

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ

Милан Гојак, Драгана Дудић, Иван Златановић,
Коста Глигоревић, Тијана Урошевић, Неџад Рудоња,
Јела Буразер, Александар Саљников

СОФТВЕР ЗА ФИЛТРИРАЊЕ, ОБРАДУ И
ВИЗУЕЛИЗАЦИЈУ ПРИКУПЉЕНИХ
МЕТЕОРОЛОШКИХ ПОДАТАКА

ТЕХНИЧКО РЕШЕЊЕ

Београд, 2012. год.

Подтип техничког решења

M85 – нови софтвер

Наручилац техничког решења

Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије
Универзитет у Београду, Машински факултет

Корисник техничког решења

Универзитет у Београду, Машински факултет
Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет

Година израде техничког решења

2011. год.

Област технике на коју се техничко решење односи

Машинство, Термотехника – Примењена термомеханика

Верификација резултата

Резултати су верификовани на Машинском факултету Универзитета у Београду поређењем са резултатима других аутора.

Линк техничког решења

solar.mas.bg.ac.rs

Садржај

1	Област технике на коју се техничко решење односи	4
2	Технички проблем који се решава.....	4
2	Стање решености проблема у свету. Приказ и анализа постојећих решења	5
3	Суштина техничког решења	5
4	Детаљан опис техничког решења.....	6
	4.1 Опис софтвера	6
	4.2 Модули за филтрирање и обраду података.....	8
	4.3 Визуелизација података	12
5	Закључак.....	13
	Литература	14

1 Област технике на коју се техничко решење односи

Техничко решење представља софтвер за филтрирање, обраду и визуелизацију прикупљених метеоролошких података.

Ово техничко решење припада области машинства, односно научној области термотехника – примењена термомеханика, дефинисана као матичном области Машинског факултета Универзитета у Београду.

Класификацијом Националног савета за научни и технолошки развој Републике Србије, представљеном у Правилнику о поступку и начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача од 21. марта 2008. године, ово техничко решење се третира као резултат са ознаком М85 – нови софтвер.

2 Технички проблем који се решава

Актуелни стандарди за испитивање соларних компонената и система (SRPS, EN, ISO, DIN и други) подразумевају одређивање свих релевантних параметара рада инсталације на посматраном локалитету. С тим у вези, неопходно је припремити све улазне податке за одабрану локацију ради одређивања стандардом дефинисаних величина, као што су: топлотни учинак колектора, фактор промене упадног угла зрачења, топлотни капацитет колектора, одговарајући падови притисака, и др. Такође, потребно је извршити и различите тестове квалитета за чију је изведбу неопходно анализирати компоненте у раду, односно система на датој локацији. Величине које су од значаја за рад компонената и система као целине се мере одговарајућим мерним инструментима. Те величине су неопходне за дефинисање стања влажног атмосферског ваздуха (температура, релативна влажност), кретања ваздуха (брзина и правац струјања ветра), амбијенталних карактеристика атмосфере на посматраној локацији (облачност, количина падавина и слично) као и величина које осликавају енергетски потенцијал Сунца на посматраној локацији (укупно, директно и дифузно зрачење). Ове величине се прикупљају најчешће на часовном нивоу, а потом сортирају и смештају у базу података. База података ће на тај начин, уколико су у питању часовна мерења, обухватити по 8760 мерних вредности на нивоу године за сваку измерену величину. Поједине измерене величине је могуће употребити у изворном облику, док су друге у таквом облику неподесне и потребно их је прерачунати и представити у одговарајућем формату погодном за даље коришћење.

Техничко решење, софтвер за филтрирање, обраду и визуелизацију прикупљених метеоролошких података, осмишљен је и израђен тако да прикупљене податке ефикасно и једноставно процесуира, а добијене резултате потом представи кориснику на разумљив и прегледан начин. Овај софтвер је првенствено намењен за процесуирање сопствених мерених вредности, али је при његовој изради вођено рачуна да се и улазни формати за друге сличне апликације такође могу процесуирати уз минимална усаглашавања са жељеном формом. Основне компоненте софтвера су потпрограми за филтрирање података (издвајање минималних, максималних и просечних вредности у жељеном временском интервалу посматрања), за обраду

података (израчунавање непознатих карактеристичних величина које су од значаја, а на основу измерених вредности одговарајућих величина) и визуелизацију резултата (графичко представљање резултата са могућношћу упоредног приказивања сродних величина и могућношћу експортовања у друге формате погодне за даљу анализу).

2 Стање решености проблема у свету. Приказ и анализа постојећих решења

Нагли развој и доступност рачунарске технике у свету омогућио је брзу и ефикасну манипулацију великим базама података. У свету постоји велики број софтвера који на сличан начин процесуирају податке, међутим, чак се и у сродним областима истраживања не примећује строга унификација величина које представљају улазне и излазне величине софтвера. Очигледан је пример софтверски пакет под називом *Climate Consultant* развијен на *UCLA (University of California, Los Angeles)* [12] који за примарни задатак има филтрацију и визуелизацију метеоролошких фајлова (екстензије *.epw). Подаци се прилагођавају стандардом дефинисаним формама дефинишући параметре комфора при боравку људи у затвореном простору као што су *California Energy Code Comfort Model (2008)*, *ASHRAE Handbook of Fundamentals Comfort Model (2005)* и *ASHRAE Standard 55-2004 Model*. У пракси се често срећу софтвери код којих је један од модула посвећен сличној проблематици. Тако на пример, програм *TRNSYS - Transient System Simulation Program* [13], чија је примарна функција симулирање рада система, поседује засебан модул за учитавање и препознавање више различитих формата база метеоролошких података (*.dat, *.tmy, *.tmy2 и слично). На сличан начин програм *EnergyPlus - Energy Simulation Software* [14], намењен за симулацију енергетских потреба објеката, поседује модуле за обраду података свих релевантних величина типичне метеоролошке године (*.iwec), збирних података о временским условима за посматрану локацију (*.stat) и података о спољним пројектним условима за дату локацију према *ASHRAE* стандардима (*.ddy).

На основу анализе постојећих сличних програмских решења примећује се да не постоји универзалан формат у коме се улазни подаци припремају за обраду нити универзалан начин формирања добијених резултата и обрађених података. Ауторима је остављена могућност да у складу са потребама проистеклим из сопствених истраживања слободно приступају креирању алгоритама за формирање база података и њихову обраду.

3 Суштина техничког решења

Користећи познате термодинамичке релације развијен је софтвер за процесуирање експерименталних података. У софтвер су имплементирани модули за филтрирање, обраду и визуелизацију података. Софтвер решава проблем обраде великих база прикупљених података у кратком временском периоду и визуелизације коначних резултата, чиме се битно скраћује време потребно за анализу проблема, праћење трендова промене релевантних параметара процеса или издвајање карактеристичних вредности у посматраним жељеним интервалима.

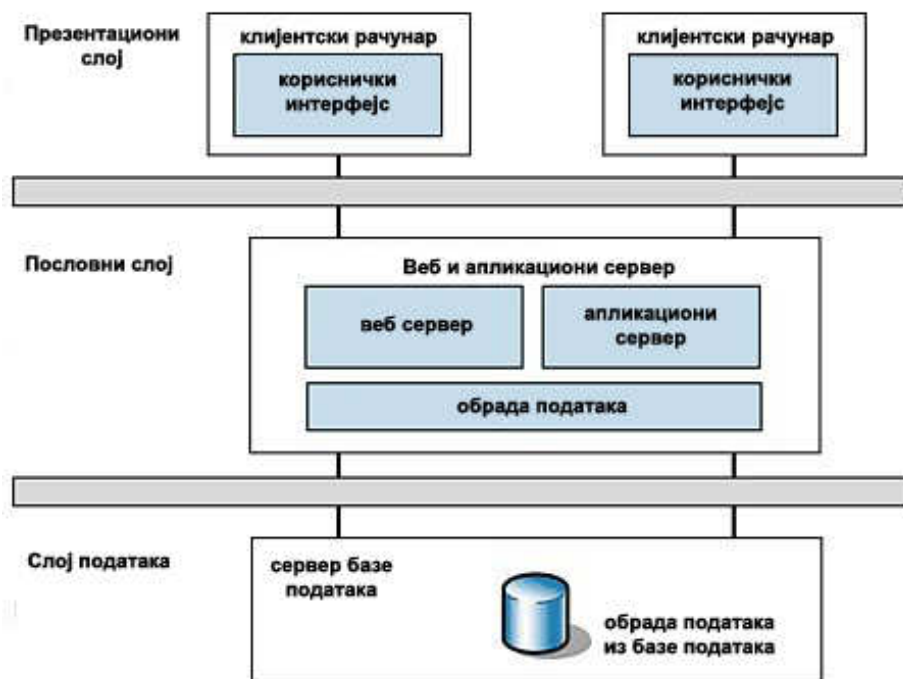
Развијени софтвер је једноставан за употребу и подржан пратећом документацијом, са могућношћу брзе доградње модула по захтеву корисника. Значајно

је то што је софтвер доступан заинтересованим истраживачима у нашој земљи и у иностранству.

4 Детаљан опис техничког решења

4.1 Опис софтвера

Софтвер се налази на серверу коме се може приступити преко мреже, попут Интернета. Основна карактеристика софтвера је вишеслојна архитектура [2] приказана на слици 4.1. Презентациони слој омогућава интеракцију са корисником и доступан је путем различитих клијената као што су web читачи. Пословни слојеви представљају логички део апликације. Сваки слој пословне логике обрађује податке добијене из претходног слоја и резултат прослеђује наредном слоју. Крајњи резултат обраде података пословних слојева се прослеђује слоју за приступ подацима. Слој за приступ подацима комуницира са извором података, често базом података, ради чувања и читања постојећих података.



Слика 4. 1 Визуелни преглед структуре вишеслојне апликације

Софтвер за филтрирање, обраду и визуелизацију метеоролошких података на више начина процесуира експерименталне податке смештене у бази података [3]. Формат базе података коју софтвер увози и обрађује мора бити такав да садржи експерименталне податке за $n = 1, 2 \dots 7$ параметара $p(n)$ где су:

- $p(1)$ – температура ваздуха по сувом термометру, °C,
- $p(2)$ – релативна влажност ваздуха, % ,
- $p(3)$ – глобално зрачење на хоризонталну површ, Wh/m² ,
- $p(4)$ – дифузно зрачење на хоризонталну површ, Wh/m² ,
- $p(5)$ – атмосферски притисак, Pa,

$p(6)$ – брзина ветра, m/s,

$p(7)$ – правац ветра.

Јединице у којима се параметри изражавају морају бити у складу са претходно наведеним форматом и редоследом приказивања.

Овај софтвер користи HTML [4] као језик за обележавање, CSS [5] као стилски језик, PHP [6] као скриптни језик и MySQL [7] за рад са базама података.

Карактеристике софтвера за филтрирање, обраду и визуелизацију прикупљених метеоролошких података су: стабилност, поузданост, флексибилност, ефикасност, функционалност, преносивост и доступност.

The screenshot shows the TR-33048 web application interface. At the top left is the logo of the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia. The main navigation menu on the left includes: Информације о пројекту, Софтвер, Упутство за коришћење, and Контакт подаци. Below the menu is a line graph showing data trends. The main content area is titled 'Одабир датотеке са метеоролошким подацима:' and contains several sections for configuration:

- Начин филтрирања података:** Options for minimum, average value (selected), and maximum.
- Временски интервал:** Options for hourly (selected), daily, and monthly, with date range pickers.
- Избор основних параметара(*):** Checkboxes for Air temperature, Relative humidity, Global radiation, Diffuse radiation, Atmospheric pressure, and Wind speed.
- Избор моделованих параметара:** Checkboxes for Partial vapor pressure of moist air, Absolute humidity of moist air, Enthalpy of moist air, Air temperature by wet-bulb thermometer, and Dew point temperature.
- Избор зависних моделованих параметара:** Time pickers (hour, minute, day, month) and location pickers (latitude, azimuth, slope). Checkboxes for Total solar radiation, Direct normal solar radiation, Solar declination angle, Hourly angle, Solar altitude angle, and Incidence angle of solar rays.
- Начин приказа:** Options for graphical (selected) and tabular.

A 'Привлажи резултат' button is at the bottom, and a note states: '*Неопходно је да се изабере бар један параметар'.

Слика 4. 2 Изглед прозора за одабир параметара и начина њиховог приказивања

На основу одабраног начина филтрирања података и жељеног временског интервала (слика 4.2), софтвер одређује вредности параметара које је корисник изабрао

користећи податаке смештене у бази и унете математичке зависности за обраду података. Кориснику софтвера је остављен избор да ли ће процесуирани подаци бити приказани графички (слика 4.3) или табларно. Табеларни подаци се презентују у изворном облику за сваки параметар. За графички приказ се одабрани параметри групишу тако да сродни параметри буду у истој групи. На основу формираних група се врши нормализација добијених вредности које ће бити графички представљене.

4.2 Модули за филтрирање и обраду података

Филтрирање података подразумева издвајање одговарајућих података из базе података према унапред задатим критеријумима: минималних, просечних или максималних вредности. Ове вредности су одређене у складу са изабраним временским интервалом посматрања, односно на часовном, дневном и месечном нивоу. Жељене вредности $v[n][i]$ се из базе издвајају по методологији приказаној једначинама:

$$\min \{p[n]\} = \min \{v[n][i]\}, \quad (4.1)$$

$$\max \{p[n]\} = \max \{v[n][i]\} \text{ и} \quad (4.2)$$

$$avg \{p[n]\} = \sum_{i=1}^j \frac{v[n][i]}{j}. \quad (4.3)$$

где је врста параметра означена са $n = 1, 2, \dots, 7$, вредност ћелије у бази података колоне параметара назначена са $i = 1, 2, \dots, 8760$, а посматрани временски интервал одређен вредношћу $j = 12; 365; 8760$.

Обрада података подразумева моделирање нових термомеханичких величина коришћењем познатих математичких релација различите сложености чија се примена знатно поједностављује употребом одговарајућих програмских рутина.

Моделирање непознатих величина стања влажног ваздуха изведено је коришћењем улазних параметара: $p(1)$ - температуре ваздуха по сувом термометру и $p(2)$ - релативне влажности ваздуха. За потребе софтвера извршено је моделирање зависности парцијалног притиска водене паре у засићеном влажном ваздуху (притиска засићења чисте водене паре) од температуре $p'_p = f(t)$, односно $p(8) = f(p(1))$. Извршено је фитовање података приказаних у Табели 1 применом регресионе анализе.

Табела 4.1 Притисак засићења водене паре [8, 9]

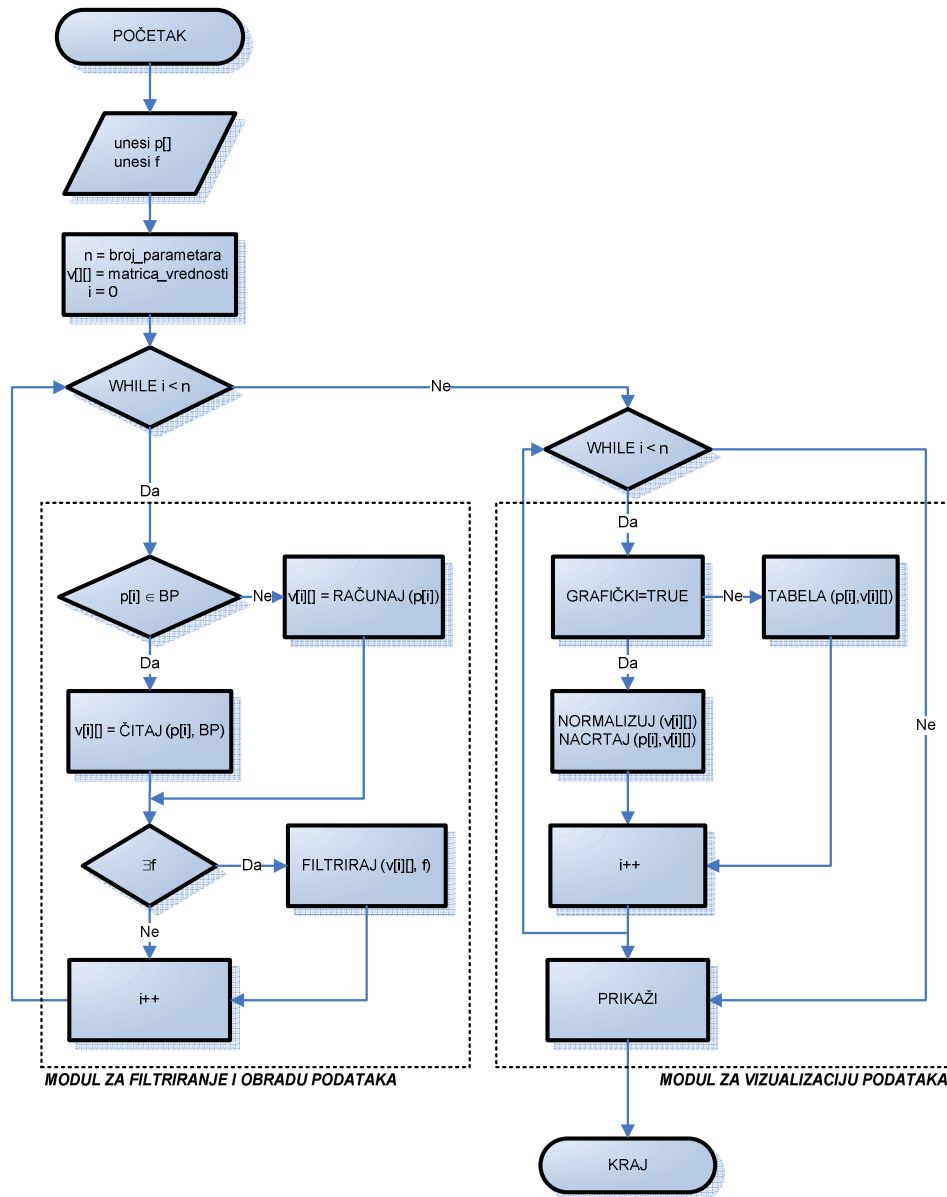
$p(1)$	t	°C	0	10	20	30	40	50	60	70
$p(8)$	p'_p	kPa	0.61	1.23	2.34	4.24	7.37	12.33	19.92	31.17

Добијена функционална зависност је у параметарском облику приказана једначином

$$\left. \begin{aligned} p'_p &= C_1 + C_2 \exp\left(\frac{-t}{C_3}\right) \\ p(8) &= C_1 + C_2 \exp\left(\frac{-p(1)}{C_3}\right) \end{aligned} \right\}, \text{ [kPa]}, \quad (4.4)$$

при чему константе, одређене тако су вредности стандардне грешке регресије најмање, имају следеће вредности:

$$C_1 = -1.0449856, C_2 = 1.4437275, C_3 = -22.517263. \quad (4.5)$$



Слика 4. 3 Алгоритамска шема софтвера

Софтвер даље приступа одређивању преосталих величина стања влажног ваздуха користећи једначине (4.6) до (4.11):

$$\left. \begin{aligned} p_p &= \varphi p'_p, \\ p(9) &= p(2) p(8) \cdot 10^3 \end{aligned} \right\} \Rightarrow p(9), [\text{Pa}], \quad (4.6)$$

$$\left. \begin{aligned} x' &= \frac{M_w}{M_{sv}} \frac{p'_p}{p_a - p'_p}, \\ \left. \begin{aligned} p_a &= 101325 \text{ Pa} \\ M_w &= 18.016 \text{ kg/kmol} \\ M_{sv} &= 28.964 \text{ kg/kmol} \end{aligned} \right\} &\Rightarrow p(10), [\text{kg/kg}], \end{aligned} \right\} \quad (4.7)$$

$$p(10) = \frac{M_w}{M_{sv}} \frac{p(8)}{p_a - p(8)}$$

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{M_w}{M_{sv}} \frac{p_p}{p_a - p_p}, \\ \left. \begin{aligned} p(11) &= \frac{M_w}{M_{sv}} \frac{p(9)}{p_a - p(9)} \end{aligned} \right\} &\Rightarrow p(11), [\text{kg/kg}], \end{aligned} \right\} \quad (4.8)$$

$$\left. \begin{aligned} h &= c_p t + x(r_o + c_{p_p} t), \\ \left. \begin{aligned} c_p &= 1.004 \text{ kJ/kgK} \\ r_o &= 2500 \text{ kJ/kg} \\ c_{p_p} &= 1.805 \text{ kJ/kgK} \end{aligned} \right\} &\Rightarrow p(12), [\text{kJ/kg}], \end{aligned} \right\} \quad (4.9)$$

$$p(12) = c_p p(1) + p(11)(r_w + c_{p_p} p(1))$$

$$\left. \begin{aligned} t_w &= \frac{h - x' r_o}{c_p + x' c_{p_p}}, \\ \left. \begin{aligned} p(13) &= \frac{p(12) - p(10) r_o}{c_p + p(10) c_{p_p}} \end{aligned} \right\} &\Rightarrow p(13), [^\circ\text{C}], \end{aligned} \right\} \quad (4.10)$$

$$\left. \begin{aligned} A &= \ln(p_p) = \ln(p(9)), \\ t_R &= K_1 + K_2 A + K_3 A^2 + K_4 A^3 + K_5 (p_p)^{K_6} \\ \left. \begin{aligned} K_1 &= 6.54 \\ K_2 &= 14.526 \\ K_3 &= 0.7389 \\ K_4 &= 0.09486 \\ K_5 &= 0.4569 \\ K_6 &= 0.1984 \end{aligned} \right\} &\Rightarrow p(14), [^\circ\text{C}], \end{aligned} \right\} \quad (4.11)$$

$$p(14) = K_1 + K_2 A + K_3 A^2 + K_4 A^3 + K_5 [p(9)]^{K_6}$$

где су израчунати параметри:

- $p(8)$ – притисак zasiћeња водене паре, kPa,
- $p(9)$ – парцијални притисак водене паре у влажном ваздуху, Pa,
- $p(10)$ – апсолутна влажност zasiћeног влажног ваздуха, kg/kg,

- $p(11)$ – апсолутна влажност ваздуха, kg/kg,
- $p(12)$ – специфична енталпија незасићеног влажног ваздуха, kJ/kg,
- $p(13)$ – температура ваздуха по влажном термометру, °C,
- $p(14)$ – температура тачке росе [10], °C.

Софтвер даље приступа обради зависних моделирању величина које осликавају енергетски потенцијал Сунца на посматраној локацији. Од корисника софтвера се захтева унос следећих параметара неопходних за његов даљи рад:

- $p(15)$ – жељени месец у години, $p(15) = 1 \div 12$,
- $p(16)$ – жељени дан у месецу, $p(16) = 1 \div 31$,
- $p(17)$ – жељени дан у години, $p(17) = 1 \div 365$,
- $p(18)$ – жељени сат у дану, $p(18) = 1 \div 24$,
- $p(19)$ – жељени минут у сату, $p(19) = 0 \div 59$,
- $p(20)$ – географска ширина (латитуда) посматране локације, °,
- $p(21)$ – угао Сунчано-зидног азимута, $p(21) = \gamma = 0 \div 90^\circ$,
- $p(22)$ – угао нагиба површи према хоризонталној равни, $p(22) = \phi = 0 \div 90^\circ$.

У даљем раду софтвера моделирају се зависни параметри [11] користећи једначине (4.12) до (4.17):

$$\left. \begin{aligned} \delta &= 23.45 \sin \left[\frac{360(284 + N)}{365} \right] \\ N &= f[p(15), p(16)] - \text{дан u godini} \\ p(23) &= 23.45 \sin \left[\frac{360(284 + p(17))}{365} \frac{\pi}{180} \right] \end{aligned} \right\} \Rightarrow p(23), [^\circ], \quad (4.12)$$

$$\left. \begin{aligned} h &= 180 - [15p(18)] \\ p(24) &= 180 - [15p(18)] \end{aligned} \right\} \Rightarrow p(24), [^\circ], \quad (4.13)$$

$$\left. \begin{aligned} \beta &= \arcsin \left(\frac{\sin(p(23)) \sin(p(20)) + \dots}{\dots \cos(p(23)) \cos(p(20)) \cos(p(24))} \right) \\ p(25) &= \beta \end{aligned} \right\} \Rightarrow p(25), [^\circ], \quad (4.14)$$

$$\left. \begin{aligned} \Theta &= \arccos \left(\frac{\cos(p(25)) \cos(p(21)) \sin(p(22)) + \dots}{\dots \sin(p(25)) \cos(p(22))} \right) \\ p(26) &= \Theta \end{aligned} \right\} \Rightarrow p(26), [^\circ], \quad (4.15)$$

$$I_{\ominus,uk} = p(3) \cdot \left. \begin{array}{l} \left[\sin(p(25))\cos(p(22)) + \dots \right] \\ \left[\dots\cos(p(26))\sin(p(22)) \right] \end{array} \right\} \Rightarrow p(27), \left[\text{Wh/m}^2 \right], \quad (4.16)$$

$$p(27) = I_{\ominus,uk}$$

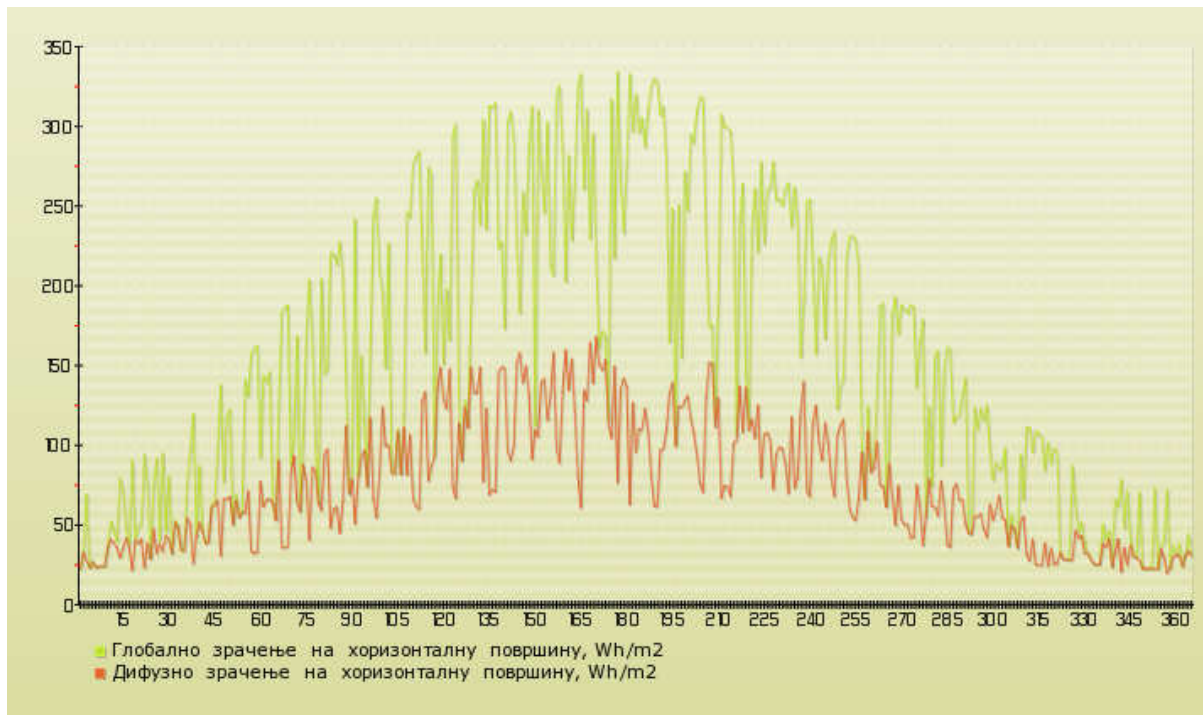
$$\left. \begin{array}{l} I_{\ominus,dir} = p(27) - p(4) \\ p(28) = I_{\ominus,dir} \end{array} \right\} \Rightarrow p(28), \left[\text{Wh/m}^2 \right]. \quad (4.17)$$

при чему израчунати параметри одговарају следећим величинама:

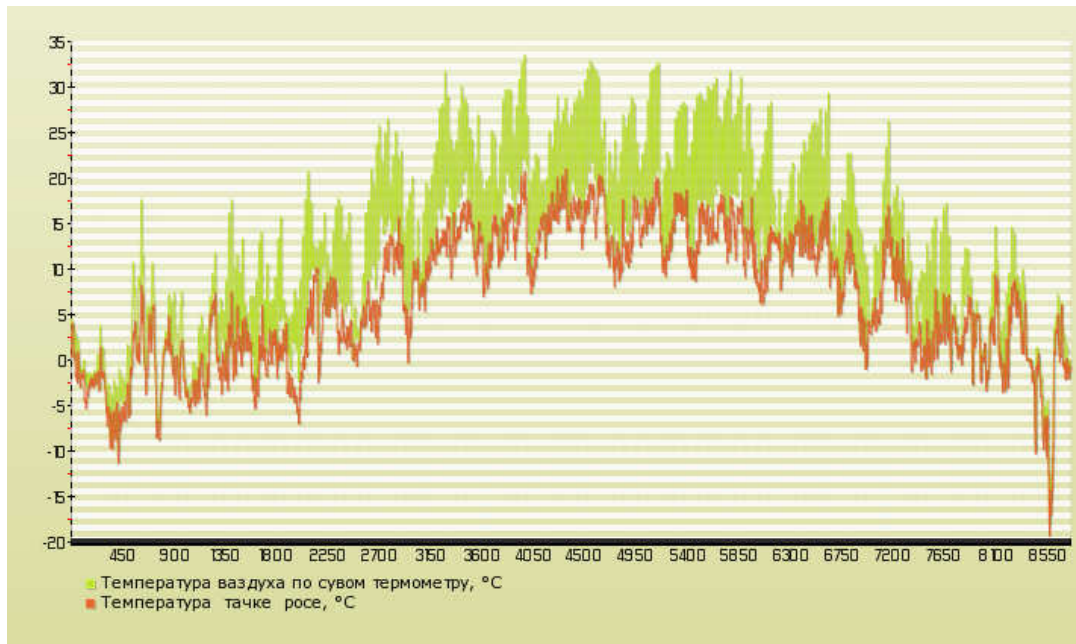
- $p(23)$ – угао соларне деклинације, °,
- $p(24)$ – часовни угао, °,
- $p(25)$ – угао висине Сунца, °,
- $p(26)$ – упадни угао сунч.зрака на нагнуту површину у односу на нормалу, °,
- $p(27)$ – глобално зрачење на нагнуту површину, Wh/m^2 ,
- $p(28)$ – директно нормално зрачење на нагнуту површину, Wh/m^2 .

4.3 Визуелизација података

Визуелизација податка подразумева графички приказ измерених и моделираних вредности термомеханичких величина, при чему је предвиђена и могућност приказивања сродних величина на истом графику, као што је то дато примером на сликама 4.4 и 4.5. Такође, предвиђена је и могућност извожења базе података допуњене резултатима обрађених и моделираних величина у *.csv формату (енг. Comma Separated Values).



Слика 4. 4 Графички приказ дневних вредности глобалног и дифузног зрачења на хоризонталну површ у временском интервалу од годину дана



Слика 4. 5 Графички приказ часовних вредности температура ваздуха по сувом термометру и температуре тачке росе у временском интервалу од годину дана

5 Закључак

Примена оваквог рачунарског програма који аутоматизује прорачун и пружа графичку слику при променама посматраних параметара може омогућити брзо спровођење многобројних анализа које се заснивају на вишекритеријумским основама.

Могућност извожења моделираних величина у нову – допуњену базу података даје овом софтверу посебан значај, нарочито због приказивања добијених података у тзв. „*user-friendly*“ формату који је прихваћен од стране огромног броја софтвера које се данас користе у математичко-статистичким анализама података.

Једноставност коришћења овог софтвера, као и могућност упоредног графичког приказивања различитих величина доприноси даљем разматрању и проучавању ове проблематике.

Литература

- [1] Casal, D. (2005): Advanced Software Development for Web Applications, Technical Report TSW0505, JISC Technology and Standards Watch.
- [2] Radi H. (2002): Creating Multi-Tier Web Applications with PHP, PHP – Conference 2002, Frankfurt.
- [3] Дудић Д. (2012): Тutorials за пројектовање релационих база података, <http://www.scribd.com/doc/44002653/Projektovanje-Relacionih-Baza-Podataka-2>, приступљено у децембру 2012.
- [4] Schmitt C, Simpson K. (2011): HTML5 Cookbook, O'Reilly Media, Inc.
- [5] Collison, S, Budd, A, Moll, C. (2009): CSS Mastery: Advanced Web Standards Solutions, Apress.
- [6] Schlossnagle, G. (2004): Advanced PHP programming, Sams Pub.
- [7] Stobart, S, Parsons, D. (2008): Dynamic Web Application Development: Using Php and Mysql, Cengage Learning EMEA.
- [8] Милинчић, Д, Вороњец, Д. (2000): Термодинамика, Машински факултет у Београду, Београд.
- [9] Козић, Ђ, Васиљевић, Б, Бекавац, В. (2007): Приручник за термодинамику, Машински факултет у Београду, Београд.
- [10] ASHRAE Fundamentals Handbook 1997. Chapter 6 – Psychrometrics.
- [11] ASHRAE Applications Handbook 1999. Chapter 32 – Solar energy use.
- [12] Climate Consultant, <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu>
- [13] TRNSYS, <http://sel.me.wisc.edu/trnsys>
- [14] EnergyPlus, <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus>