

СТАВЛЕ ВУЈЕВИЋ

## ТЕМПЕРАТУРА БУНАРСКЕ ВОДЕ НА ЗЕМЉИШТУ БИВШЕ ОПСЕРВАТОРИЈЕ ВЕЛИКЕ ШКОЛЕ У БЕОГРАДУ

У низу мојих расправа о топлотном стању разних материја (1—4) остало је нетакнуто питање о температури бунарске воде. Све потребне податке о томе имао сам у истом времену када су писани и остали радови, али сам — из разних узрока — тек сада могао да потпуно обрадим и важно питање о топлотном стању бунарске воде.

Сви добивени резултати у овој расправи почивају на учињеним мерењима у периоду од 1902 до 1906 године. Овај петогодишњи период употребљен је из два разлога. Први разлог је што је исти период узет и за наведени рад о температурама тла у Београду, те је тиме омогућено непосредно поређивање температура бунарске воде са температурама тла у истим месецима узастопних година. Други, још важнији разлог је што су сва мерења у овом петогодишњем периоду чињена веома пажљиво, док у доцнијим годинама има већих несигурности у температурама бунарске воде.

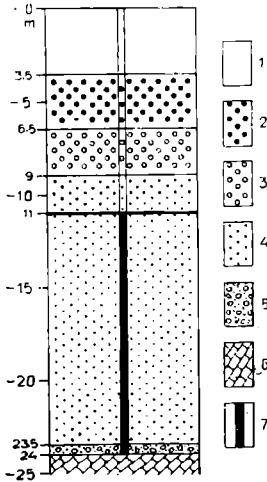
### 1. Положај и облик бунара и састав земљишта у његовој околини

Бунар се налазио отприлике 93 м источније од средине тадашњег термометарског поља, тј. на граници земљишта Опсерваторије према садашњој Тиршовој улици и око 3 м ближе Булевару Југословенске армије од пута који излази од зграде садашњег Завода за метеорологију и хидрологију НР Србије на поменућу улицу. Термометарско поље било је удаљено од ове зграде око 50 м у правцу северозапада, и налазило се на средини садашње Универзитетске дечје клинике. У средини термометарског поља били су термометарски заклони, а у кругу са пречником од 10 м постављени су многобројни термометри за мерење температуре тла у разним дубинама, од површине до 24 метра. Земљиште око саме зграде и бунара налазило се на апсолутној висини од 131.6 метара.

По карти *Ј. Михаиловића*, асистента Опсерваторије (5), од 2 јуна 1903 г., у размеру 1 : 200, огледало подземне воде је у дубини око 11 метара. Дубљи слојеви тла, отприлике од 9.5 м наниже, прилично су хомогени, као што то показује слика 1. У њима преовлађује пресована

сива и плавичаста глина, гдегде песковита, а при дну шљунковита, док се у дубини од 24 м наишло на чврст кречњак.

Проф. М. Луковић (6) писао је о подземним водама Београда. Он разликује три основна блока, врло различита по своме саставу, по садржини подземне воде и по њеној подземној циркулацији. Његов II, терцијарни блок обухвата велики део београдског атара, отприлике источно од линије железнички мост—Бањица. Око ушћа Мокролушког Потока лежи, непосредно преко кредних кречњака, сарматски кат, а то се продужује на североисток преко целог земљишта Опсерваторије до садашњег Трга Дим. Туцовића и даље ка истоку, и по карти Луковића и по Геолошкој карти околине Београда (7).



Сл. 1. Састав тла Опсерваторије до дубине од 25 метара: 1 — црница, 2 — жућкаста иловача, 3 — земља са крупним шљунком, 4 — сива и плавичаста глина, 5 — шљунковита глина, 6 — бели кречњак, 7 — бунарска вода

Fig. 1. Composition du sol à l'Observatoire jusqu'à une profondeur de 25 m.: 1 — humus, 2 — argile jaunâtre, 3 — terre et gros graviers, 4 — argile grise et bleuâtre, 5 — argile graveleuse, 6 — calcaire, 7 — eau de puits

од бунара на земљишту Опсерваторије ( $A_1$ ), а вероватно је на прекодвострукој дубини и кречњак код Фабрике шпиритуса „Звезда“ ( $B_2$ ), ако се претпостави да овде владају исти услови као на земљишту Вајфертове пиваре, према кречњаку код Опсерваторије ( $A_2$ ).

Ова два наведена примера могла би довести до закључка да је ниво подземне воде тим у већој дубини, што је мања апсолутна висина

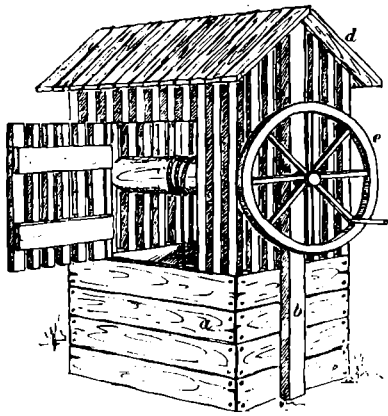
Луковић наводи како је, бушењем у Вајфертовој пивари, утврђено да сармат иде и до 58 м, и још се није допрло до кредне подлоге. Ту су просечена два хоризонта воде, један на дубини од 27 м, а други на дубини од 45 м. Даље на југоистоку, Фабрика шпиритуса „Звезда“ (раније „Вишестечка“) добија воду из бунара дубоког 28 м. Да би се видело колике су разлике између дубине огледала подземне воде и приближне дубине кречњака код Опсерваторије и Фабрике шпиритуса „Звезда“ нацртан је попречни профил између ова два места, помоћу плана Београда са изохипсама од по 2 м (8), који показује слика 2. Висина земљишта код бунара Опсерваторије (131.6 м) означена је са  $A$  на овој слици, висина земљишта код бунара Фабрике шпиритуса „Звезда“ (88 м) са  $B$ , али је  $B$  за 58° југозападније од  $A$ . По томе се може закључити да се цео профил пружа приближно правцем SW-NE. На слици су, сем тога, висине на ординати повећане за 5 пута према отстојањима на апсциси. Право отстојање између бунара код Опсерваторије и бунара код Фабрике шпиритуса „Звезда“ износи 700 м, а висинска разлика између та два места је 43.6 метара.

Слика 2 показује очигледно како је огледало бунарске воде код Фабрике шпиритуса „Звезда“ ( $B_1$ ) отприлике на двострукој дубини

неког места, и обратно. То исто можда вреди и за дубину у којој се појави кречњак.

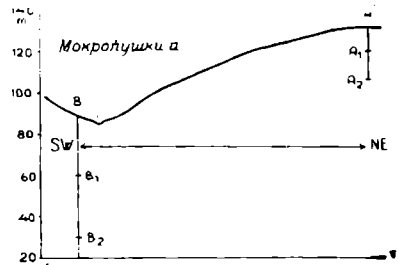
Бунар Опсерваторије имао је облик који је чест у Јасеници<sup>1</sup> (9). Доле је сантрач (a), више њега је — између два стуба (b) — постављено покретно вретено (c) са ручицом на једном крају, а горе се налази настрешница (d), као што то показује слика 3. Али је, код бунара Опсерваторије, са вретеном повезан точак (e) са ручицом на крају једне паоке, сем тога је део између сантрача и настрешнице био ограђен летвама на све четири стране, са вратима према југозападу, тј. према главној згради. За вретено је приковано уже, са ведром на његовом доњем крају, које доноси воду.

По предњем излагању је јасно да је бунарска вода била стално у додиру са околиним тлом, а од горе и са ваздухом. Стога је појмљиво да су ове две различите материје доста упливисале и на топлотно стање бунарске воде.



Сл. 3. Облик бунара на земљишту Опсерваторије.

Fig. 3. Forme du puits sur le terrain de l'Observatoire



Сл. 2. Појречни профил од Фабрике шпиритуса „Звезда“ до Опсерваторије.

Fig. 2. Coupe transversale allant de la Distillerie „Zvezda“ à l'Observatoire.

## 2. Бунарска вода

Чудновато је, али истинито, да је о питању бунарске воде највише писано око половине прошлога века. Кемц је дао много података о томе у своме уџбенику метеорологије (10). Халман је, око 20 година касније, у своме раду о температурним приликама извора обратио пажњу и температурама бунарских вода (11). Он је, физички, веома добро објаснио утицај других чинилаца на промене у топлотно стању ових вода. У новијој научној литератури, међутим, има о томе мало података, сем у приручницима хидрологије и хидрографије. Али је, у највећем броју свих изашлих радова, годишњи ток температуре бу-

нарске воде одн. издани, као и извора, упоређиван само са годишњим током ваздушне температуре, а где је било видљивих неподударана

<sup>1</sup> Карактеристично је да се огледало водене издани у Јасеници налази у дубини од 16-24 м, нешто мањој него близу ушћа Мокролушког Потока у Дунав.

и са плувиометрским режимом. Само је *Марџен* (12) мерио и температуре тла у дубини од 0.1 и 0.3 м, али их није могао поређивати са топлотним током бунарске воде у Монпелнеу из разлога што је ова у дубини од 11.7 метара.

Температура бунарске воде на земљишту београдске Опсерваторије мерена је сваког јутра у 7 часова. За то је служио термометар за мерење температуре воде, везан са чврстим канапом од 11.3 м дужине, који је био обешен о метални прстен на унутрашњем горњем делу сантрача. Куглица са живом била је стално обмотана кучином, како се жива — при извлачењу овог термометра — не би ни ширила ни скупљала, него је дуже време показивала исту температуру коју је имала у води.

### 3. Годишњи токови температуре бунарске воде, ваздуха и тла

Средње месечне температуре бунарске воде у петогодишњем периоду 1902—1906 г. уписане су у таб. 1 и заокружене су на једну децималу. Пошто је температура бунарске воде била увек мерена ујутру, употребљене су, ради непосредног поређења, и ваздушне температуре

Таб. 1. Средње месечне температуре бунарске воде на земљишту Опсерваторије и просечне вредности 5-годишњег периода 1902—1906

Tab. 1. Températures mensuelles moyennes de l'eau de puits au terrain de l'Observatoire et valeurs moyennes de la période quinquennale 1902—1906

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год. Année	Колеб. Ampl.
1902	10.9	10.4	10.3	10.9	11.1	11.3	11.8	12.0	12.1	12.1	11.3	9.7	11.2	2.4
1903	9.8	9.7	10.3	10.6	11.0	11.4	11.6	11.8	11.9	11.9	11.5	11.0	11.0	2.2
1904	9.9	10.0	10.1	10.5	11.1	11.5	11.8	12.0	12.0	12.0	11.4	10.6	11.1	2.1
1905	9.8	9.6	10.1	10.6	11.0	11.5	11.8	11.9	12.0	11.8	11.6	10.9	11.1	2.4
1906	10.0	9.9	10.4	10.7	11.5	11.6	11.9	12.1	12.1	12.0	11.7	10.9	11.2	2.2
Прос. Мож.	10.1	9.9	10.2	10.7	11.1	11.5	11.8	12.0	12.0	12.0	11.5	10.6	11.1	2.1

из првог термина посматрања, тј. у 7 часова. Њихове вредности налазе се у таб. 2. Овде треба споменути да се средње и просечне месечне температуре односе на средњи датум сваког месеца.

Ради поређења температуре бунарске воде, са огледалом у дубини око 11 м, и температуре околног тла морале су се узети просечне месечне вредности по мерењима у дубини од 10 м ( $t_{10}$ ) и од 12 м ( $t_{12}$ ), јер су температуре у већој дубини од 6 м мерене у отстојањима од по 2 метра, а прорачунате су формулом  $(t_{10} + t_{12}) : 2$ . Средње месечне температуре тла у дубини од 11 м изнесене су у таб. 3 за сваки месец у периоду 1902—1906, али са две децимале, услед веома незнатне разлике у температурама узастопних месеци. Међутим се пажљивијим посматрањем утврдило да у годишњем току температуре тла у дубини од 11 м постоји велики поремећај између децембра и јануара, што се

види из просечних вредности у последњем реду таб. 3. Наиме, просечна разлика у температури свака два узастопна месеца, почев од јануара до децембра, износи  $\pm 0.026^\circ$ , док је ова између децембра ( $12.77^\circ$ ) и јануара ( $12.86^\circ$ ) чак  $0.09^\circ$ , дакле трипут већа од просечне. То је разлог што се годишњи ток температуре тла у поменутој дубини морао урав-

Таб. 2. Средње месечне температуре ваздуха у 7 часова на земљишту Опсерваторије и просечне вредности 5-огодишњег периода 1902—1906

Tab. 2. Températures mensuelles moyennes de l'air à 7<sup>h</sup> au terrain de l'Observatoire et valeurs moyennes de la période quinquennale 1902—1906

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год. Année	Колѐб. Ampl.
1902	1.3	2.9	3.3	7.9	11.5	17.2	19.1	19.4	14.6	10.0	1.2	-3.4	8.8	22.8
1903	-1.1	1.9	5.5	7.0	14.2	16.6	19.2	17.8	14.4	10.5	5.4	2.5	9.5	20.3
1904	-2.1	3.0	2.9	9.2	13.9	18.5	20.6	18.9	13.3	10.7	1.5	1.0	9.3	22.7
1905	-6.1	-1.9	3.4	7.8	14.8	18.4	20.6	20.4	16.5	5.5	7.9	1.1	9.0	26.7
1906	-2.1	0.2	4.7	9.6	14.9	17.3	19.9	18.1	12.9	8.3	6.4	-0.6	9.1	22.0
Прос. Мой.	-2.0	1.2	4.0	8.3	13.9	17.6	19.9	18.9	14.3	9.0	4.5	0.1	9.1	21.9

Таб. 3. Средње месечне температуре тла у дубини од 11 м на земљишту Опсерваторије и просечне вредности 5-огодишњег периода 1902—1906;  $12.00^\circ +$

Tab. 3. Températures mensuelles moyennes du sol à une profondeur de 11 m. sur le terrain de l'Observatoire et valeurs moyennes de la période quinquennale 1902—1906;  $12.00^\circ +$

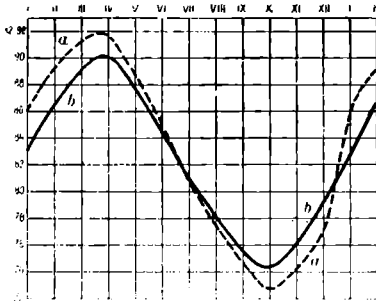
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год. Année	Колѐб. Ampl.
1902	.90	.90	.90	.91	.87	.85	.85	.85	.81	.78	.77	.80	.85	0.14
1903	.87	.89	.90	.90	.86	.85	.80	.80	.79	.73	.75	.78	.83	0.17
1904	.80	.84	.90	.90	.80	.87	.80	.77	.75	.75	.81	.82	.83	0.15
1905	.92	.93	.94	.97	.94	.84	.79	.77	.71	.72	.75	.80	.84	0.26
1906	.82	.90	.92	.90	.87	.85	.86	.70	.70	.65	.65	.66	.78	0.27
Прос. Мой.	.86	.89	.91	.92	.89	.85	.81	.78	.75	.73	.75	.77	.83	0.19

Таб. 4. Опажене и корекцијом исправљене месечне температуре тла у дубини од 11 м на земљишту Опсерваторије ( $12.00^\circ +$ ) према просечним вредностима 5-огодишњег периода 1902—1906.

Tab. 4. Températures mensuelles relevées et corrigées du sol à une profondeur de 11 m. sur le terrain de l'Observatoire ( $12.00^\circ +$ ) d'après les valeurs moyennes de la période quinquennale 1902—1906.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Колѐб. Ampl.
Опажене вредности — Valeurs relevées												0.190
.862	.892	.912	.916	.888	.852	.808	.778	.750	.726	.746	.770	
Корекција — Correction												0.160
-0.30	-0.25	-0.20	-0.15	-0.10	-0.05	.000	.005	.010	.015	.020	.025	
Уравнате вредности — Valeurs corrigées												0.160
.832	.867	.892	.901	.878	.847	.808	.783	.760	.741	.766	.795	

нати. Просечне температуре сваког месеца су, при овом поступку, уписане са три децимале, да би се корекција извела тачније, што је показано у таб. 4. Учињене корекције за поједине месеце уписане су у другом реду ове таблице, док се у трећем реду налазе исправљене одн. уравнате температуре.



Сл. 4. Годишњи ток температуре тла у дубини од 11 м на земљишту Ојсерва-торије по просечним вредностима 5-годишњег периода 1902—1906 (а опажен ток; б уравнат ток).

Fig. 4. Variation annuelle de la température du sol à une profondeur de 11 m. sur le terrain de l'Observatoire d'après les moyennes de la période quinquennale 1902—1906 (a variation relevée; b variation corrigée)

Да то није било учињено, крива би била јако издужена и стрмија од априла до октобра, док би од октобра до априла имала неправилнији сблик, са мањим нагибом од октобра до децембра и од јануара до априла, а знатно окомитијим од децембра до јануара. Све те неправилности показује крива а на слици 4. Напротив је исправљен одн. уравнат годишњи ток температуре тла у дубини од 11 м сасвим правилан, о чему сведочи и крива б на истој слици.

Уравнате средње температуре тла у узастопним месецима периода 1902—1906 г. уписане су у таб. 5., више из научних и теориских разлога, јер су разлике између њих и опажених вредности и сувише незнатне да би могле иоле утицати на температуру бунарске воде.

Таб. 5. Уравнање месечне температуре тла у дубини од 11 м на земљишту Ојсерва-торије и просечне вредности 5-годишњег периода 1902—1906; 12.00° +

Tab. 5. Températures corrigées du sol à une profondeur de 11 m. sur le terrain de l'Observatoire et valeurs moyennes de la période quinquennale 1902—1906; 12.00° +

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год. Année	Колеб. Ampl.
1902	.87	.88	.88	.90	.86	.85	.85	.84	.82	.79	.79	.83	.85	0.11
1903	.84	.86	.88	.89	.85	.84	.80	.81	.80	.75	.77	.80	.83	0.14
1904	.77	.82	.87	.88	.89	.86	.80	.76	.75	.76	.83	.84	.82	0.14
1905	.89	.91	.93	.96	.93	.83	.79	.78	.72	.74	.77	.81	.84	0.24
1906	.79	.87	.90	.88	.86	.85	.80	.73	.71	.67	.67	.69	.79	0.23
Прос. Moy.	.83	.87	.89	.90	.88	.85	.81	.78	.76	.74	.77	.80	.82	0.16

#### 4. Везе између просечне годишње температуре бунарске воде, тла и ваздуха

За температуру подземне воде су од претежног значаја: 1) њено порекло, 2) геолошки састав земљишта и дебљина вододржливог слоја, 3) покривеност огледала, 4) брзина кретања воде, 5) апсолутна висина, и 6) географска ширина (13). Уопште се може рећи да се под-

земна вода, услед спорих кретања, тим више ближи температури околног тла кроз које отиче, што је дужи пут од места постанка до природног или вештачког излаза на земљину површину. С друге стране, што је дубље огледало подземне воде, тим веће је закашњавање у појави месеца са најнижом и највишом температуром, и тим мање је годишње колебање водене температуре. То је утврдио *Фолер (14)* на основу појава код десет бунара у околини Хамбурга на дилувијалним песковима и глинама.

*Рибек (15)* је обратио пажњу још 1775 године да су температуре бунарске воде у Лондону и Единбургу блиске средњој ваздушној температури. То вреди потпуно и за Београд, нарочито ако се употребе средње дневне температуре, а не оне у 7 часова. Ваздушна температура у Београду мерена је сваког часа у периоду 1902—1906 г., па је просечна годишња вредност свих средњих дневних температура  $11.4^{\circ}$ . Ова је, по томе, само за  $0.3^{\circ}$  виша од просечне годишње температуре бунарске воде ( $11.1^{\circ}$ ), као што се види из таб. 1. Али је за ово поређење, стварно, много важнија просечна годишња ваздушна температура Београда у 7 часова, која је — према подацима у таб. 2 — за  $2.0^{\circ}$  нижа од одговарајуће температуре бунарске воде на земљишту Опсерваторије.

Сасвим су другачије везе између просечне годишње температуре бунарске воде и тла у истој дубини. Таб. 5 показује, наиме, да је просечна годишња температура тла у дубини од 11 м  $12.82^{\circ}$ , а према овој је просечна годишња температура бунарске воде око  $1.7^{\circ}$  нижа. Та разлика је, физички, утолико важна, што непосредно указује да је бунарска вода београдске Опсерваторије пореклом од издани са веће апсолутне висине, јер је просечно доста хладнија од слоја земљишта у коме се налази. С друге стране је бунар на земљишту Опсерваторије давао врло добру пијаћу воду, јер по *Принцу и Кампеу (13)* само она подземна вода може послужити као средство освежавања, ако јој је температура између  $7^{\circ}$  и  $12^{\circ}\text{C}$ .

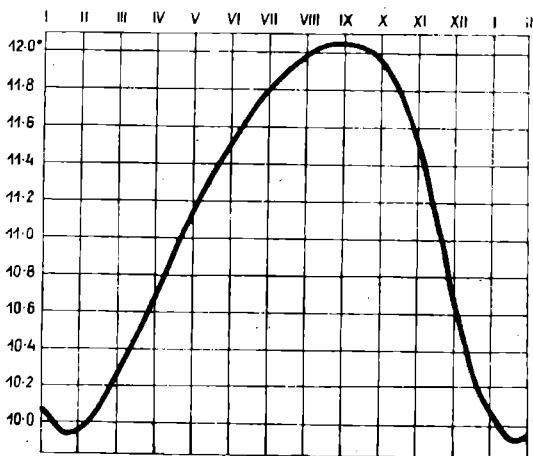
Веома је обележајно што је просечна годишња температура бунарске воде на земљишту Опсерваторије отприлике за  $2^{\circ}$  виша од годишње ваздушне температуре у 7 часова, а за  $1.7^{\circ}$  нижа од годишње температуре тла у дубини од 11 м. То значи, другим речима, да је бунарска вода подједнако упливисана просечним годишњим топлотним стањем ваздуха, с једне, и тла у дубини од 11 м, с друге стране, али ипак нешто више од тла него од ваздуха.

## 5. Промене у температури ваздуха, бунарске воде и тла у току године

Просечне ваздушне температуре у 7 часова уписане су за сваки месец 5-огодишњег периода у последњем реду таб. 2. По њима излази да је годишњи ток ових вредности потпуно правилан, иако почивају само на летогодишњим мерењима. Графички приказ то показује очигледније, односно крива на слици 7 под а има екстремне просечне температуре у раздобљу од шест месеца са најнижом вредношћу од  $-2.0^{\circ}$

у јануару, највишом од  $19.9^\circ$  у јулу, што одговара годишњем колебању од  $21.9^\circ$ . С друге стране су просечне температуре месеца априла ( $8.3^\circ$ ) и нарочито октобра ( $9.0^\circ$ ) најближе годишњој температури од  $9.1^\circ$ .

Крива годишњег тока температура бунарске воде нацртана је на слици 5 и на слици 7 под *b*, помоћу унесених вредности у последњем реду таб. 1. И бројне вредности и графички прикази показују да је годишњи ток температура бунарске воде, с једне стране, прилично несиметричан, а с друге стране да се у њему истичу опште карактеристичне особине водених маса. Фазна времена се, наиме, закашњавају



Сл. 5. Годишњи ток температура бунарске воде на земљишту Ойсервајторије по просечним вредностима 5-огодишњег периода 1902—1906

Fig. 5. Variation annuelle de la température de l'eau de puits sur le terrain de l'Observatoire d'après les valeurs moyennes de la période quinquennale 1902—1906.

према истима у годишњем току ваздушних температура: минимум се јавља у фебруару ( $9.9^\circ$ ), место у јануару, максимум чак у септембру ( $12.0^\circ$ ), место у јулу. Исто је тако просечна температура бунарске воде у месецу мају ( $11.1^\circ$ ) и новембру ( $11.5^\circ$ ) најближа годишњој просечној температури од  $11.1^\circ$ , па и ту настају закашњавања према одговарајућим ваздушним месечним температурама. Најзад је и годишње колебање температура бунарске воде смањено на  $2.1^\circ$ , према истом код ваздушне температуре ( $21.9^\circ$ ), али много више под утицајем околног топлијег тла, него великом специфичном топлотом воде.

Да би се добиле подробније промене у годишњем току температура бунарске воде узети су краћи временски периоди од месеца, тј. декадне или десетодневне просечне температуре. Пошто три прва календарска месеца имају укупно 90 дана, без преступних година, узети су за четврту декаду дани од 31 јануара до 9 фебруара, за седму декаду дани од 2 до 11 марта, а за девету декаду 22 до 31 март. У даљим месецима је поступљено другачије, јер месеци од 30 дана имају по три декаде од 10 дана, док су у месецима са 31 даном урачунати у трећу декаду 11 последњих дана, од 21 до 31 датума. Сем тога је у периоду 1902—1906 само 1904 година била преступна, те је фебруар имао 29 дана, тако да у трећу декаду овог месеца долази 11 дана.

То су разлози што се при одређивању просечних декадних температура поступило тако да је збир температура за трећу декаду фебруара



подељен са 51, збирови температура треће декаде у месецима са 31 даном, почевши од маја до децембра, подељени су са 55, а код свих осталих декада су збирови температура подељени са 50. Те просечне температуре уписане су у таб. 6.

Вредности у таб. 6 показују да најнижа просечна температура бунарске воде од  $9.86^{\circ}$  наступа у четвртој декади, дакле око 5 фебруара, највиша просечна температура од  $12.03^{\circ}$  у првој декади септембра,

Таб. 6. Декадне температуре бунарске воде на земљишту Опсерваторије по просечним вредностима 5-огодишњег периода 1902—1906

Tab. 6. Températures décadaires de l'eau de puits au terrain de l'Observatoire d'après les valeurs moyennes de la période quinquennale 1902—1906.

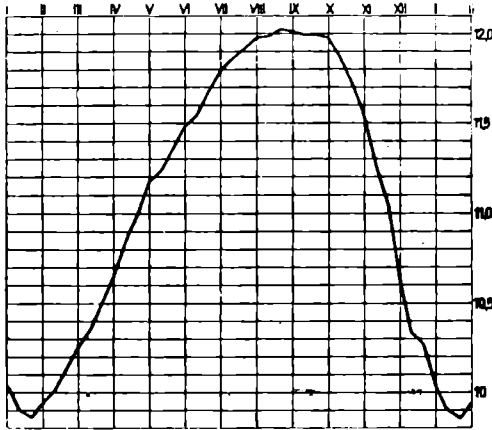
Месец Mois	I			II			III			IV		
Декада Décade	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Прос. Moy.	10.26	10.04	9.90	9.86	9.94	10.01	10.13	10.25	10.35	10.50	10.65	10.85
Месец Mois	V			VI			VII			VIII		
Декада Décade	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Прос. Moy.	11.00	11.18	11.25	11.37	11.49	11.55	11.69	11.80	11.87	11.93	11.98	11.99
Месец Mois	IX			X			XI			XII		
Декада Décade	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Прос. Moy.	12.03	12.02	12.00	12.00	11.98	11.88	11.73	11.55	11.27	11.05	10.63	10.33

тј. око 5 септембра. По томе је годишње колебање температуре код декадних вредности  $2.17^{\circ}$ , дакле за  $0.1^{\circ}$  веће од добивеног годишњег колебања по просечним месечним вредностима.

Сасвим је јасно да графички приказ годишњег тока температура по узастопним просечним декадним вредностима мора бити неправилнији од добивених цртежа помоћу просечних месечних температура, јер је овај временски период око трипут дужи од декадног. То се очигледно види на слици 6, која приказује добивену криву годишњег тока температуре по декадама, ако се упореди са кривом на слици 5. У почетку поглавља 3 је наведено да просечне месечне температуре одговарају средњем датуму дотичног месеца. За месеце са 31 даном то је 16 датум. Зато је код ознака појединих месеца (I, II, III, итд.) на апсциси слике 6 тачком убележена код сваке од тих ознака просечна температура друге декаде, јер је најближа средњим месечним датумима.

При поређењу слике 6 са сликом 5 видеће се на први поглед да крива на првој има знатно неправилнији облик. На слици 6 упада наро-

чито у очи оштар шиљак код прве декаде фебруара, са најнижом просечном температуром, а слаб шиљак се истиче и код прве декаде месеца септембра, тј. декаде са највишом температуром. Иначе има видљивих поремећаја у годишњем току између маја и јула, с једне, а између новембра и јануара, с друге стране.



Сл. 6. Декадне темперашуре бунарске воде на земљишту Ојсервајорије по просечним вредностима 5-годишњег периода 1902—1906 г.

Fig. 6. Températures décadales de l'eau de puits au terrain de l'Observatoire d'après les moyennes de la période quinquennale 1902—1906.

Бунарска вода има најнижу температуру, док је најмања разлика у октобру,  $-0.74^{\circ}$ , тј. у месецу када је температура бунарске воде понајвиша. Карактеристично је да је разлика између температуре бунарске воде и тла у фебруару готово четири пута већа од исте разлике

Таб. 7. Годишњи ток разлика у просечним вредностима 5-годишњег периода темперашуре бунарске воде (b) и тла (c), као и бунарске воде (b) и ваздуха у 7 часова (a) на земљишту Ојсервајорије

Tab. 7. Variation annuelle des différences dans les valeurs moyennes de la période quinquennale pour les températures de l'eau de puits (b) et du sol (c), ainsi que de l'eau de puits (b) et de l'air à 7h (a) au terrain de l'Observatoire.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
b-c	-2.73	-2.97	-2.69	-2.20	-1.78	-1.35	-1.01	-0.78	-0.76	-0.74	-1.27	-2.20
b-a	12.1	8.7	6.2	2.4	-2.8	-6.1	-8.1	-6.9	-2.3	3.0	7.0	10.5

у октобру, јер зимски, знатно хладнији ваздух — са повећаном специфичном тежином — може много више упливисати на површину бунарске воде, него лети, када је ваздушна температура много виша, чак и ујутру у 7 часова, Одиста је температура бунарске воде од де-

Доста сложеније природе су постојеће везе између топлотног стања бунарске воде, тла и ваздуха у току узастопних месеци, што показују и уписане вредности у таб. 1, 2 и 5. Примера ради изведене су за сваки месец разлике у просечној температури бунарске воде и тла, одн. бунарске воде и ваздуха у 7 часова по подацима у наведеним таблицама, а приказане су у таб. 7.

Бунарска вода има, као што се види, у току целе године нижу просечну температуру од тла у истој дубини, али је највећа у фебруару,  $-2.97^{\circ}$ , кад бу-

цембра до априла за преко  $2.0^{\circ}$  нижа од температуре околног тла, док је од августа до октобра за мање од  $1.0^{\circ}$  нижа од температуре тла.

Бунарска вода, напротив, има вишу температуру од ваздуха у хладнијем делу године, од октобра до априла закључно, са максимумом у јануару  $12.1^{\circ}$ , а нижу температуру од ваздуха у топлијем делу године, од маја до септембра, са највећом разликом од  $-8.1^{\circ}$  у јулу. Позитивни максимум у јануару и негативни у јулу проузроковани су годишњим током ваздушне температуре у 7 часова, у коме најнижу просечну температуру има јануар, а највишу месец јул.

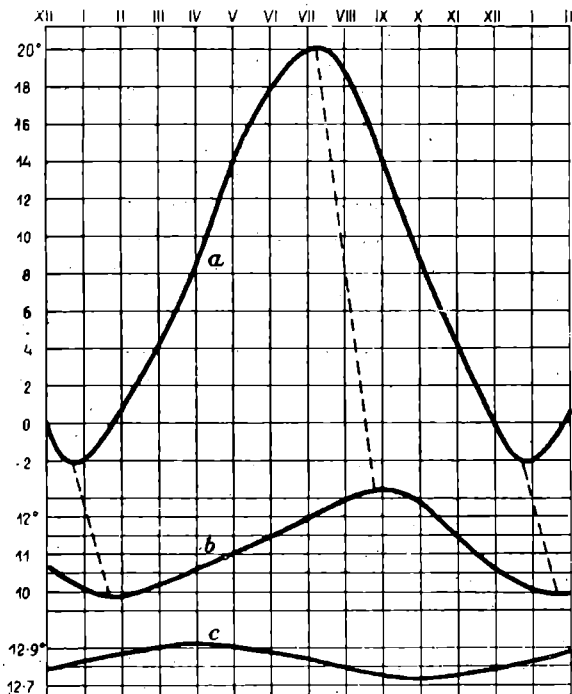
По овим подацима се види да на промене у годишњем току температуре бунарске воде има утицаја и тле, са којим је вода у непосредном додиру, као и ваздух, који се између летава мора неминовно спуштати у већу дубину и додиривати се са површином бунарске воде. По вредностима у таб. 7 излази, међутим, да је температура бунарске воде у свим месецима много ближа температури околног тла у истој дубини него ваздушној температури у 7 часова.

Ваздушни притисак у периоду 1902—1906 г. био је највиши зими, нарочито у јануару, просечно  $755.38$  мм Hg, најнижи у току лета, са минималном просечном вредношћу у јулу од  $748.36$  мм Hg, што одговара колебању од приближно  $7$  мм. То значи да је ваздух, у средњу руку, специфично најтежи у најхладнијем месецу и тада се непосредно таложу над огледалом бунарске воде, и тамо се задржава дуже време. Али ваздух, због своје ниске јануарске температуре од  $-2.0^{\circ}$ , свакако снижава и температуру на површини бунарске воде, ма да у сасвим незнатној мери и са мањим закашњавањем. Показало се шта више да је готово код свих негативних месечних температура ваздуха у таб. 2 владао висок ваздушни притисак са средњом месечном вредношћу од  $753.1$  до  $756.7$  мм Hg. Ваздух је, међутим, у непосредном додиру са огледалом бунарске воде и у летњим данима, јер увек испуњава све постојеће шупљине, и тада сасвим незнатно повишава површинску температуру бунарске воде.

Важна је, наравно, чињеница да ваздух стално упливише на температуру бунарске воде, пошто је стално у додиру са њеном површином; то се огледа и у великој сличности годишњег тока ваздушне температуре у 7 часова и бунарске воде, иако код ове постоји закашњавање фазних времена, као што је наведено раније. Те велике сличности долазе до изражаја на слици 7, на којој су приказане годишње промене у просечним температурама ваздуха у 7 ч. (а), бунарске воде (б) и тла у дубини од 11 м (с).

Праве испрекидане линије на овој слици показују закашњавање фазних времена код криве годишњег тока температуре бунарске воде према истим временима код криве ваздушне температуре. Најнижа вредност у годишњем току ваздушне температуре појави се, стварно, 8 јануара, код температуре бунарске воде 6 фебруара, са закашњавањем од 30 дана; највиша вредност код криве ваздушне температуре настаје 24 јула, код криве температуре бунарске воде тек 12 септембра, што одговара закашњавању од 50 дана. По томе је средње закашњавање фазних времена код температуре бунарске воде према ваздушној температури на земљишту Опсерваторије 40 дана.

И годишња колебања температуре указују да има узајамних веза између бунарске воде, ваздуха и тла. Тако је, по подацима у таблицама 1, 2 и 5, годишње колебање ваздушне температуре у 7 часова  $21.9^\circ$ , бунарске воде  $2.1^\circ$ , дакле је последње око 10.4 пута мање од првог. С друге стране је годишње колебање температуре тла у дубини од 11 м  $0.16^\circ$ , што значи да бунарска вода има 13.1 пута веће годишње колебање температуре од тла у истој дубини. Одговарајући овим разликама



Сл. 7. Годишњи токови температуре ваздуха (a), бунарске воде (b) и тла на дубини од 11 м (c) на земљишту Ойсервајорије по просечним вредностима 5-годишњег периода 1902—1906.

Fig. 7. Variations annuelles de la température: de l'air (a), de l'eau de puits (b), du sol à 11 m. de profondeur (c) au terrain de l'Observatoire d'après les moyennes de la période quinquennale 1902—1906.

у годишњем колебању температура, на слици 7 су на ординати напесене различите температурне скале. Тако, на пример, разлици ваздушне температуре од  $20^\circ$  одговара висина од 50 мм. Али, бунарска вода има отприлике за 10 пута мање годишње колебање од ваздуха, а тле у дубини од 11 м око 100 пута мање од годишњег колебања ваздушне температуре. Тога ради се годишњи токови температуре бунарске воде, и нарочито тла, не би јасније истицали у графичком приказу. Из тог

разлога је за разлику температуре бунарске воде од  $2.0^{\circ}$  узета висинска разлика од 10 мм, место 5 мм што би приближно одговарало стварности, а за разлику код температуре тла од  $0.2^{\circ}$  висинска разлика од 5 мм, место 0.5 мм.

Узрок што бунарска вода има најнижу и највишу просечну месечну температуру доста касније од ваздуха наведен је у почетку овог поглавља. Тле, међутим, у дубини огледала бунарске воде, има највишу просечну месечну температуру у октобру, највишу у априлу, дакле готово супротно од ваздуха, а нарочито од бунарске воде. Та велика разлика је изазвана чињеницом што се топлота у тлу пренаша спорим процесом провођења од земљине површине према дубљим слојевима. Сваки дубљи слој је, услед тога, све слабије загреван дејством сунчевог зрачења, и све слабије хлађен дејством израчивања са површине тла и у току дневног, као и годишњег периода. Наиме, у току дневних часова се један део примљене сунчеве зрачне енергије употреби за загревање површине тла, а остатак је проведен у непосредно дубљи слој. У њему се опет један део употреби на загревање, док је остатак проведен у непосредно дубљи слој, итд. Супротно се дешава у ноћним часовима, јер тада површина тла највише издаје магацинирану топлоту, али се тиме расхлади. Сада почне издавати топлоту непосредно дубљи и нешто топлији слој од површинског, али се тиме и он нешто расхлади, иако мање од земљине површине. У даљем току ноћи све дубљи слој почиње издавати своју топлоту и хладити се.

Истовремено са постепеним загревањем све дубљих слојева тла у дневним часовима и постепеним хлађењем ових у ноћним часовима, фазна времена се према дубини закашњавају, а годишња колебања температуре се нагло смањују, опет због спорог провођења топлоте. Тако је у површинском слоју београдског тла, у дубини од 1 см, најнижа просечна температура од  $0.15^{\circ}$  у јануару, највиша од  $24.99^{\circ}$  у јулу, што одговара годишњем колебању од  $24.84^{\circ}$  (Ia, 155). У дубини од 4 метра најнижа просечна температура од  $10.42^{\circ}$  настаје у априлу, највиша од  $15.13^{\circ}$  у октобру, али је годишње колебање у тој дубини смањено на  $4.71^{\circ}$  (Ia, 171). Још веће промене се дешавају у дубини од 8 м. Ту се најнижа просечна температура од  $12.43^{\circ}$  појави у јуну, највиша од  $13.0^{\circ}$  у јануару, дакле обе око по године касније него у површинском слоју тла, а годишње колебање температуре износи тек  $0.57^{\circ}$  (Ia, 171). Стога се не треба чудити, што најнижа температура тла у дубини од 11 м настаје тек у октобру, највиша у априлу, дакле супротно од услова у дубини од 4 м, и што је годишње колебање температуре смањено чак на  $0.16^{\circ}$ .

На основу раније наведених података о годишњим колебањима температуре ваздуха, бунарске воде и тла долази се до следећег закључка: За колико је пута амплитуда годишњег колебања температуре бунарске воде мања од ваздушне, за толико је пута приближно већа од амплитуде годишњег колебања у температури околног тла.

## 6. Годишњи токови температуре бунарске воде и ваздуха у другим местима

Главни чиниоци који су значајни за топлотно стање подземних вода и његових промена и току године споменути су у два прва одељка поглавља 4. Да би се стварније утврдило како се дешавају те промене узета су још два европска места са вишегодишњим мерењима температура бунарске воде: Хајделберг ( $\varphi = 49^{\circ}22'N$ ) у западном делу Немачке и Монпелие ( $\varphi = 43^{\circ}37'N$ ) у јужном делу Француске.

Волф (16) наводи да је хајделбершка Астрономска опсерваторија подигнута на брегу од 565 м висине, где у пешчару горњег тријаса лежи издански слој од 2 до 4 м дубине. Ту се налази бунар на шмрк, који даје добру пијаћу воду. Уским отвором у дрвеном поклопцу омогућено је да се термометар из нешто веће дубине од 3 м може вадити ради одређена температуре бунарске воде. Тај поклопац, по мишљењу Волфа, спречава јачи утицај ваздушне температуре на бунарску воду. Температура ваздуха и бунарске воде мерена је сваког дана у 14 часова у периоду од 1902 до 1910 године. Просечне температуре ваздуха и бунарске воде изнесене су у таб. 8.

Таб. 8. Годишњи токови температуре ваздуха и бунарске воде у Астрономској опсерваторији Хајделберга по просечним вредностима у периоду 1902—1910.

Tab. 8. Variation annuelle des températures de l'air et de l'eau de puits à l'Observatoire Astronomique de Heidelberg d'après les valeurs moyennes de la période 1902—1910

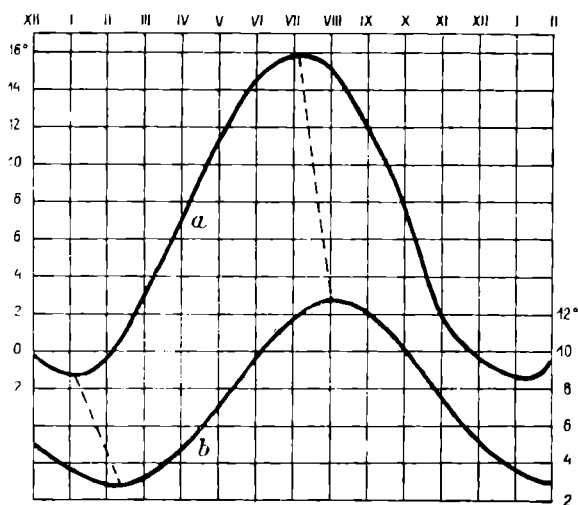
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год. Année	Колеб. Ampl.
Ваздух Air	-1.2	-0.4	2.8	6.3	11.2	14.4	15.7	15.1	12.1	8.2	2.2	-0.2	7.2	16.9
Вода Eau	3.7	3.0	3.3	4.7	6.9	9.7	11.6	12.7	12.0	10.2	7.4	4.9	7.5	9.7

На основу ових података се утврдило да је просечна годишња температура бунарске воде за  $0.3^{\circ}$  виша од ваздушне температуре, а годишње колебање температуре да је за  $7.2^{\circ}$  мање од колебања ваздушне температуре. То значи, другим речима, да је годишње колебање температуре ваздуха за 1.74 пута веће од колебања температуре у бунарској води, док је по подацима Београда годишње колебање ваздушне температуре 10.6 пута веће од истог у бунарској води. Узрок толике разлике је у томе, што је ниво бунарске воде у Београду готово у четири пута већој дубини од нивоа издани на земљишту Астрономске опсерваторије Хајделберга.

Годишњи токови просечних температура ваздуха и бунарске воде на земљишту Астрономске опсерваторије Хајделберга приказани су кривима на слици 8. По овим кривима је утврђено да минимална температура ваздуха настаје у Хајделбергу 22 јануара, а бунарске воде 25 фебруара; максимална температура ваздуха, напротив, појави се 20 јула, а код бунарске воде 20 августа. По томе је закашњавање код минималне температуре бунарске воде према истој код ваздуха 34 дана,

код максималних температура 31 дан, а просечно закашњавање код екстремних температура бунарске воде према ваздуху 32.5 дана. Сасвим другачији су услови у Београду, као што је показано при крају поглавља 5. Тамо је било споменуто да код минималних и максималних температура бунарске воде према истима код ваздуха у 7 ч. постоји средње закашњавање од 40 дана, тј. отприлике за четвртину дуже него у Хајделбергу. То се слаже и са закључцима до којих су дошли *Принц и Камје (13)*, а који су наведени у почетку поглавља 5.

У ранијим излагањима је споменуто да је температура изданске воде на земљишту Астрономске опсерваторије мерена у дубини од 3 м



Сл. 8. Годишњи скокови температуре ваздуха (a) и бунарске воде (b) у Астрономској опсерваторији Хајделберга по просечним вредностима у периоду 1902—1910

Fig. 8. Variation annuelle de la température de l'air (a) et de l'eau de puits (b) à l'Observatoire Astronomique de Heidelberg d'après les moyennes de la période 1902—1910

и да је годишње колебање у температури бунарске воде  $9.7^{\circ}$ . Ако би се претпоставило да у тој дубини владају исти услови код промена у температури тла какви су на земљишту београдске Опсерваторије, тада би — према подацима Београда — годишње колебање температуре тла у дубини од 3 м било  $6.9^{\circ}$  (1a, 171). То би значило да је ово колебање 1.4 пута мање од годишњег колебања бунарске воде у истој дубини земљишта Астрономске опсерваторије ( $9.7^{\circ}$ ). Под таквом претпоставком би бунарска вода у овом месту Немачке имала за 1.74 пута мање годишње колебање температуре од ваздуха, а за 1.4 пута веће од годишњег колебања у температури тла. Постојали би, дакле, слични услови као и код нас у Београду, али са другачијим вредностима.

*Марџен* (12) је приказао годишње токове температуре ваздуха и бунарске воде у Ботаничкој башти Монпелиса. Термометри за мерење ваздушне температуре постављени су овде на апсолутној висини од 29 м, а за бунарску воду у дубини од 11.7 метара. Средње месечне температуре ваздуха изведене су из средњих дневних екстрема, помоћу минималног и максималног термометра, али су побољшане разним корекцијама. Сем тога су за ваздушне температуре узете 26-огодишње просечне вредности у периоду 1852—1877, а за температуре бунарске воде 7-огодишње просечне вредности у периоду 1870—1876. Просечне месечне температуре ваздуха и бунарске воде изнесене су у таб. 9, а графички су годишњи токови температура ваздуха и бунарске воде приказани на слици 9.

Таб. 9. Годишњи токови температуре ваздуха и бунарске воде у Ботаничкој башти Монпелиса по просечним вредностима у периоду 1852—1877 одн. 1870—1876.

Tab. 9. Variation annuelle des températures de l'air et de l'eau de puits au Jardin des Plantes de Montpellier d'après les valeurs moyennes de la période 1852—1877 et 1870—1876.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год. Аппеé	Колеб. Ампл.
Ваздух Air	4.9	5.9	8.8	13.1	16.7	20.3	23.0	22.0	18.8	14.1	8.5	5.0	13.4	18.1
Вода Eau	11.5	11.2	11.4	11.8	12.2	12.8	13.7	14.0	14.0	13.8	13.5	12.8	12.7	2.8

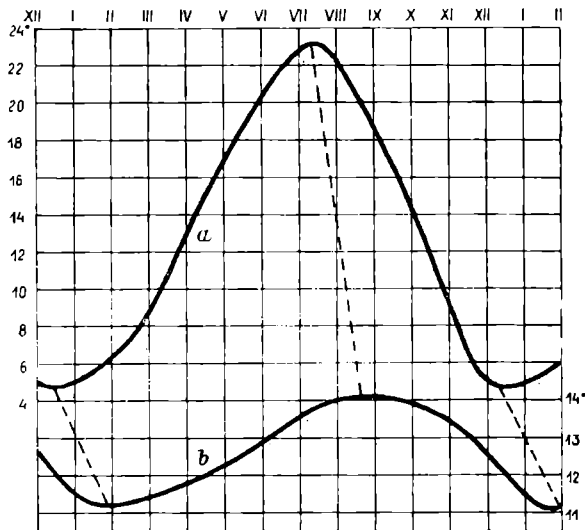
Не узимајући у обзир неједнаке периоде код ваздушних температура и код температура бунарске воде на земљишту Ботаничке баште могу се чинити потребна поређења са прилично сигурности. По нумеричким подацима у таб. 9 може се закључити да је просечна годишња температура бунарске воде у Монпелиеу за 0.7° нижа од исте температуре ваздуха, а то Мартен приписује утицају падавина. С друге је стране, према уписаном годишњем колебању температуре ваздуха и бунарске воде у таб. 9, прорачунато да ваздух има око 6.5 пута веће годишње колебање од бунарске воде. Исто се тако помоћу облика кривих на слици 9 могло одредити да се најнижа температура ваздуха појави 30 децембра, бунарске воде 12 фебруара, док се код највиших температура то догоди код ваздуха 22 јула, а код бунарске воде 2 септембра. Другим речима, минимална температура бунарске воде закашњава за 44 дана иза исте температуре ваздуха, али је код максималне температуре ово закашњавање нешто краће, тј. 42 дана. Просечно закашњавање екстремних температура бунарске воде је, по томе, 43 дана иза екстремних вредности ваздушне температуре у Монпелиеу.

Да би се извело поређење са приликама на земљишту београдске Опсерваторије мора се претходно истаћи да је Монпелие за 1°11' на нижој географској ширини од Београда и, што је још много важније, тек десетак километара далеко од обале Средоземног Мора, од које је одвојено низом лагуна. То су разлози што Монпелие има за 3.8° мање годишње колебање ваздушне температуре од Београда. Услед тога је и раније наведено годишње колебање температуре ваздуха у Монпелиеу



само за 6.5 пута веће од истог код бунарске воде. Тај квоцијент је, дакле, готово за половину мањи од одговарајућег квоцијента у Београду. Иначе је просечно закашњавање екстремних температура бунарске воде иза истих вредности ваздуха нешто веће него у Београду, 43 према 40 дана, са једином разликом што је у Монпелиеу веће закашњавање код минималних, а у Београду знатно веће код максималних вредности температура бунарске воде и ваздуха.

На крају се мора ипак споменути да неједнакости у периодима температура ваздуха и бунарске воде долазе прилично до изражаја.



Сл. 9. Годишњи шокови температуре ваздуха (a) и бунарске воде (b) у Ботаничкој башњи Монпелиеа по просечним вредностима у периоду 1852—1877 одн. 1870—1876

Fig. 9. Variation annuelle de la température de l'air (a) et de l'eau de puits (b) au Jardin des Plantes de Montpellier d'après les valeurs moyennes de la période 1852—1877 et 1870—1876

Наиме, ниво бунарске воде у Монпелиеу је у нешто већој дубини од београдског, а ипак је годишње колебање температуре у првом месту прилично веће него у другом месту, што се не слаже са резултатима Фолера (14). Ту се, дакле, истиче утицај 7-огодишњег периода код температуре бунарске воде, јер да је и ту било података из истог периода од 26 година као код ваздушних температура, амплитуда годишњег колебања код температуре бунарске воде била би свакако мања. У поређењу са београдским условима, она би требала да је нешто мања од 1.7°; тада би ваздух над земљиштем Ботаничке баште у Монпелиеу имао око 9.5 пута веће годишње колебање од бунарске воде, што би више одговарало маритимном положају овог места.

## 7. Узастопне промене у месечним температурама ваздуха и бунарске воде на земљишту београдске Опсерваторије

Поређење просечних вредности у последњем реду таб. 1 и 2 показује да најнижа и највиша температура бунарске воде у Београду настаје један месец одн. два месеца касније од најниже и највише ваздушне температуре у 7 часова. Али се то закашњавање прилично правилно дешава у току свих пет година према уписаним подацима у таб. 1 и 2, што се много јасније види из графичког приказа на слици 10. Тај цртеж показује уједно како се, углавном, мањи или већи поремећаји у годишњим токовима ваздушне температуре испољавају, у истом смислу, и код промена у температури бунарске воде, али опет врло ублажено. То несумњиво сведочи да месечне промене у ваздушној температури упливишу у великој мери и на промене код месечних температура бунарске воде.

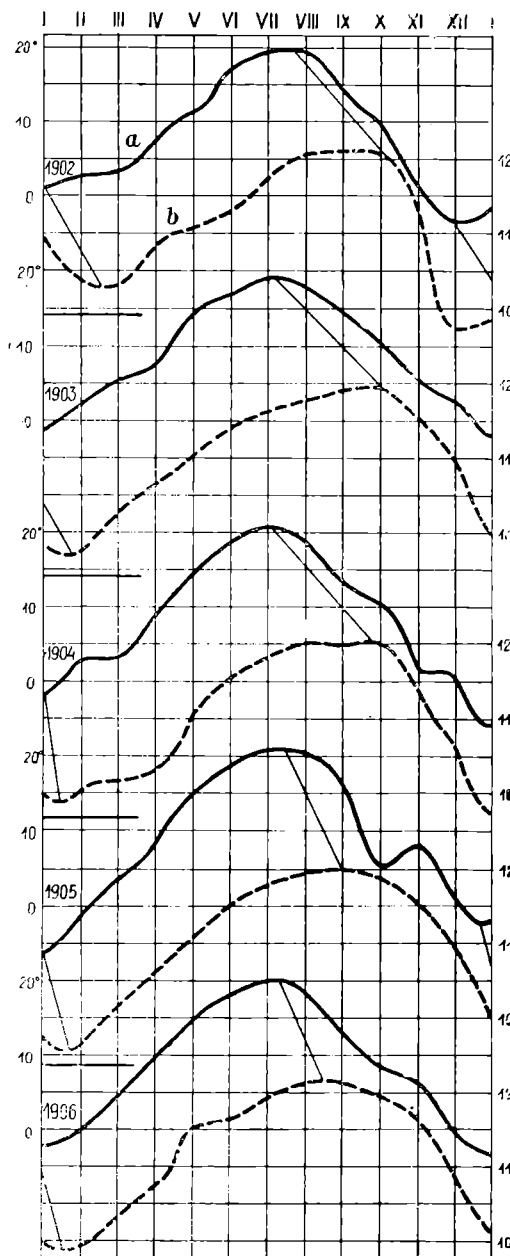
Споменуто је било у поглављу 5 да је годишње колебање ваздушних температура у 7 часова 10.6 пута веће од истог колебања код бунарске воде. То је разлог што на слици 10, код температурних скала на ординати, одговара отстојању од 20 мм код ваздушних температура разлика од 20°, док истом отстојању код температуре бунарске воде одговара разлика од 2°, која је десет пута већа од прве. Поред тога се мора споменути да се скала ваздушне температуре налази на левом крају, а за температуре бунарске воде на десном крају дијаграма.

Вреди нарочито истаћи да су најниже температуре бунарске воде у децембру 1902, јануару и фебруару 1905 г., које су уписане у таб. 1, проузроковане веома ниским ваздушним температурама у истим месецима истих година, као што се види из таб. 2. Иначе се поремећаји у годишњим токовима ваздушних температура показују и код температура бунарске воде, али са прилично великим закашњењима у 1902, 1903 и 1904 г., а много слабије нарочито у другој половини 1905 године. Веома знатан поремећај код годишњег тока ваздушне температуре у октобру 1905 г., тј. знатно снижавање, проузрокован је изванредно великим кишама од 204 мм, али није обележен у кривој температури бунарске воде.

Праве линије између учртаних кривих везују времена појаве најнижих и највиших температура ваздуха и бунарске воде, и у свакој години су косе, нагнуте према каснијим месецима, услед закашњавања фазних времена код температура бунарске воде у односу према ваздушним температурама.

Исто су толико важне и разлике између средњих температура тла и бунарске воде у узастопним месецима целог 5-огодишњег периода. Те разлике изнесене су у таб. 10, према подацима у таб. 5 и таб. 1.

По вредностима у овој табlici излази да се разлике у температури тла и бунарске воде на земљишту Опсерваторије јављају у врло широким границама од 3.31° у фебруару 1905 до 0.61° у септембру 1906 године. Све веће разлике од 2.85°, које су ограничене на зимске месеце од децембра до фебруара, проузроковане су ниским температурама бунарске воде, нижима од 9.9°, а под утицајем знатно нижих месечних ваздушних температура. Мање разлике од 1.0°, које настају од јула до новембра,



Сл. 10. Годишњи токови средњих месечних температуре ваздуха у 7ч (пуна линија) и бунарске воде (испрекидана линија) на земљишту Опсерваторије у периоду 1902-1906.

Fig. 10. Variation annuelle des températures mensuelles moyennes de l'air à 7h (ligne pleine) et de l'eau de puits (pointillés) au terrain de l'Observatoire pendant la période 1902-1906.

Таб. 10. Разлике између средњих *температура тла* у дубини од 11 м и бунарске воде на *земљишту београдске* *Обсерваторије* у истим месецима *периода* 1902—1906.  
 Tab. 10. *Différences entre les températures moyennes du sol à une profondeur de 11 m et de l'eau de puits au terrain de l'Observatoire de Belgrade pendant les mêmes mois de la période* 1902—1906

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1902	1.97	2.48	2.58	2.03	1.76	1.55	1.05	0.84	0.72	0.69	1.49	3.13
1903	3.04	3.16	2.58	2.29	1.85	1.44	1.20	1.01	0.90	0.85	1.27	1.80
1904	2.87	2.82	2.77	2.38	1.79	1.36	1.00	0.76	0.75	0.76	1.43	2.24
1905	3.09	3.31	2.83	2.36	1.93	1.33	0.99	0.88	0.72	0.94	1.17	1.91
1906	2.79	2.97	2.50	2.18	1.36	1.25	0.90	0.63	0.61	0.67	0.97	1.79

последница су месеца са најтоплијом бунарском водом, од 11.7° до 12.1°. Узроци таквог понашања објашњени су раније, у поглављу 5, где су поређиване разлике у просечним месечним температурама бунарске воде и тла у дубини од 11 метара.

### 8. Прорачунавање годишњих токова температуре бунарске воде, ваздуха и тла у дубини од 11 м помоћу хармоничне анализе

Криве на сликама 4 (b) и 7 (a и c) имају правилне облике, дакле за температуре ваздуха и тла, са изразитим минимумом и максимумом у раздобљу око шест месеца тако да претстављају периодске промене. Тога ради се периодски ток појединих елемената може изразити математички, тригонометрским полиномима, односно збиром неколико належућих синусних таласа или — по енглеском — хармоничном анализом.

За аналитички израз годишњег тока температуре употребљен је облик тригонометрског полинома

$$Y = a_0 + a_1 \sin(A_1 + x) + a_2 \sin(A_2 + 2x) + \dots + a_6 \sin(A_6 + 6x).$$

У њему је  $a_0$  аритметичка средина неког елемента посматрања, у овом случају температуре,  $a_1 \dots a_6$  су амплитуде, тј. половине колебања код належућих таласа,  $A_1 \dots A_6$  су фазни углови, који се рачунају од почетка године, дакле од 1 јануара. Симбол  $x$  означаје времени угао са разликом од по 30° за сваки каснији месец; он има ове вредности за периодски годишњи ток:

$$x = 30^\circ, 2x = 60^\circ, \dots 6x = 180^\circ, \text{ итд.}$$

За прорачунавање су узети првих шест чланова Фуријеових редова — услед несиметричног облика криве за бунарску воду, што показују слике 5 и 7(b). — Помоћу њих су добијене ове једначине:

температура ваздуха у 7 часова

$$Y_a = 9.14 + 10.37 \sin(268.49^\circ + x) + 0.395 \sin(29.17^\circ + 2x) + \\ + 0.363 \sin(281.92^\circ + 3x) + 0.501 \sin(315.32^\circ + 4x) + \\ + 0.216 \sin(272.37^\circ + 5x) + 0.055 \sin(270^\circ + 6x);$$

температура бунарске воде

$$Y_e = 11.12 + 1.028 \sin(232.58^\circ + x) + 0.219 \sin(247.17^\circ + 2x) + \\ + 0.052 \sin(292.28^\circ + 3x) + 0.032 \sin(7.62^\circ + 4x) + \\ + 0.019 \sin(112.23^\circ + 5x) + 0.012 \sin(270^\circ + 6x);$$

температура тла у дубини од 11 м

$$Y_s = 12.825 + 0.0732 \sin(8.15^\circ + x) + 0.0020 \sin(282.62^\circ + 2x) + \\ + 0.0044 \sin(169.15^\circ + 3x) + 0.0032 \sin(256.17^\circ + 4x) + \\ + 0.0027 \sin(6.03^\circ + 5x) + 0.0001 \sin(270^\circ + 6x).$$

По вредностима у овим једначинама може се закључити да код амплитуда истих чланова Фуријеових редова постоји правилност једино у томе, што су код ваздушних температура просечно за 8.4 пута веће него код температура бунарске воде, а код бунарске воде просечно за 29.0 пута веће од амплитуда код температуре тла. Код фазних углова не може бити правилности, јер су криве код годишњих токова температуре ваздуха, бунарске воде и тла различитог облика, а — што је још важније — таласне долине и брежуљци настају код њих у различита времена, као што то показује слика 7.

Даљи задатак је да се за сваку од горњих једначина прорачунају константе углова код сваког члана Фуријеових редова, помоћу којих се одређује температура сваког месеца. Поступак за то налази се у разним уџбеницима (17). Када су за одређену једначину прорачунате све потребне вредности код свих чланова Фуријеових редова, може се нацртати крива помоћу добивених месечних температура. При томе се утврдило да тако добивене криве за ваздух, бунарску воду и тле имају исти облик какав је приказан на сликама 4(b), 5 и 7(a—c) помоћу одговарајућих месечних температура у таб. 1, 2 и 5.

Време у које се појави максимална вредност належућих таласа код хармоничне анализе прорачунава се једначином (18):

$$ix = 450^\circ - A = 90^\circ - A,$$

у којој је  $i$  број члана Фуријеових редова,  $x$  времену угао. Ако се за пример узме 12-омесечни талас, тј. годишњи период, јасно је да углу од  $360^\circ$  одговара просечно трајање године од 365.25 дана. Другим речима, да би се одређени угао, у степенима, изразио одговарајућим даном године, мора се добивен угао помножити са 1.0146 ( $=365.25^d:360^\circ$ ). Поред тога, не сме се заборавити да се средња температура првог календарског месеца, јануара, односи на његов 16 датум, услед чега се прорачунатом углу мора још додати  $15.76^\circ$ . На пример, нека је код једначине за температуру тла у дубини од 11 м узет први члан Фуријеових редова. По томе је  $i=1$ , а фазни угао  $A_1=8.15^\circ$ . На основу тога је  $x=(90^\circ-8.15^\circ):1=81.85^\circ$ . Али томе углу треба још додати  $15.76^\circ$ , по чему је повећан на  $97.61^\circ$ . Ако се ова вредност помножи са 1.0146 добиће се, као резултат, 99, а то је редни дан године, коме одговара 9 април. Ако се хоће да одреде датуми максималне температуре код ваздуха и бунарске воде за фазни угао  $A_1$ , употребиће се прва од горњих једначина,  $ix = 450^\circ - A$ .

Према горњим једначинама су датуми максималне температуре за фазне углове  $A_1$  наведени у таб. 11.

Таб. 11. Време у које настјане максимална температура за фазни угао  $A_1$   
 Tab. 11. *Epoque des températures maximas pour l'angle de la phase  $A_1$*

	Угао Angle	Годишњи дан Jour de l'année	Датум Date
Ваздух — Air	197.27°	200	19-VII
Бунарска вода — Eau de puits	233.18°	237	25-VIII
Тле — Sol	97.61°	99	9-IV

Да би се добило време настанка минималне температуре треба прорачунатом углу за максималну температуру додати још 180°. Те вредности приказане су у таб. 12.

Таб. 12. Време у које настјане минимална температура за фазни угао  $A_1$   
 Tab. 12. *Epoque des températures minimas pour l'angle de la phase  $A_1$*

	Угао Angle	Годишњи дан Jour de l'année	Датум Date
Ваздух — Air	17.27°	18	18-I
Бунарска вода — Eau de puits	53.18°	54	23-II
Тле — Sol	277.61°	282	9-X

Из две последње таблице се види да се максималне температуре јављају шест месеца после минималних температура, и обратно. Наравно, ти теориски одређени датуми максималних и минималних температура не слажу се потпуно са стварним приликама, јер је напред било наглашено да је за пример узет фазни угао код првог члана Фуријеових редова. Ипак се датуми максималних и минималних температура у току године доста добро слажу и са кривима годишњих токова температуре ваздуха и тла, и то са разликом од 5 до 10 дана, али се код бунарске воде минимална температура појави 17 дана касније, а максимална температура 18 дана раније према њиховом одређењу на кривој.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. а) Вујевић, Д-р П.: Температуре тла у Београду (Глас Српске краљ. академије наука LXXIX. Први разред 32. Београд 1909; 95—177);  
 б) Вујевић, П.: Über die Bodentemperaturen in Belgrad (Meteorologische Zeitschrift 1911; 289—301).
2. Вујевић, П.: Die Temperaturverhältnisse der untersten Luftschichten (Sitzungsber. d. Kaiserl. Akad. d. Wissenschaften in Wien. Mathem.-naturw. Kl. Bd. CXVIII. Abt. IIa. Wien 1909; 971—1018).
3. Вујевић, П.: Die Temperaturen verschiedenartiger Oberflächen (Meteorologische Zeitschrift 1912; 570—576).

4. *Vujević, P.*: Über die Beschaffenheit der täglichen Temperaturkurve (Sitzungsber. d. Kaiserl. Akad. d. Wissenschaften in Wien. Mathem.-naturw. Kl. Bd. CXXXIII. Abt. IIa. Wien 1914; 2253—2287).
5. *Михаиловић, Јеленко*: Термометри у дубини — пресек земљишта. Ова карта се налази у архиви садашњег Завода за метеорологију и хидрологију НРС.
6. *Луковић, Милан Т.*: Подземне воде Београда (Наука и техника. Год. II., број 4. Београд 1946; 286—296).
7. Геолошка карта околине Београда израђена у Геолошком заводу Универзитета у Београду под редакцијом *В. Д. Ласкарева, В. К. Пејковића и М. Т. Луковића* у размеру 1 : 25.000 (Издање Геолошког института Краљ. Југославије 1931).
8. План града Београда. Размера 1 : 1.000, отстојање изохипса 2 м (Издало Картографско одељење Општине београдске за своје потребе. 1921).
9. *Дробњаковић, Д-р Ђорђевић М.*: Смедеревско Подунавље и Јасеница (Насеља и порекло становништва. Књига 19. Београд 1925; 201).
10. *Kämtz, Ludwig Friedrich*: Lehrbuch der Meteorologie. Zweiter Band. Gebauersche Buchhandlung, Halle 1832; 186—197).
11. *Hallmann, Dr. E.*: Die Temperaturverhältnisse der Quellen. Eine meteorologische Untersuchung. (Verlag Georg Reimer, Berlin. Erster Band 1854; XX+543. Zweiter Band 1855; XXXVI+486).
12. *Martens, Ch.*: Température de l'air, de la terre et de l'eau au jardin des plantes de Montpellier d'après vingt-six années d'observations 1852—77 (Académie des Sciences et Lettres de Montpellier. Mém. de la Sec. des Sciences. Tome IX. Années 1877/78. Montpellier 1879).
13. *Prinz, E.*: und *Kampe, Dr. Ing. R.*: Handbuch der Hydrologie. Zweiter Band. Julius Springer, Berlin 1934; 240.
14. *Voller, A.*: Das Grundwasser in Hamburg, mit Berücksichtigung der Luftfeuchtigkeit, der Niederschlagsmengen und der Flusswasserstände, der Luft- und Wassertemperatur, sowie der Bodenbeschaffenheit (Beiheft zum Jahrbuche der Hamburgischen wissenschaftlichen Anstalten X. 1. Heft. 1892. Hamburg 1893).
15. *Reebuck* (Philos. Transactions for 1775. Vol. LXV. London; 461)
16. *Wolf, Max*: Pegelstand und Temperatur des Grundwassers auf dem Königstuhl (Meteorologische Zeitschrift 1914; 27—29).
17. *Вујевић, Д-р Павле*: Климатолошка статистика (Научна књига. Београд 1956; 70—73)
18. *Conrad, V. and Pollak, L. W.*: Methods in Climatology. Second Edition (Harvard University Press Cambridge, Massachusetts 1950: 132).

## R é s u m é

*P. Vujević*

LES TEMPERATURES DE L'EAU DE PUIITS SUR LE TERRAIN  
DE L'ANCIEN OBSERVATOIRE DE LA HAUTE ECOLE  
A BELGRADE

Tous les résultats exposés dans ce travail sont fondés sur les mesures faites à l'Observatoire de Belgrade pendant la période 1902—1906. Cette période quinquennale a été choisie pour deux raisons: en premier lieu, cette même période avait été choisie pour étudier les températures du sol à Belgrade (1), ce qui nous permet une comparaison directe entre la température de l'eau de puits et celle du sol pendant les mêmes mois de quelques années consécutives; la seconde raison, plus importante encore, est que toutes les

mesures faites pendant cette période de cinq ans l'ont été avec une grande attention, tandis que par la suite on trouvera d'assez grandes incertitudes pour ce qui est de la température de l'eau de puits.

D'après la carte de *J. Mihailović* (5), le niveau de l'eau de puits se trouve à une profondeur près de 11 m. Les couches profondes du sol, à partir de 9,5 m. environ, sont relativement homogènes, comme le laisse voir la figure 1. On y trouve comme dominante des argiles grises et bleuâtres pressées, parfois sablonneuses et, vers le fond, gravelleuses, tandis qu'à une profondeur de 24 m. on rencontre du calcaire solide.

*M. Luković* distingue (6) dans son travail sur les eaux souterraines de Belgrade trois blocs fondamentaux de compositions très diverses; son Bloc II, d'origine tertiaire, comprend une grande partie des terrains de Belgrade et va vers l'Est d'une ligne allant à peu près du pont de chemin de fer à Banjica. Autour de l'embouchure du ruisseau Mokroluški Potok se trouve, immédiatement par-dessus des calcaires créacés, un étage sarmatique (miocène supérieur) se prolongeant sous tout le terrain de l'Observatoire et même bien plus loin vers l'Est. D'après les renseignements donnés par Luković sur les sondages faits à la Brasserie Vajfert et sur la profondeur des eaux souterraines là et près de la Distillerie „Zvezda“, on a pu tracer une coupe transversale allant de l'Observatoire à cette distillerie (fig. 2) en s'aidant du plan de Belgrade à isohypses de 2 m. (8). La figure laisse voir assez clairement les différences existant entre les niveaux des eaux souterraines et les profondeurs approximatives des calcaires à ces deux endroits. L'altitude du terrain de l'Observatoire, près du puits (131,6 m.), est désignée par *A* et celle du terrain au puits de la Distillerie „Zvezda“ (88 m.) par *B*. Mais sur la figure 2 nous voyons aussi comme le niveau de l'eau du puits près de la distillerie (*B*<sub>1</sub>) se trouve à une profondeur environ double de celle relevée à l'Observatoire (*A*<sub>1</sub>), et comme, vraisemblablement, la profondeur du calcaire près de la distillerie (*B*<sub>2</sub>) est plus du double de celle relevée à l'Observatoire (*A*<sub>2</sub>).

La forme du puits est représentée sur la fig. 3. Comme ce puits est entouré de lattes sur ses quatre côtés, il est clair que la partie supérieure de l'eau de puits est toujours en contact avec l'air, tout comme, à plus de 11 m. de profondeur, elle est en contact avec les sols ambiants. Aussi est-il compréhensible que ces deux éléments différents aient eu une influence sur la température de l'eau de puits.

Cette température de l'eau du puits a été mesurée, à l'Observatoire, chaque matin à 7h. Les températures mensuelles moyennes de cette eau, pour chaque mois de la période 1902—1906, figurent sur le tab. 1. A titre de comparaison, les températures mensuelles moyennes de l'air à 7h sont exposées dans le tab. 2. Pour pouvoir comparer les températures de l'eau de puits avec celles du sol à une profondeur de 11 m., il a fallu d'abord déterminer les températures mensuelles moyennes aux profondeurs de 10 m. (*t*<sub>10</sub>) et de 12 m. (*t*<sub>12</sub>), car, aux profondeurs supérieures à 6 m. les températures sont relevées tous les deux mètres, et, ensuite, calculer la température moyenne selon la formule  $(t_{10} + t_{12}) : 2$ . Les températures moyennes du sol à une profondeur de 11 m. figurent dans le tab. 3 pour chaque mois de la période 1902—1906.



Cependant, par des observations attentives, on a pu établir qu'à une profondeur de 11 m. la température du sol connaît une grande différence entre décembre et janvier, comme le laissent voir les valeurs moyennes de cette période quinquennale indiquées dans la dernière ligne du tab. 3. En effet, la différence moyenne de ces températures d'un mois à l'autre, en allant de janvier à décembre, est de  $\pm 0,026^\circ$ , tandis qu'entre décembre et janvier elle va jusqu'à  $0,09^\circ$ , soit plus de trois fois la différence moyenne. Aussi les variations annuelles de la température du sol à cette profondeur ont-elles dûes être corrigées. Pour que ces corrections soient faites le plus précisément possible, les températures de chaque mois ont été indiquées avec trois décimales, comme dans le tab. 4. Les grandes différences entre les températures relevées et les températures corrigées du sol à une profondeur de 11 m. se voient clairement dans la fig. 4.

Les températures moyennes corrigées du sol pendant les mois consécutifs de la période 1902—1906 figurent dans le tab. 5, où elles ont été présentées pour des raisons plutôt scientifiques et théoriques, car les différences qu'elles laissent voir entre elles sont trop minimales pour pouvoir avoir quelque influence sur la température de l'eau du puits.

Les données des tab. 1 et 5 montrent que l'eau de puits du terrain de l'Observatoire a une température annuelle en moyenne inférieure de  $1,7^\circ$  à la température du sol à la même profondeur. Cette différence est importante du point de vue physique, car elle laisse entendre que l'eau de puits en question, par suite de sa température relativement plus basse, doit son origine à une nappe d'eau d'une altitude absolue sensiblement plus élevée.

Les chiffres de la dernière ligne du tab. 2 laissent voir que la variation annuelle de la température de l'air à 7h est tout à fait régulière, ce qui apparaît encore plus évident dans la représentation graphique de la fig. 7, sous a. La variation annuelle de la température de l'eau de puits, au contraire, est asymétrique (fig. 5), mais on y voit aussi, outre cela, les caractéristiques particulières aux masses d'eau. Notamment, les époques des valeurs les plus hautes et des valeurs les plus basses apparaissent avec un certain retard sur les moments correspondants de la variation annuelle de la température de l'air: le minimum apparaît, ainsi, en février ( $9,9^\circ$ ), au lieu de janvier, et le maximum seulement en septembre ( $12,0^\circ$ ), au lieu de juillet. Par ailleurs, l'amplitude de la variation annuelle des températures de l'eau de puits est réduit à  $2,1^\circ$ , alors que pour celle de l'air, elle est de  $21,9^\circ$ , mais ceci est dû bien plus à l'influence du sol qu'à la grand chaleur spécifique de l'eau.

Pour pouvoir constater avec plus de détails les changements dans la variation annuelle des températures de l'eau du puits, on a calculé les températures décadaires d'après les valeurs moyennes de cette période quinquennale de 1902—1906. Elles figurent dans le tab. 6 et sont représentées graphiquement dans la fig. 6. En comparant cette figure avec la fig. 5, on voit avant tout que la première a une forme irrégulière. La courbe de la fig. 6 indique une pointe prononcée pour la première décade de février, avec la température moyenne la plus basse, et une autre, moins nette, pour la première décade de septembre, avec la plus forte température moyenne;

en outre, on y distingue des irrégularités sensibles au cours de l'année, entre mai et juin, d'une part, et entre novembre et janvier, de l'autre.

Les relations existant entre les températures de l'eau de puits, du sol et de l'air sont de nature plus complexes, comme le montrent les valeurs indiquées dans les tab. 1, 2 et 5. A titre d'exemple, on a donné, dans le tab. 7, pour chaque mois, les différences des valeurs moyennes de la période 1902—1906, existant entre les températures de l'eau de puits et le sol, et entre celles de l'eau de puits et de l'air à 7h. Les différences indiquées ainsi laissent voir que tout au long de l'année, l'eau de puits garde une température moyenne inférieure à celle du sol à la même profondeur, et qu'elle est la plus grande en février ( $-2.97^{\circ}$ ), alors que l'eau de puits est la plus froide, et qu'elle est la plus faible en octobre ( $-0.74^{\circ}$ ), époque où la température de l'eau de puits est près à son maximum.

Par contre, l'eau de puits a une température plus élevée que celle de l'air à 7h pendant la partie plus froide de l'année, avec un écart maximum en janvier ( $+12.1^{\circ}$ ), et elle est inférieure pendant la partie plus chaude de l'année, avec un écart maximum en juillet ( $-8.1^{\circ}$ ). Ces maxima, positif en janvier, négatif en juillet, sont dûs aux variations annuelles de la température de l'air à 7h, qui connaissent leur valeurs moyennes les plus faibles en janvier, et les plus fortes en juillet.

Ces remarques permettent de conclure que les changements dans la variation annuelle de la température de l'eau de puits sont également sous l'influence du sol avec lequel l'eau est en contact direct, en même temps que de l'air qui, à travers les lattes doit constamment descendre jusqu'au niveau de l'eau. Mais les données du tab. 7 laissent voir que la température de l'eau de puits reste, tout au long de l'année, bien plus proche de celle du sol à la même profondeur, que de celle de l'air à 7h

Important, cependant, est le fait que l'air garde une influence constante sur la température de l'eau de puits, avec laquelle il est en contact permanent, ce qui se voit dans la grande similitude existant entre la variation annuelle des températures de l'air et de celle des températures de l'eau de puits, même s'il se reflète, chez ces dernières, un certain retard pour les valeurs extrêmes. Cette grande correspondance se voit le mieux dans la fig. 7 où on a indiqué la variation annuelle moyenne de la période quinquennale de 1902—1906 en ce qui concerne la température de l'air à 7h (*a*), de l'eau de puits (*b*) et du sol à une profondeur de 11m. (*c*). La valeur la plus basse dans la variation annuelle de la température de l'air apparaît, en fait, le 8 janvier, alors que chez l'eau de puits elle apparaît le 6 février, soit avec un retard de 30 jours, tandis que la valeur la plus forte, on l'a, pour l'air, le 24 juillet et, pour l'eau de puits, seulement le 12 septembre, soit donc un décalage de 50 jours.

Les relations réciproques entre l'eau de puits, l'air et le sol apparaissent encore dans les amplitudes de la variation annuelle de leurs températures. C'est ainsi que, d'après les données des tab. 1, 2 et 5, l'amplitude de la variation annuelle de la température est, pour l'air à 7h  $21.9^{\circ}$ , pour l'eau de puits de  $2.1^{\circ}$ , soit donc environ 10.4 fois inférieure. Pour le sol à 11 m. de profondeur, cet écart est de  $0.16^{\circ}$ , autrement dit, l'eau de puits connaît une amplitude de la variation annuelle de température supérieur de près de 13.1 fois à celle du sol à la même profondeur. Aussi peut-on conclure

de ceci que l'amplitude de la variation annuelle des températures de l'eau de puits est, à peu de chose près, pour autant inférieure à celle correspondante de l'air, qu'elle est supérieure à celle du sol.

Les raisons pour lesquelles l'eau de puits connaît ses températures mensuelles moyennes les plus fortes et les plus basses avec un retard d'environ de 40 jours sur celles de l'air ont déjà été exposées. Le sol, cependant, à une profondeur de 11 m., connaît sa température mensuelle moyenne la plus basse en octobre, la plus élevée en avril, soit à l'inverse presque de l'air, et en particulier de l'eau de puits. Cette grande différence est due au fait, que dans le sol, la chaleur se transmet selon le processus lent de conduction de la surface vers les couches inférieures de la terre. Et, par suite, si les températures maxima et minima prennent du retard avec la profondeur, leur amplitude de la variation annuelle diminue brusquement, aussi, dans le même sens. C'est ainsi que, par exemple, la température la plus basse dans la couche superficielle du sol (1 cm.) à Belgrade est observée en janvier ( $0.15^{\circ}$ ), mais à une profondeur de 4 m., elle n'apparaît qu'en avril ( $10.42^{\circ}$ ), à 8 m., en juin ( $12.43^{\circ}$ ) et, à 11 m., en octobre ( $12.74^{\circ}$ ). Les amplitudes de la variation annuelle correspondantes des températures du sol sont de:  $24.84^{\circ}$ ,  $4.71^{\circ}$ ,  $0.57^{\circ}$  et  $0.16^{\circ}$  (Ja; 155, 171).

A titre de comparaison, pour la variation annuelle de la température de l'eau de puits et de l'air à Belgrade, on a aussi employé des données provenant de deux autres points d'Europe.

Le puits situé sur le terrain de l'Observatoire Astronomique de Heidelberg (565 m.) prend son eau à une profondeur de 3 m. environ (16). La variation annuelle des températures de l'air et de l'eau de puits d'après les valeurs moyennes de la période 1902—1910 sont indiquées dans le tab. 8 et sur la fig. 8. Les données de ce tableau laissent voir que les amplitudes de la variation annuelle de la température sont, pour l'air, de  $16.9^{\circ}$ , pour l'eau de puits,  $9.7^{\circ}$ . Dans les conditions régnant à Belgrade, l'amplitude de la température de l'air est, au terrain de l'Observatoire Astronomique de Heidelberg, inférieure de  $5.0^{\circ}$ , par suite d'une différence d'altitude sensible, tandis que celle de l'eau de puits est supérieur de  $7.6^{\circ}$ , par suite de la profondeur moins grande du niveau des eaux souterraines à Heidelberg. Par ailleurs, la température minima de l'air à Heidelberg apparaît le 22 janvier, tandis que celle de l'eau du puits, le 25 février; au contraire, pour les températures maximas on a, pour l'air, le 20 juillet, pour l'eau de puits le 20 août. Ainsi donc, les retards des températures extrêmes de l'eau sur les températures extrêmes de l'air sont de 32.5 jours à Heidelberg. A Belgrade ces retards moyens sont de 40 jours, soit presque un quart de plus qu'à Heidelberg, ce qui correspond aux conclusions auxquelles est parvenu Voller (14) en se fondant sur des observations des températures d'eaux souterraines dans les environs de Hambourg.

Martens (12), de son côté, a étudié les relations existant entre la variation annuelle de la température de l'air, à une altitude absolue de 29 m., et de l'eau de puits (profondeur 11.7 m.), au Jardin des Plantes de Montpellier. Ses résultats principaux sont exposés dans le tab. 9 et sur la fig. 9. Les données numériques du tab. 9 indiquent une amplitude de la variation annuelle de la température de l'air de  $18.1^{\circ}$ , tandis que pour l'eau de puits elle est de  $2.8^{\circ}$ , soit donc 6.5 fois moins grand que pour l'air. La courbe de la

fig. 9 laisse voir aussi que la température minima de l'air apparaît le 30 décembre, celle de l'eau de puits, le 12 février, pendant que pour les températures maximas on a, pour l'air, le 22 juillet, pour l'eau de puits le 2 septembre. Autrement dit, la température minima de l'eau de puits a un retard de 44 jours sur celle de l'air, alors que pour les températures maximas ce retard est un peu plus court, 42 jours. Le retard moyen des températures extrêmes de l'eau de puits sur les valeurs correspondantes pour l'air est donc de 43 jours. Pour pouvoir comparer ces résultats avec ceux de Belgrade, il faut d'abord mentionner que la latitude de Montpellier est inférieure de 1°11' et, ce qui est plus important encore, que cette ville est située à peine à une dizaine de km. des rives de la Méditerranée. Ce sont là les raisons pour lesquelles l'amplitude de la variation annuelle de la température de l'air à Montpellier est inférieure de 3.8° à celle de Belgrade. Aussi, le quotient entre les amplitudes annuelles de la température de l'air et celles de l'eau de puits est-il réduit d'une moitié environ à Montpellier, par rapport à celui de Belgrade. Autrement, les retards moyens des températures extrêmes de l'eau de puits sur celles de l'air sont sensiblement les mêmes à Montpellier qu'à Belgrade, à ceci près que le retard est plus grand pour les températures minimas à Montpellier, pour les températures maximas à Belgrade.

On a indiqué, dans la fig. 10, selon les données numériques des tab. 1 et 2, les variations annuelles des températures de l'air et de l'eau de puits sur le terrain de l'Observatoire de Belgrade, pour chaque année de la période 1902—1906. Ces courbes, elles aussi, laissent voir avec quelle quasi-régularité les retards des températures extrêmes de l'eau de puits sur celles correspondantes de l'air apparaissent chacune de ces cinq années. La fig. 10 montre encore comme un changement plus ou moins grand dans les variations annuelles de la température de l'air se reflète dans un changement dans le même sens dans la température de l'eau de puits, changement cependant sensiblement réduit.

Il faut notamment mentionner que les températures les plus basses de l'eau de puits en décembre 1902 et en janvier et février 1905 (tab. 1) sont dues aux températures très basses de l'air pendant les mêmes mois des mêmes années. Autrement, les irrégularités dans les variations annuelles des températures de l'air se voient aussi dans celles de l'eau de puits, mais avec un retard assez grand en 1902, 1903 et 1904, plus faible de beaucoup notamment pendant la seconde moitié de 1905. Par exemple, une grosse irrégularité dans la variation annuelle de la température de l'air, correspondant à un refroidissement en octobre 1905 est dû à des précipitations exceptionnelles, atteignant 204 mm., ne se reflète nullement sur la courbe de la température de l'eau de puits.

Toutes aussi importantes sont les différences entre les températures moyennes du sol et de l'eau de puits pendant les mois consécutifs de la période 1902—1906; ces différences sont exposées dans le tab. 10, d'après les données indiquées dans le tab. 5 et 1. Les valeurs données par le tab. 10 laissent voir que les différences de températures du sol et de l'eau de puits oscillent entre deux limites assez larges: 3.31° en février 1905, 0.61° en septembre 1906. Toutes les différences supérieures à 2.85°, qui sont limitées aux mois d'hiver, sont dues aux températures basses de l'eau de puits, inférieures à 9.9°, et

à l'influence directe de températures de l'air sensiblement plus basses encore. Les écarts inférieurs à  $1.0^{\circ}$ , que l'on rencontre de juillet à novembre, correspondent aux mois où l'eau du puits est la plus chaude,  $11.7^{\circ}$  à  $12.1^{\circ}$ . Les raisons de ce comportement des différences dans les températures moyennes du sol et de l'eau de puits ont été exposées plus haut lors de la comparaison des différences moyennes des températures du sol et de celle de l'eau (p. 26).

Les courbes des fig. 4 (b) et 7 (a et b), concernant la variation annuelle des températures de l'air et du sol, ont une forme régulière avec des minima et des maxima accusés pour une époque de 6 mois, représentant ainsi des changements périodiques. Aussi peuvent-elles s'exprimer mathématiquement par analyse harmonique. Pour ce calcul, on a pris les six premiers termes de la série de Fourier, par suite de la courbe asymétrique de la variation annuelle pour l'eau de puits, arrivant ainsi à l'équations de la p. 20—21: variations de la température de l'air  $Y_a$ ; de l'eau de puits  $Y_e$ ; du sol  $Y_s$ .

L'époque pendant laquelle apparaissent les valeurs maximas des ondes superposées se calcule par l'équation suivante (18):

$$ix = 450^{\circ} - A = 90^{\circ} - A,$$

équation dans laquelle  $i$  est un terme de la série de Fourier (donc, pour une onde de 12 mois = 1),  $x$  est l'angle du temps,  $A$  angle de la phase. Comme on a pris comme exemple une période de l'un an, il est clair qu'à l'angle de  $360^{\circ}$  correspond en moyenne une année d'une durée de 365,25 jours. Autrement dit, pour que l'angle déterminé en degrés soit indiqué par le jour de l'année correspondant, il faut multiplier l'angle obtenu par 1,0146. En outre, il ne faut pas oublier que la température moyenne du premier mois d'année, janvier, correspond à la date du 16, et qu'il faut donc encore ajouter à l'angle calculé  $15,76^{\circ}$ .

Le tab. 11 montre à quelles dates on a les températures maximas de l'air, de l'eau de puits et du sol au terrain de l'Observatoire de Belgrade pour les angles de la phase  $A_1$ . Pour obtenir le moment de l'apparition des températures minimas on ajoute toujours à l'angle calculé  $180^{\circ}$ . Ces valeurs sont indiquées dans le tab. 12. Certes, ces températures minimas et maximas calculées théoriquement ne correspondent pas toujours complètement avec les conditions réelles qui se présentent au terrain de l'Observatoire de Belgrade. Cependant les dates des températures minimas et maximas au cours de l'année pour les angles de la phase  $A_1$  correspondent assez bien aux courbes de la variation annuelle des températures de l'air et du sol, avec des écarts de 5 à 10 jours; mais sur la courbe de l'eau de puits, les températures minimas apparaissent 17 jours plus tard, et les températures maximas 18 jours plus tôt que les dates obtenues par cette formule.