

По молба на много колеги, особено от филиалите на НИМХ в страната, които по различни причини не са могли да присъстват на изнасянето на тази лекция, я конвертирам в PDF и с удоволствие им я предоставям за използване.

За съжаление, не всичко, което съм казал по време на лекцията е записано в този файл, но основните неща са в него.

Ако има въпроси или желание за изследвания в тази област – на разположение съм.

Още един път, благодаря за интереса!

10.02.2012 г.

Хр. Брънзов

Национален институт по метеорология и хидрология

Академична лекция:

**Влияние на периода на
усредняване при измерване
на температурата на въздуха**

Каква е целта на тази лекция?

С въвеждането на различни автоматични метеорологични станции (АМС) възникват въпроси, свързани със съпоставимостта на данните от “традиционните” измервания и тези с АМС. Преди да се впуснем в “сравнителни” измервания и търсене на всякакъв вид регресионни зависимости е необходимо да решим цяла поредица от важни въпроси:

На първо място това са въпросите свързани с влиянието на различните периоди на усредняване на метеорологичните елементи върху измерените стойности.

На второ място, това е влиянието на грешките от измерване при различните уреди и устройства върху получената стойност.

На трето място това е влиянието на условията при които се извършва измерването. Например в случая за температура и относителна влажност на въздуха, това е вида, конструкцията и материала на защитата от слънчевото греене и валежите – класическа метеорологична клетка (дървена или пластмасова), пасивна или активно вентилируема радиационна защита (пластмасова или метална).

Ако продължим да се задълбочаваме в проблема, ще стигнем до качествения контрол на данните, особено при АМС. Има ли алгоритъм за автоматично отстраняване на грешни измервания и какъв е той или въобще няма и всички измерени стойности се усредняват? Има ли някаква система за автодиагностика или априори се приема, че АМС винаги работи правилно? И още много “дребни” детайли, които обаче могат да компроментират измерването.

По-лесният за мен вариант за тази лекция беше да използвам нещо, което имам готово.

Тъй като напоследък съм свидетел на ентузиазма на колеги, особено по-младите, да се заемат с трудната задача да “привържат” редиците от данни, събирани много години с “класически” уреди с “изсипващите се” огромни количества от данни от най-разнообразни и с различно качество АМС, в крайна сметка реших да отделя малко повече време и да се опитам да покажа колко сложна е в същност тази задача.

Самият аз, все още не мога да събера кураж да се заема с нещо такова и затова ще се опитам, може би за свое оправдание, да повдигна малко завесата на проблема.

Тъй като вече съм правил и публикувал нещо подобно за вятъра, сега ще се опитам да покажа как стоят нещата при друг важен метеорологичен елемент – температурата на въздуха.

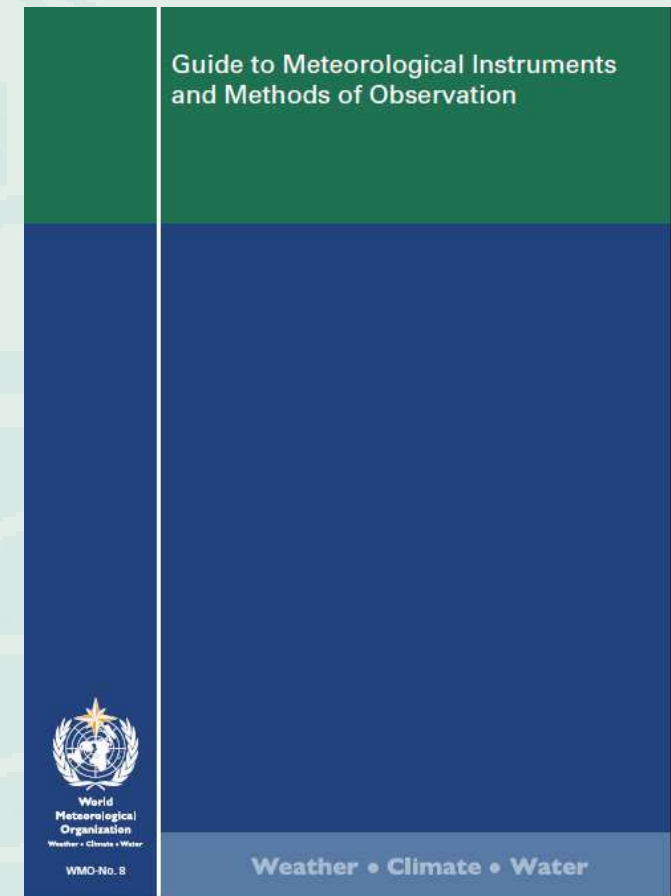
Ще започна с методически изисквания към измерванията и ще продължа с:

- някои сведения за принципа на действие на термометрите (класически и различни сензори) и как се отразява това на грешката от измерването;
- какво е това време на топлинна инерция на термометъра и как се отразява на резултатите от измерването;
- ще проведе един бърз експеримент, за да получа малко реални данни;
- ще приложа един “стар трик”, за да елиминирам грешките от измервания и да остане “чистия физичен ефект”;
- ще се опитам да демонстрирам до какво води различното време на усредняване на данните при температурата на въздуха в случая на “класически термометър” и АМС.

Измерване на температурата на въздуха в метеорологията

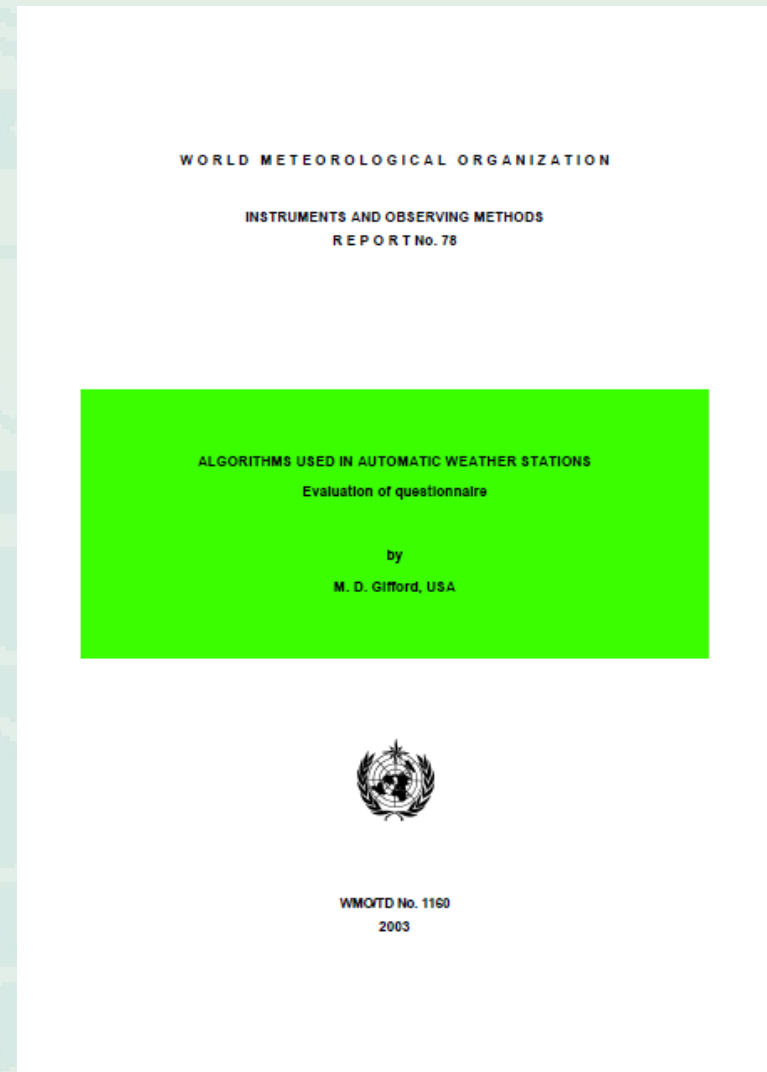
Изискванията към метеорологичните измервания и сензори, включително и на тези за температура на въздуха, се формулират от Комисията по прибори и методи за измерване на Световната метеорологична организация (СИМО) в (WMO No 8, 2008), а към автоматичните метеорологични станции (АМС) и в (WMO/TD No 1160, 2003).

Производителите на професионална апаратура трябва да се съобразяват с тях, а националните метеорологични служби са длъжни да проверяват дали са изпълнени тези изисквания. За използване в националните метеорологични мрежи на страните членки се допускат само класически прибори, АМС и сензори отговарящи напълно на препоръките на WMO. С това се осигурява съпоставимост на данните от различните станции по земното кълбо.



В тези документи се определя начина на измерване с класически метеорологични прибори и периода на аритметично усредняване при измерванията с АМС.

Съгласно препоръките на WMO метеорологичните данни от АМС се определят като средна аритметична стойност за 10 минутен интервал. За всеки от метеорологичните параметри микропроцесорният модул на АМС прави цикъл от измервания в рамките на 10-те минути. Най-често това са 120 измервания – по едно на всеки 5 секунди. След това се извършва проверка за грешни измервания и аритметично усредняване на валидните данни. Получената стойност е това, което АМС предава на изхода си като усреднена стойност.



Както е известно в метеорологията температурата на въздуха се измерва “на сянка”. На практика това се осигурява с т.н. радиационна защита от пряка слънчева радиация. Радиационната защита при метеорологичните измервания трябва да осигури ограничено пространство, с равномерна температура в него, която да е максимално близка до тази на околния въздух. Тя трябва да защитава термометъра от въздействието на слънчевото греене и валежите.

Класическото измерване на температура на въздуха се извършва в дървена метеорологична клетка. При АМС радиационната защита е изработена от пластмаса или метал и има приблизително 30 пъти по-малък обем от метеорологичната клетка. Когато няма принудена вентилация, в случаите на тихо слънчево време и слаб вятър, през деня (особено през лятото) и двата вида радиационни защиты не могат да осигурят пълно съответствие на температурата в обема с тази на околния въздух. По емпирични данни е установено, че тези разлики могат да достигнат през деня (при силно слънчево греене и слаб вятър) до $+2.5^{\circ}\text{C}$ и до -0.5°C през ясна, тиха нощ.

Поради това, при последващите изводи ще елиминирам влиянието на радиационната защита върху измерването на температурата на въздуха. В случая това е възможно, но иначе, влиянието на радиационната защита е много важна задача, която трябва да се реши.

Термометри и температурни сензори

В националната метеорологична мрежа на България за измерване на температурата на въздуха се използват както класически живачни термометри, така и различни АМС. Нека накратко да си припомним принципите им на работа.

При класическия живачен термометър принципът на измерване се основава на различното термично разширяване на стъклото и живака. Обикновено резервоарът и капилярът е от борсиликатно стъкло, като пространството над живака е запълнено с азот. За диапазона на изменение на температурата при метеорологичните измервания плътността на живака е слабо нелинейна функция на температурата:

$$\rho = \rho_0 (1 + at + bt^2)$$

където a и b са коефициенти, като $b \ll a$, което позволява за диапазона на измерваните температури в метеорологията да се приеме линеен закон.

Тогава при изменение на температурата на резервоара от t_1 до t_2 изменението на височината на живачния стълб от h_1 до h_2 е:

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1}$$

Източниците на инструментални грешки при живачните термометри са свързани:

- с прецизността на изработване на термометъра (основно на капилярната тръбичка);
- триенето на живака в капилярната тръбичка;
- грешка от приемане на линеен закон на обемно разширение.

В АМС най-често се използват резистивни сензори за температура. От своя страна те се делят на два основни вида: метални и полупроводникови. И при двата се използва свойството, че електрическото им съпротивление зависи от тяхната температура.

Като материал за металните сензори за температура се използват чисти метали – мед, платина и никел. При тях температурната зависимост на съпротивлението им е известна и не зависи от производството им. За платината (най-често използвания метал) тази зависимост се описва с:

$$R_{rtd}(t) = R_0[1 + At + Bt^2 + C(t - 100^\circ\text{C})t^3] \quad \text{за: } -200^\circ\text{C} \leq t < 0^\circ\text{C}$$
$$R_{rtd}(t) = R_0[1 + At + Bt^2] \quad \text{за: } 0^\circ\text{C} \leq t \leq 850^\circ\text{C}$$

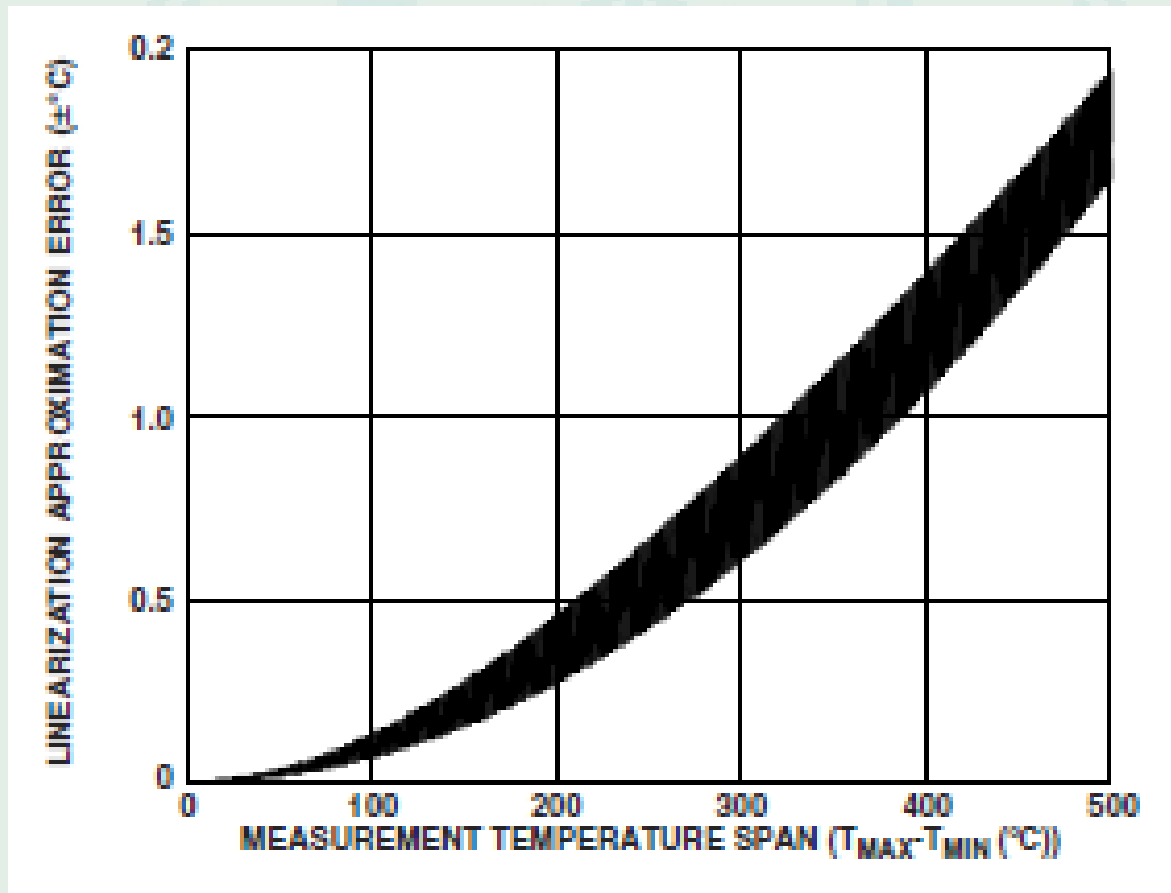
където:

t = температура на сензора в $^\circ\text{C}$

$R_{rtd}(t)$ = електрическото съпротивление на сензора като функция на температурата

R_0 = електрическо съпротивление на сензора при 0°C

За диапазона на измерваните температури в метеорологията (100°C), използването на линейна зависимост $R_{rtd}(t) = R_0 (1 + \alpha t)$ води до грешка при определяне на температурата по-малка от 0.2°C. Зависимостта на грешката от температурния диапазон при определяне на температурата по линейна зависимост е:



При полупроводниковите сензори за температура се използва факта, че волт-амперната характеристика на P-N прехода (полупроводников диод) зависи от температурата му. За термозависими полупроводникови съпротивления (термистори) се използват полупроводникови материали с висок температурен коефициент, най-често окиси на металите Ni, Cu, Fe, Ba, Co. Зависимостта на съпротивлението R от температурата t най-общо се дава с:

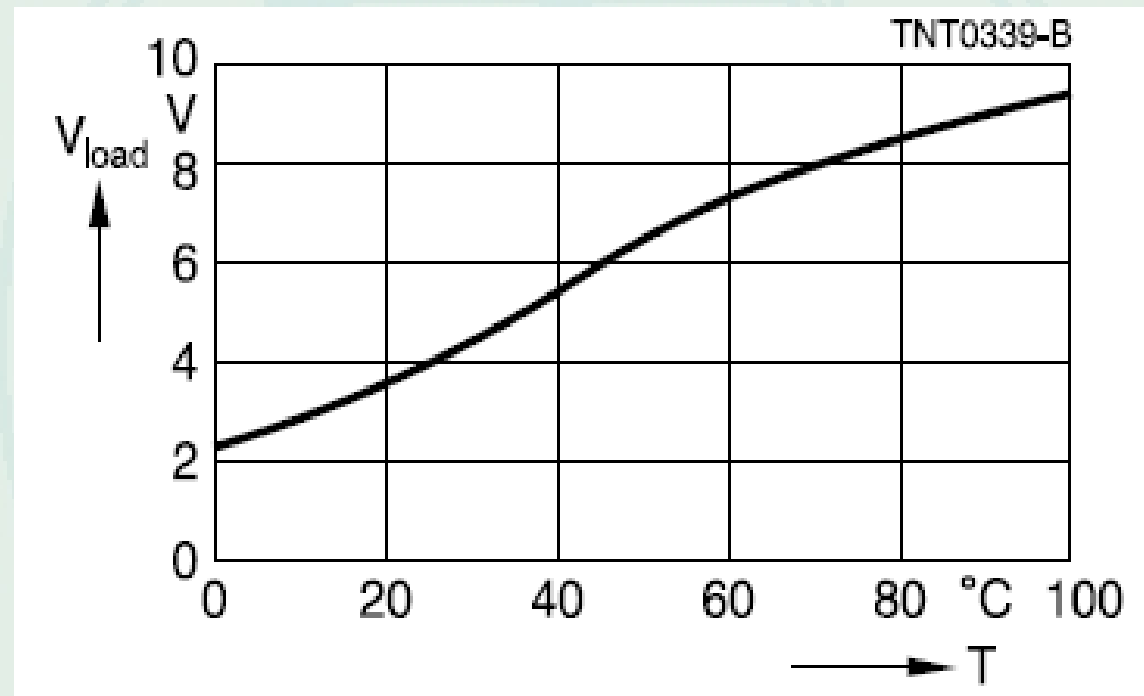
$R(t)=A.exp(B/t)$,където: A и B са константи за конкретния сензор

като температурният коефициент е 8÷10 пъти по-голям от този на металните сензори, зависи от температурата и е отрицателен:

$$\alpha = -\frac{B}{t^2}$$

Тази силно нелинейна предавателна характеристика на термистора е сериозен експлоатационен недостатък и затова се използват различни електронни схеми за линеализирането ѝ.

Пълното линеализиране на преобразователната характеристика на термистора в електронния преобразувател е трудно осъществимо. По тази причина се налагат индивидуални калибровки и грешката от измерване винаги е по-голяма от тази при металните сензори и точностните термометри. Типичен изходен сигнал на сензор за температура с термистор, след линеализиране, е показан на следващата графика:



За разлика от класическите точностни термометри, при измерване през резистивните сензори за температура протича електрически ток. Той предизвиква нагряване на сензора от разсейваната електрическа мощност.

От това температурата му се повишава с:

$$\Delta T = \frac{U^2}{\alpha SR}$$

където: U е електрическото напрежение приложено на краищата на резистивния сензор, R -съпротивлението му, S -обща площ на сензора и α - сумарен коефициент на топлоотдаване.

Вижда се, че при равни геометрични размери „самонагриването“ на сензора зависи обратно пропорционално на електрическото му съпротивление. Като се отчита, че омичното съпротивление на металните сензори е в диапазона $100 \div 2\,000 \text{ } \Omega$, а на термисторите от порядъка на $20\,000 \text{ } \Omega$ се вижда, че при едно и също „самонагриване“ термисторите могат да работят при поне 10 пъти по-високо напрежение.

Както става ясно, основен източник на инструментална грешка при резистивните сензори е свързан с приемане на линеен закон на изменение (или линеализиране с електронна схема за термисторите), самонагриване от преминаващия през сензора електрически ток и стареене при термисторите.

Какви изводи по отношение на използването в метеорологичната апаратура на двата вида резистивни сензори за температура могат да се направят въз основа на горните зависимости:

За термисторите:

Предимства:

1. Ниска цена на сензора;
2. По-високото електрическо съпротивление (спрямо металните). Това значително опростява използваните преобразуватели и ги прави много по-евтини от тези за сензорите от чист метал.

Недостатъци:

1. Невъзможно постигане на еднакви характеристики дори в рамките на една производствена серия. Това не позволява лесна заменяемост при дефекти и изисква индивидуална калибровка;
2. Променят характеристиките си с времето (стареене). Това изисква периодично калибриране за поддържане на необходимата грешка от измерване.

За металните терморезистори:

Предимства:

1. Имат температурен коефициент, който зависи само от използвания чист метал, т.е. те са практически взаимозаменяеми (въвежда се корекция единствено за R_0);
2. Най-често използваните платинени терморезистори практически не променят характеристиките си с времето, което не налага периодичното им калибриране.

Недостатъци:

1. По-ниското електрическо съпротивление на металните терморезистори (спрямо термисторите) изисква значително по-сложни и прецизни преобразуватели, което ги прави скъпи.

Заради значителното предимство като средство за измерване, независимо от високата им цена, в професионалната метеорологична апаратура се използват температурни сензори от платина.

В полупрофесионалните и любителски метеорологични автоматични станции, където основното изискване е ниска цена, се използват термистори.

Време на топлинна инерция

Друга важна характеристика на термометрите (включително и на температурните сензори) е времето на топлинна инерция λ .

$$\lambda = \frac{mc}{\alpha S}$$

където: m е масата на термометъра, c – специфичния топлинен капацитет, α – сумарен коефициент на топлопроводност, S – сумарна площ на термометъра.

Физичният смисъл на времето на топлинна инерция е, че това е времето, за което началната разлика между температурата на термометъра и на средата, в която се внася намалява 2.73 пъти (при положение, че температурата на средата не се мени).

На практика, времето на топлинна инерция на термометъра може да се определи от:

$$\lambda = -\delta t \cdot \left[\ln \frac{T - \Theta}{T_0 - \Theta} \right]^{-1}$$

Където:

Θ е температурата на въздуха, T – температурата на термометъра, T_0 – температурата на термометъра в началния момент, δt – интервала време за изменение на температурата от стойността T_0 до T .

При определяне на λ , изборът на δt трябва да е такъв, че да не се допусне изчакване, след достигане на грешката от измерване на термометъра.

Нека да видим до какво води времето на топлинна инерция на термометъра при измерване на температурата на въздуха.

За скоростта на изменение на температурата на термометъра можем да запишем:

$$dT / (T - \Theta) = -dt / \lambda$$

Нека да разгледаме случая, когато температурата на средата се изменя по линеен закон:

$$\Theta = \Theta_0 + \gamma t \quad \text{като:} \quad \gamma = d\Theta/dt$$

Интегрирайки по времето от 0 до t и от $(T_0 - \Theta_0)$ до $(T - \Theta)$ получаваме:

$$T - \Theta = (T_0 - \Theta_0 + \gamma\lambda)e^{-t/\lambda} - \gamma\lambda$$

при достатъчно време за темперирание на термометъра: $t \gg \lambda$ се вижда, че:

$$T - \Theta = -\gamma\lambda$$

или показанията на термометъра са отместени от истинската стойност на температурата на въздуха с величината $-\gamma\lambda$

В метеорологията такава “отместване” най-често се наблюдава при измерване на температурата на въздуха с аерологична сонда. По тази причина, в аерологичните сонди се използват сензори с $\lambda = 1 \sim 5$ sec.

Ако разгледаме случай, при който температурата се изменя по хармоничен закон:

$$\Theta = \Theta_0 + A \sin(2\pi t / p)$$

Тогава решението добива вида:

$$T - \Theta = (T_0 - \Theta_0) e^{-t/\lambda} + \frac{A}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\pi}{p} \lambda\right)^2}} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{p} t - \arctg \frac{2\pi \lambda}{p}\right)$$

отново се вижда, че след време, неколkokратно превишаващо времето на инерция на термометъра $t \gg \lambda$, първият член клони към нула и колебанията в температурата на термометъра стават синусоидални, със същия период на колебания p , както и на въздуха, но с по-малка амплитуда A и изоставащи по фаза.

Аналогично на горните изводи, може да бъде доказано, че същите резултати ще се получат и при асиметрични колебания на температурата на средата.

Основният извод, който можем да направим е, че усредняването на показанията на термометъра с цел получаване на средната температура на средата има смисъл само за интервал от време, значително по-голям от времето му на топлинна инерция.

На практика могат да се срещнат два типа задачи:

1. Когато измерванията се извършват с термометър с известно време на топлинна инерция и трябва да се реши въпроса за определяне на минималното време за усредняване, за което измерената средна температура е максимално близка до средната температура на средата;
2. Когато е зададен предварително интервалът на усредняване и трябва да бъде избран термометър, с подходящо за измерванията време на температурна инерция.

Разбира се, при всички случаи трябва да има достоверна информация за очакваните времеви изменения на температурата на средата.

От направените изводи следва, че най-добър ще е метод, при който се използва термометър с време на топлинна инерция много по-малко от периода на изменения на температурата на средата, който ще изследваме.

Времето на топлинна инерция зависи обратно пропорционално от корен квадратен на скоростта на вятъра V .

$$\lambda \approx \text{const} \cdot V^{-1/2}$$

За най-често използваните живачни термометри за метеорологични измервания времето на топлинна инерция при тихо време е от 60 до 300 sec, а за металните и полупроводникови температурни сензори за АМС типичното време на топлинна инерция е от 3 до 20 sec.

С известно приближение горните изводи могат да се приложат към периодите на усредняване, ако те се разглеждат като аналог на времето за топлинна инерция, на което ще се спра по-нататък.

Експериментални серии от измервания на температурата на въздуха

За да може да бъде направено сравнение между различни времена на усредняване са използвани измервания от АМС модел MS&E-4. В нея се използва метален сензор от платина за измерване на температурата с абсолютна грешка от измерването $\pm 0.2^\circ$ за диапазона $-25 +60^\circ\text{C}$. Времето на топлинна инерция на сензора е под 10 sec. Зададен е режим на усредняване 60 sec., като за това време се извършват 10 измервания.

Времето на усредняване 60 sec е избрано, защото е по-малко от времето за топлинна инерция на всички използвани в мрежата на НИМХ живачни термометри, както и от препоръчаното от WMO време за усредняване при измервания с АМС (10 min).

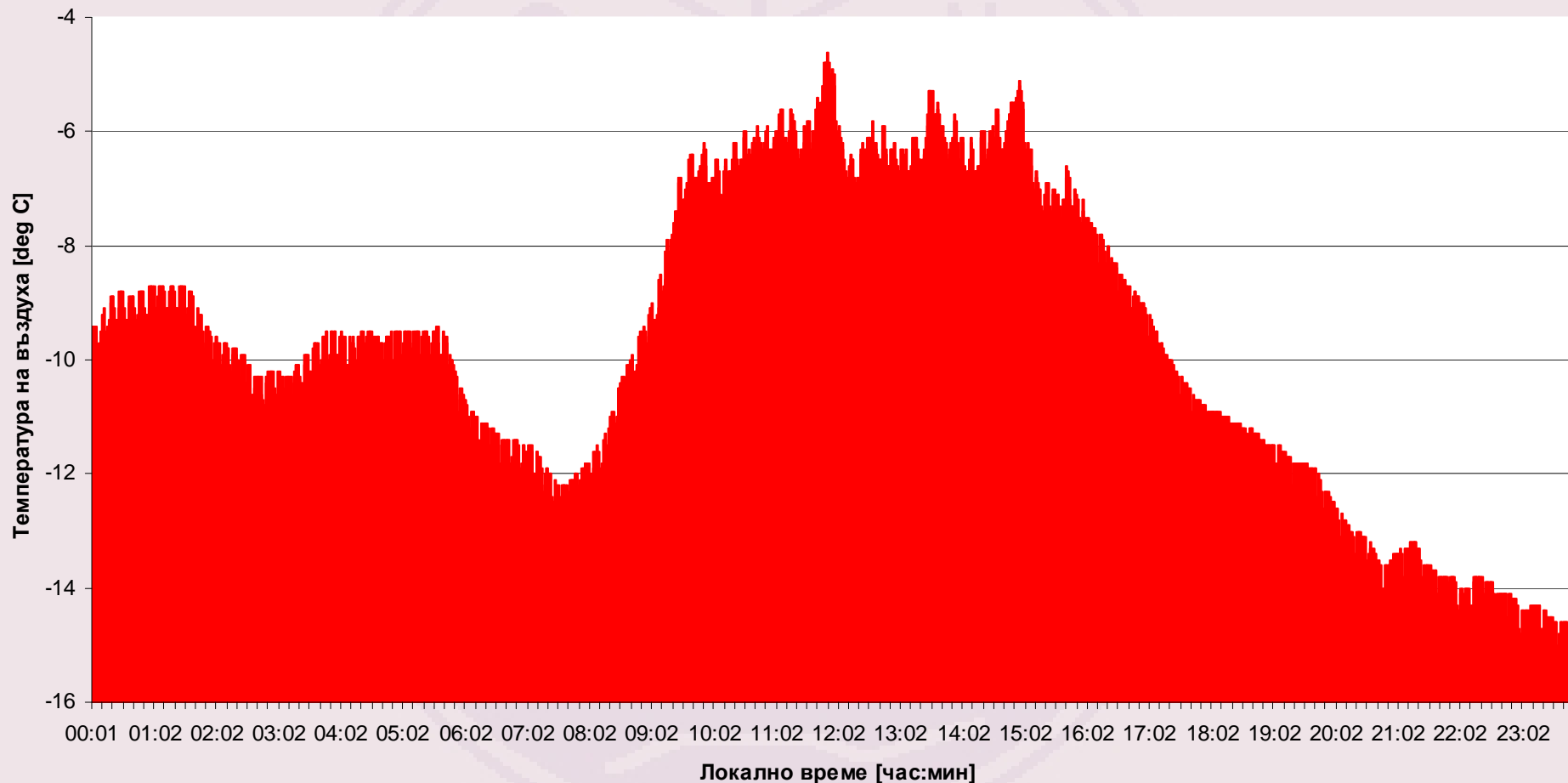
Използването на едно и също средство за измерване и диференциален метод на изследване позволява да се елиминира грешката от измерване и да се открие разликата, свързана с използване на различни времена на усредняване за определяне на температурата на въздуха.

АМС извършва запис на измерената средна за 60 sec температура на въздуха на всеки 60 sec.

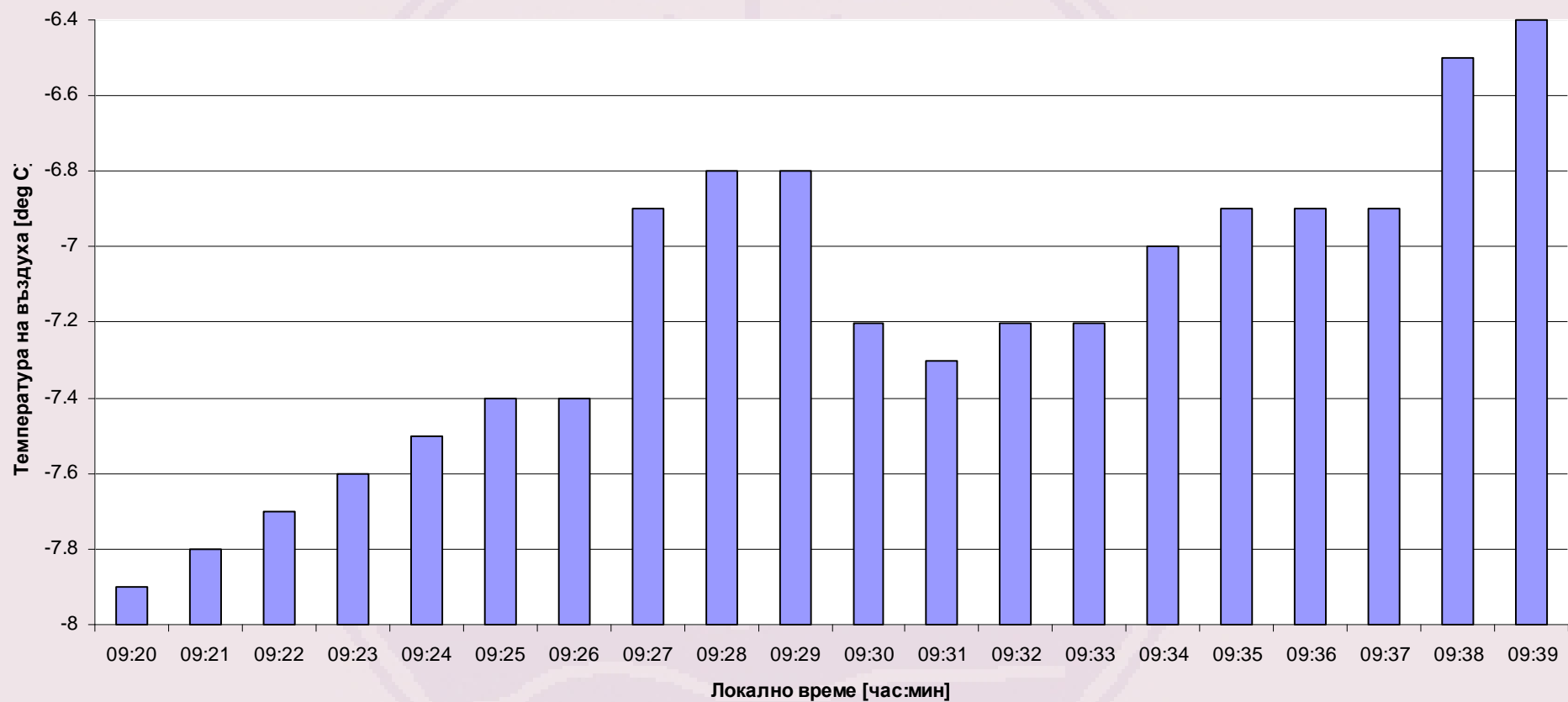
На тези експериментални резултати ще се основават последващите изводи.

Като експериментални данни са използвани измервания от 30.01.2012 год.
Това е сравнително ясен, зимен ден, със снежна покривка и слаб вятър.

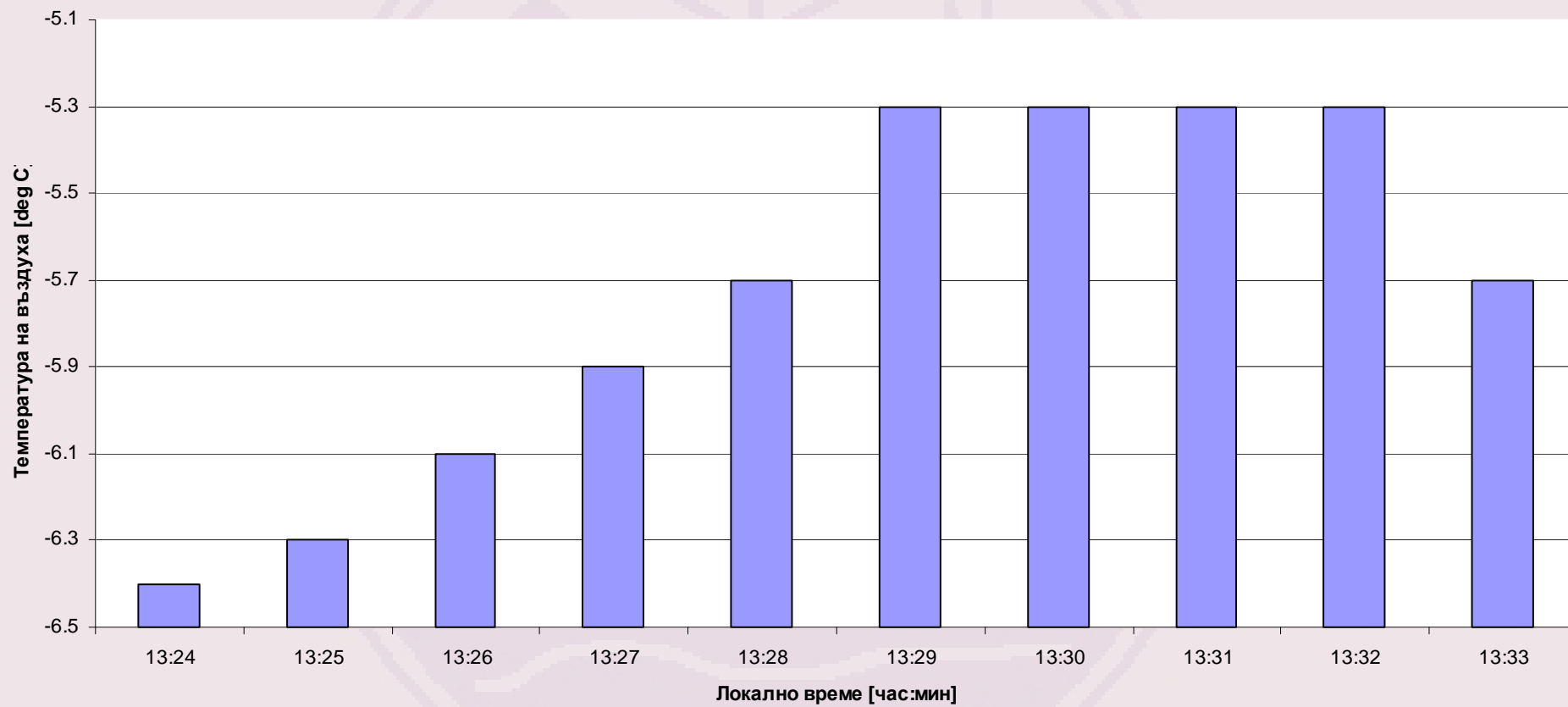
Дневен ход на температурата на въздуха
при едноминутно усредняване - София, 30.01.2012 год.



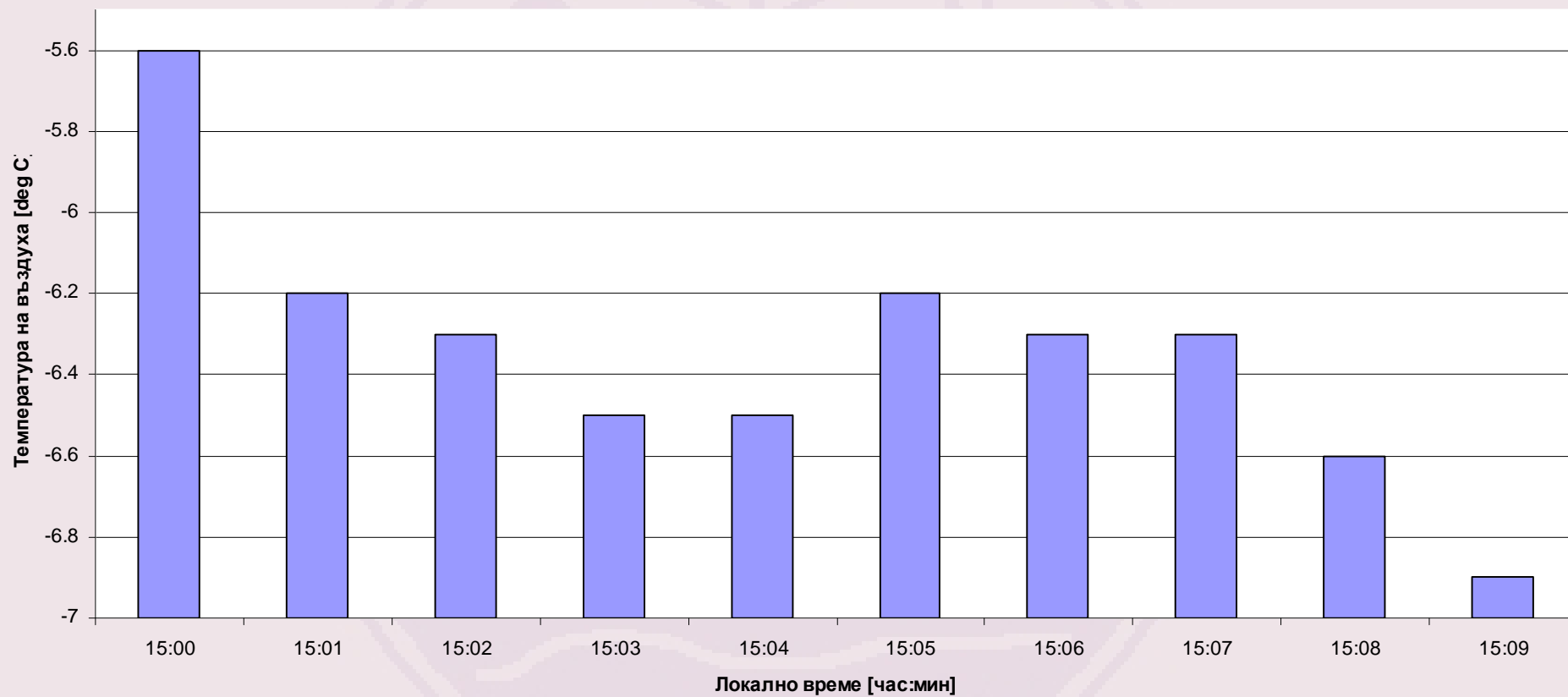
Времени ход на температурата на въздуха при разкъсване на облачността
и при едноминутно усредняване - София, 30.01.2012 год. $V=1.9$ m/s от NWN



Времеви ход на температурата на въздуха за 10 мин. интервал (нарастване)
и при едноминутно усредняване - София, 30.01.2012 год. V=2.1 m/s от NWN



Времени ход на температурата на въздуха за 10 мин. интервал (намаляване)
и при едноминутно усредняване - София, 30.01.2012 год. V=1.8 m/s от NWN



От представените данни от измервания се вижда, че в рамките на един 10 минутен период, дори в зимен ден, с максимален поток сумарна Слънчева радиация, достигащ земната повърхност от порядъка на 250 W/m^2 изменението на усреднената за 1 мин. температурата на въздуха може да достигне 1 – 1.5 градуса!

Ако си спомним как се определяше времето на топлинна инерция, можем да преценим, че при инструментална грешка $\pm 0.2^\circ\text{C}$, за тези стойности и изменения на температурата и при вятър $0.5\text{-}2.0 \text{ m/s}$, стационарния живачен термометър, поради своята конструкция, ще “усреднява” температурата на въздуха за интервал от порядъка на 90-130 секунди. Затова, нека да разгледаме какви разлики могат да се получат в стойностите за температурата на въздуха, ако тя се измерва като средна за 120 sec. или като средна за 600 sec.

Поради това, че използваме една и съща система за измерване (сензор, радиационна защита и място на измерване) и определяме разлики (т.е. използваме диференциален метод) практически елиминираме грешката от измерване. Така, имаме основание да допуснем, че всички разглеждани по-нататък ефекти се дължат единствено на природата на явлението.

Какви разлики в средната температура на въздуха могат да се получат при измервания с класически живачен термометър и АМС ?

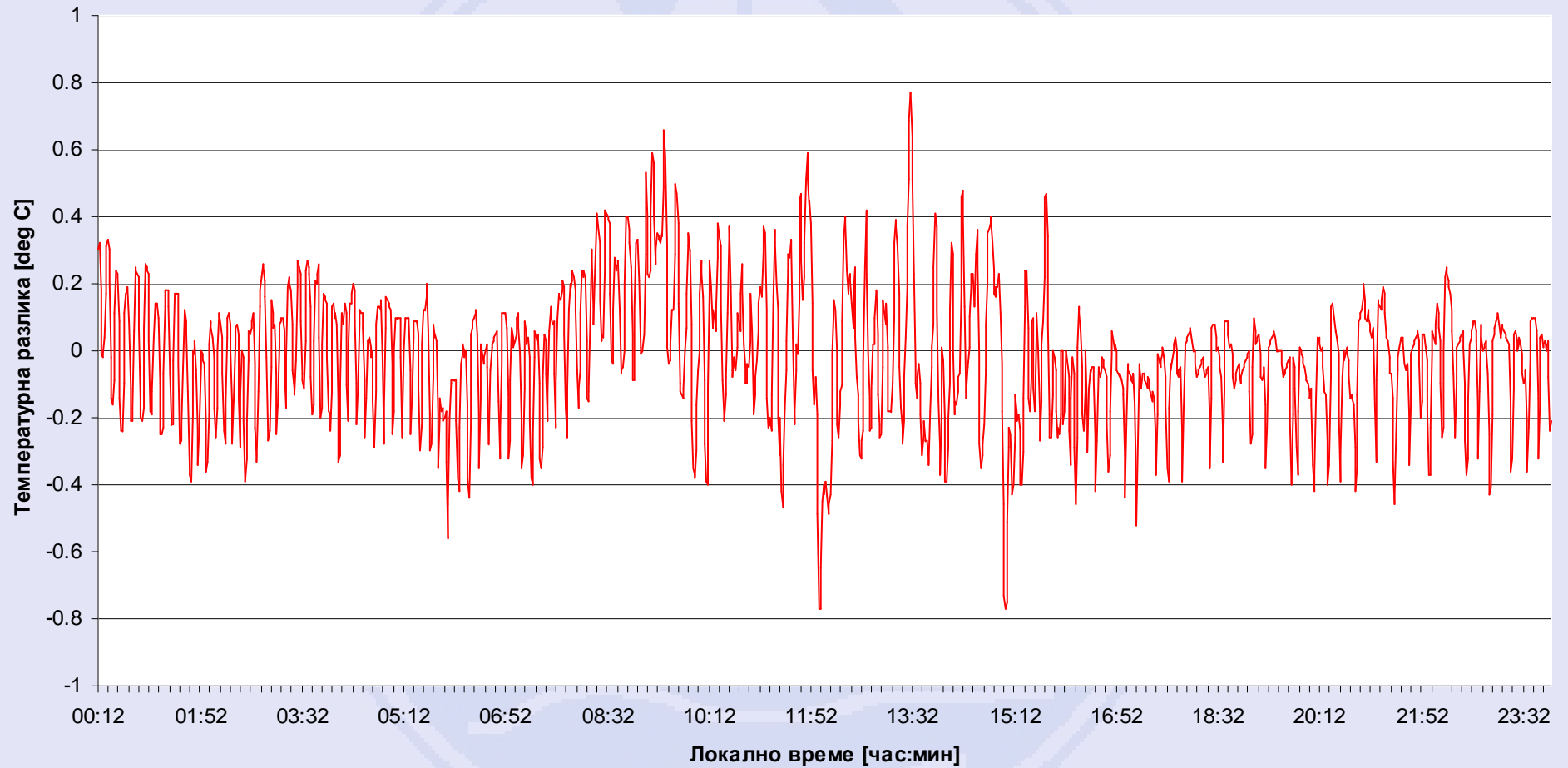
Тъй като уточнихме времето на топлинна инерция, която би имал класическия живачен термометър в конкретната ситуация, за да елиминираме грешките от измерване можем да го “заменим” с двуминутно средно измерване от същата АМС.

Нека първо да разгледаме случаите, при които измерванията са синхронни. Това означава, че се извършват измервания с термометър и АМС едновременно, 10 минути преди синоптичния срок за наблюдение. “Термометърът” е усреднил температурата за двуминутен интервал (от без 12 до без 10 мин.), а АМС я усреднява за 10 минутен интервал (от без 20 до без 10 мин.).

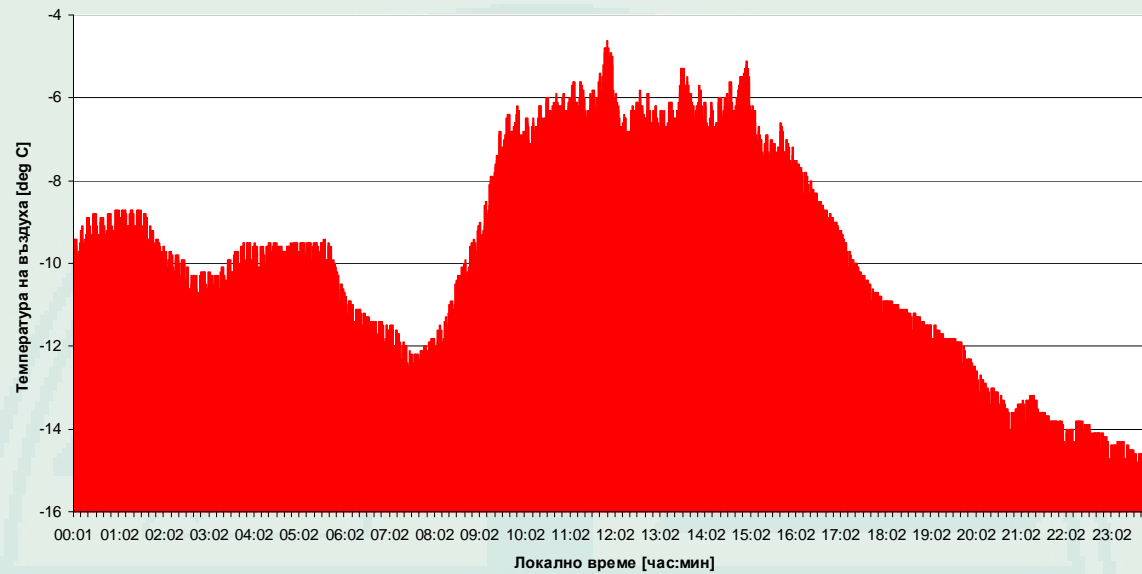
До какви разлики ще доведе това?

На следващата фигура са показани тези разлики, пресметнати за всяка минута, за цялото денонощие.

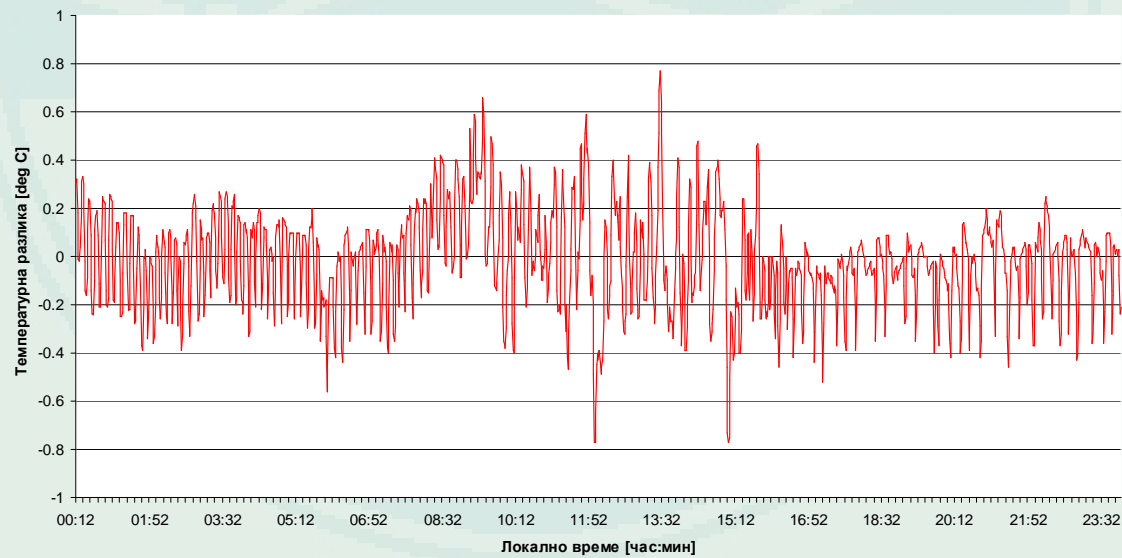
**Разлика в температурата на въздуха измерена синхронно
при дву и десетминутно усредняване - София, 30.01.2012 год.**



Дневен ход на температурата на въздуха
при едноминутно усредняване - София, 30.01.2012 год.



Разлика в температурата на въздуха измерена синхронно
при дву и десетминутно усредняване - София, 30.01.2012 год.



7 февруари 2012, Хр. Брънзов

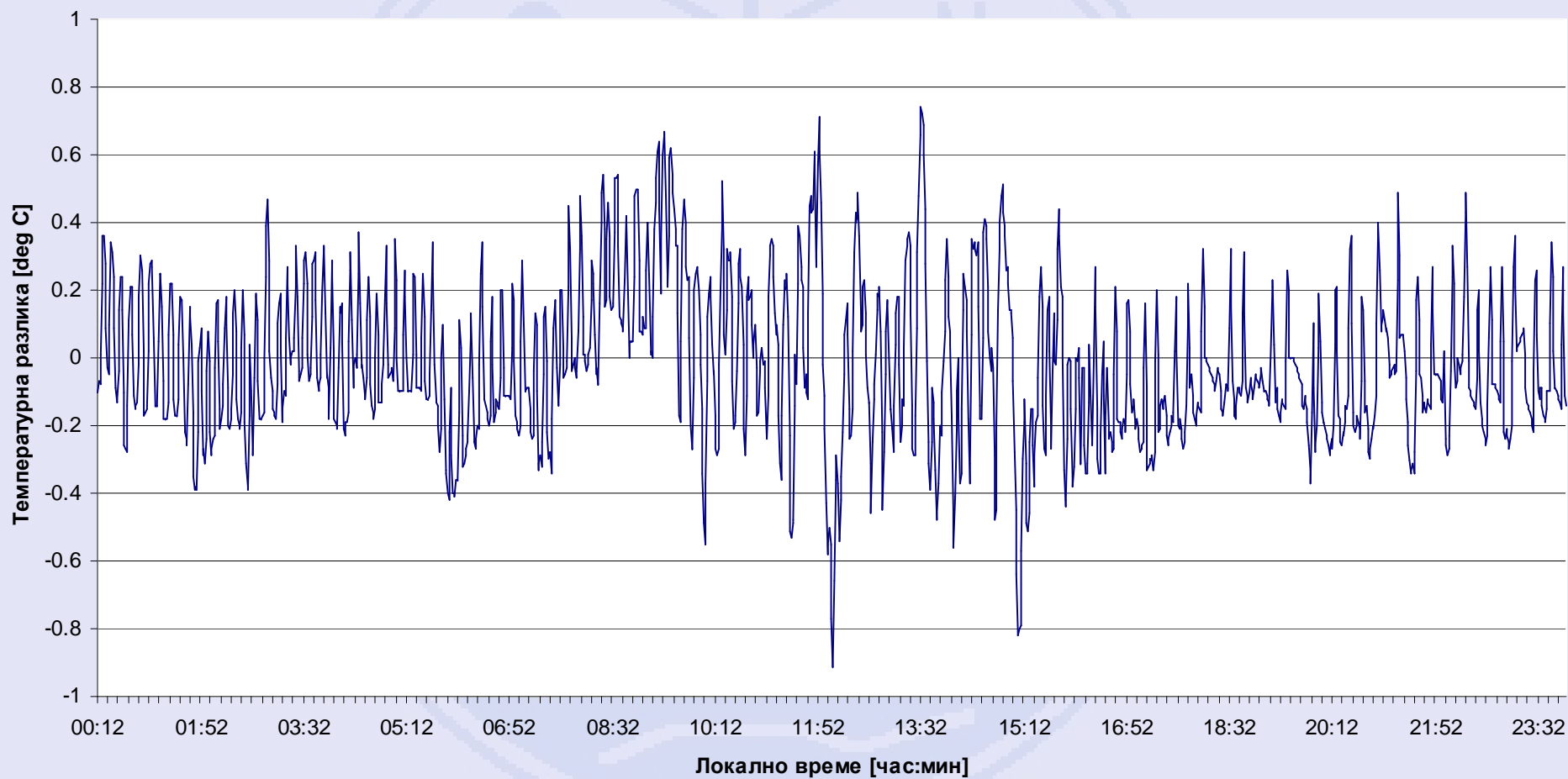
Както се вижда от графиката, разликите в измерената температура в един и същ момент имат амплитуда до 1.5 °C. В нощните часове тя е по-малка, а през дневните – по-голяма.

При извода за топлинна инерция при линеен закон за изменение на температурата получихме, че при охлаждане и нагряване има “изоставане”, пропорционално на скоростта на изменение на температурата и времето на инерция. В случая, ролята на времето на инерция играе периодът на усредняване.

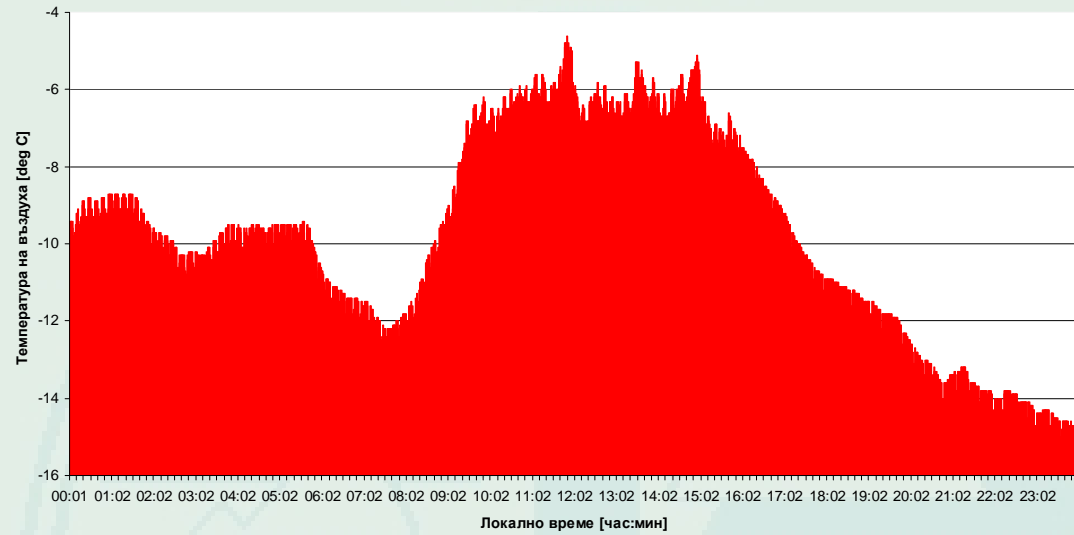
Ако сравним измерената средна температура на въздуха за 10 минутен интервал, спрямо тази за двуминутен интервал ще видим, че двуминутната стойност при охлаждане е по-ниска от десетминутната и обратно – по-висока при затопляне.

Нека сега да разгледаме най-често реализирания в практиката случай: Измерване на температурата на въздуха в метеорологичната клетка десет минути преди синоптичния срок и автоматично предаване на данните от АМС в синоптичния срок. Тук вече “термометърът” е усреднил температурата за двуминутен интервал (от без 12 до без 10 мин.), а АМС я усреднява за следващ 10 минутен интервал (от без 10 до кръглия час).

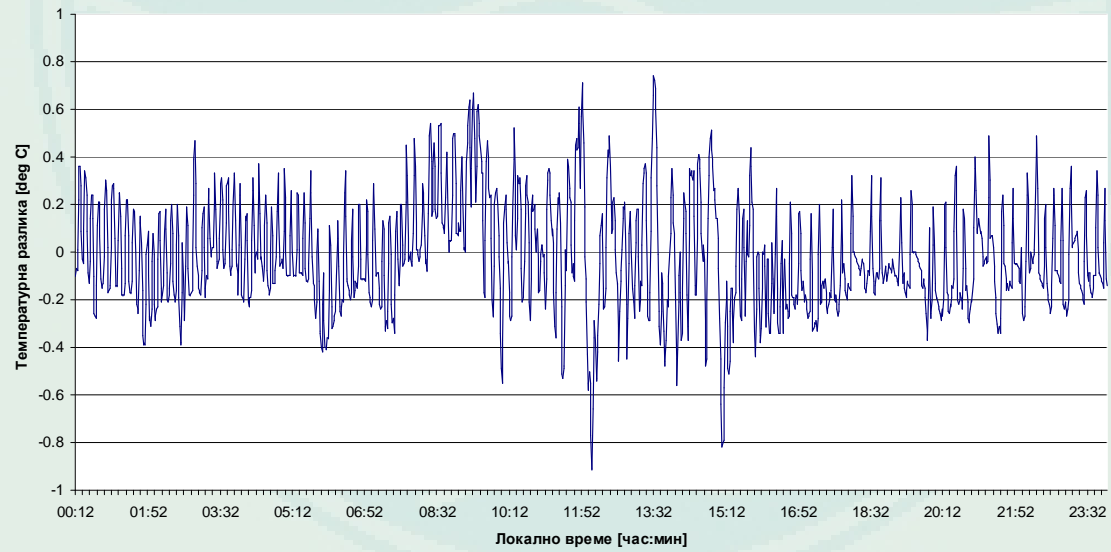
Разлика в температурата на въздуха измерена с десетминутно отместване
при дву и десетминутно усредняване - София, 30.01.2012 год.



Дневен ход на температурата на въздуха
при едноминутно усредняване - София, 30.01.2012 год.



Разлика в температурата на въздуха измерена с десетминутно отместване
при дву и десетминутно усредняване - София, 30.01.2012 год.

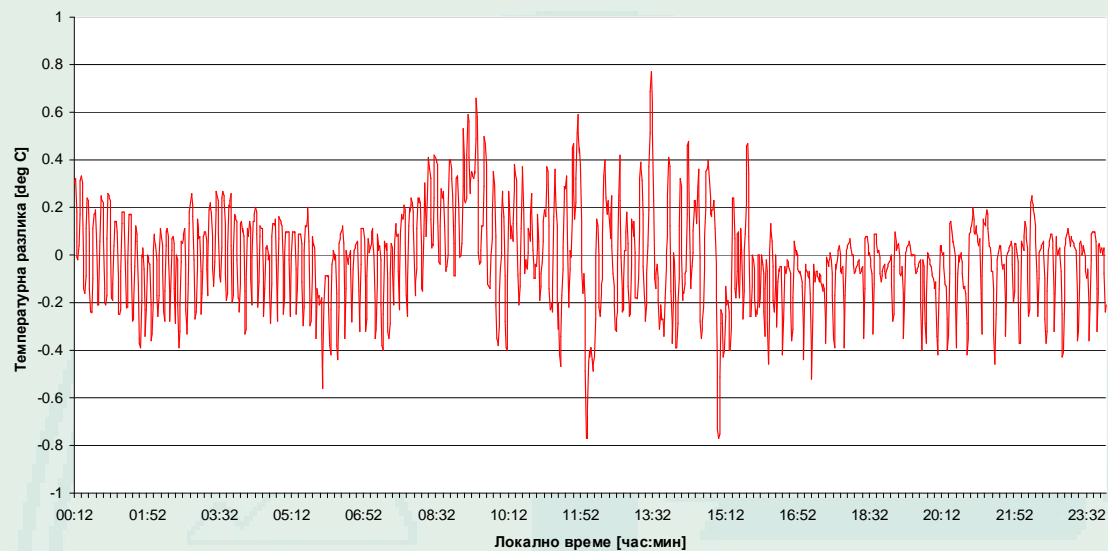


Както и в предишния случай, при по-голямото време за усредняване и при ясно изразен тренд на повишаване или понижаване на температурата има по-голяма “инертност” в показанията на АМС спрямо термометъра. И при сравнително постоянна температура на въздуха, отново се наблюдават разлики с амплитуда около $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, но те най-вероятно са свързани с влиянието на вятъра.

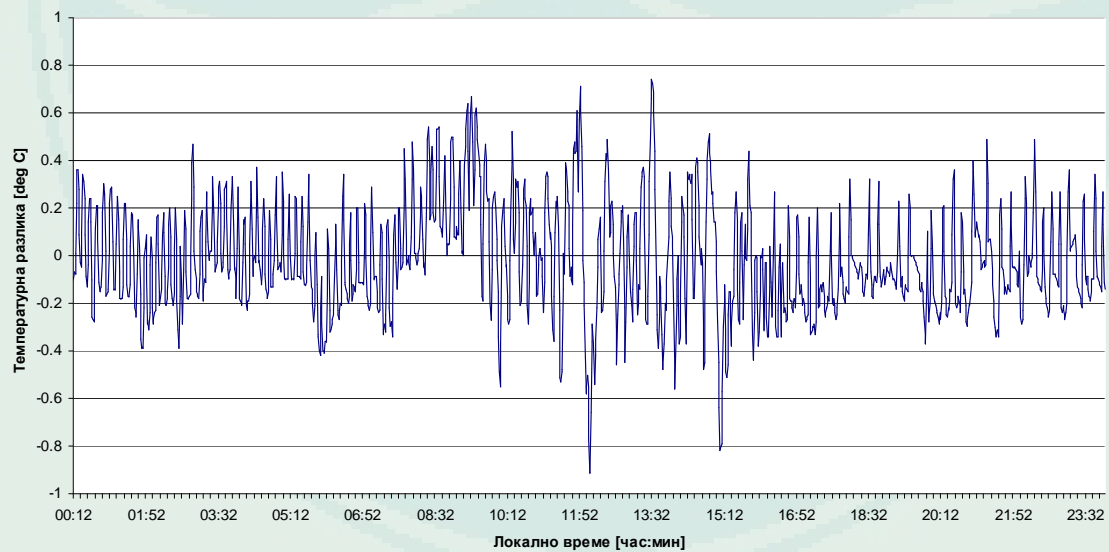
Ако се разгледат двата случая, може да се направи извода, че поради нестационарния характер на температурата на въздуха дори и за интервали от време от порядъка на 10 минути има разлики в измерените стойности.

Следващата графика илюстрира това.

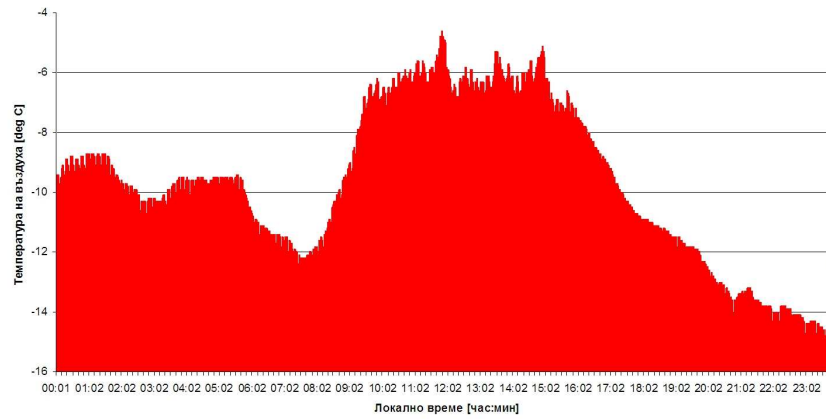
Разлика в температурата на въздуха измерена синхронно
при дву и десетминутно усредняване - София, 30.01.2012 год.



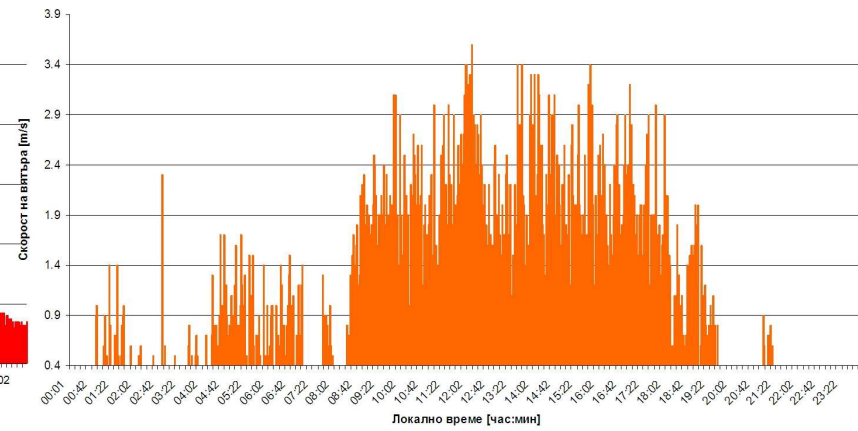
Разлика в температурата на въздуха измерена с десетминутно отместване
при дву и десетминутно усредняване - София, 30.01.2012 год.



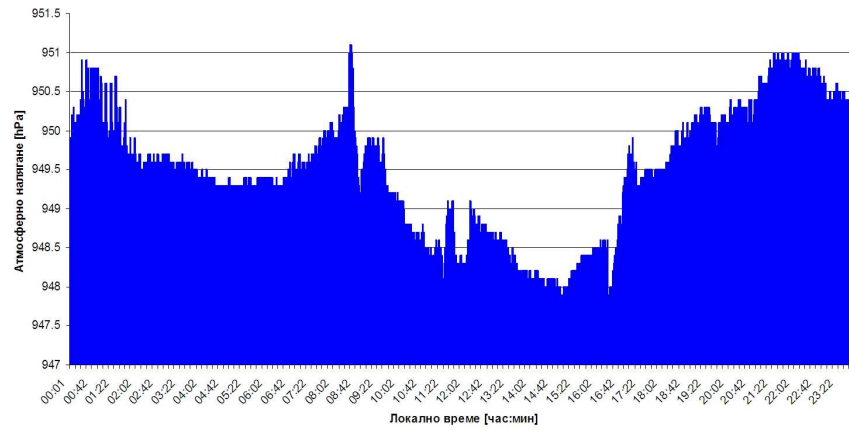
Дневен ход на температурата на въздуха при едноминутно усредняване - София, 30.01.2012 год.



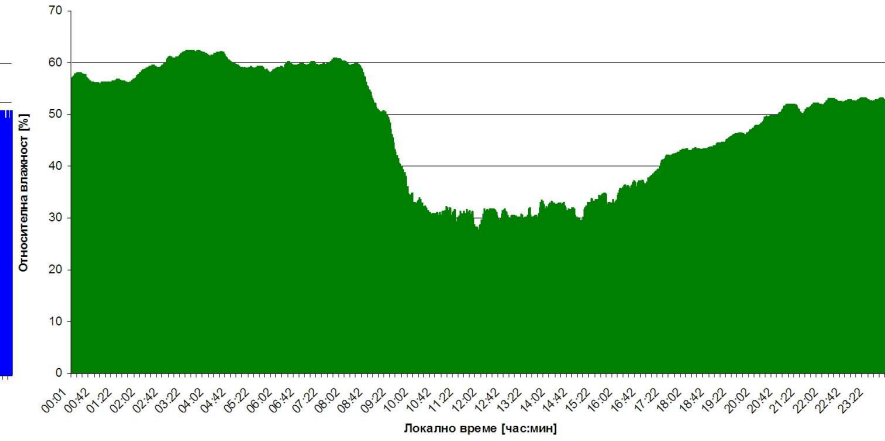
Дневен ход на скоростта на вятъра при едноминутно усредняване - София, 30.01.2012 год.



Дневен ход на атмосферното налягане при едноминутно усредняване - София, 30.01.2012 год.



Дневен ход на относителната влажност на въздуха при едноминутно усредняване - София, 30.01.2012 год.



Какви изводи могат да се направят?

1. Дори да имаме абсолютно еднакви метрологични характеристики на класическия термометър и на сензора на АМС, само поради различните времена на усредняване можем да получим разлики в температурата на въздуха от порядъка на ± 0.7 °C. И това през зимния сезон! Колко по-големи са през другите сезони? Само от сезона ли зависят? Знам нещо по въпроса, но ми се иска да направим едно такова изследване с младите колеги, разбира се ако имат желание.
2. Ако има равенство на показанията на термометъра от метеорологичната клетка и сензора на АМС, също поставен в нея, то ще бъде случайно. Няма никакви причини да очакваме такова равенство! Така че, битуващото мнение, че ще “проверяваме” работата на АМС, като поставим сензора ѝ в метеорологичната клетка и сравняваме със сухия термометър е несериозно. За това си има метрология! Там се определят метрологичните характеристики на уредите!
3. От допълнително проучване се нуждае въпросът за “синхронизиране” на сроковете на измерванията с АМС с тези в метеопарковете. Наблюдаваните в рамките на ± 10 минути разлики между средните за тези интервали спрямо измерването “по средата” на интервала може би не са случайни.

4. Когато към ефектите, които разгледахме, се добави и влиянието на радиационните защиты става очевидно, че разликата между данните получени от класически прибори и от АМС е напълно нормален ефект. Тези разлики отникъде не показват, че някой от приборите не “мери точно”. Разбира се това е при условие, че се използват професионални прибори с точно определена и отговаряща на изискванията на СМО неопределеност на измерванията. В противен случай, задачата с определяне на “поправки” става абсолютно нерешима.

Както вероятно разбрахте, тази лекция няма за цел да покаже резултати от някакво завършено изследване. Искаше ми се да събудя интерес към този нерешен, не само у нас, проблем. Да подтикна по-младите колеги да се заемат и с него. Както и никога да не забравят, че нещата са по-сложни и взаимно обвързани, отколкото изглеждат на пръв поглед и, че в основата на всичко в метеорологията стоят качествените данни и умението да можеш да ги прецениш.



Благодаря за вниманието!