното сончево зрачење не се мери во голем број мерни пунктови и постојат

методи за негово пресметување преку податоците за траењето на сончевиот сјај што се мери на голем број метеоролошки пунктови.

МЕРЕЊЕ НА ИСПАРУВАЊЕТО СО БАЗЕН-ИСПАРИТЕЛ 20m²

Овој базен-испарител е со површина 20m², длабочина 2м и пречник 5 м. Големината на испарувањето добиена со овој инструмент е приближно иста како во природни услови.

Набљудувањето и мерењето на испарувањето со овој инструмент се врши од април до октомври, т.е. кога водата во садот не мрзне. Набљудувањето и мерењето на другите метеоролошки елементи се изведува непрекинато што ќе послужи како основа за пресметување во оние месеци кога не било мерено испарувањето од водена површина.

Елементи за набљудување и мерење за одредување на испарувањето се:

1. Промената на нивото на водата во испарителот;
2. Температурата на водата во испарителот;
3. Температурата на воздухот;
4. Врнежите;
5. Ветерот.

Набљудувањата и мерењата на дел од претходните елементи се вршени во 07 и 19 часот.

Температурата на водата во базен-испарителот се мери во истиот термин како и испарувањето - 19,07 и 19 часот.

Обработката на другите метеоролошки елементи е извршена врз основа на терминските мерења во 07, 14 и 21 часот, па добиени се средните вредности на температурата на воздухот на сувиот и на мокриот термометар и средната брзина на ветерот.

Емпириски се пресметани притисокот на водената пара (e) и максималниот напон на водена пара (E) кои се изразени во mb, релативната влажност во % и дефицитот на влажност во mb.

АНАЛИЗА НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОД МЕРЕЊЕТО И ПРЕСМЕТУВАЊЕТО

Врз основа на податоците за месеците април-септември 1999 и октомври, 1998, изработени се табели за месечните вредности на измерено испарување од природна водена површина, средните температури на воздухот, дефицитот на влажноста и релативната влажност.

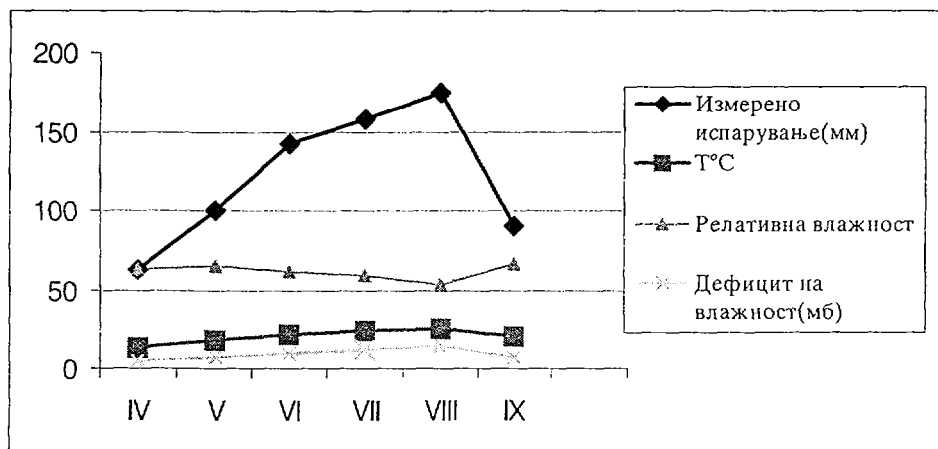
Воедно се изработени и криви од кои се забележува корелацијата на испарувањето и другите метеоролошки елементи.

Месечните вредности за испарувањето, средномесечната температура на воздухот, дефицитот на влажноста и релативната влажност, се прикажани на Табела I и График I.

Табела 1- Месечни измерени испарувања, дефицит на влажноста, температурата на воздухот и релативна влажноста, Скопје - Зајчев Рид

Скопје Зајчев Рид	1999	1999	1999	1999	1999	1999	1998	Средна вредност
Месеци	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
Измерено испарување(mm)	63	100	142	158	175	90	54	112
Дефицит на влажноста(mb)	5,4	7,0	10,1	11,7	13,9	7,6	8,6	9,2
Т°С	12,8	17,8	21,9	23,8	24,8	20,0	14,2	19,3
Релативна влажноста(%)	63	65	61	59	53	66	72	63

График- 1 Временска распределба (по месеци) на измереното испарување, дефицитот на влажноста, температурата на воздухот и релативната влажноста



Од Графикот 1 се забележува дека испарувањето е пропорционално со средномесечната температура на воздухот и обратнопропорционално со релативната влажноста. Во недостиг на измерени податоци за испарувањето за месеците (I, II, III и XI и XII) кога немало мерење, тие се добиени со емпириско пресметување со помош на формулата на Лазаревски (модифицираната Далтонова формула), формулата на Маер и формулата на Пенман, која се покажа како релативно најдобра за спомнатите податоци. Во Табела 2 се прикажани пресметаните и измерените месечни и годишни суми на испарување за 1998/99.

Најголемото испарување во хидролошката 1998/99 е во месец август, а најмалото, во месец јануари.

Од Табела 2 се гледа дека измерените, со помош на базен-испарителот, и пресметаните податоци за испарувањето со формулата на Лазаревски (модифицирана Далтонова формула), формулата на Маер и формулата на Пенман, ја имаат следната забелешка:

Пресметаните податоци се совпаѓаат со измерените во сите месеци во трендот (со исклучок на Маер), но во однос на вредностите, со релативно најмало отстапување од вистинските се податоците пресметани со Пенмановата формула, нагласувајќи дека и формулата на Лазаревски не дава лоши резултати.

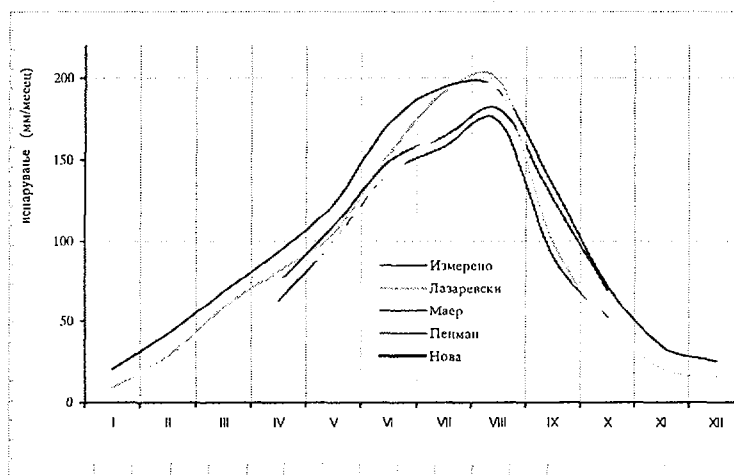
Меѓутоа, за пресметување на испарувањето од природна водена површина, на пунктот Скопје-Зажев Рид, е применета и формулата (т.н.Нова) која дава најблиски резултати со реалните (измерените) што се гледа од графикот.

$$\text{Формула т.н. Нова } E = (0.4 + 0.07 * W200)(e_c - e_a) \quad (\text{mm/den}) \quad (4)$$

Табела 2 – Месечни испарувања во мм пресметани и измерени 1998/99

	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
ЕПенман	69						74	109	149	164	181	126
Еизмерена	53						63	99	141	158	175	90
ЕЛазаревски	50	21	16	9	28	59	81	105	153	192	198	99
Енова	50	23	17	12	26	54	74	99	140	169	194	102
ЕМајер	72	35	25	21	42	69	93	123	172	194	193	134

График 2- Временска распределба, по месеци, на испарувањето во мм, по повеќе методи



ЗАКЛУЧОЦИ

Од претходно изнесената стручна материја, имајќи ја предвид важноста на испарувањето како природен процес и потребата од негово подетално изучување, заклучуваме дека:

- Потребно е изучување на испарувањето за подолга низа на години и различни надморски височини,
- Потребно е одржување и усовршување на хидрометеоролошките мерења и мрежата на станици,
- Најважно е добро и навремено координирање на релацијата наука - пракса.

РЕЗИМЕ

Целата светска залиха на вода на Земјата е во тесна зависност од хидролошкиот циклус поврзан со циркулацијата на водата на релација Земја- атмосфера- Земја преку испарувањето, врнежите и воденото истекување.

Испарувањето се врши насекаде на земјината топка каде што атмосферата е незаситена со водена пареа (кога има дефицит на влажност) и зависи од климатските услови во одделни подрачја.

Целта на овој труд е да се одреди метод за пресметување на испарувањето од слободна водена површина (односно евапорација), на нашите простори, т.е. негово што е можно поточно определување.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gyide to hydrological practices, fifth edition 1994 WMO-No. 168
2. Problemi velikih voda, D.Srebrenovic 1970
3. Податоци од стручната документација на Управата за хидрометеоролошки работи