



УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ  
ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА

Новак Н. Николић

**ИСТРАЖИВАЊЕ ДВОСТРУКО-ОЗРАЧЕНОГ,  
РАВНОГ, СОЛАРНОГ ПРИЈЕМНИКА СА  
РАВНОМ РЕФЛЕКТУЈУЋОМ ПОВРШИНОМ**

Докторска дисертација

Крагујевац, 2014.

# ИДЕНТИФИКАЦИОНА СТРАНИЦА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

<i>I. Аутор</i>
Име и презиме: <b>Новак Николић</b>
Датум и место рођења: <b>08.02.1984. Крагујевац</b>
Садашње запослење: <b>Истраживач-сарадник на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу</b>
<i>II. Докторска дисертација</i>
Наслов: <b>Истраживање двоструко-озраченог, равног, соларног пријемника са равном рефлектујућом површином</b>
Број страница: <b>184</b>
Број слика: <b>102</b>
Број библиографских података: <b>44</b>
Установа и место где је рад израђен: <b>Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, Крагујевац</b>
Научна област (УДК): <b>620.91:523.9</b>
Ментор: <b>Др Небојша Лукић, ред. проф., Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу</b>
<i>III. Оцена и одбрана</i>
Датум пријаве теме: <b>17.02.2011.</b>
Број одлуке и датум прихватања докторске дисертације: <b>01-1/967-17, 21.04.2011.</b>
Комисија за оцену подобности теме и кандидата: <ol style="list-style-type: none"><li>1. <b>Др Милорад Бојић, ред. проф., Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу</b></li><li>2. <b>Др Градимир Илић, ред. проф., Машински факултет Универзитета у Нишу</b></li><li>3. <b>Др Велимир Стефановић, ред. проф., Машински факултет Универзитета у Нишу</b></li><li>4. <b>Др Душан Гордић, ред. проф., Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу</b></li><li>5. <b>Др Небојша Лукић, ред. проф., Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу</b></li></ol>
Комисија за оцену докторске дисертације: <ol style="list-style-type: none"><li>1. <b>Др Милорад Бојић, ред. проф., Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу</b></li><li>2. <b>Др Градимир Илић, ред. проф., Машински факултет Универзитета у Нишу</b></li><li>3. <b>Др Велимир Стефановић, ред. проф., Машински факултет Универзитета у Нишу</b></li><li>4. <b>Др Душан Гордић, ред. проф., Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу</b></li><li>5. <b>Др Небојша Лукић, ред. проф., Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу</b></li></ol>
Комисија за одбрану докторске дисертације: <ol style="list-style-type: none"><li>1. <b>Др Милорад Бојић, ред. проф., Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу</b></li><li>2. <b>Др Градимир Илић, ред. проф., Машински факултет Универзитета у Нишу</b></li><li>3. <b>Др Велимир Стефановић, ред. проф., Машински факултет Универзитета у Нишу</b></li><li>4. <b>Др Душан Гордић, ред. проф., Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу</b></li><li>5. <b>Др Небојша Лукић, ред. проф., Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу</b></li></ol>
Датум одбране дисертације:

*Драгим родитељима Драгани и Небојши,  
сестри Наташи, супруги Милици и сину Јакову,  
у знак пажње и захвалности,  
за несебичну подршку у животу и раду.*

## ЗАХВАЛНОСТ

Ова докторска дисертација је настала као резултат истраживања на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије „*Истраживања и развој Српске нето-нулте енергетске куће*“, под руководством проф. др Милорада Бојића. Желим да се захвалим Министарству које је финансијском подршком помогло ова истраживања.

Огромну захвалност дугујем ментору проф. др Небојши Лукићу на несебичној стручној помоћи и подршци у дефинисању и реализацији ове дисертације.

Захваљујем се и људима који су, свако на свој начин, помогли реализацију експерименталног дела дисертације: Ивану Гаљаку, Милосаву Веселиновићу, проф. др Милораду Бојићу, проф. др Драгану Тарановићу и проф. др Вукићу Лазићу.

На крају бих желео да се захвалим мојим родитељима, као и мојој највећој подршци и животној снази, супрузи Милицы и сину Јакову.

Април, 2014.  
Крагујевац

Новак Николић

# ИСТРАЖИВАЊЕ ДВОСТРУКО-ОЗРАЧЕНОГ, РАВНОГ, СОЛАРНОГ ПРИЈЕМНИКА СА РАВНОМ РЕФЛЕКТУЈУЋОМ ПОВРШИНОМ

## *Резиме*

Предмет ове докторске дисертације представљају теоријска и експериментална испитивања двоструко-озраченог, равног, соларног пријемника са равном рефлектујућом површином. Циљ ових истраживања био је сагледавање и анализа могућности повећања производње корисне топлотне енергије и термичке ефикасности класичног равног соларног пријемника, употребом равне рефлектујуће површине. Главне предности предложеног пријемно-рефлектујућег система, у односу на претходно испитиване, су: паралелност рефлектора и пријемника, огледало рефлектујућа површина и покретљивост рефлектора у сва три могућа ортогонална правца. С циљем утврђивања изводљивости предложеног концепта спроведена су теоријска и експериментална испитивања двоструко-озраченог и класичног соларног пријемника. Експерименталним испитивањима верификовани су формиран теоријски математички модели термичког понашања поменутих соларних пријемника. Највећа добијена вредност експерименталне процентуалне разлике топлотних енергија ових пријемника износи 77.55 %, што је за 29.55 % више од највеће вредности исте разлике добијене у оквиру претходних испитивања. На основу анализираних резултата истраживања закључено је да постоји оправданост коришћења предложеног пријемно-рефлектујућег система.

**Кључне речи:** соларни пријемник, рефлектор, теоријски модел, експеримент

## INVESTIGATION OF A DOUBLE-EXPOSURE FLAT-PLATE SOLAR COLLECTOR WITH FLAT-PLATE REFLECTIVE SURFACE

### *Abstract*

The subject of this dissertation is a theoretical and experimental investigations of a double-exposure flat-plate solar collector with flat-plate reflective surface. The objective of these investigations was to identify and analyze the possibilities of increasing the production of the useful thermal energy and thermal efficiency of a conventional flat-plate solar collector, using a flat-plate reflective surface. The main advantages of the proposed collector-reflector system, compared to the previously investigated, are: parallelism between reflector and absorber, mirror reflective surface and mobility of a reflector in all three possible orthogonal directions. In order to determine the feasibility of the proposed concept the theoretical and experimental tests of a double-exposure and conventional solar collector were carried out. Experimental tests verified the developed theoretical mathematical models of thermal behavior of the mentioned solar collectors. The highest obtained value of the experimental percentage difference of the thermal energies of those collectors is 77.55 %, which is 29.55 % higher than the highest value of the same difference obtained within the previous investigations. Based on the analyzed results of the investigation it was concluded that there is justification for the use of the proposed collector-reflector system.

**Key words:** solar collector, reflector, theoretical model, experiment

# САДРЖАЈ

<b>1 Увод</b> .....	1
<b>2 Преглед литературе</b> .....	3
<b>3 Математички модел соларног зрачења</b> .....	6
<b>3.1 Соларно зрачење на хоризонталну површину</b> .....	6
<b>3.2 Соларно зрачење на нагнуту површину класичног соларног пријемника</b> .....	9
<b>3.3 Соларно зрачење на нагнуту површину двоструко-озраченог соларног пријемника</b> .....	12
<b>3.4 Апсорбовано соларно зрачење класичног соларног пријемника</b> .....	13
<b>3.5 Апсорбовано соларно зрачење двоструко-озраченог соларног пријемника</b> .....	14
<b>3.5.1 Математички модел одређивања површине озрачености доњег дела апсорбера двоструко-озраченог соларног пријемника</b> .....	14
3.5.1.1 Једначине за углове $\beta_{nsGa}$ , $\beta_{ewGa}$ и $\gamma_{Ga}$ .....	18
3.5.1.2 Једначине за $\lambda$ ( $\xi$ ).....	18
3.5.1.3 Једначине за $p_{nsGa}$ .....	28
3.5.1.4 Једначине за $a_p$ (за комбинацију ситуација $DO_{ewGa}/DO_{nsGa}$ ).....	28
3.5.1.5 Једначине за $b_{pnsGa}$ (за комбинацију ситуација $DO_{ewGa}/DO_{nsGa}$ ).....	31
3.5.1.6 Једначине за $a_p$ (за комбинацију ситуација $DO_{ewGa}/POZ_{nsGa}$ ).....	31
<b>3.5.2 Утицај бочних страна двоструко-озраченог пријемника на површину озрачености доњег дела његовог апсорбера</b> .....	32
3.5.2.1 Једначине за $l_{1ewdb}$ , $l_{2ewdb}$ , $l_{1ewb}$ , $l_{2ewb}$ , $l_{1nsdb}$ , $l_{2nsdb}$ , $l_{1nsl}$ и $l_{2nsl}$ .....	34
3.5.2.2 Једначине за $\lambda_{novo}$ ( $\xi_{novo}$ ) .....	36
3.5.2.3 Једначине за $a_p$ , $b_{pewGa}$ , $b_{pnsGa}$ .....	38
<b>3.5.3 Математички модел фактора облика</b> .....	39

<b>4 Математички модели топлотних губитака соларних пријемника.....</b>	<b>42</b>
<b>4.1 Топлотни губици класичног соларног пријемника .....</b>	<b>42</b>
4.1.1 Топлотни губици горње површине класичног соларног пријемника .....	43
4.1.2 Топлотни губици доње површине класичног соларног пријемника .....	45
4.1.3 Топлотни губици бочних површина класичног соларног пријемника .....	45
<b>4.2 Топлотни губици двоструко-озраченог соларног пријемника .....</b>	<b>46</b>
4.2.1 Топлотни губици горње површине двоструко-озраченог соларног пријемника.....	47
4.2.2 Топлотни губици доње површине двоструко-озраченог соларног пријемника.....	48
4.2.3 Топлотни губици бочних површина двоструко-озраченог соларног пријемника.....	49
<b>5 Математички модели термичког понашања класичног и двоструко-озраченог соларног пријемника.....</b>	<b>50</b>
5.1 Једначина енергетског биланса апсорбера соларног пријемника .....	50
5.2 Једначина енергетског биланса за флуид у цеви апсорбера соларног пријемника.....	55
5.3 Средња температура флуида и средња температура апсорбера .....	58
5.4 Топлотна снага класичног и двоструко-озраченог соларног пријемника.....	59
5.5 Ефикасност класичног и двоструко-озраченог соларног пријемника.....	60
<b>6 Експеримент .....</b>	<b>61</b>
6.1 Експериментална инсталација класичног и двоструко-озраченог соларног пријемника .....	61
6.2 Мерни ланац и мерна опрема .....	66
6.3 Услови и процедура испитивања .....	69
6.4 Резултати испитивања .....	69

<b>7 Нумеричка симулација и експериментална верификација математичких модела</b> .....	77
<b>7.1 Симулације и експериментална верификација математичког модела одређивања површине озрачености доњег дела апсорбера двоструко-озраченог соларног пријемника</b> .....	77
7.1.1 Оптимални положај рефлектора .....	84
<b>7.2 Симулације и експериментална верификација математичких модела термичког понашања класичног и двоструко-озраченог соларног пријемника</b> .....	93
7.2.1 Симулације и експериментална верификација математичког модела термичког понашања класичног соларног пријемника .....	94
7.2.2 Симулације и експериментална верификација математичког модела термичког понашања двоструко-озраченог соларног пријемника .....	98
7.2.3 Поређење класичног и двоструко-озраченог соларног пријемника .....	104
7.2.3.1 Корисна топлотна снага .....	104
7.2.3.2 Средња температура флуида .....	111
7.2.3.3 Ефикасност соларног пријемника .....	115
7.2.3.4 Годишња производња топлотне енергије класичног и двоструко-озраченог соларног пријемника .....	120
<b>8 Закључак</b> .....	126
<b>9 Литература</b> .....	130
<b>10 Номенклатура</b> .....	133
<b>11 Прилог А - Експериментални резултати испитивања класичног и двоструко-озраченог соларног пријемника</b> .....	139
<b>12 Прилог Б - Теоријски резултати испитивања класичног и двоструко-озраченог соларног пријемника</b> .....	159



# 1 Увод

Потреба за све већом употребом обновљивих извора енергије, у овом случају Сунчеве енергије, захтева спровођење већег броја сложених истраживања на пољу повећања ефикасности система који трансформишу Сунчеву енергију у неки други вид енергије, топлотну и/или електричну. Најзаступљенији соларни пријемници су равни, водени, соларни пријемници. Поменути пријемници Сунчево зрачење трансформишу у топлотну енергију посредством апсорберских плоча високе вредности топлотне проводљивости (бакар, алуминијум). Главни носилац топлотне енергије је радни флуид (вода или несмрзавајућа течност) који пролази кроз апсорбер или апсорберске цеви интегрисане или причвршћене за исти. Типичан соларни пријемник се, поред главног елемента, апсорбера, састоји од изолације смештене са доње стране и застакљења постављеног са горње стране апсорбера. Све ове делове носи и обједињује кутија соларног пријемника. Главна улога застакљења и изолације је редукција топлотних губитака пријемника насталих као последица разлике температура пријемника (апсорбера или радног флуида) и околине.

Највеће ограничење по питању масовније употребе конвенционалних соларних пријемника представља њихова релативно ниска просечна ефикасност и у вези с тим високи инвестициони трошкови. Из тих разлога, у претходном периоду спроведена су различита истраживања побољшања ефикасности равних, водених, соларних пријемника, која се креће у просеку од 40-46 % [1]. Велики број научних радова, који се односе на одређивање оптималног угла нагиба соларног пријемника, је објављено. Оптималан угао пријемника представља најважнији услов максималне могуће апсорпције соларног зрачења. Разматран је и утицај промене димензија, односа дужине и ширине апсорбера [2], промене броја цеви у апсорберу [2], промене квалитета застакљења и изолације [3, 4], на ефикасност соларног пријемника. Анализирани су и утицаји брзине ветра [5], замене радног флуида [3], промене апсорпционо-емисионих карактеристика апсорбера [3] као и увођење ребара са унутрашње стране цеви апсорбера [1] на ефикасност пријемника.

Претходно поменуте могућности повећања ефикасности пријемника нису биле везане за драстичне модификације облика, величине и изгледа соларног система. Побољшање функционисања пријемника разматрано је и са аспекта развоја нових модела другачијег изгледа, облика и начина преноса апсорбоване топлотне енергије на радни медијум. Тако су се појавили вакуумски соларни пријемници са директним током или топлотним цевима, пријемници са променом фазе, као и пријемници са концентраторима било равним, параболичним или цилиндричним.

Резултати испитивања различитих типова класичних или модификованих равних, водених соларних пријемника указују на то да је теоријски највећи допринос побољшању ефикасности пријемника имплементирање ребара унутар цеви апсорбера, као и коришћење концентратора соларног зрачења [1]. Веома занимљив приступ побољшању ефикасности је увођење концентришућих површина испод пријемника чиме и доња површина апсорбера постаје активна у апсорпцији зрачења [6, 7].

На основу претходно изложеног, основни циљ ове дисертације је замишљен као утврђивање могућности повећања производње корисне топлотне енергије и ефикасности класичног равног, воденог соларног пријемника, употребом равне рефлектујуће површине (рефлектора). Основна улога рефлектора, који би био постављен паралелно испод

пријемника, је рефлектовање дозраченог соларног зрачења на доњу површину апсорбера пријемника. На тај начин, апсорбер оваквог соларног пријемника би имао способност апсорбовања дозраченог соларног зрачења истовремено својом горњом и доњом површином. Да би се омогућила апсорпција доњом површином апсорбера неопходно је да претходно изолација, смештена у доњем делу кутије пријемника буде уклоњена, а доња страна кутије пријемника замењена застакљењем. Код оваквог пријемно-рефлектујућег система (ПРС), пријемник би био фиксиран под одређеним углом нагиба, док би рефлектор паралелан пријемнику, био покретан у сва три могућа ортогонална правца. Због потребе поређења овог двоструко-озраченог соларног пријемника (ДОП) и класичног соларног пријемника (КП) развијени су математички модели њиховог термичког понашања. Истовремено, исти соларни пријемници су конструисани и експериментално испитани у циљу верификације формираних теоријских модела.

## 2 Преглед литературе

Од свих до сада развијених и реализованих соларних система највећу распрострањеност и најширу примену имају равни застакљени водени пријемници. Разлог за то су релативно нижи инвестициони трошкови у односу на остале развијене моделе пријемника, пре свега вакуумске или концентришуће. Претходних деценија спроведена су различита истраживања на пољу побољшања перформанси односно ефикасности поменутих конвенционалних пријемника. Нека од истраживања наведена су у претходном одељку [2, 3, 4, 5, 6, 7]. Теоријски, највећи допринос повећању ефикасности функционисања ових пријемника може се постићи, под одговарајућим условима, оребрењем унутрашњих површина апсорберских цеви ( $\eta = 60-72\%$ ) као и применом концентришуће или рефлектујуће површине ( $\eta = 50-68\%$ ) [1].

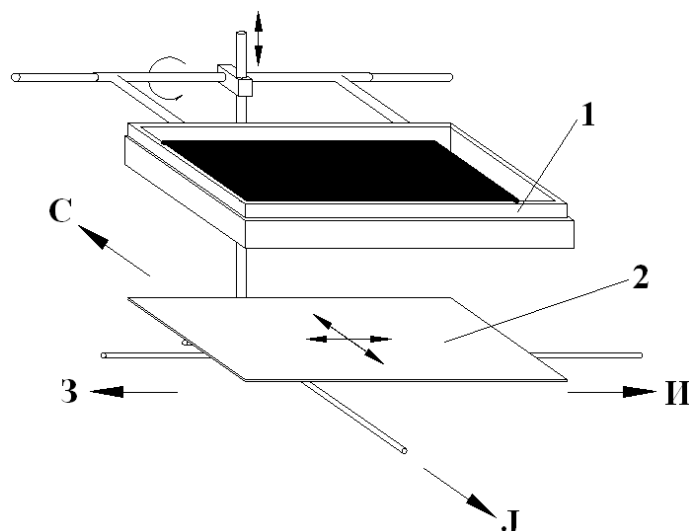
Спроведена су многа научна истраживања везана за соларне пријемнике са рефлектујућом површином. Истраживања се пре свега разликују по томе да ли је рефлектујућа површина равна, цилиндрична или сферична. На тему рефлектора, чија површина није равна, постоје научни радови [6, 7,...]. У [7] анализиран је соларни пријемник, интегрисан са два стационарна цилиндрична концентратора (рефлектора), чија је ефикасност у поређењу са класичним пријемницима далеко већа при условима соларног зрачења малог интензитета. Сличан модел пријемника али са стационарним параболичним концентраторима експериментално је испитиван у [6]. Примењеним соларним системом грејања могуће је редуковати 30-70 % топлотних губитака у поређењу са класичним соларним пријемником.

Следе научни радови у којима су разматрани једноструко-озрачени (класични) соларни пријемници са равном рефлектујућом површином [8-23]. Испитиване су различите конфигурације пријемника и рефлектора. Тако су McDaniels [8] и Larson [9] одредили оптимални нагиб фиксног рефлектора и пријемника током зимског периода, за ПРС код кога је рефлектор био постављен испод пријемника. Hussein [10], Таха [11] и Такака [12] су проучавали ПРС са рефлектором постављеним изнад пријемника. Такође, Екешукву и Угвуоке [13] су конструисали и тестирали соларну пећ са рефлектором постављеним изнад пријемника. У својим радовима Grassie [14], Larson [15] и Bollentin [16] су разматрали различите конфигурације рефлектора и пријемника, било да је рефлектор постављен испод или изнад пријемника. Hellstrom [17] је проучавао ефекат постављања рефлектора у слободан међупростор између два реда соларних пријемника. Истраживане су и могућности увођења више равних рефлектујућих површина. Тако је Kostic [18] предложио употребу два рефлектора постављених са горње и доње стране пријемника. За овај ПРС одређен је годишњи оптимални угао нагиба оба рефлектора за фиксиран угао нагиба пријемника од  $45^\circ$  и за северну географску ширину од  $43^\circ$ . С друге стране, Kumar [19] је анализирао утицај четири рефлектора на перформансе соларног пријемника. За сваку од четири ивице пријемника била је прикачена рефлектујућа површина. Код свих претходно изложених научних радова рефлектор је био интегрисан са соларним пријемником, било преко једне или више ивица соларног пријемника. Експериментална испитивања су показала да су максимални топлотни добици ових ПРС-а у опсегу од 24 до 44 % у односу на класичан соларни пријемник без рефлектора.

Што се тиче истраживања, која су везана за двоструко-озрачени соларни пријемник са равним рефлектором, број доступних радова је значајно мањи [20, 21, 22, 23]. Заправо,

научни рад Souka-e [20] претеча је свих истраживања везаних за ДОП. У оквиру рада експериментално је испитиван ДОП са пет рефлектора постављених иза истог. Експеримент је изведен за 8, 9, 10 и 11 март на локацији северне географске ширине од  $30^\circ$  (Каиро). Пријемник је био постављен под фиксираним углом од  $40^\circ$  а рефлектујуће површине под фиксираним углом од  $60^\circ$  (највећи рефлектор), у односу на хоризонталну раван, и  $20^\circ$  (остали рефлектори) у односу на највећи рефлектор. Као рефлектујућа површина употребљен је алуминијумски лим. Резултати су показали да је максимална добијена топлотна енергија од стране овог модификованог пријемника за 48 % већа од исте код класичног пријемника. У остала два научна рада [21, 22] исти аутор представио је само теоријско одређивање оптималне оријентације пријемника и рефлектора, као и теоријско одређивање перформанси разматраног пријемника, без експерименталне верификације. Приликом израде ових теоријских модела усвојене су следеће претпоставке и упрошћења: површина рефлектора треба да буде довољно велика да омогући потпуну озраченост доње површине апсорбера у сваком тренутку; растојање рефлектора би требало да буде толико да његово сенчење генерисано од стране пријемника не утиче на површину озрачености пријемника. Осим Souka-e овај модификовани соларни систем касније је анализирао и Larson [23]. У својим радовима поменути аутор теоријски је разматрао ДОП у вертикалном положају са интегрисаним рефлектујућим површинама (укупно 4). У односу на истраживања [20-22], Larson је узео у разматрање и утицај дифузног зрачења, рефлектованог на доњу површину апсорбера при том претпостављајући да је ширина рефлектора бесконачна. Larson-ов ПРС се састоји од рефлектора који су међусобно повезани и који са пријемником деле димензију ширине. Експериментални подаци испитивања овог ПРС нису поуздани јер су упоређени ДОП и КП имали различите карактеристике. ДОП је имао једноструко застакљење и селективну површину апсорбера, док је КП имао двоструко застакљење и неселективну површину апсорбера.

Предложени пријемно-рефлектујући систем је, у односу на претходне и горе поменуте системе, различит из неколико разлога. Први разлог је тај што је рефлектор постављен паралелно испод пријемника. На тај начин, омогућено је да упадни угао соларног зрака, који пада на горњу површину апсорбера, буде идентичан упадном углу соларног зрака који након рефлексије од рефлектора пада на доњу површину апсорбера (слика 2.1).



**Слика 2.1** Шема двоструко-озраченог соларног пријемника са равним рефлектором: 1 - ДОП и 2 - рефлектор

Други разлог се односи на то да је код овог система као рефлектујућа површина употребљено плексиглас огледало. Код огледало површине рефлексија је спекуларна, односно упадни и одбојни углови соларног зрака су исти. Огледало површина има и високу вредност коефицијента рефлексије. Јединственост овог система је и у томе што је рефлектор покретан у сва три могућа ортогонална правца, правцу север-југ, правцу истог-запад и правцу нормалном на његову површину (слика 2.1). Померањем рефлектора обезбеђено је праћење дневног и годишњег кретања Сунца, а тиме и услови за максимално могућу озраченост доњег дела апсорбера (ДДА) у сваком тренутку. Димензије рефлектора приближно су исте димензијама апсорбера предложеног пријемника. Испитивани ДОП и КП су са једноструким застакљењем и идентичних карактеристика апсорбера.

Развијени математички модел термичког понашања ДОП-а по први пут укључује одређивање озрачености ДДА за произвољне коначне димензије пријемника и рефлектора и њихове произвољне међусобне положаје, узимајући у обзир и утицај осенчења рефлектора насталог као последица постојања пријемника изнад рефлектора. Исти модел употребљен је за одређивање оптималног положаја и оптималних димензија рефлектора у односу на пријемник. При том, разматрани су сви могући положаји рефлектора у односу на пријемник као и сви могући случајеви односа коначних димензија пријемника и рефлектора. Нови математички модел укључује и утицај дифузног соларног зрачења, рефлектованог са рефлектора на доњу површину апсорбера, на перформансе пријемника, за коначне димензије соларног система. У оквиру ове дисертације извршене су и анализе термичког понашања оба анализирана соларна пријемника током читаве једне године симулирањем већ поменутог модела за реалне податке о временским приликама.

### 3 Математички модел соларног зрачења

#### 3.1 Соларно зрачење на хоризонталну површину

У циљу одређивања максимално расположиве, дозрачене соларне енергије, односно укупног апсорбованог зрачења пријемника на одређеној географској локацији неопходно је претходно познавати положај Сунца у сваком тренутку. Одређивање положаја Сунца у односу на Земљу се спроводи коришћењем два координатна система: екваторског и хоризонтског.

Координатни почетак екваторског координатног система налази се у посматрачевом оку, док је раван небеског екватора његова основна раван. Небески екватор представља велики круг замишљене сфере по којој се креће Сунце, а који је нормалан на Земљину осу ротације (оса са половима Пс и Пј). С друге стране деклинацијски круг се карактерише као велики круг небеске сфере који садржи Земљину осу ротације и Сунце. Координате Сунца у екваторском координатном систему, приказаном на слици 3.1, су деклинација,  $\delta$  и часовни угао,  $t$ .

Деклинација представља угао у равни деклинацијског круга који се мери од равни небеског екватора до правца који спаја посматрача и Сунце. Поменути угао је позитиван односно негативан за положај Сунца северно односно јужно од небеског екватора. Максимална вредност деклинације износи  $\delta = 23^{\circ}27'$  (летња дугодневица на северној хемисфери), а минимална вредност  $\delta = -23^{\circ}27'$  (летња дугодневица на јужној хемисфери). За време пролећне и јесење равнодневице деклинација је једнака нули.

Вредност деклинације за било који положај Сунца се може израчунати коришћењем једначине (3.1):

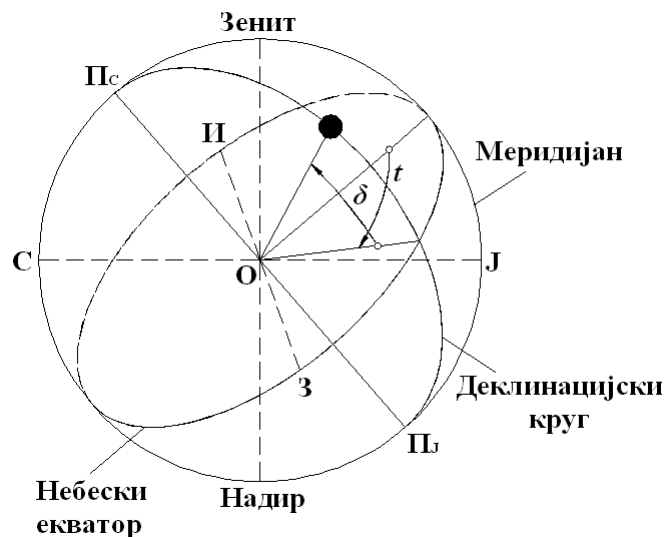
$$\delta = \left(23 + \frac{27}{60}\right) \cdot \sin\left(\frac{2\pi \cdot brd_{21}}{365.25}\right) \cdot \frac{\pi}{180}, \quad (3.1)$$

где је  $brd_{21}$  (-) број дана протеклих од пролећне равнодневице на северној хемисфери.

Часовни угао дефинисан је као угаоно растојање, у равни небеског екватора, између деклинацијског угла и меридијана посматрача, мерено у смеру кретања казаљке на часовнику. Поменути угао је за разлику од деклинацијског угла променљив са променом положаја посматрача као и са привидним дневним кретањем Сунца. Вредност часовног угла је могуће израчунати коришћењем једначине (3.2):

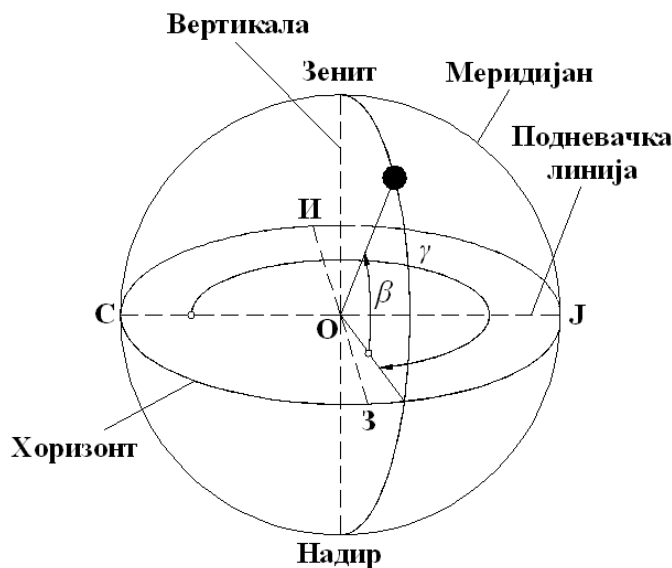
$$t = \left(t_0 - 12 - TZ + \frac{\lambda_{\text{geo}}}{15}\right) \cdot \frac{\pi}{12}, \quad (3.2)$$

где је  $t$  (рад) право сунчано време (часовни угао),  $t_0$  (h) светско (локално) време које се читава на часовнику,  $TZ$  (-) временска зона географске локације пријемника,  $\lambda_{\text{geo}}$  (°) географска дужина локације пријемника.



Слика 3.1 Екваторски координатни систем

Код хоризонтског координатног система координатни почетак се као и код екваторског налази у посматрачевом оку док је раван хоризонта његова основна раван. Положај Сунца је у овом координатном систему одређен угловима названим соларна алтитуда,  $\beta$  и азимут,  $\gamma$  (слика 3.2).



Слика 3.2 Хоризонтски координатни систем

Соларна алтитуда дефинише угаоно растојање, у вертикалној равни, од равни хоризонта до правца који спаја посматрача и Сунце. Узима позитивне односно негативне вредности за положај Сунца изнад односно испод равни хоризонта.

Азимут је угао у равни хоризонта који се мери од северне тачке хоризонта до пројекције правца посматрач-Сунце на исту раван, у смеру кретања казаљке на часовнику.

Познавајући координате положаја Сунца у екваторском координатном систему могуће је одредити и положај Сунца у хоризонтском координатном систему преко једначина (3.3-3.5):

$$\sin(\beta) = \sin(\delta) \cdot \sin(\varphi) + \cos(\delta) \cdot \cos(t) \cdot \cos(\varphi); \quad (3.3)$$

$$\sin(\gamma) = -\frac{\sin(t) \cdot \cos(\delta)}{\cos(\beta)}; \quad (3.4)$$

$$\cos(\gamma) = \frac{\sin(\delta) - \sin(\beta) \cdot \sin(\varphi)}{\cos(\beta) \cdot \cos(\varphi)}, \quad (3.5)$$

где је  $\varphi$  (rad) географска ширина локације пријемника.

Интензитет дозраченог, тренутног (часовног) соларног зрачења  $H'$ , које доспева на хоризонталну површину Земље (терестријално зрачење), једнак је збиру интензитета тренутног директног  $H'_{\text{dir}}$  и тренутног дифузног зрачења  $H'_{\text{dif}}$  (једначине 3.6 и 3.7):

$$H' = H'_{\text{dir}} + H'_{\text{dif}}. \quad (3.6)$$

Вредност интензитета дозраченог тренутног соларног зрачења  $H'$  се узима из експерименталних мерења соларног зрачења дозраченог на хоризонталну површину. Мерни резултати добијени су употребом соларног пиранометра постављеног у близини пријемника који се испитује.

За одређивање директне и дифузне компоненте дозраченог тренутног зрачења употребљен је теоријски модел предложен од стране Erbs-a [24]. У овом раду дифузна компонента зрачења дефинисана је на следећи начин:

$$H'_{\text{dif}} = k_d \cdot H', \quad (3.7)$$

где је  $k_d$  (-) коефицијент односа дифузног и дозраченог тренутног соларног зрачења. Његова вредност зависи од вредности коефицијента  $k_t$  (-) који дефинише однос дозраченог тренутног соларног зрачења  $H'$  и тренутног соларног зрачења на врху атмосфере (екстратерестријално зрачење),  $H_0'$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ). За различите вредности коефицијента  $k_t$  постоје различите једначине за израчунавање коефицијента  $k_d$ , приказане испод:

за  $k_t \leq 0.22$

$$k_d = 1 - 0.09 \cdot k_t, \quad (3.8)$$

за  $0.22 < k_t \leq 0.8$

$$k_d = 0.9511 - (0.1604 \cdot k_t) + (4.388 \cdot k_t^2) - (16.638 \cdot k_t^3) + (12.336 \cdot k_t^4), \quad (3.9)$$

за  $k_t > 0.8$

$$k_d = 0.165. \quad (3.10)$$

Интензитет тренутног соларног зрачења на врху атмосфере  $H_0'$  дефинисан је као:

$$H_0' = I_s \cdot [1 + 0.033 \cdot \cos(0.0172142 \cdot brd)] \cdot [\sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(t)], \quad (3.11)$$



где је  $I_s$  ( $W/m^2$ ) соларна константа чија вредност износи  $1367 W/m^2$ ,  $brd$  (-) редни број дана у години (почев од 01.01.).

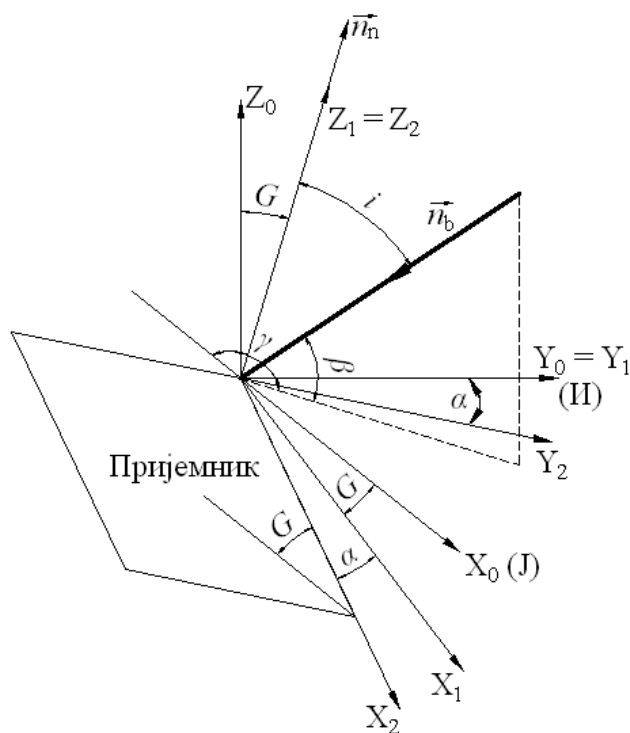
После израчунавања  $H'_{dif}$  лако се може, помоћу једначине (3.6), израчунати интензитет дозраченог тренутног директног зрачења  $H'_{dir}$ .

### 3.2 Соларно зрачење на нагнуту површину класичног соларног пријемника

У пракси соларни пријемници никада нису постављени на хоризонталној површини, већ под неким углом у односу на ту површину. Код пријемника постављених под одређеним углом далеко већа је могућност апсорбовања дозраченог соларног зрачења него код хоризонтално постављених пријемника. Разлог лежи у Ламбертовом закону по којем је интензитет зрачења у неком тренутку, који доспева на неку површину, највећи уколико се правац зрака поклапа се нормалом површине, односно ако је упадни угао зрака ( $i$ ) једнак нули. Другим речима, ако је упадни угао зрака већи од нуле интензитет тог зрачења сразмерно је мањи за косинус упадног угла. Управо та чињеница покренула је развој механизма за промену угла нагиба и оријентације пријемника. Праћењем дневног и годишњег кретања Сунца, у сваком тренутку, обезбеђује се максимални могући интензитет расположивог зрачења, које у том тренутку пада на пријемник. Треба нагласити да је Ламбертов закон могуће применити искључиво за директно соларно зрачење, чији је удео у укупном соларном зрачењу најчешће, далеко већи од удела дифузног зрачења.

Примењени математички модел изотропног дифузног зрачења третира дифузно зрачење као зрачење које на хоризонталну површину доспева из свих могућих правца полусфере истим интензитетом. Основна равна полусфере је равна хоризонталне површине. Према томе, дифузно зрачење које доспева на нагнуту површину увек је мање од оног које доспева на хоризонталну површину.

За одређивање интензитета дозраченог соларног зрачења на нагнуту површину било КП-а или ДОП-а, као и површине озрачености ДДА ДОП-а неопходно је познавати јединичне векторе соларног зрака који пада на горњу површину апсорбера и површину рефлектора и јединични вектор нормале произвољно постављеног пријемника. На слици 3.3 приказан је класичан пријемник произвољно постављен под углом  $G$  и оријентацијом  $\alpha$  (координатни систем  $X_2, Y_2, Z_2$ ). Као што се може закључити са слике, осе координатног системима  $X_0, Y_0, Z_0$ , одабране су тако да је оса  $X_0$  усмерена ка југу, оса  $Y_0$  ка истоку, док је оса  $Z_0$  нормална на хоризонталну равну коју образују обе претходно поменуте осе. Координатни систем  $X_1, Y_1, Z_1$  добијен је заокретањем система  $X_0, Y_0, Z_0$  под углом нагиба пријемника ( $G$ ), у односу на осу  $Y_0$  ( $Y_1$ ), док је координатни систем  $X_2, Y_2, Z_2$  добијен заокретањем система  $X_1, Y_1, Z_1$  за угао оријентације пријемника ( $\alpha$ ), у односу на осу  $Z_1$  ( $Z_2$ ). Јединични вектори соларног зрака и нормале пријемника одређују се посматрајући координатни систем  $X_2, Y_2, Z_2$ .



Слика 3.3 Јединични вектори соларног зрака и нормале површине соларног пријемника

Координате јединичног вектора соларног зрака ( $\vec{n}_z$ ), који пада на горњу површину апсорбера и површину рефлектора, као и координате јединичног вектора нормале пријемника ( $\vec{n}_n$ ) представљене су једначинама 3.12-3.16:

$$\vec{n}_z = n_{zx} \vec{i}_2 + n_{zy} \vec{j}_2 + n_{zz} \vec{k}_2; \quad (3.12)$$

$$n_{zx} = \cos(G) \cdot [-\cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) \cdot \cos(\gamma) + \sin(\alpha) \cdot \cos(\beta) \cdot \sin(\gamma)] + \sin(G) \cdot \sin(\beta); \quad (3.13)$$

$$n_{zy} = \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) \cdot \sin(\gamma) + \sin(\alpha) \cdot \cos(\beta) \cdot \cos(\gamma); \quad (3.14)$$

$$n_{zz} = \sin(G) \cdot [-\cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) \cdot \cos(\gamma) + \sin(\alpha) \cdot \cos(\beta) \cdot \sin(\gamma)] - \cos(G) \cdot \sin(\beta); \quad (3.15)$$

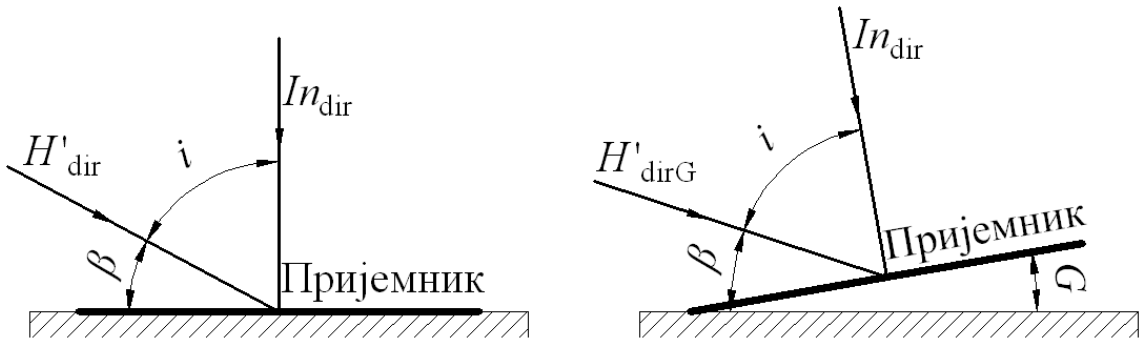
$$\vec{n}_n = \vec{k}_2. \quad (3.16)$$

Како је у пракси вредност интензитета дозраченог директног зрачења на хоризонталну површину ( $H'_{dir}$ ) најчешће позната, тако се интензитет дозраченог директног зрачења на нагнуту површину ( $H'_{dirG}$ ) изражава у функцији од  $H'_{dir}$ . Уз помоћ Ламбертовог закона и слике 3.4 лако се може извести једначина за  $H'_{dirG}$  као:

$$H'_{dir} = I_{dir} \cdot \cos(i) = I_{dir} \cdot \cos(90^\circ - \beta) = I_{dir} \cdot \sin(\beta); \quad (3.17)$$

$$H'_{dirG} = I_{dir} \cdot \cos(i) = H'_{dir} \cdot \frac{\cos(i)}{\sin(\beta)}, \quad (3.18)$$

где је  $I_{dir}$  ( $W/m^2$ ) интензитет дозраченог директног соларног зрачења.



Слика 3.4 Дозрачено соларно зрачење на хоризонталну (лево) и нагнуту површину (десно)

Косинус упадног угла зрака добија се преко скаларног производа јединичних вектора долазећег соларног зрака и нормале површине пријемника, уз помоћ слике 3.3 и једначина 3.12-3.16, и то као:

$$\cos(i) = \cos(i_r) = (-\vec{n}_z) \cdot (\vec{n}_n); \quad (3.19)$$

$$\cos(i) = \sin(G) \cdot [\cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) \cdot \cos(\gamma) - \sin(\alpha) \cdot \cos(\beta) \cdot \sin(\gamma)] + \cos(G) \cdot \sin(\beta). \quad (3.20)$$

На основу претпоставке да је упадни угао зрака једнак одбојном као и да је раван рефлектора увек паралелна равни пријемника, лако је закључити да су упадни углови долазећег ( $i$ ) и рефлектујућег ( $i_r$ ) зрака једнаки.

Као што је већ речено, за одређивање интензитета дозраченог дифузног зрачења употребљен је модел изотропног дифузног зрачења. Посредством слике 3.4, интегралом се добија да је дозрачено дифузно зрачење на хоризонталну површину дефинисано као:

$$H'_{\text{dif}} = 2 \cdot \int_0^{\pi/2} I_{\text{dif}} \cdot \cos(i) di = 2I_{\text{dif}}, \quad (3.21)$$

где је  $I_{\text{dif}}$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) интензитет дифузног зрачења са неба. Уколико је пријемник нагнут под одређеним углом  $G$ , онда границе одређеног интеграла имају следеће вредности:

$$H'_{\text{difG}} = \int_0^{\pi/2} I_{\text{dif}} \cdot \cos(i) di + \int_0^{\pi/2-G} I_{\text{dif}} \cdot \cos(i) di. \quad (3.22)$$

Као и код тренутног директног зрачења и овде је циљ да се дозрачено дифузно зрачење на нагнутој површини представи у функцији дозраченог дифузног зрачења на хоризонталној површини, и то као:

$$H'_{\text{difG}} = \frac{H'_{\text{dif}}}{2} \left[ 1 + \sin\left(\frac{\pi}{2} - G\right) \right] = H'_{\text{dif}} \frac{1 + \cos(G)}{2}. \quad (3.23)$$

Након дефинисања једначина за дозрачено директно и дифузно зрачење, укупно дозрачено зрачење на нагнуту површину  $H'_{\text{kG}}$  ( $\text{W}$ ) је:

$$H'_{\text{kG}} = H'_{\text{dir}} \cdot \frac{\cos(i)}{\sin(\beta)} + H'_{\text{dif}} \frac{1 + \cos(G)}{2}. \quad (3.24)$$

На крају треба нагласити да је интензитет и удео дифузног зрачења, рефлектованог са околних површина на нагнуту површину пријемника, занемарен.

### 3.3 Соларно зрачење на нагнуту површину двоструко-озраченог соларног пријемника

Код класичног соларног пријемника соларно зрачење пада и бива апсорбовано само горњом површином његовог апсорбера. За разлику од таквог апсорбера, апсорбер код ДОП-а може, уз помоћ рефлектора, апсорбовати дозрачено зрачење и својом горњом и доњом површином. С тим у вези, укупно дозрачено зрачење ДОП-у  $H'_{dG}$  ( $W/m^2$ ) једнако је збиру зрачења које се дозрачује на горњу  $H'_{dGg}$  ( $W/m^2$ ) и оног које се дозрачује на доњу површину апсорбера  $H'_{dGd}$  ( $W/m^2$ ):

$$H'_{dG} = H'_{dGg} + H'_{dGd}. \quad (3.25)$$

Дозрачено зрачење (директно и дифузно) на његову горњу површину  $H'_{dGg}$  ( $W/m^2$ ) идентично је оном као код КП-а, односно:

$$H'_{dGg} = H'_{dir} \cdot \frac{\cos(i)}{\sin(\beta)} + H'_{dif} \frac{1 + \cos(G)}{2}. \quad (3.26)$$

Директно зрачење дозрачено на доњу површину апсорбера  $H'_{dGddir}$  ( $W/m^2$ ) зависи од карактеристике рефлектујуће површине као и положаја рефлектора у односу на пријемник. Другим речима, поменуто зрачење сразмерно је коефицијенту рефлексије рефлектора  $\rho$  (-), упадном углу рефлектованог зрака  $i_r$  (rad) и величини површине озрачености ДДА  $A_{ozr}$  ( $m^2$ ), односно:

$$H'_{dGddir} = \rho \cdot H'_{dir} \frac{\cos(i_r)}{\sin(\beta)} \cdot \frac{A_{ozr}}{A_{dd}}. \quad (3.27)$$

У горњој једначини  $A_{dd} = A_{dg} = A_d$  ( $m^2$ ) представља површину горњег (доњег) дела апсорбера. Дифузно зрачење дозрачено на доњу површину апсорбера дефинисано је под претпоставком да рефлектор изотропно рефлектује долазеће дифузно зрачење. Зато је неопходно одредити фактор облика  $F_{rp}$  (-), параметар који указује на то колики део зрачења, које бива рефлектовано са целе површине рефлектора  $A_r$  ( $m^2$ ), доспева на доњу површину апсорбера. Као и код директног зрачења, и дифузно зрачење пропорционално је коефицијенту  $\rho$ , односно:

$$H'_{dGddif} = \rho \cdot H'_{dif} \cdot \frac{A_r \cdot F_{rp}}{A_{dd}}. \quad (3.28)$$

Укупно зрачење дозрачено на доњу површину апсорбера, представљено једначином 3.29, једнако је збиру рефлектованог директног и дифузног зрачења:

$$H'_{dGd} = \rho \cdot H'_{dir} \cdot \frac{\cos(i_r)}{\sin(\beta)} \cdot \frac{A_{ozr}}{A_{dd}} + \rho \cdot H'_{dif} \cdot \frac{A_r \cdot F_{rp}}{A_{dd}}. \quad (3.29)$$

Као и код зрачења које долази са горње стране, и код зрачења које долази са доње стране занемарен је утицај рефлектованог дифузног зрачења које је дозрачено на рефлектор услед рефлексије од околних површина.

### 3.4 Апсорбовано соларно зрачење класичног соларног пријемника

Када би у најидеалнијем случају коефицијент апсорпције апсорбера  $\alpha$  (-) и коефицијент пропустљивости застакљења  $\tau$  (-) пријемника били једнаки јединици, тада би укупно апсорбовано зрачење било једнако укупно дозраченом зрачењу. Међутим, испитивања соларних пријемника су показала да су вредности поменутих коефицијената готово увек мање од јединице. Максимална вредност коефицијената  $\alpha$  и  $\tau$  јавља се уколико је упадни угао зрака једнак нули. Већи упадни угао зрака повлачи и мање вредности поменутих коефицијената. Ово је још један од услова, поред оног дефинисаног Ламбертовим законом, који се везују за максимално апсорбовање соларног зрачења. У пракси, производ ових коефицијената представља оптичку ефикасност пријемника.

Укупно апсорбовано зрачење код КП-а  $I_k$  ( $W/m^2$ ) једнако је збиру директног и дифузног зрачења апсорбованог горњом површином апсорбера ( $I_{kgdir}$ ,  $I_{kgdif}$ ) (једначине (3.30-3.32)):

$$I_k = I_{kgdir} + I_{kgdif}; \quad (3.30)$$

$$I_{kgdir} = (\tau\alpha)_{dir} \cdot H'_{dir} \cdot \frac{\cos(i)}{\sin(\beta)}; \quad (3.31)$$

$$I_{kgdif} = (\tau\alpha)_{dif} \cdot H'_{dif} \cdot \frac{1 + \cos(G)}{2}. \quad (3.32)$$

У горе наведеним једначинама параметри  $(\tau\alpha)_{dir}$  (-) и  $(\tau\alpha)_{dif}$  (-) представљају оптичку ефикасност при директном и дифузном зрачењу.

Оптичка ефикасност је одређена према препорукама из [17] као:

$$(\tau\alpha)_{dir,dif} = (\tau\alpha)_n \cdot [(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n]_{dir,dif}, \quad (3.33)$$

где је  $[(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n]_{dir,dif}$  (-) однос оптичке ефикасности при произвољном углу зрака и оптичке ефикасности за зрак који нормално пада на површину пријемника, одређен према [25] у функцији угла  $i$ . Оптичка ефикасност за зрак који нормално пада на површину пријемника  $(\tau\alpha)_n$  (-), дефинисана је једначином (3.34) [25]:

$$(\tau\alpha)_n = 1.01 \cdot \tau_n \cdot \alpha_n, \quad (3.34)$$

где је  $\tau_n$  (-) коефицијент пропустљивости застакљења за зрак који нормално пада на пријемник, дат у функцији угла  $i$ ,  $\alpha_n$  (-) коефицијент апсорпције апсорбера за зрак који

нормално пада на пријемник. Приликом одређивања оптичке ефикасности  $(\tau\alpha)_{\text{dif}}$  претпостављено је да је дифузно зрачење рефлектовано са рефлектора изотропно.

### 3.5 Апсорбовано соларно зрачење двоструко-озраченог соларног пријемника

Укупно апсорбовано зрачење  $I_d$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) од стране ДОП-а једнако је збиру апсорбованог зрачења од горње  $I_{\text{dg}}$  и доње површине  $I_{\text{dd}}$  његовог апсорбера [26]. Као и при дефинисању укупног дозраченог зрачења и овде је укупно апсорбовано зрачење ДОП-а једнако збиру директног и дифузног зрачења, апсорбованог горњом површином апсорбера ( $I_{\text{dgd}}_{\text{dir}}$ ,  $I_{\text{dgd}}_{\text{dif}}$ ) и рефлектованог директног и дифузног зрачења, апсорбованог доњом површином апсорбера ( $I_{\text{ddd}}_{\text{dir}}$ ,  $I_{\text{ddd}}_{\text{dif}}$ ) (једначине (3.35-3.39)):

$$I_d = I_{\text{dg}} + I_{\text{dd}} = I_{\text{dgd}}_{\text{dir}} + I_{\text{dgd}}_{\text{dif}} + I_{\text{ddd}}_{\text{dir}} + I_{\text{ddd}}_{\text{dif}} ; \quad (3.35)$$

$$I_{\text{dgd}}_{\text{dir}} = I_{\text{kgd}}_{\text{dir}} = (\tau\alpha)_{\text{dir}} \cdot H'_{\text{dir}} \cdot \frac{\cos(i)}{\sin(\beta)} ; \quad (3.36)$$

$$I_{\text{dgd}}_{\text{dif}} = I_{\text{kgd}}_{\text{dif}} = (\tau\alpha)_{\text{dif}} \cdot H'_{\text{dif}} \cdot \frac{1 + \cos(G)}{2} ; \quad (3.37)$$

$$I_{\text{ddd}}_{\text{dir}} = (\tau\alpha)_{\text{dir}} \cdot \rho \cdot H'_{\text{dir}} \cdot \frac{\cos(i_r)}{\sin(\beta)} \cdot \frac{A_{\text{ozr}}}{A_{\text{dd}}} ; \quad (3.38)$$

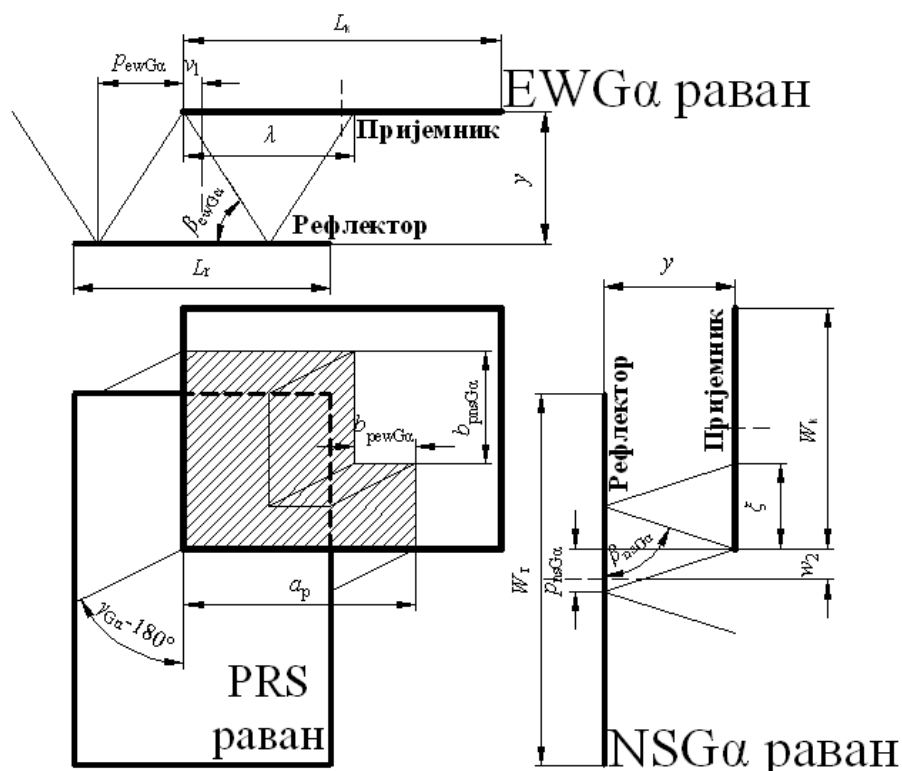
$$I_{\text{ddd}}_{\text{dif}} = (\tau\alpha)_{\text{dif}} \cdot \rho \cdot H'_{\text{dif}} \cdot \frac{A_r \cdot F_{\text{rp}}}{A_{\text{dd}}} . \quad (3.39)$$

#### 3.5.1 Математички модел одређивања површине озрачености доњег дела апсорбера двоструко-озраченог соларног пријемника

Уколико се детаљно погледају једначине за укупно апсорбовано зрачење класичног соларног пријемника (јед. 3.30-3.32), уочиће се да оно зависи од положаја пријемника (нагиба и орјентације пријемника), положаја Сунца (интензитета расположивог зрачења), као и апсорпционо-трансмисионих карактеристика апсорбера и застакљења. С друге стране, посматрајући једначине укупно апсорбованог зрачења ДОП-а (јед. 3.35-3.39), примећује се да осим горе наведених величина и величине коефицијент рефлексије рефлектора ( $\rho$ ) и површина озрачености  $A_{\text{ozr}}$ , такође утичу на износ апсорбованог зрачења поменутог пријемника. Занемарујући чланове дифузног зрачења, у једначини (3.35), чији је удео у укупно апсорбованом зрачењу најчешће далеко мањи од удела директног зрачења, максимално апсорбовано зрачење, за одређени тренутак, било би постигнуто за  $\rho=1$  и  $A_{\text{ozr}}/A_{\text{dd}}=1$ . Вредност коефицијента рефлексије искључиво зависи од врсте и стања рефлектујуће површине. Најчешће се усваја да је вредност тог коефицијента константна. Однос  $A_{\text{ozr}}/A_{\text{dd}}$  ће бити једнак јединици ако је површина озрачености ДДА једнака површини апсорбера. Положај Сунца на небу мења се током дана и године, због чега рефлектор истовремено мора мењати свој положај, како би у сваком тренутку доњи део апсорбера био потпуно озрачен. Оптималан положај рефлектора је онај положај за који је површина озрачености ДДА максимална односно једнака површини апсорбера. Скуп свих оптималних положаја рефлектора током дана (један положај за један тренутак) представља оптималну дневну

путању рефлектора. Управо због горе наведеног неопходно је познавати математички модел израчунавања површине озрачености ДДА [27-29].

Величина површине озрачености условљена је међусобним положајем рефлектора у односу на пријемник. У циљу одређивања исте, ПРС се пројектује на три међусобно управне равни: раван управну на раван ПРС-а и са погледом из правца југа (EWGα раван), раван управну на раван ПРС-а и са погледом из правца запада (NSGα раван) као и раван ПРС-а (PRS раван) (слика 3.5).



Легенда:

$L_k$  - дужина пријемника

$L_r$  - дужина рефлектора

$W_k$  - ширина пријемника

$W_r$  - ширина рефлектора

$y$  - растојање између равни пријемника и равни рефлектора

$w_2$  - растојање између осе рефлектора и спољашње ивице пријемника мерено од пријемника у NSGα равни

$v_1$  - растојање између осе рефлектора и спољашње ивице пријемника мерено ка оси пријемника у EWGα равни

$\lambda$  - дужина озрачености у EWGα равни

$\xi$  - дужина озрачености у NSGα равни

$a_p$  - дужина озрачености у PRS равни

$p_{ewGa}$  - растојање између места где соларни зрак погађа рефлектор и места где исти рефлектовани зрак погађа ДДА у EWGα равни

$p_{nsGa}$  - растојање између места где соларни зрак погађа рефлектор и места где исти рефлектовани зрак погађа ДДА NSGα равни

$b_{rewGa}$  - дужина сенке пријемника на рефлектору у EWGα равни

$b_{pnsGa}$  - дужина сенке пријемника на рефлектору NSGα равни

$\beta_{ewGa}$  - пројекција угла соларне алтитуде ( $\beta$ ) на EWGα раван

$\beta_{nsGa}$  - пројекција угла соларне алтитуде ( $\beta$ ) на NSGα раван

$\gamma_{Ga}$  - пројекција угла соларног азимута ( $\gamma$ ) на PRS раван

Слика 3.5 Пројекције ПРС на равни EWGα, NSGα и PRS

Постоји шест могућих случајева међусобних положаја рефлектора и пријемника у обе равни (EWGα и NSGα равни), условљених вредностима параметара  $w$  и  $v$ . Могући случајеви

обележени су словима А, В, С, D, Е и F. Параметар  $w$  представља растојање између осе рефлектора и спољашње ивице пријемника, мерено од пријемника, док параметар  $v$  представља растојање између осе рефлектора и спољашње ивице пријемника, мерено ка оси пријемника (слика 3.5 и 3.6). Усвојено је да се у EWG $\alpha$  равни параметри  $w$  и  $v$  обележавају са индексом 1, а у NSG $\alpha$  равни са индексом 2 (слика 3.5). Сваки случај има неколико различитих подслучајева, које одређују вредности дужине (ширине) рефлектора и пријемника ( $L_r$  ( $W_r$ ) и  $L_k$  ( $W_k$ )) као и параметара  $w$  и  $v$ . Сви случајеви и подслучајеви, за произвољне димензије пријемника и рефлектора, приказани су у табели 3.1.

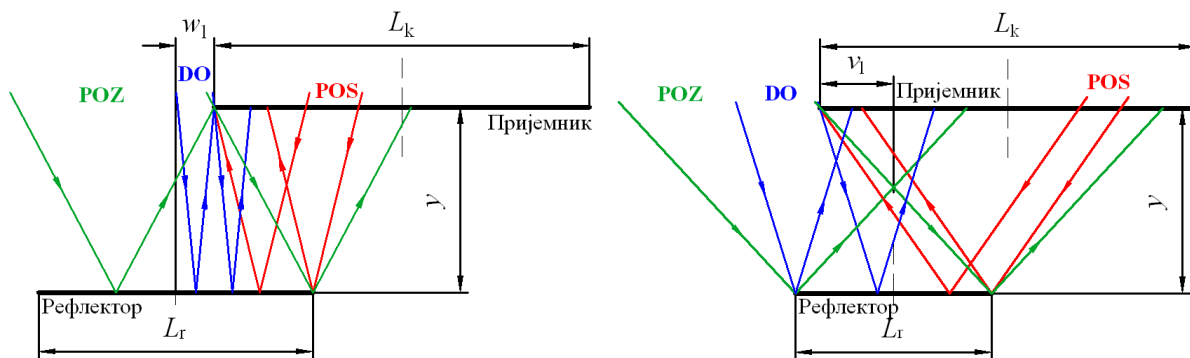
**Табела 3.1** Сви могући случајеви и подслучајеви међусобних положаја рефлектора и пријемника, произвољних димензија, у EWG $\alpha$  равни

Случај	
A1 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$w_1 = 0, w_1 < L_k/2, L_r < L_k, L_r/2 < L_k/2$
A2 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$w_1 = 0, w_1 < L_k/2, L_r = L_k, L_r/2 = L_k/2$
A3 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$w_1 = 0, w_1 < L_k/2, L_r > L_k, L_r/2 < L_k$
A4 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$w_1 = 0, w_1 < L_k/2, L_r > L_k, L_r/2 = L_k$
A5 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$w_1 = 0, w_1 < L_k/2, L_r > L_k, L_r/2 < 3L_k/2$
A6 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$w_1 = 0, w_1 < L_k/2, L_r > L_k, L_r/2 = 3L_k/2$
A7 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$w_1 = 0, w_1 < L_k/2, L_r > L_k, L_r/2 > 3L_k/2$
B1 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$w_1 > 0, w_1 < L_r/2, L_r < L_k$
B2 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$w_1 > 0, w_1 < L_r/2, L_r = L_k$
B3 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$w_1 > 0, w_1 < L_r/2, L_r > L_k, L_r/2 < L_k + w_1, L_r/2 < L_k/2 + w_1$
B4 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$w_1 > 0, w_1 < L_r/2, L_r > L_k, L_r/2 < L_k + w_1, L_r/2 = L_k/2 + w_1$
B5 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$w_1 > 0, w_1 < L_r/2, L_r > L_k, L_r/2 < L_k + w_1, L_r/2 > L_k/2 + w_1$
B6 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$w_1 > 0, w_1 < L_r/2, L_r > L_k, L_r/2 = L_k + w_1, L_r/2 > L_k/2 + w_1$
B7 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$w_1 > 0, w_1 < L_r/2, L_r > L_k, L_r/2 > L_k + w_1, L_r/2 < 3L_k/2 + w_1$
B8 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$w_1 > 0, w_1 < L_r/2, L_r > L_k, L_r/2 > L_k + w_1, L_r/2 = 3L_k/2 + w_1$
B9 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$w_1 > 0, w_1 < L_r/2, L_r > L_k, L_r/2 > L_k + w_1, L_r/2 > 3L_k/2 + w_1$
C1 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$w_1 > 0, w_1 = L_r/2, L_r < L_k$
C2 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$w_1 > 0, w_1 = L_r/2, L_r = L_k$
C3 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$w_1 > 0, w_1 = L_r/2, L_r > L_k$
D1 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$w_1 > 0, w_1 > L_r/2, L_r < L_k$
D2 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$w_1 > 0, w_1 > L_r/2, L_r = L_k$
D3 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$w_1 > 0, w_1 > L_r/2, L_r > L_k$
E1 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$v_1 > 0, v_1 < L_k/2, L_r < L_k, L_r/2 < L_k/2 - v_1, v_1 < L_r/2$
E2 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$v_1 > 0, v_1 < L_k/2, L_r < L_k, L_r/2 < L_k/2 - v_1, v_1 = L_r/2$
E3 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$v_1 > 0, v_1 < L_k/2, L_r < L_k, L_r/2 < L_k/2 - v_1, v_1 > L_r/2$
E4 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$v_1 > 0, v_1 < L_k/2, L_r < L_k, L_r/2 = L_k/2 - v_1, v_1 < L_r/2$
E5 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$v_1 > 0, v_1 < L_k/2, L_r < L_k, L_r/2 = L_k/2 - v_1, v_1 = L_r/2$
E6 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$v_1 > 0, v_1 < L_k/2, L_r < L_k, L_r/2 = L_k/2 - v_1, v_1 > L_r/2$
E7 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$v_1 > 0, v_1 < L_k/2, L_r < L_k, L_r/2 > L_k/2 - v_1, v_1 < L_r/2$
E8 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$v_1 > 0, v_1 < L_k/2, L_r < L_k, L_r/2 > L_k/2 - v_1, v_1 = L_r/2$
E9 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$v_1 > 0, v_1 < L_k/2, L_r < L_k, L_r/2 > L_k/2 - v_1, v_1 > L_r/2$
E10 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$v_1 > 0, v_1 < L_k/2, L_r = L_k$
E11a <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$v_1 > 0, v_1 < L_k/2, L_r > L_k, L_r/2 + v_1 < L_k, L_r/2 - v_1 < L_k/2$
E11b <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$v_1 > 0, v_1 < L_k/2, L_r > L_k, L_r/2 + v_1 < L_k, L_r/2 - v_1 > L_k/2$
E12a <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$v_1 > 0, v_1 < L_k/2, L_r > L_k, L_r/2 + v_1 = L_k, L_r/2 - v_1 < L_k/2$
E12b <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$v_1 > 0, v_1 < L_k/2, L_r > L_k, L_r/2 + v_1 = L_k, L_r/2 - v_1 \geq L_k/2$
E13a <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$v_1 > 0, v_1 < L_k/2, L_r > L_k, L_r/2 + v_1 > L_k, L_r/2 + v_1 < 3L_k/2, L_r/2 - v_1 < L_k/2$
E13b <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$v_1 > 0, v_1 < L_k/2, L_r > L_k, L_r/2 + v_1 > L_k, L_r/2 + v_1 < 3L_k/2, L_r/2 - v_1 \geq L_k/2$
E14 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$v_1 > 0, v_1 < L_k/2, L_r > L_k, L_r/2 + v_1 > L_k, L_r/2 + v_1 = 3L_k/2$
E15 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$v_1 > 0, v_1 < L_k/2, L_r > L_k, L_r/2 + v_1 > L_k, L_r/2 + v_1 > 3L_k/2$
F1 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$v_1 > 0, v_1 = L_k/2, L_r < L_k$
F2 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$v_1 > 0, v_1 = L_k/2, L_r = L_k$
F3 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$v_1 > 0, v_1 = L_k/2, L_r > L_k, L_r/2 < L_k$
F4 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$v_1 > 0, v_1 = L_k/2, L_r > L_k, L_r/2 = L_k$
F5 <sub>ewG<math>\alpha</math></sub>	$v_1 > 0, v_1 = L_k/2, L_r > L_k, L_r/2 > L_k$



Исти случајеви са подслучајевима постоје и у  $NSG\alpha$  равни, с тим што су уместо параметара  $v_1, w_1, L_r$  и  $L_k$  заступљени параметри  $v_2, w_2, W_r$  и  $W_k$ . На слици 3.5 приказан је ПРС произвољних димензија са комбинацијом случајева (подслучајева)  $E1_{ewGa}$  и  $B5_{nsGa}$ , при чему је у  $EWGa$  равни рефлектор постављен лево, а у  $NSG\alpha$  равни десно у односу на пријемник. Рефлектор може бити постављен и десно односно лево у  $EWGa$  и  $NSG\alpha$  равни.

Израз за израчунавање површине озрачености ДДА ( $A_{ozr}$ ) зависи од тога да ли и како рефлектовани зраци образују исту површину. Због тога су уведени појмови као што су: потпуна осенченост (POS), потпуна озраченост (POZ) и делимична озраченост (осенченост)(DO). Потпуна озраченост је ситуација када соларни зраци почињу да се одвајају од ивице пријемника односно када сенка пријемника формирана на рефлектору, не утиче на облик површине озрачености. Појам потпуне осенчености везује се за ситуацију када зраци падају преко ивице пријемника у једној од равни ( $EWGa$  или  $NSG\alpha$  равни). У том случају, површина озрачености ће бити формирана ако и само ако исти зраци, пројектовани у оној другој равни, падају поред ивице пријемника и погађају ДДА. Уколико зраци падају преко ивице пријемника у обе поменуте равни, онда исти зраци не образују површину озрачености. У супротном, заступљена је ситуација делимичне озрачености. Ова ситуација увек претходи ситуацији потпуне озрачености. Поменути појмови односно ситуације графички су објашњени на слици 3.6.



Слика 3.6 Графичко објашњење значења ситуација POS, DO и POZ, било са параметром  $w$  (лево) или  $v$  (десно)  $EWGa$  равни

За различите комбинације ситуација POS, DO и POZ, било у  $EWGa$  или  $NSG\alpha$  равни, постоје различити изрази за израчунавање  $A_{ozr}$ . Сви могући изрази дати су једначинама (3.40-3.43):

a)  $POS_{ewGa}/DO_{nsGa}$ ,  $POS_{ewGa}/POZ_{nsGa}$ ,  $POS_{nsGa}/DO_{ewGa}$ ,  $POS_{nsGa}/POZ_{ewGa}$  и  $POZ_{ewGa}/POZ_{nsGa}$

$$A_{ozr} = \xi \cdot \lambda, \quad (3.40)$$

b)  $DO_{ewGa}/DO_{nsGa}$

$$A_{ozr} = \xi \cdot a_p + \lambda \cdot b_{pnsGa}, \quad (3.41)$$

c)  $POZ_{ewGa}/DO_{nsGa}$

$$A_{ozr} = \xi \cdot \lambda + \lambda \cdot b_{pnsGa}, \quad (3.42)$$

d)  $DO_{ewGa}/POZ_{nsGa}$

$$A_{ozr} = \xi \cdot a_p. \quad (3.43)$$

Сви параметри са слике 3.5,  $y, w, v, \lambda, \xi, a_p, p_{nsGa}, b_{pnsGa}, p_{ewGa}, b_{pewGa}, \beta_{ewGa}, \beta_{nsGa}, \gamma_{Ga}$ , морају бити познати како би се одредила површина озрачености  $A_{ozr}$ . Параметри дужине,  $\lambda, \xi, a_p, b_{pewGa}$  и  $b_{pnsGa}$  су ивице геометријске фигуре површине озрачености. Дужина озрачености

у EWGa равни означена је са  $\lambda$ , у NSGa равни са  $\zeta$ , док је у PRS равни означена са  $a_p$ . Дужина сенке пријемника на рефлектору, у EWGa и NSGa равни, обележена је са  $b_{pewGa}$  и  $b_{pnsGa}$ , респективно. Такође, параметри  $p_{ewGa}$  и  $p_{nsGa}$  су параметри дужине, а представљају растојање између места где соларни зрак погађа рефлектор и места где исти рефлектовани зрак погађа ДДА, у EWGa и NSGa равни. Растојање између равни пријемника и равни рефлектора означено је са  $y$ . Претходно поменути параметри су параметри дужине, док су  $\beta_{ewGa}$ ,  $\beta_{nsGa}$  и  $\gamma_{Ga}$  параметри угла. Они представљају пројекције угла соларне алтитуде ( $\beta$ ) на EWGa ( $\beta_{ewGa}$ ) и NSGa ( $\beta_{nsGa}$ ) раван као и угла соларног азимута ( $\gamma$ ) на PRS раван.

У наредним поглављима приказан је начин израчунавања горе наведених параметара. Треба нагласити да су једначине изведене за положај рефлектора, у односу на пријемник, као на слици 3.5, односно за његову позицију лево у EWGa равни и десно у NSGa равни. За све друге могуће положаје рефлектора (лево, десно), једначине су исте само се користе за различите интервале угла  $\gamma_{Ga}$ , што ће бити накнадно појашњено. Такође, приказане једначине добијене су под претпоставком да је упадни угао зрака, који погађа рефлектор, једнак његовом одбојном углу.

### 3.5.1.1 Једначине за углове $\beta_{nsGa}$ , $\beta_{ewGa}$ и $\gamma_{Ga}$

Вредности углова  $\beta_{ewGa}$ ,  $\beta_{nsGa}$  и  $\gamma_{Ga}$  дефинишу облик једначина за  $\lambda$ ,  $\zeta$ ,  $a_p$ ,  $p_{nsGa}$ ,  $b_{pnsGa}$ ,  $p_{ewGa}$  и  $b_{pewGa}$ . Зато се прво израчунавају вредности поменутих углова. Пројекције углова  $\beta$  и  $\gamma$  на EWGa, NSGa и PRS раван добијене су скаларним производом јединичног вектора соларног зрака, пројектованог на једну од равни, и јединичног вектора зрака пројектованог на осу координатног система  $X_2, Y_2, Z_2$  (слика 3.3) као:

$$\cos \beta_{nsGa} = \frac{\vec{n}_{zx} \cdot \vec{n}_{zxx}}{|\vec{n}_{zx}| \cdot |\vec{n}_{zxx}|} = \frac{M_{nsGa}}{\sqrt{(N_{nsGa})^2 + (R_{nsGa})^2}}; \quad (3.44)$$

$$\cos \beta_{ewGa} = \frac{\vec{n}_{zy} \cdot \vec{n}_{zyz}}{|\vec{n}_{zy}| \cdot |\vec{n}_{zyz}|} = \frac{M_{ewGa}}{\sqrt{(N_{ewGa})^2 + (R_{ewGa})^2}}; \quad (3.45)$$

$$\cos \gamma_{Ga} = \frac{\vec{n}_{zx} \cdot \vec{n}_{zxy}}{|\vec{n}_{zx}| \cdot |\vec{n}_{zxy}|} = \frac{M_{Ga}}{\sqrt{(N_{Ga})^2 + (R_{Ga})^2}}, \quad (3.46)$$

где су  $M_{nsGa}$ ,  $N_{nsGa}$ ,  $R_{nsGa}$ ,  $M_{ewGa}$ ,  $N_{ewGa}$ ,  $R_{ewGa}$ ,  $M_{Ga}$ ,  $N_{Ga}$ ,  $R_{Ga}$  ознаке израза:

$$M_{nsGa} = \cos(G) \cdot [-\cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) \cdot \cos(\gamma) + \sin(\alpha) \cdot \cos(\beta) \cdot \sin(\gamma)] + \sin(G) \cdot \sin(\beta) = N_{nsGa} = M_{Ga} = N_{Ga}; \quad (3.47)$$

$$R_{nsGa} = \sin(G) \cdot [-\cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) \cdot \cos(\gamma) + \sin(\alpha) \cdot \cos(\beta) \cdot \sin(\gamma)] - \cos(G) \cdot \sin(\beta) = R_{ewGa}; \quad (3.48)$$

$$M_{ewGa} = \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) \cdot \sin(\gamma) + \sin(\alpha) \cdot \cos(\beta) \cdot \cos(\gamma) = N_{ewGa} = R_{Ga}. \quad (3.49)$$

### 3.5.1.2 Једначине за $\lambda$ ( $\zeta$ )

За сваки могући случај и подслучај изведене су једначине за  $\lambda$  ( $\zeta$ ). У оквиру појединачног случаја (подслучаја) постоји једна или више једначина за израчунавање  $\lambda$  ( $\zeta$ ). У

одређеном тренутку времена само једна од њих се примењује. Која од њих ће се применити зависи од вредности угла  $\beta_{ewGa}$  ( $\beta_{nsGa}$ ) и  $\gamma_{Ga}$ , односно од тога која од ситуација, POS, DO или POZ, је тренутно активна.

Раздвојене су једначине које се примењују ако вредност угла  $\gamma_{Ga}$  припада интервалу  $0^\circ < \gamma_{Ga} < 180^\circ$ , од оних које важе за интервал  $180^\circ < \gamma_{Ga} < 360^\circ$ . За познати интервал угла  $\gamma_{Ga}$ , утврђује се ком специјалном интервалу угла  $\beta_{ewGa}$  ( $\beta_{nsGa}$ ) припада добијена вредност угла  $\beta_{ewGa}$  ( $\beta_{nsGa}$ ). Границе специјалних интервала представљају гранични углови  $\beta_{ewGa}$  ( $\beta_{nsGa}$ ), означени са једном или више звездица. Другим речима, на основу вредности угла  $\beta_{ewGa}$  ( $\beta_{nsGa}$ ) и  $\gamma_{Ga}$ , одређује се интервал угла  $\gamma_{Ga}$ , а затим у оквиру њега специјални интервал угла  $\beta_{ewGa}$  ( $\beta_{nsGa}$ ) и на крају једначина која ће се применити за израчунавање  $\lambda$  ( $\zeta$ ).

Испод су приказане све могуће једначине за израчунавање  $\lambda$  за све могуће случајеве (подслучајеве) када је рефлектор, у односу на пријемник, постављен лево у EWGa равни (слика 3.5). За све остале лево-десно положаје рефлектора, у односу на пријемник, једначине су исте али за друге интервале угла  $\gamma_{Ga}$ , што је објашњено у табели 3.2.

**Табела 3.2** Идентичност једначина за  $\lambda$  и  $\zeta$  за лево-десно положаје рефлектора у односу на пријемник

<b>Једначине за <math>\lambda</math> за одређени интервал угла <math>\gamma_{Ga}</math></b>
EWGa раван: (рефлектор лево) $0^\circ < \gamma_{Ga} < 180^\circ \equiv$ (рефлектор десно) $180^\circ < \gamma_{Ga} < 360^\circ$
EWGa раван: (рефлектор лево) $180^\circ < \gamma_{Ga} < 360^\circ \equiv$ (рефлектор десно) $0^\circ < \gamma_{Ga} < 180^\circ$
<b>Једначине за <math>\zeta</math> за одређени интервал угла <math>\gamma_{Ga}</math></b>
NSGa раван: (рефлектор десно) $90^\circ < \gamma_{Ga} < 270^\circ \equiv$ (рефлектор лево) $270^\circ < \gamma_{Ga} < 90^\circ$
NSGa раван: (рефлектор десно) $270^\circ < \gamma_{Ga} < 90^\circ \equiv$ (рефлектор лево) $90^\circ < \gamma_{Ga} < 270^\circ$

Треба напоменути да једначине за  $\zeta$  нису дате с обзиром да су оне идентичне једначинама за  $\lambda$ , али за друге интервале угла  $\gamma_{Ga}$ . Тада, уместо параметара  $L_k$ ,  $L_r$ ,  $v_1$ ,  $w_1$  и  $\beta_{ewGa}$ , у једначинама фигуришу параметри  $W_k$ ,  $W_r$ ,  $v_2$ ,  $w_2$  и  $\beta_{nsGa}$ , као што је то приказано у табели 3.3.

**Табела 3.3** Идентичност једначина за  $\lambda$  и  $\zeta$

Рефлектор је лево или десно у обе равни (EWGa и NSGa) у односу на пријемник
Јед. за $\zeta$ за $90^\circ < \gamma_{Ga} < 270^\circ \equiv$ Јед. за $\lambda$ за $0^\circ < \gamma_{Ga} < 180^\circ$
Јед. за $\zeta$ за $270^\circ < \gamma_{Ga} < 90^\circ \equiv$ Јед. за $\lambda$ за $180^\circ < \gamma_{Ga} < 360^\circ$
Рефлектор је лево у EWGa равни и десно у NSGa равни и обрнуто, у односу на пријемник
Јед. за $\zeta$ за $90^\circ < \gamma_{Ga} < 270^\circ \equiv$ Јед. за $\lambda$ за $180^\circ < \gamma_{Ga} < 360^\circ$
Јед. за $\zeta$ за $270^\circ < \gamma_{Ga} < 90^\circ \equiv$ Јед. за $\lambda$ за $0^\circ < \gamma_{Ga} < 180^\circ$

Следе једначине за  $\lambda$ :

$A1_{ewGa}$  ( $A1_{ewGa}=A2_{ewGa}$ ) за  $0^\circ < \gamma_{Ga} < 180^\circ$  и  $\text{tg}(\beta_{ewGa}^*)=y/(L_r/2)$ :

$$POS_{ewGa}: 90^\circ > \beta_{ewGa} > \beta_{ewGa}^* \Rightarrow \lambda = \frac{L_r}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{ewGa}^*)}. \quad (3.50)$$

$A1_{ewGa}$  за  $180^\circ < \gamma_{Ga} < 360^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{ewGa}^*)=y/(L_r/2)$ ,  $\text{tg}(\beta_{ewGa}^{**})=y/(L_k-L_r/2)$  и  $\text{tg}(\beta_{ewGa}^{***})=y/(L_k+L_r/2)$ :

$$DO_{ewGa}: 90^\circ > \beta_{ewGa} > \beta_{ewGa}^* \Rightarrow \lambda = \frac{2y}{\text{tg}(\beta_{ewGa}^*)}; \quad (3.51)$$

$$POZ_{ewGa}: \beta_{ewGa}^* \geq \beta_{ewGa} \geq \beta_{ewGa}^{**} \Rightarrow \lambda = L_r; \quad (3.52)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^{**} > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{***} \Rightarrow \lambda = \frac{2L_k + L_r}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.53)$$

**A2**<sub>ewGa</sub> за  $180^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 360^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*)=y/(L_r/2)$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{**})=y/(L_k+L_r/2)$ :

$$\text{DO}_{\text{ewGa}}: 90^\circ > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda = \frac{2y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.54)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^* \geq \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{**} \Rightarrow \lambda = \frac{2L_r + L_k}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.55)$$

**A3**<sub>ewGa</sub> за  $0^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 180^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*)=y/(L_k-L_r/2)$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{**})=y/(L_k/2)$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{***})=y/(L_r/2)$ :

$$\text{POS}_{\text{ewGa}}: 90^\circ > \beta_{\text{ewGa}} \geq \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda = \frac{L_r}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.56)$$

$$\text{DO}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^* > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{**} \Rightarrow \lambda = \frac{L_r - 2L_k}{2} + \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.57)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^{**} \geq \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{***} \Rightarrow \lambda = \frac{L_r}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.58)$$

**A3**<sub>ewGa</sub> (**A3**<sub>ewGa</sub>=...=**A7**<sub>ewGa</sub>) за  $180^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 360^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*)=y/(L_k/2)$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{**})=y/(L_r/2)$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{***})=y/(L_k+L_r/2)$ :

$$\text{DO}_{\text{ewGa}}: 90^\circ > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda = \frac{2y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.59)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^* \geq \beta_{\text{ewGa}} \geq \beta_{\text{ewGa}}^{**} \Rightarrow \lambda = L_k; \quad (3.60)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^{**} > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{***} \Rightarrow \lambda = \frac{2L_k + L_r}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.61)$$

**A4**<sub>ewGa</sub> за  $0^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 180^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*)=y/(L_k/2)$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{**})=y/(L_r/2)$ :

$$\text{DO}_{\text{ewGa}}: 90^\circ > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda = \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.62)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^* \geq \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{**} \Rightarrow \lambda = \frac{L_r}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.63)$$

**A5**<sub>ewGa</sub> за  $0^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 180^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*)=y/(L_r/2-L_k)$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{**})=y/(L_k/2)$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{***})=y/(L_r/2)$ :

$$\text{DO}_{\text{ewGa}}: 90^\circ > \beta_{\text{ewGa}} \geq \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda = \frac{2y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.64)$$

$$\text{DO}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^* > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{**} \Rightarrow \lambda = \frac{L_r - 2L_k}{2} + \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.65)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^{**} \geq \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{***} \Rightarrow \lambda = \frac{L_r}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.66)$$

**A6**<sub>ewGa</sub> за  $0^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 180^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*)=y/(L_k/2)$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{**})=y/(L_r/2)$ :

$$\text{DO}_{\text{ewGa}}: 90^\circ > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda = \frac{2y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.67)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^* \geq \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{**} \Rightarrow \lambda = \frac{L_r}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.68)$$

**A7**<sub>ewGa</sub> за  $0^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 180^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*)=y/(L_k/2)$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{**})=y/(L_r/2-L_k)$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{***})=y/(L_r/2)$ :

$$\text{DO}_{\text{ewGa}}: 90^\circ > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda = \frac{2y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.69)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^* \geq \beta_{\text{ewGa}} \geq \beta_{\text{ewGa}}^{**} \Rightarrow \lambda = L_k; \quad (3.70)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^{**} > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{***} \Rightarrow \lambda = \frac{L_r}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.71)$$

**B1<sub>ewGa</sub>** (**B1<sub>ewGa</sub>**=...=**B4<sub>ewGa</sub>**) за  $0^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 180^\circ$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*)=y/(L_r/2-w_1)$ :

$$\text{POS}_{\text{ewGa}}: 90^\circ > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda = \frac{L_r - 2w_1}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.72)$$

**B1<sub>ewGa</sub>** за  $180^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 360^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*)=y/(L_r/2-w_1)$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{**})=y/(L_r/2+w_1)$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{***})=y/(L_k+w_1-L_r/2)$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{****})=y/(L_k+w_1+L_r/2)$ :

$$\text{DO}_{\text{ewGa}}: 90^\circ > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda = \frac{2y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.73)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^* \geq \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{**} \Rightarrow \lambda = \frac{L_r - 2w_1}{2} + \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.74)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^{**} \geq \beta_{\text{ewGa}} \geq \beta_{\text{ewGa}}^{***} \Rightarrow \lambda = L_r; \quad (3.75)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^{***} > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{****} \Rightarrow \lambda = \frac{2L_k + 2w_1 + L_r}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.76)$$

**B2<sub>ewGa</sub>** за  $180^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 360^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*)=y/(L_r/2-w_1)$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{**})=y/(L_r/2+w_1)$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{***})=y/(L_k+w_1+L_r/2)$ :

$$\text{DO}_{\text{ewGa}}: 90^\circ > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda = \frac{2y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.77)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^* \geq \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{**} \Rightarrow \lambda = \frac{L_r - 2w_1}{2} + \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.78)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}} = \beta_{\text{ewGa}}^{**} \Rightarrow \lambda = L_r; \quad (3.79)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^{**} > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{***} \Rightarrow \lambda = \frac{2L_k + 2w_1 + L_r}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.80)$$

**B3<sub>ewGa</sub>** за  $180^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 360^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*)=y/(L_r/2-w_1)$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{**})=y/(L_k+w_1-L_r/2)$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{***})=y/(L_r/2+w_1)$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{****})=y/(L_k+w_1+L_r/2)$ :

$$\text{DO}_{\text{ewGa}}: 90^\circ > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda = \frac{2y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.81)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^* \geq \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{**} \Rightarrow \lambda = \frac{L_r - 2w_1}{2} + \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.82)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^{**} \geq \beta_{\text{ewGa}} \geq \beta_{\text{ewGa}}^{***} \Rightarrow \lambda = L_k; \quad (3.83)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^{***} > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{****} \Rightarrow \lambda = \frac{2L_k + 2w_1 + L_r}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.84)$$

**B4<sub>ewGa</sub>** (**B4<sub>ewGa</sub>**=...=**B9<sub>ewGa</sub>**) за  $180^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 360^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*)=y/(L_k/2)$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{**})=y/(L_r/2+w_1)$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{***})=y/(L_k+w_1+L_r/2)$ :

$$\text{DO}_{\text{ewGa}}: 90^\circ > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda = \frac{2y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.85)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^* \geq \beta_{\text{ewGa}} \geq \beta_{\text{ewGa}}^{**} \Rightarrow \lambda = L_k; \quad (3.86)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^{**} > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{***} \Rightarrow \lambda = \frac{2L_k + 2w_1 + L_r}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.87)$$

**B5<sub>ewGa</sub>** за  $0^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 180^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*)=y/(L_k+w_1-L_r/2)$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{**})=y/(L_k/2)$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{***})=y/(L_r/2-w_1)$ :

$$\text{POS}_{\text{ewGa}}: 90^\circ > \beta_{\text{ewGa}} \geq \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda = \frac{L_r - 2w_1}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.88)$$

$$\text{DO}_{\text{ewG}\alpha}: \beta_{\text{ewG}\alpha}^* > \beta_{\text{ewG}\alpha} > \beta_{\text{ewG}\alpha}^{**} \Rightarrow \lambda = \frac{L_r - 2L_k - 2w_1}{2} + \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha})}; \quad (3.89)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewG}\alpha}: \beta_{\text{ewG}\alpha}^{**} \geq \beta_{\text{ewG}\alpha} > \beta_{\text{ewG}\alpha}^{***} \Rightarrow \lambda = \frac{L_r - 2w_1}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha})}. \quad (3.90)$$

**B6**<sub>ewGα</sub> за  $0^\circ < \gamma_{G\alpha} < 180^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha}^*)=y/(L_k/2)$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha}^{**})=y/(L_r/2-w_1)$ :

$$\text{DO}_{\text{ewG}\alpha}: 90^\circ > \beta_{\text{ewG}\alpha} > \beta_{\text{ewG}\alpha}^* \Rightarrow \lambda = \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha})}; \quad (3.91)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewG}\alpha}: \beta_{\text{ewG}\alpha}^* \geq \beta_{\text{ewG}\alpha} > \beta_{\text{ewG}\alpha}^{**} \Rightarrow \lambda = \frac{L_r - 2w_1}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha})}. \quad (3.92)$$

**B7**<sub>ewGα</sub> за  $0^\circ < \gamma_{G\alpha} < 180^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha}^*)=y/(L_r/2-L_k-w_1)$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha}^{**})=y/(L_k/2)$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha}^{***})=y/(L_r/2-w_1)$ :

$$\text{DO}_{\text{ewG}\alpha}: 90^\circ > \beta_{\text{ewG}\alpha} \geq \beta_{\text{ewG}\alpha}^* \Rightarrow \lambda = \frac{2y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha})}; \quad (3.93)$$

$$\text{DO}_{\text{ewG}\alpha}: \beta_{\text{ewG}\alpha}^* > \beta_{\text{ewG}\alpha} > \beta_{\text{ewG}\alpha}^{**} \Rightarrow \lambda = \frac{L_r - 2L_k - 2w_1}{2} + \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha})}; \quad (3.94)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewG}\alpha}: \beta_{\text{ewG}\alpha}^{**} \geq \beta_{\text{ewG}\alpha} > \beta_{\text{ewG}\alpha}^{***} \Rightarrow \lambda = \frac{L_r - 2w_1}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha})}. \quad (3.95)$$

**B8**<sub>ewGα</sub> за  $0^\circ < \gamma_{G\alpha} < 180^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha}^*)=y/(L_r/2-L_k-w_1)$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha}^{**})=y/(L_r/2-w_1)$ :

$$\text{DO}_{\text{ewG}\alpha}: 90^\circ > \beta_{\text{ewG}\alpha} > \beta_{\text{ewG}\alpha}^* \Rightarrow \lambda = \frac{2y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha})}; \quad (3.96)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewG}\alpha}: \beta_{\text{ewG}\alpha}^* \geq \beta_{\text{ewG}\alpha} > \beta_{\text{ewG}\alpha}^{**} \Rightarrow \lambda = \frac{L_r - 2w_1}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha})}. \quad (3.97)$$

**B9**<sub>ewGα</sub> за  $0^\circ < \gamma_{G\alpha} < 180^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha}^*)=y/(L_k/2)$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha}^{**})=y/(L_r/2-L_k-w_1)$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha}^{***})=y/(L_r/2-w_1)$ :

$$\text{DO}_{\text{ewG}\alpha}: 90^\circ > \beta_{\text{ewG}\alpha} > \beta_{\text{ewG}\alpha}^* \Rightarrow \lambda = \frac{2y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha})}; \quad (3.98)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewG}\alpha}: \beta_{\text{ewG}\alpha}^* \geq \beta_{\text{ewG}\alpha} \geq \beta_{\text{ewG}\alpha}^{**} \Rightarrow \lambda = L_k; \quad (3.99)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewG}\alpha}: \beta_{\text{ewG}\alpha}^{**} > \beta_{\text{ewG}\alpha} > \beta_{\text{ewG}\alpha}^{***} \Rightarrow \lambda = \frac{L_r - 2w_1}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha})}. \quad (3.100)$$

$$\text{C1}_{\text{ewG}\alpha} (\text{C1}_{\text{ewG}\alpha}=\dots=\text{C3}_{\text{ewG}\alpha}) \text{ за } 0^\circ < \gamma_{G\alpha} < 180^\circ: \lambda = 0. \quad (3.101)$$

**C1**<sub>ewGα</sub> за  $180^\circ < \gamma_{G\alpha} < 360^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha}^*)=y/L_r$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha}^{**})=y/L_k$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha}^{***})=y/(L_k+L_r)$ :

$$\text{POZ}_{\text{ewG}\alpha}: 90^\circ > \beta_{\text{ewG}\alpha} > \beta_{\text{ewG}\alpha}^* \Rightarrow \lambda = \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha})}; \quad (3.102)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewG}\alpha}: \beta_{\text{ewG}\alpha}^* \geq \beta_{\text{ewG}\alpha} \geq \beta_{\text{ewG}\alpha}^{**} \Rightarrow \lambda = L_r; \quad (3.103)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewG}\alpha}: \beta_{\text{ewG}\alpha}^{**} > \beta_{\text{ewG}\alpha} > \beta_{\text{ewG}\alpha}^{***} \Rightarrow \lambda = L_r + L_k - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha})}. \quad (3.104)$$

**C2**<sub>ewGα</sub> за  $180^\circ < \gamma_{G\alpha} < 360^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha}^*)=y/L_r$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha}^{**})=y/(L_k+L_r)$ :

$$\text{POZ}_{\text{ewG}\alpha}: 90^\circ > \beta_{\text{ewG}\alpha} > \beta_{\text{ewG}\alpha}^* \Rightarrow \lambda = \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha})}; \quad (3.105)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewG}\alpha}: \beta_{\text{ewG}\alpha} = \beta_{\text{ewG}\alpha}^* \Rightarrow \lambda = L_r; \quad (3.106)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewG}\alpha}: \beta_{\text{ewG}\alpha}^* > \beta_{\text{ewG}\alpha} > \beta_{\text{ewG}\alpha}^{**} \Rightarrow \lambda = L_r + L_k - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha})}. \quad (3.107)$$

**C3**<sub>ewGα</sub> за  $180^\circ < \gamma_{G\alpha} < 360^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha}^*)=y/L_k$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha}^{**})=y/L_r$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha}^{***})=y/(L_k+L_r)$ :

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: 90^\circ > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda = \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.108)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^* \geq \beta_{\text{ewGa}} \geq \beta_{\text{ewGa}}^{**} \Rightarrow \lambda = L_k; \quad (3.109)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^{**} > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{***} \Rightarrow \lambda = L_r + L_k - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.110)$$

$$\mathbf{D1}_{\text{ewGa}} (\mathbf{D1}_{\text{ewGa}} = \dots = \mathbf{D3}_{\text{ewGa}}) \text{ за } 0^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 180^\circ: \lambda = 0. \quad (3.111)$$

$$\mathbf{D1}_{\text{ewGa}} \text{ за } 180^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 360^\circ, \text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*) = y/w_1, \text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{**}) = y/(L_r + w_1), \text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{***}) = y/(L_k + w_1) \text{ и } \text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{****}) = y/(L_k + L_r + w_1):$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^* > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{**} \Rightarrow \lambda = \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})} - w_1; \quad (3.112)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^{**} \geq \beta_{\text{ewGa}} \geq \beta_{\text{ewGa}}^{***} \Rightarrow \lambda = L_r; \quad (3.113)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^{***} > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{****} \Rightarrow \lambda = L_r + L_k + w_1 - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.114)$$

$$\mathbf{D2}_{\text{ewGa}} \text{ за } 180^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 360^\circ, \text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*) = y/w_1, \text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{**}) = y/(L_r + w_1) \text{ и } \text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{***}) = y/(L_k + L_r + w_1):$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^* > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{**} \Rightarrow \lambda = \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})} - w_1; \quad (3.115)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}} = \beta_{\text{ewGa}}^{**} \Rightarrow \lambda = L_r; \quad (3.116)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^{**} > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{***} \Rightarrow \lambda = L_r + L_k + w_1 - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.117)$$

$$\mathbf{D3}_{\text{ewGa}} \text{ за } 180^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 360^\circ, \text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*) = y/w_1, \text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{**}) = y/(L_k + w_1), \text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{***}) = y/(L_r + w_1) \text{ и } \text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{****}) = y/(L_k + L_r + w_1):$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^* > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{**} \Rightarrow \lambda = \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})} - w_1; \quad (3.118)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^{**} \geq \beta_{\text{ewGa}} \geq \beta_{\text{ewGa}}^{***} \Rightarrow \lambda = L_k; \quad (3.119)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^{***} > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{****} \Rightarrow \lambda = L_r + L_k + w_1 - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.120)$$

$$\mathbf{E1}_{\text{ewGa}} (\mathbf{E1}_{\text{ewGa}} = \mathbf{E2}_{\text{ewGa}} = \mathbf{E4}_{\text{ewGa}} = \mathbf{E5}_{\text{ewGa}}) \text{ за } 0^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 180^\circ \text{ и } \text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*) = y/(L_r/2 + v_1):$$

$$\text{POS}_{\text{ewGa}}: 90^\circ > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda = \frac{L_r + 2v_1}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.121)$$

$$\mathbf{E1}_{\text{ewGa}} \text{ за } 180^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 360^\circ, \text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*) = y/(L_r/2 - v_1), \text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{**}) = y/(L_r/2 + v_1), \text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{***}) = y/(L_k - v_1 - L_r/2) \text{ и } \text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{****}) = y/(L_k - v_1 + L_r/2):$$

$$\text{DO}_{\text{ewGa}}: 90^\circ > \beta_{\text{ewGa}} \geq \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda = \frac{2y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.122)$$

$$\text{DO}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^* > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{**} \Rightarrow \lambda = \frac{L_r - 2v_1}{2} + \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.123)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^{**} \geq \beta_{\text{ewGa}} \geq \beta_{\text{ewGa}}^{***} \Rightarrow \lambda = L_r; \quad (3.124)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^{***} > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{****} \Rightarrow \lambda = \frac{2L_k - 2v_1 + L_r}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.125)$$

$$\mathbf{E2}_{\text{ewGa}} \text{ за } 180^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 360^\circ, \text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*) = y/L_r, \text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{**}) = y/(L_k - v_1 - L_r/2) \text{ и } \text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{***}) = y/(L_k - v_1 + L_r/2):$$

$$\text{DO}_{\text{ewGa}}: 90^\circ > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda = \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.126)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^* \geq \beta_{\text{ewGa}} \geq \beta_{\text{ewGa}}^{**} \Rightarrow \lambda = L_r; \quad (3.127)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^{**} > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{***} \Rightarrow \lambda = \frac{2L_k - 2v_1 + L_r}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.128)$$

**E3<sub>ewGa</sub> (E3<sub>ewGa</sub>=E6<sub>ewGa</sub>)** за  $0^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 180^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*)=y/(v_1-L_r/2)$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{**})=y/(L_r/2+v_1)$ :

$$\text{POS}_{\text{ewGa}}: 90^\circ > \beta_{\text{ewGa}} \geq \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda = L_r; \quad (3.129)$$

$$\text{POS}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^* > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{**} \Rightarrow \lambda = \frac{L_r + 2v_1}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.130)$$

**E3<sub>ewGa</sub>** за  $180^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 360^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*)=y/(v_1-L_r/2)$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{**})=y/(L_r/2+v_1)$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{***})=y/(L_k-v_1-L_r/2)$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{****})=y/(L_k-v_1+L_r/2)$ :

$$\text{POS}_{\text{ewGa}}: 90^\circ > \beta_{\text{ewGa}} \geq \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda = L_r; \quad (3.131)$$

$$\text{DO}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^* > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{**} \Rightarrow \lambda = \frac{L_r - 2v_1}{2} + \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.132)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^{**} \geq \beta_{\text{ewGa}} \geq \beta_{\text{ewGa}}^{***} \Rightarrow \lambda = L_r; \quad (3.133)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^{***} > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{****} \Rightarrow \lambda = \frac{2L_k - 2v_1 + L_r}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.134)$$

**E4<sub>ewGa</sub> (E4<sub>ewGa</sub>=E7<sub>ewGa</sub>)** за  $180^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 360^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*)=y/(L_r/2-v_1)$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{**})=y/(L_k-v_1-L_r/2)$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{***})=y/(L_k-v_1+L_r/2)$ :

$$\text{DO}_{\text{ewGa}}: 90^\circ > \beta_{\text{ewGa}} \geq \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda = \frac{2y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.135)$$

$$\text{DO}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^* > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{**} \Rightarrow \lambda = \frac{L_r - 2v_1}{2} + \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.136)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^{**} \geq \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{***} \Rightarrow \lambda = \frac{2L_k - 2v_1 + L_r}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.137)$$

**E5<sub>ewGa</sub> (E5<sub>ewGa</sub>=E8<sub>ewGa</sub>)** за  $180^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 360^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*)=y/(L_k-v_1-L_r/2)$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{**})=y/(L_k-v_1+L_r/2)$ :

$$\text{DO}_{\text{ewGa}}: 90^\circ > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda = \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.138)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^* \geq \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{**} \Rightarrow \lambda = \frac{2L_k - 2v_1 + L_r}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.139)$$

**E6<sub>ewGa</sub> (E6<sub>ewGa</sub>=E9<sub>ewGa</sub>)** за  $180^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 360^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*)=y/(v_1-L_r/2)$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{**})=y/(L_k-v_1-L_r/2)$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{***})=y/(L_k-v_1+L_r/2)$ :

$$\text{POS}_{\text{ewGa}}: 90^\circ > \beta_{\text{ewGa}} \geq \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda = L_r; \quad (3.140)$$

$$\text{DO}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^* > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{**} \Rightarrow \lambda = \frac{L_r - 2v_1}{2} + \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.141)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^{**} \geq \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{***} \Rightarrow \lambda = \frac{2L_k - 2v_1 + L_r}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.142)$$

**E7<sub>ewGa</sub> (E7<sub>ewGa</sub>=E8<sub>ewGa</sub>=E10<sub>ewGa</sub>=E11a<sub>ewGa</sub>=E11b<sub>ewGa</sub>)** за  $0^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 180^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*)=y/(L_k-v_1-L_r/2)$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{**})=y/(L_k/2)$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{***})=y/(L_r/2+v_1)$ :

$$\text{POS}_{\text{ewGa}}: 90^\circ > \beta_{\text{ewGa}} \geq \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda = \frac{L_r + 2v_1}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.143)$$

$$\text{DO}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^* > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{**} \Rightarrow \lambda = \frac{L_r - 2L_k + 2v_1}{2} + \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.144)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^{**} \geq \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{***} \Rightarrow \lambda = \frac{L_r + 2v_1}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.145)$$



**E9<sub>ewGa</sub>** за  $0^\circ < \gamma_{Ga} < 180^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta^*_{ewGa})=y/(v_1-L_r/2)$ ,  $\text{tg}(\beta^{**}_{ewGa})=y/(L_k-v_1-L_r/2)$ ,  $\text{tg}(\beta^{***}_{ewGa})=y/(L_k/2)$  и  $\text{tg}(\beta^{****}_{ewGa})=y/(L_r/2+v_1)$ :

$$\text{POS}_{ewGa}: 90^\circ > \beta_{ewGa} \geq \beta^*_{ewGa} \Rightarrow \lambda = L_r; \quad (3.146)$$

$$\text{POS}_{ewGa}: \beta^*_{ewGa} > \beta_{ewGa} \geq \beta^{**}_{ewGa} \Rightarrow \lambda = \frac{L_r + 2v_1}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{ewGa})}; \quad (3.147)$$

$$\text{DO}_{ewGa}: \beta^{**}_{ewGa} > \beta_{ewGa} > \beta^{***}_{ewGa} \Rightarrow \lambda = \frac{L_r - 2L_k + 2v_1}{2} + \frac{y}{\text{tg}(\beta_{ewGa})}; \quad (3.148)$$

$$\text{POZ}_{ewGa}: \beta^{***}_{ewGa} \geq \beta_{ewGa} > \beta^{****}_{ewGa} \Rightarrow \lambda = \frac{L_r + 2v_1}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{ewGa})}. \quad (3.149)$$

**E10<sub>ewGa</sub>** (**E10<sub>ewGa</sub>=E11a<sub>ewGa</sub>=E12a<sub>ewGa</sub>=E13a<sub>ewGa</sub>**) за  $180^\circ < \gamma_{Ga} < 360^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta^*_{ewGa})=y/(L_r/2-v_1)$ ,  $\text{tg}(\beta^{**}_{ewGa})=y/(L_k/2)$  и  $\text{tg}(\beta^{***}_{ewGa})=y/(L_k-v_1+L_r/2)$ :

$$\text{DO}_{ewGa}: 90^\circ > \beta_{ewGa} \geq \beta^*_{ewGa} \Rightarrow \lambda = \frac{2y}{\text{tg}(\beta_{ewGa})}; \quad (3.150)$$

$$\text{DO}_{ewGa}: \beta^*_{ewGa} > \beta_{ewGa} > \beta^{**}_{ewGa} \Rightarrow \lambda = \frac{L_r - 2v_1}{2} + \frac{y}{\text{tg}(\beta_{ewGa})}; \quad (3.151)$$

$$\text{POZ}_{ewGa}: \beta^{**}_{ewGa} \geq \beta_{ewGa} > \beta^{***}_{ewGa} \Rightarrow \lambda = \frac{2L_k - 2v_1 + L_r}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{ewGa})}. \quad (3.152)$$

**E11b<sub>ewGa</sub>** (**E11b<sub>ewGa</sub>=E12b<sub>ewGa</sub>=E13b<sub>ewGa</sub>=E14<sub>ewGa</sub>=E15<sub>ewGa</sub>**) за  $180^\circ < \gamma_{Ga} < 360^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta^*_{ewGa})=y/(L_k/2)$ ,  $\text{tg}(\beta^{**}_{ewGa})=y/(L_r/2-v_1)$  и  $\text{tg}(\beta^{***}_{ewGa})=y/(L_k-v_1+L_r/2)$ :

$$\text{DO}_{ewGa}: 90^\circ > \beta_{ewGa} > \beta^*_{ewGa} \Rightarrow \lambda = \frac{2y}{\text{tg}(\beta_{ewGa})}; \quad (3.153)$$

$$\text{POZ}_{ewGa}: \beta^*_{ewGa} \geq \beta_{ewGa} \geq \beta^{**}_{ewGa} \Rightarrow \lambda = L_k; \quad (3.154)$$

$$\text{POZ}_{ewGa}: \beta^{**}_{ewGa} > \beta_{ewGa} > \beta^{***}_{ewGa} \Rightarrow \lambda = \frac{2L_k - 2v_1 + L_r}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{ewGa})}. \quad (3.155)$$

**E12a<sub>ewGa</sub>** (**E12a<sub>ewGa</sub>=E12b<sub>ewGa</sub>**) за  $0^\circ < \gamma_{Ga} < 180^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta^*_{ewGa})=y/(L_k/2)$  и  $\text{tg}(\beta^{**}_{ewGa})=y/(L_r/2+v_1)$ :

$$\text{DO}_{ewGa}: 90^\circ > \beta_{ewGa} > \beta^*_{ewGa} \Rightarrow \lambda = \frac{y}{\text{tg}(\beta_{ewGa})}; \quad (3.156)$$

$$\text{POZ}_{ewGa}: \beta^*_{ewGa} \geq \beta_{ewGa} > \beta^{**}_{ewGa} \Rightarrow \lambda = \frac{L_r + 2v_1}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{ewGa})}. \quad (3.157)$$

**E13a<sub>ewGa</sub>** (**E13a<sub>ewGa</sub>=E13b<sub>ewGa</sub>**) за  $0^\circ < \gamma_{Ga} < 180^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta^*_{ewGa})=y/(L_r/2+v_1-L_k)$ ,  $\text{tg}(\beta^{**}_{ewGa})=y/(L_k/2)$  и  $\text{tg}(\beta^{***}_{ewGa})=y/(L_r/2+v_1)$ :

$$\text{DO}_{ewGa}: 90^\circ > \beta_{ewGa} \geq \beta^*_{ewGa} \Rightarrow \lambda = \frac{2y}{\text{tg}(\beta_{ewGa})}; \quad (3.158)$$

$$\text{DO}_{ewGa}: \beta^*_{ewGa} > \beta_{ewGa} > \beta^{**}_{ewGa} \Rightarrow \lambda = \frac{L_r - 2L_k + 2v_1}{2} + \frac{y}{\text{tg}(\beta_{ewGa})}; \quad (3.159)$$

$$\text{POZ}_{ewGa}: \beta^{**}_{ewGa} \geq \beta_{ewGa} > \beta^{***}_{ewGa} \Rightarrow \lambda = \frac{L_r + 2v_1}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{ewGa})}. \quad (3.160)$$

**E14<sub>ewGa</sub>** за  $0^\circ < \gamma_{Ga} < 180^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta^*_{ewGa})=y/(L_r/2+v_1-L_k)$  и  $\text{tg}(\beta^{**}_{ewGa})=y/(L_r/2+v_1)$ :

$$\text{DO}_{ewGa}: 90^\circ > \beta_{ewGa} > \beta^*_{ewGa} \Rightarrow \lambda = \frac{2y}{\text{tg}(\beta_{ewGa})}; \quad (3.161)$$

$$\text{POZ}_{ewGa}: \beta^*_{ewGa} \geq \beta_{ewGa} > \beta^{**}_{ewGa} \Rightarrow \lambda = \frac{L_r + 2v_1}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{ewGa})}. \quad (3.162)$$

**E15<sub>ewGa</sub>** за  $0^\circ < \gamma_{Ga} < 180^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta^*_{ewGa})=y/(L_k/2)$ ,  $\text{tg}(\beta^{**}_{ewGa})=y/(L_r/2+v_1-L_k)$  и  $\text{tg}(\beta^{***}_{ewGa})=y/(L_r/2+v_1)$ :

$$\text{DO}_{\text{ewGa}}: 90^\circ > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda = \frac{2y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.163)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^* \geq \beta_{\text{ewGa}} \geq \beta_{\text{ewGa}}^{**} \Rightarrow \lambda = L_k; \quad (3.164)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^{**} > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{***} \Rightarrow \lambda = \frac{L_r + 2v_1}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.165)$$

**F1**<sub>ewGa</sub> за  $0^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 180^\circ$  (исто за  $180^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 360^\circ$ ),  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*)=y/(L_k/2-L_r/2)$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{**})=y/(L_k/2)$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{***})=y/(L_k/2+L_r/2)$ :

$$\text{POS}_{\text{ewGa}}: 90^\circ > \beta_{\text{ewGa}} \geq \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda = L_r; \quad (3.166)$$

$$\text{DO}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^* > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{**} \Rightarrow \lambda = \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})} - \frac{L_k - L_r}{2}; \quad (3.167)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^{**} \geq \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{***} \Rightarrow \lambda = \frac{L_k + L_r}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.168)$$

**F2**<sub>ewGa</sub> за  $0^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 180^\circ$  (исто за  $180^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 360^\circ$ ),  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*)=y/(L_k/2)$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{**})=y/(L_r)$ :

$$\text{DO}_{\text{ewGa}}: 90^\circ > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda = \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.169)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^* \geq \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{**} \Rightarrow \lambda = L_r - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.170)$$

**F3**<sub>ewGa</sub> за  $0^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 180^\circ$  (исто за  $180^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 360^\circ$ ),  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*)=y/(L_r/2-L_k/2)$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{**})=y/(L_k/2)$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{***})=y/(L_k/2+L_r/2)$ :

$$\text{DO}_{\text{ewGa}}: 90^\circ > \beta_{\text{ewGa}} \geq \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda = \frac{2y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.171)$$

$$\text{DO}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^* > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{**} \Rightarrow \lambda = \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})} + \frac{L_r - L_k}{2}; \quad (3.172)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^{**} \geq \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{***} \Rightarrow \lambda = \frac{L_k + L_r}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.173)$$

**F4**<sub>ewGa</sub> за  $0^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 180^\circ$  (исто за  $180^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 360^\circ$ ),  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*)=y/(L_k/2)$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{**})=y/(L_r/2+L_k/2)$ :

$$\text{DO}_{\text{ewGa}}: 90^\circ > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda = \frac{2y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.174)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^* \geq \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{**} \Rightarrow \lambda = \frac{L_k + L_r}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.175)$$

**F5**<sub>ewGa</sub> за  $0^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 180^\circ$  (исто за  $180^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 360^\circ$ ),  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*)=y/(L_k/2)$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{**})=y/(L_r/2-L_k/2)$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{***})=y/(L_r/2+L_k/2)$ :

$$\text{DO}_{\text{ewGa}}: 90^\circ > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda = \frac{2y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.176)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^* \geq \beta_{\text{ewGa}} \geq \beta_{\text{ewGa}}^{**} \Rightarrow \lambda = L_k; \quad (3.177)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^{**} > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{***} \Rightarrow \lambda = \frac{L_k + L_r}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.178)$$

За комбинацију случаја као на слици 3.5, једначине које би се примењивале за израчунавање  $\lambda$  и  $\zeta$  биле би:

**E1**<sub>ewGa</sub> за  $0^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 180^\circ$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*)=y/(L_r/2+v_1)$ :

$$\text{POS}_{\text{ewGa}}: 90^\circ > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda = \frac{L_r + 2v_1}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.121)$$

**E1<sub>ewGa</sub>** за  $180^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 360^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*)=y/(L_r/2-v_1)$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{**})=y/(L_r/2+v_1)$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{***})=y/(L_k-v_1-L_r/2)$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{****})=y/(L_k-v_1+L_r/2)$ :

$$\text{DO}_{\text{ewGa}}: 90^\circ > \beta_{\text{ewGa}} \geq \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda = \frac{2y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.122)$$

$$\text{DO}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^* > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{**} \Rightarrow \lambda = \frac{L_r - 2v_1}{2} + \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.123)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^{**} \geq \beta_{\text{ewGa}} \geq \beta_{\text{ewGa}}^{***} \Rightarrow \lambda = L_r; \quad (3.124)$$

$$\text{POZ}_{\text{ewGa}}: \beta_{\text{ewGa}}^{***} > \beta_{\text{ewGa}} > \beta_{\text{ewGa}}^{****} \Rightarrow \lambda = \frac{2L_k - 2v_1 + L_r}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.125)$$

**B5<sub>nsGa</sub>** за  $90^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 270^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{nsGa}}^*)=y/(W_r/2-w_2)$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{nsGa}}^{**})=y/(W_r/2+w_2)$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{nsGa}}^{***})=y/(W_k+w_2+W_r/2)$ :

$$\text{DO}_{\text{nsGa}}: 90^\circ > \beta_{\text{nsGa}} > \beta_{\text{nsGa}}^* \Rightarrow \xi = \frac{2y}{\text{tg}(\beta_{\text{nsGa}})}; \quad (3.85^*)$$

$$\text{POZ}_{\text{nsGa}}: \beta_{\text{nsGa}}^* \geq \beta_{\text{nsGa}} \geq \beta_{\text{nsGa}}^{**} \Rightarrow \xi = W_k; \quad (3.86^*)$$

$$\text{POZ}_{\text{nsGa}}: \beta_{\text{nsGa}}^{**} > \beta_{\text{nsGa}} > \beta_{\text{nsGa}}^{***} \Rightarrow \xi = \frac{2W_k + 2w_2 + W_r}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{nsGa}})}. \quad (3.87^*)$$

**B5<sub>nsGa</sub>** за  $270^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 90^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{nsGa}}^*)=y/(W_k+w_2-W_r/2)$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{nsGa}}^{**})=y/(W_k/2)$  и  $\text{tg}(\beta_{\text{nsGa}}^{***})=y/(W_r/2-w_2)$ :

$$\text{POS}_{\text{nsGa}}: 90^\circ > \beta_{\text{nsGa}} \geq \beta_{\text{nsGa}}^* \Rightarrow \xi = \frac{W_r - 2w_2}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{nsGa}})}; \quad (3.88^*)$$

$$\text{DO}_{\text{nsGa}}: \beta_{\text{nsGa}}^* > \beta_{\text{nsGa}} > \beta_{\text{nsGa}}^{**} \Rightarrow \xi = \frac{W_r - 2W_k - 2w_2}{2} + \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{nsGa}})}; \quad (3.89^*)$$

$$\text{POZ}_{\text{nsGa}}: \beta_{\text{nsGa}}^{**} \geq \beta_{\text{nsGa}} > \beta_{\text{nsGa}}^{***} \Rightarrow \xi = \frac{W_r - 2w_2}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{nsGa}})}. \quad (3.90^*)$$

Звездиче као експоненти бројева једначина за  $\zeta$  (3.85\*-3.90\*) указују на то да су те једначине исте као оне за  $\lambda$  (3.85-3.90), али за друге интервале угла  $\gamma_{\text{Ga}}$  и друге параметре дужине и угла ( $W_k$ ,  $W_r$ ,  $v_2$ ,  $w_2$  и  $\beta_{\text{nsGa}}$ ).

Претходне једначине није могуће користити за граничне вредности интервала угла  $\gamma_{\text{Ga}}$ . То су вредности угла  $\gamma_{\text{Ga}}$  од  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$  и  $360^\circ$ , за које су углови  $\beta_{\text{ewGa}} = 90^\circ$  ( $\gamma_{\text{Ga}} = 0^\circ, 180^\circ$  или  $360^\circ$ ) и  $\beta_{\text{nsGa}} = 90^\circ$  ( $\gamma_{\text{Ga}} = 90^\circ$  или  $270^\circ$ ). Параметри дужине  $\lambda$  и  $\zeta$ , за поменуте граничне вредности, другачије су дефинисани и означени су као  $\lambda_0$  и  $\zeta_0$ . Тада се површина озрачености израчунава као  $A_{\text{ozr}} = \zeta \cdot \lambda_0$  и  $A_{\text{ozr}} = \zeta_0 \cdot \lambda$ . Једначине за  $\lambda$  и  $\zeta$  су оне наведене горе док су једначине за  $\lambda_0$  и  $\zeta_0$  дате у табели 3.4.

**Табела 3.4** Једначине за  $\lambda_0$  и  $\zeta_0$

<b>A1=...=A4, E1=E2, E4=E5, E7=E8, E10=...=E12b</b>	$\lambda_0 = L_r/2+v_1, \zeta_0 = W_r/2+v_2$ (3.179)
<b>E3, E6, E9, F1=F2</b>	$\lambda_0 = L_r, \zeta_0 = W_r$ (3.180)
<b>A5=...=A7, B7=...=B9, E13a=...=E15, F3=...=F5</b>	$\lambda_0 = L_k, \zeta_0 = W_k$ (3.181)
<b>B1=...=B6</b>	$\lambda_0 = L_r/2-w_1, \zeta_0 = W_r/2-w_2$ (3.182)

### 3.5.1.3 Једначине за $p_{nsGa}$

Параметар  $p_{nsGa}$  је параметар дужине у NSGa равни. Израчунава се само онда када је ситуација DO активна. Постоји само једна једначина за  $p_{nsGa}$  ( $p_{ewGa}$ ) заједничка за све случајеве и подслучајеве, као:

$$p_{nsGa} = \frac{y}{\text{tg}(\beta_{nsGa})}. \quad (3.183)$$

Једначина за  $p_{ewGa}$  је иста само што се уместо параметра угла  $\beta_{nsGa}$  употребљава параметар угла  $\beta_{ewGa}$ .

### 3.5.1.4 Једначине за $a_p$ (за комбинацију ситуација $DO_{ewGa}/DO_{nsGa}$ )

У овом одељку приказане су једначине за параметар  $a_p$  када је комбинација ситуација  $DO_{ewGa}/DO_{nsGa}$ . Разликују се једначине за  $a_p$  код комбинације ситуација  $DO_{ewGa}/DO_{nsGa}$  од једначина за комбинацију ситуација  $DO_{ewGa}/POZ_{nsGa}$ . Облик једначине поменутог параметра дужине у PRS равни условљен је вредношћу угла  $\gamma_{Ga}$ . Слично као и код одређивања једначина за  $\lambda$  ( $\zeta$ ) и овде се прво на основу вредности тог угла одређује интервал истог угла ( $0^\circ < \gamma_{Ga} < 180^\circ$  или  $180^\circ < \gamma_{Ga} < 360^\circ$ ). Затим се у оквиру њега утврђује специјални интервал угла  $\gamma_{Ga}$  односно једначина која ће се применити за израчунавање  $a_p$  ( $DO_{ewGa}/DO_{nsGa}$ ). Границе специјалних интервала представљају гранични углови  $\gamma_{Ga}$  означени са једном или више звездица. Поступак и једначине за израчунавање  $a_p$ , за све случајеве (подслучајеве), приказан је испод:

**A1<sub>ewGa</sub>** (**A1<sub>ewGa</sub>=A2<sub>ewGa</sub>**) за  $180^\circ < \gamma_{Ga} < 270^\circ$  (за  $270^\circ < \gamma_{Ga} < 360^\circ \Rightarrow \text{tg}(360^\circ - \gamma_{Ga})$ ),  $\text{tg}(\gamma_{Ga} - 180^\circ)^* = (L_r/2)/p_{nsGa}$  и  $\text{tg}(\gamma_{Ga} - 180^\circ)^{**} = (L_k - L_r/2)/p_{nsGa}$ :

$$\text{tg}(\gamma_{Ga} - 180^\circ)^* \leq \text{tg}(\gamma_{Ga} - 180^\circ) \leq \text{tg}(\gamma_{Ga} - 180^\circ)^{**} \Rightarrow a_p = L_r; \quad (3.184)$$

$$\text{tg}(\gamma_{Ga} - 180^\circ) < \text{tg}(\gamma_{Ga} - 180^\circ)^* \Rightarrow a_p = \frac{L_r}{2} + \text{tg}(\gamma_{Ga} - 180^\circ) \cdot p_{nsGa}; \quad (3.185)$$

$$\text{tg}(\gamma_{Ga} - 180^\circ) > \text{tg}(\gamma_{Ga} - 180^\circ)^{**} \Rightarrow a_p = \frac{2L_k + L_r}{2} - \text{tg}(\gamma_{Ga} - 180^\circ) \cdot p_{nsGa}. \quad (3.186)$$

**A1<sub>ewGa</sub>** (**A1<sub>ewGa</sub>=A2<sub>ewGa</sub>**) за  $0^\circ < \gamma_{Ga} < 180^\circ$  (за  $90^\circ < \gamma_{Ga} < 180^\circ \Rightarrow \text{tg}(180^\circ - \gamma_{Ga})$ ):  $a_p = 0$ . (3.187)

**A3<sub>ewGa</sub>** за  $180^\circ < \gamma_{Ga} < 270^\circ$  (за  $270^\circ < \gamma_{Ga} < 360^\circ \Rightarrow \text{tg}(360^\circ - \gamma_{Ga})$ ),  $\text{tg}(\gamma_{Ga} - 180^\circ)^* = (L_k - L_r/2)/p_{nsGa}$  и  $\text{tg}(\gamma_{Ga} - 180^\circ)^{**} = (L_r/2)/p_{nsGa}$ :

$$\text{tg}(\gamma_{Ga} - 180^\circ)^* \leq \text{tg}(\gamma_{Ga} - 180^\circ) \leq \text{tg}(\gamma_{Ga} - 180^\circ)^{**} \Rightarrow a_p = L_k; \quad (3.188)$$

$$\text{tg}(\gamma_{Ga} - 180^\circ) < \text{tg}(\gamma_{Ga} - 180^\circ)^* \Rightarrow a_p = \frac{L_r}{2} + \text{tg}(\gamma_{Ga} - 180^\circ) \cdot p_{nsGa}; \quad (3.189)$$

$$\text{tg}(\gamma_{Ga} - 180^\circ) > \text{tg}(\gamma_{Ga} - 180^\circ)^{**} \Rightarrow a_p = \frac{2L_k + L_r}{2} - \text{tg}(\gamma_{Ga} - 180^\circ) \cdot p_{nsGa}. \quad (3.190)$$

**A3<sub>ewGa</sub>** (**A3<sub>ewGa</sub>=...=A7<sub>ewGa</sub>**) за  $0^\circ < \gamma_{Ga} < 90^\circ$  (за  $90^\circ < \gamma_{Ga} < 180^\circ \Rightarrow \text{tg}(180^\circ - \gamma_{Ga})$ ):

$$\text{tg}(\gamma_{Ga}) \geq \text{tg}(\gamma_{Ga})^*, \text{tg}(\gamma_{Ga})^* = 0 \Rightarrow a_p = \frac{L_r}{2} - \text{tg}(\gamma_{Ga}) \cdot p_{nsGa}. \quad (3.191)$$

**A4<sub>ewGa</sub>** за  $180^\circ < \gamma_{Ga} < 270^\circ$  (за  $270^\circ < \gamma_{Ga} < 360^\circ \Rightarrow \text{tg}(360^\circ - \gamma_{Ga})$ ),  $\text{tg}(\gamma_{Ga} - 180^\circ)^* = 0$  и  $\text{tg}(\gamma_{Ga} - 180^\circ)^{**} = (L_r/2)/p_{nsGa}$ :

$$\text{tg}(\gamma_{Ga} - 180^\circ)^* \leq \text{tg}(\gamma_{Ga} - 180^\circ) \leq \text{tg}(\gamma_{Ga} - 180^\circ)^{**} \Rightarrow a_p = L_k; \quad (3.192)$$



**E2<sub>ewGα</sub>** (**E2<sub>ewGα</sub>=E3<sub>ewGα</sub>=E5<sub>ewGα</sub>=E6<sub>ewGα</sub>=E8<sub>ewGα</sub>=E9<sub>ewGα</sub>**) за  $180^\circ < \gamma_{G\alpha} < 270^\circ$  (за  $270^\circ < \gamma_{G\alpha} < 360^\circ \Rightarrow \text{tg}(360^\circ - \gamma_{G\alpha}), \text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ)^* = 0$  и  $\text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ)^{**} = (L_k - v_1 - L_r/2)/p_{nsG\alpha}$ ):

$$\text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ)^* \leq \text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ) \leq \text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ)^{**} \Rightarrow a_p = L_r; \quad (3.212)$$

$$\text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ) > \text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ)^{**} \Rightarrow a_p = \frac{2L_k - 2v_1 + L_r}{2} - \text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ) \cdot p_{nsG\alpha}. \quad (3.213)$$

**E7<sub>ewGα</sub>** (**E7<sub>ewGα</sub>=E8<sub>ewGα</sub>=E10<sub>ewGα</sub>=...=E12b<sub>ewGα</sub>**) за  $0^\circ < \gamma_{G\alpha} < 90^\circ$  (за  $90^\circ < \gamma_{G\alpha} < 180^\circ \Rightarrow \text{tg}(180^\circ - \gamma_{G\alpha})$ ):

$$\text{tg}(\gamma_{G\alpha}) \geq \text{tg}(\gamma_{G\alpha})^*, \text{tg}(\gamma_{G\alpha})^* = 0 \Rightarrow a_p = \frac{L_r + 2v_1}{2} - \text{tg}(\gamma_{G\alpha}) \cdot p_{nsG\alpha}. \quad (3.214)$$

**E9<sub>ewGα</sub>** за  $0^\circ < \gamma_{G\alpha} < 90^\circ$  (за  $90^\circ < \gamma_{G\alpha} < 180^\circ \Rightarrow \text{tg}(180^\circ - \gamma_{G\alpha}), \text{tg}(\gamma_{G\alpha})^* = 0$  и  $\text{tg}(\gamma_{G\alpha})^{**} = (v_1 - L_r/2)/p_{nsG\alpha}$ ):

$$\text{tg}(\gamma_{G\alpha})^* \leq \text{tg}(\gamma_{G\alpha}) \leq \text{tg}(\gamma_{G\alpha})^{**} \Rightarrow a_p = L_r; \quad (3.215)$$

$$\text{tg}(\gamma_{G\alpha}) > \text{tg}(\gamma_{G\alpha})^{**} \Rightarrow a_p = \frac{L_r + 2v_1}{2} - \text{tg}(\gamma_{G\alpha}) \cdot p_{nsG\alpha}. \quad (3.216)$$

**E11a<sub>ewGα</sub>** (**E11a<sub>ewGα</sub>=E11b<sub>ewGα</sub>**) за  $180^\circ < \gamma_{G\alpha} < 270^\circ$  (за  $270^\circ < \gamma_{G\alpha} < 360^\circ \Rightarrow \text{tg}(360^\circ - \gamma_{G\alpha}), \text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ)^* = (L_k - v_1 - L_r/2)/p_{nsG\alpha}$  и  $\text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ)^{**} = (L_r/2 - v_1)/p_{nsG\alpha}$ ):

$$\text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ)^* \leq \text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ) \leq \text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ)^{**} \Rightarrow a_p = L_k; \quad (3.217)$$

$$\text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ) < \text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ)^* \Rightarrow a_p = \frac{L_r + 2v_1}{2} + \text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ) \cdot p_{nsG\alpha}; \quad (3.218)$$

$$\text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ) > \text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ)^{**} \Rightarrow a_p = \frac{2L_k - 2v_1 + L_r}{2} - \text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ) \cdot p_{nsG\alpha}. \quad (3.219)$$

**E12a<sub>ewGα</sub>** (**E12a<sub>ewGα</sub>=...=E15<sub>ewGα</sub>**) за  $180^\circ < \gamma_{G\alpha} < 270^\circ$  (за  $270^\circ < \gamma_{G\alpha} < 360^\circ \Rightarrow \text{tg}(360^\circ - \gamma_{G\alpha}), \text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ)^* = 0$  и  $\text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ)^{**} = (L_r/2 - v_1)/p_{nsG\alpha}$ ):

$$\text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ)^* \leq \text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ) \leq \text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ)^{**} \Rightarrow a_p = L_k; \quad (3.220)$$

$$\text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ) > \text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ)^{**} \Rightarrow a_p = \frac{2L_k - 2v_1 + L_r}{2} - \text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ) \cdot p_{nsG\alpha}. \quad (3.221)$$

**E13a<sub>ewGα</sub>** (**E13a<sub>ewGα</sub>=...=E15<sub>ewGα</sub>**) за  $0^\circ < \gamma_{G\alpha} < 90^\circ$  (за  $90^\circ < \gamma_{G\alpha} < 180^\circ \Rightarrow \text{tg}(180^\circ - \gamma_{G\alpha}), \text{tg}(\gamma_{G\alpha})^* = 0$  и  $\text{tg}(\gamma_{G\alpha})^{**} = (L_r/2 + v_1 - L_k)/p_{nsG\alpha}$ ):

$$\text{tg}(\gamma_{G\alpha})^* \leq \text{tg}(\gamma_{G\alpha}) \leq \text{tg}(\gamma_{G\alpha})^{**} \Rightarrow a_p = L_k; \quad (3.222)$$

$$\text{tg}(\gamma_{G\alpha}) > \text{tg}(\gamma_{G\alpha})^{**} \Rightarrow a_p = \frac{L_r + 2v_1}{2} - \text{tg}(\gamma_{G\alpha}) \cdot p_{nsG\alpha}. \quad (3.223)$$

**F1<sub>ewGα</sub>** (**F1<sub>ewGα</sub>=...=F5<sub>ewGα</sub>**) за  $180^\circ < \gamma_{G\alpha} < 270^\circ$  (за  $270^\circ < \gamma_{G\alpha} < 360^\circ \Rightarrow \text{tg}(360^\circ - \gamma_{G\alpha})$ ), (исто за  $0^\circ < \gamma_{G\alpha} < 180^\circ$ ),  $\text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ)^* = 0$  и  $\text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ)^{**} = ((L_k - L_r)/2)/p_{nsG\alpha}$ :

$$\text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ) > \text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ)^{**} \Rightarrow a_p = \frac{L_k + L_r}{2} - \text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ) \cdot p_{nsG\alpha}. \quad (3.224)$$

Уколико би међусобни положај рефлектора у односу на пријемник био као на слици 3.5 онда би једначине за  $a_p$  ( $DO_{ewG\alpha}/DO_{nsG\alpha}$ ) имале следећи облик:

**E1<sub>ewGα</sub>** (**E1<sub>ewGα</sub>=E4<sub>ewGα</sub>=E7<sub>ewGα</sub>=E10<sub>ewGα</sub>**) за  $180^\circ < \gamma_{G\alpha} < 270^\circ$  (за  $270^\circ < \gamma_{G\alpha} < 360^\circ \Rightarrow \text{tg}(360^\circ - \gamma_{G\alpha}), \text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ)^* = (L_r/2 - v_1)/p_{nsG\alpha}$  и  $\text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ)^{**} = (L_k - v_1 - L_r/2)/p_{nsG\alpha}$ ):

$$\text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ)^* \leq \text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ) \leq \text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ)^{**} \Rightarrow a_p = L_r; \quad (3.208)$$

$$\text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ) < \text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ)^* \Rightarrow a_p = \frac{L_r + 2v_1}{2} + \text{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ) \cdot p_{nsG\alpha}; \quad (3.209)$$

$$\operatorname{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ) > \operatorname{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ)^{**} \Rightarrow a_p = \frac{2L_k - 2v_1 + L_r}{2} - \operatorname{tg}(\gamma_{G\alpha} - 180^\circ) \cdot p_{nsG\alpha}. \quad (3.210)$$

$$\mathbf{E1}_{ewG\alpha} (\mathbf{E1}_{ewG\alpha} = \dots = \mathbf{E6}_{ewG\alpha}) \text{ за } 0^\circ < \gamma_{G\alpha} < 180^\circ \text{ (за } 90^\circ < \gamma_{G\alpha} < 180^\circ \Rightarrow \operatorname{tg}(180^\circ - \gamma_{G\alpha})) : a_p = 0. \quad (3.211)$$

За положај рефлектора, у односу на пријемник, десно у EWG $\alpha$  равни, једначине из интервала  $0^\circ < \gamma_{G\alpha} < 180^\circ$  и  $180^\circ < \gamma_{G\alpha} < 360^\circ$  биле би идентичне горњим једначинама из интервала  $180^\circ < \gamma_{G\alpha} < 360^\circ$  и  $0^\circ < \gamma_{G\alpha} < 180^\circ$ , респективно.

### 3.5.1.5 Једначине за $b_{pnsG\alpha}$ (за комбинацију ситуација DO<sub>ewG $\alpha$</sub> /DO<sub>nsG $\alpha$</sub> )

Дужина сенке пријемника на рефлектору у NSG $\alpha$  равни окарактерисана је параметром  $b_{pnsG\alpha}$ . Израчунава се само када је ситуација DO активна. Постоје три једначине које се користе за одређивање  $b_{pnsG\alpha}$ , заједничке за већину случајева А и В односно Е и F. Оне су приказане испод:

$\mathbf{A}_{nsG\alpha} = \dots = \mathbf{B}_{nsG\alpha}$  за  $90^\circ < \gamma_{G\alpha} < 270^\circ$ :

$$b_{pnsG\alpha} = \frac{W_r - 2w_2}{2} - p_{nsG\alpha}, \quad 2p_{nsG\alpha} + b_{pnsG\alpha} \geq W_k \Rightarrow b_{pnsG\alpha} = W_k - 2p_{nsG\alpha}. \quad (3.225)$$

$\mathbf{A1}_{nsG\alpha}$  ( $\mathbf{A1}_{nsG\alpha} = \mathbf{A2}_{nsG\alpha} = \mathbf{B1}_{nsG\alpha} = \dots = \mathbf{B4}_{nsG\alpha}$ ) за  $270^\circ < \gamma_{G\alpha} < 90^\circ$ :

$$b_{pnsG\alpha} = 0. \quad (3.226)$$

$\mathbf{A3}_{nsG\alpha}$  ( $\mathbf{A3}_{nsG\alpha} = \dots = \mathbf{A7}_{nsG\alpha} = \mathbf{B5}_{nsG\alpha} = \dots = \mathbf{B9}_{nsG\alpha}$ ) за  $270^\circ < \gamma_{G\alpha} < 90^\circ$ :

$$b_{pnsG\alpha} = W_k - 2p_{nsG\alpha}. \quad (3.227)$$

$\mathbf{E1}_{nsG\alpha} = \dots = \mathbf{E15}_{nsG\alpha}$  ( $\mathbf{F1}_{nsG\alpha} = \mathbf{F2}_{nsG\alpha}$  (исто за  $270^\circ < \gamma_{G\alpha} < 90^\circ$ )) за  $90^\circ < \gamma_{G\alpha} < 270^\circ$ :

$$b_{pnsG\alpha} = \frac{W_r + 2v_2}{2} - p_{nsG\alpha}, \quad 2p_{nsG\alpha} + b_{pnsG\alpha} \geq W_k \Rightarrow b_{pnsG\alpha} = W_k - 2p_{nsG\alpha}. \quad (3.228)$$

$\mathbf{E1}_{nsG\alpha}$  ( $\mathbf{E1}_{nsG\alpha} = \dots = \mathbf{E6}_{nsG\alpha}$ ) за  $270^\circ < \gamma_{G\alpha} < 90^\circ$ :  $b_{pnsG\alpha} = 0$ .

$$(3.229)$$

$\mathbf{E7}_{nsG\alpha}$  ( $\mathbf{E7}_{nsG\alpha} = \dots = \mathbf{E15}_{nsG\alpha}$  ( $\mathbf{F3}_{nsG\alpha} = \dots = \mathbf{F5}_{nsG\alpha}$  (исто за  $270^\circ < \gamma_{G\alpha} < 90^\circ$ ))) за  $270^\circ < \gamma_{G\alpha} < 90^\circ$ :

$$b_{pnsG\alpha} = W_k - 2p_{nsG\alpha}. \quad (3.230)$$

Такође, испод су приказане и једначине за  $b_{pnsG\alpha}$  за комбинацију случајева као на слици 3.5:

$$b_{pnsG\alpha} = \frac{W_r - 2w_2}{2} - p_{nsG\alpha}, \quad 2p_{nsG\alpha} + b_{pnsG\alpha} \geq W_k \Rightarrow b_{pnsG\alpha} = W_k - 2p_{nsG\alpha}. \quad (3.225)$$

Параметар  $b_{pewG\alpha}$  израчунава се помоћу једначина које су исте горе наведеним једначинама за  $b_{pnsG\alpha}$  са разликом што се сада уместо параметара  $W_k$ ,  $W_r$ ,  $v_2$ ,  $w_2$  и  $\beta_{nsG\alpha}$  користе параметри  $L_k$ ,  $L_r$ ,  $v_1$ ,  $w_1$  и  $\beta_{ewG\alpha}$ .

### 3.5.1.6 Једначине за $a_p$ (за комбинацију ситуација DO<sub>ewG $\alpha$</sub> /POZ<sub>nsG $\alpha$</sub> )

Дужина озрачености  $a_p$  али за комбинацију ситуација DO<sub>ewG $\alpha$</sub> /POZ<sub>nsG $\alpha$</sub>  израчунава се уз претходно израчунате параметре  $\lambda$ ,  $p_{ewG\alpha}$  и  $b_{pewG\alpha}$ . Постоје само две могуће једначине за његово израчунавање, у зависности од комбинације ситуација, комбинације случајева (подслучајева) и вредности параметара  $p_{ewG\alpha}$ ,  $b_{pewG\alpha}$  и  $L_k$ . За све случајеве (подслучајеве) једначине за  $a_p$  (DO<sub>ewG $\alpha$</sub> /POZ<sub>nsG $\alpha$</sub> ) приказане су испод:

$$\mathbf{A1} (\mathbf{A1}=\mathbf{A2}=\mathbf{B1}=\dots=\mathbf{B4}) \text{ за } 0^\circ < \gamma_{G\alpha} < 180^\circ: a_p = 0. \quad (3.231)$$

$$\mathbf{A3} (\mathbf{A3}=\dots=\mathbf{A7}=\mathbf{B5}=\dots=\mathbf{B9}) \text{ за } 0^\circ < \gamma_{G\alpha} < 180^\circ: a_p = L_k - 2p_{ewG\alpha} + \lambda. \quad (3.232)$$

$$\mathbf{A1} (\mathbf{A1}=\dots=\mathbf{A7}=\mathbf{B1}=\dots=\mathbf{B9}) \text{ за } 180^\circ < \gamma_{G\alpha} < 360^\circ:$$

$$a_p = b_{pewG\alpha} + \lambda, b_{pewG\alpha} + 2p_{ewG\alpha} \geq L_k \Rightarrow a_p = L_k - 2p_{ewG\alpha} + \lambda. \quad (3.233)$$

$$\mathbf{E1} (\mathbf{E1}=\dots=\mathbf{E6}) \text{ за } 0^\circ < \gamma_{G\alpha} < 180^\circ: a_p = 0. \quad (3.234)$$

$$\mathbf{E7} (\mathbf{E7}=\dots=\mathbf{E15}) \text{ за } 0^\circ < \gamma_{G\alpha} < 180^\circ: a_p = L_k - 2p_{ewG\alpha} + \lambda. \quad (3.235)$$

$$\mathbf{E1} (\mathbf{E1}=\dots=\mathbf{E15}=\mathbf{F1}=\mathbf{F2}) \text{ за } 180^\circ < \gamma_{G\alpha} < 360^\circ \text{ (за } \mathbf{F1}=\mathbf{F2} \text{ исте једначине су и за } 0^\circ < \gamma_{G\alpha} < 180^\circ):$$

$$a_p = b_{pewG\alpha} + \lambda, b_{pewG\alpha} + 2p_{ewG\alpha} \geq L_k \Rightarrow a_p = L_k - 2p_{ewG\alpha} + \lambda. \quad (3.236)$$

$$\mathbf{F3} (\mathbf{F3}=\dots=\mathbf{F5}) \text{ за } 180^\circ < \gamma_{G\alpha} < 360^\circ \text{ (исто и за } 0^\circ < \gamma_{G\alpha} < 180^\circ): a_p = L_k - 2p_{ewG\alpha} + \lambda. \quad (3.237)$$

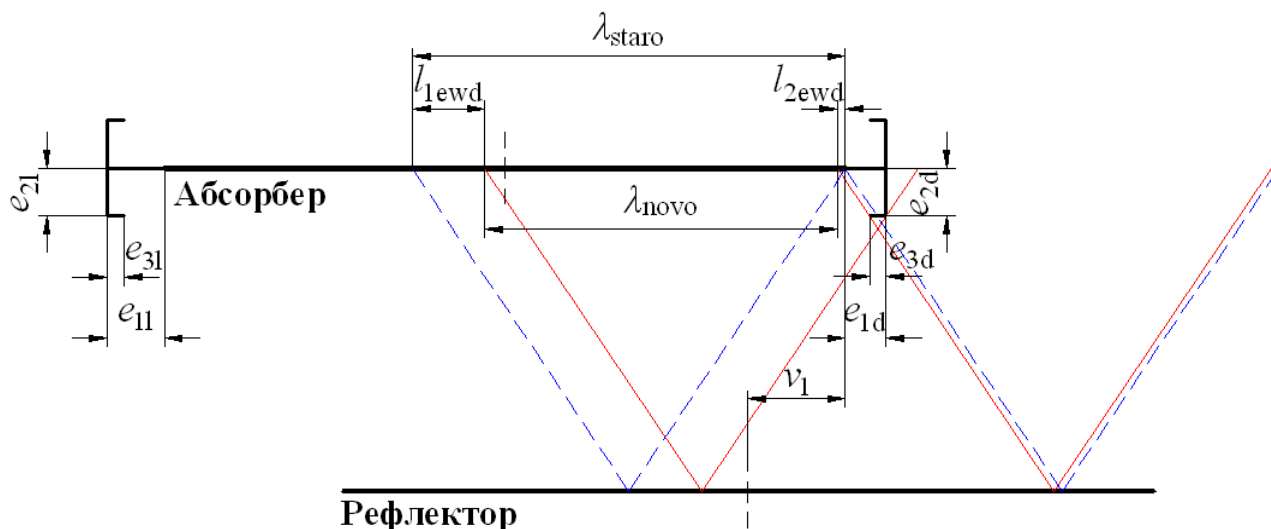
### 3.5.2 Утицај бочних страна двоструко-озраченог пријемника на површину озрачености доњег дела његовог апсорбера

Приликом извођења горњих једначина, за параметре који фигуришу у једначинама за одређивање површине озрачености ДДА ( $A_{ozr}$ ), занемарен је утицај бочних страна ДОП-а на величину и облик те површине. Бочне стране, као саставни део сваког пријемника, утичу на повећање величине сенке пријемника на рефлектору а истовремено и на смањење површине озрачености ДДА [30]. Под утицајем бочних страна пријемника узета је у обзир и чињеница да активна (ефективна) величина апсорбера није једнака површини пријемника. За површину пријемника узима се она површина која се добија као производ спољних димензија пријемника, његове дужине и ширине. Активна површина апсорбера је мања од површине пријемника због тога што се одузима део апсорбера кога чине сабирна и разводна цев са својим прикључним цевима. Њихов допринос апсорпцији соларног зрачења је занемарљив у поређењу са апсорпцијом саме апсорберске плоче.

Величине које се користе да би се представио утицај бочних страна пријемника су:  $e_{1d}, e_{2d}, e_{3d}, e_{1l}, e_{2l}, e_{3l}, f_{1d}, f_{2d}, f_{3d}, f_{1l}, f_{2l}, f_{3l}, l_{1ewd}, l_{2ewd}, l_{1ewl}, l_{2ewl}, l_{1nsd}, l_{2nsd}, l_{1nsl}$  и  $l_{2nsl}$  (слика 3.7). Дужина сабирне или разводне цеви у EWG $\alpha$  равни са десне односно леве стране означена је са  $e_{1d}$  и  $e_{1l}$ , док је њихова дужина у NSG $\alpha$  равни означена са  $f_{1d}$  и  $f_{1l}$ . Растојање између равни абсорбера и застакљења са десне односно леве стране пријемника у EWG $\alpha$  равни обележено је са  $e_{2d}$  и  $e_{2l}$  а у NSG $\alpha$  равни са  $f_{2d}$  и  $f_{2l}$ . Димензије  $e_{3d}, e_{3l}, f_{3d}$  и  $f_{3l}$  представљају ширине профила кућишта пријемника којима је застакљење причвршћено за кућиште. Ширине профила у EWG $\alpha$  равни са десне и леве стране означене су са  $e_{3d}$  и  $e_{3l}$ , а у NSG $\alpha$  равни са  $f_{3d}$  и  $f_{3l}$ . У случају када је соларни пријемник постављен у неко носеће кућиште тада се описане величине увећавају за вредност ширине тог кућишта на месту где је одређена величина (димензија) у контакту са њим. Параметри  $l_{1ewd}, l_{2ewd}, l_{1ewl}, l_{2ewl}, l_{1nsd}, l_{2nsd}, l_{1nsl}$  и  $l_{2nsl}$  су параметри дужине за чију вредност се умањује вредност параметара дужине озрачености  $\lambda$  и  $\zeta$ . Смањење дужине  $\lambda$ , услед присуства димензија  $e_{1d}$  и  $e_{2d}$  односно  $e_{1l}$  и  $e_{2l}$ , означено је параметрима  $l_{1ewd}$  и  $l_{1ewl}$ , респективно. С друге стране, смањење исте дужине али као последица постојања димензија  $e_{2d}$  и  $e_{3d}$  као и  $e_{2l}$  и  $e_{3l}$ , представљено је параметрима  $l_{2ewd}$  и  $l_{2ewl}$ . По истом принципу означени су и параметри смањења дужине озрачености у NSG $\alpha$  равни ( $\zeta$ ) као  $l_{1nsd}, l_{1nsl}, l_{2nsd}$  и  $l_{2nsl}$ . На сликама 3.7 и 3.8 шематски је приказан утицај бочних страна ДОП-а на површину озрачености ДДА за произвољну комбинацију случајева (подслучајева) и ситуација. Слика 3.7 графички описује величине утицаја бочних страна у EWG $\alpha$  равни. Приказане величине  $\lambda_{staro}$  и  $\lambda_{ново}$  представљају дужину озрачености у EWG $\alpha$  равни када се не узима односно узима у обзир утицај бочних страна ДОП-а. Плавом бојом

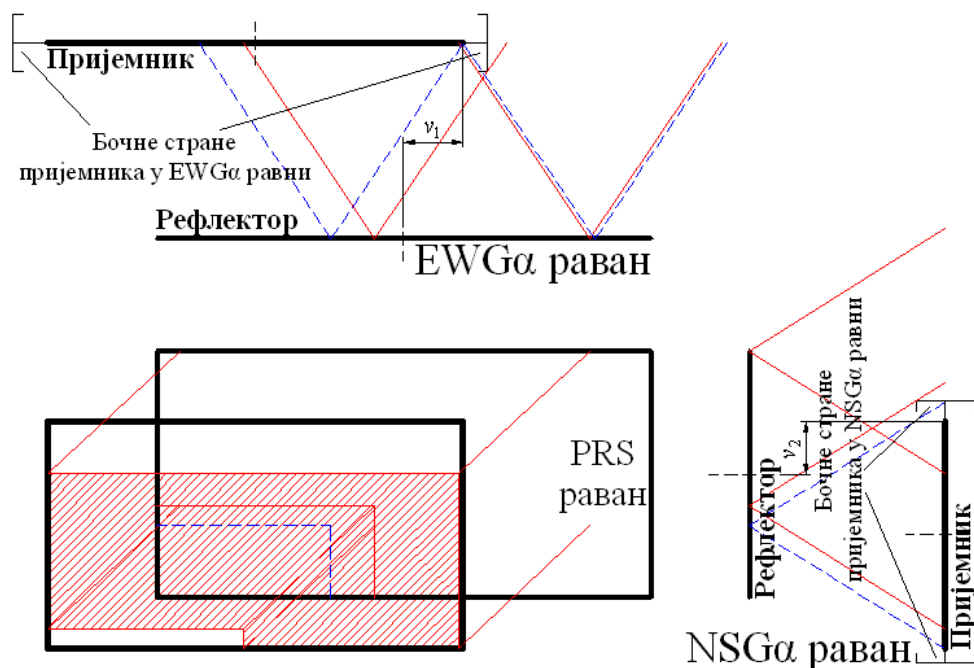


приказани су соларни зраци који образују површину озрачености када се занемарује утицај бочних страна пријемника, док су црвеном бојом означени исти зраци када се узима у обзир поменути утицај.

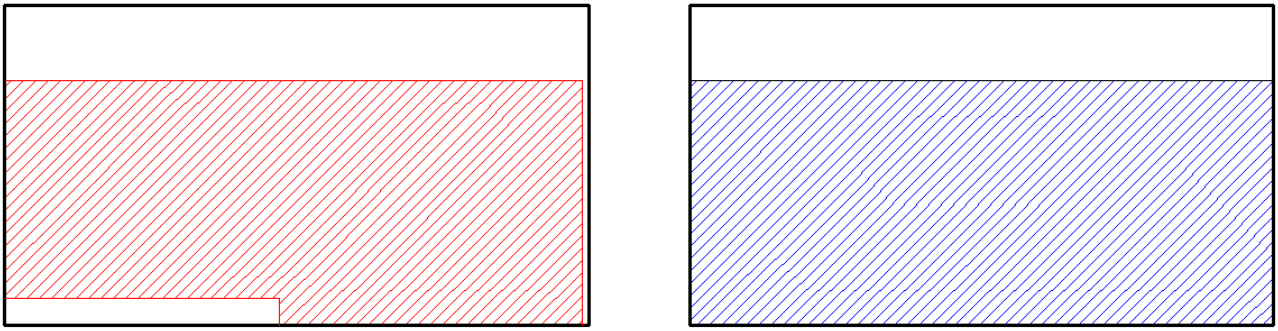


Слика 3.7 Величине утицаја бочних страна пријемника на дужину озрачености  $\lambda$  у EWG $\alpha$  равни

На слици 3.8 приказана је површина озрачености ДДА при утицају бочних страна пријемника као и повећање површине сенке пријемника, која се образује на рефлектору као последица наведеног утицаја. Слика 3.9 графички даје упоредни приказ површина озрачености ДДА одређених у ситуацији незанемаривања и занемаривања разматраног утицаја. Битно је нагласити да утицај бочних страна постоји и на горњој страни ДОП-а. Он није укључен у оквиру овог математичког модела јер исти утицај постоји и са горње стране КП-а.



Слика 3.8 Одређивање површине озрачености ДДА под утицајем бочних страна пријемника



**Слика 3.9** Упоредни приказ површина озрачености ДДА са (лево) и без (десно) утицаја бочних страна пријемника (позив на слике 3.7 и 3.8)

У наредном тексту изведене су једначине за величине:  $l_{1ewd}$ ,  $l_{2ewd}$ ,  $l_{1ewl}$ ,  $l_{2ewl}$ ,  $l_{1nsd}$ ,  $l_{2nsd}$ ,  $l_{1nsl}$  и  $l_{2nsl}$ . Приказан је и принцип израчунавања параметара  $\lambda$ ,  $\xi$ ,  $a_p$ ,  $b_{pnsGa}$ , и  $b_{pewGa}$  при узимању у обзир утицаја бочних страна пријемника. Треба нагласити да је овде разматран поменути утицај под околностима као у експерименту.

### 3.5.2.1 Једначине за $l_{1ewd}$ , $l_{2ewd}$ , $l_{1ewl}$ , $l_{2ewl}$ , $l_{1nsd}$ , $l_{2nsd}$ , $l_{1nsl}$ и $l_{2nsl}$

Извођење једначина за параметре смањења дужина озрачености  $\lambda$  ( $\xi$ ) спроведено је за произвољно одабран положај рефлектора, у односу на пријемник, лево у EWGa равни и десно у NSGa равни. За друге њихове међусобне положаје једначине су идентичне али за друге интервале угла  $\gamma_{Ga}$ , што ће касније бити објашњено. Такође, у наредном тексту извешће се само једначине за величине  $l_{1ewd}$  и  $l_{2ewd}$ . Једначине за  $l_{1ewl}$  и  $l_{2ewl}$  исте су као и оне за  $l_{1ewd}$  и  $l_{2ewd}$  али за други интервал угла  $\gamma_{Ga}$  и уз коришћење величина  $e_{11}$ ,  $e_{21}$  и  $e_{31}$  уместо величина  $e_{1d}$ ,  $e_{2d}$  и  $e_{3d}$ . С друге стране, једначине за  $l_{1nsd}$ ,  $l_{2nsd}$ ,  $l_{1nsl}$  и  $l_{2nsl}$  су идентичне оним за  $l_{1ewd}$ ,  $l_{2ewd}$ ,  $l_{1ewl}$  и  $l_{2ewl}$ , али су интервали угла  $\gamma_{Ga}$  различити и тада се величине  $f_{1d}$ ,  $f_{2d}$ ,  $f_{3d}$ ,  $f_{11}$ ,  $f_{21}$ ,  $f_{31}$  и  $\beta_{nsGa}$  користе уместо величина  $e_{11}$ ,  $e_{21}$ ,  $e_{31}$ ,  $e_{1d}$ ,  $e_{2d}$ ,  $e_{3d}$  и  $\beta_{ewGa}$ .

Да би се одредио параметар  $l_{1ewd}$  неопходно је да претходно величине као што су:  $y$ ,  $L_k$ ,  $e_{1d}$ ,  $e_{2d}$  и  $\beta_{ewGa}$  буду познате. У зависности од тога која је ситуација, да ли DO или POZ тренутно активна израчунава се  $l_{1ewd}$  и то на следећи начин:

DO<sub>ewGa</sub>:

$$l_{1ewd} = e_{1d} + e_{2d} \cdot [\text{tg}(90^\circ - \beta_{ewGa})]. \quad (3.238)$$

POZ<sub>ewGa</sub>: За  $\text{tg}(\beta_{ewGa}^*) = 2y / \{L_k + e_{1d} + e_{2d} \cdot [\text{tg}(90^\circ - \beta_{ewGa})]\}$ :

$$\beta_{ewGa} > \beta_{ewGa}^* \Rightarrow l_{1ewd} = e_{1d} + e_{2d} \cdot [\text{tg}(90^\circ - \beta_{ewGa})] - \frac{2y}{\text{tg}(\beta_{ewGa}^*)} - L_k; \quad (3.239)$$

$$\beta_{ewGa} \leq \beta_{ewGa}^* \Rightarrow l_{1ewd} = 0. \quad (3.240)$$

С друге стране, параметар  $l_{2ewd}$  се може израчунати ако је поред горе наведених величина:  $y$ ,  $L_k$ ,  $e_{1d}$ ,  $e_{2d}$  и  $\beta_{ewGa}$  позната и величина  $e_{3d}$ , као и тренутно активна ситуација (DO или POZ), и то на следећи начин:

За  $\text{tg}(\beta_{ewGa}^*) = 0$ ,  $\text{tg}(\beta_{ewGa}^{**}) = e_{2d}/e_{1d}$ ,  $\text{tg}(\beta_{ewGa}^{***}) = e_{2d}/(e_{1d} - e_{3d})$ :

DO<sub>ewGa</sub>:

3а  $\{2y/[\operatorname{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha})]-\lambda\} < \{e_{2d}/[\operatorname{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha})]-(e_{1d}-e_{3d})\}$  и  $2y/[\operatorname{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha})] \leq \lambda$ :

$$\beta_{\text{ewG}\alpha}^* < \beta_{\text{ewG}\alpha} \leq \beta_{\text{ewG}\alpha}^{**} \Rightarrow l_{2\text{ewd}} = \frac{e_{3d} \cdot \sin(\beta_{\text{ewG}\alpha}) + \cos(\beta_{\text{ewG}\alpha}) \cdot [e_{2d} - e_{1d} \cdot \operatorname{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha})]}{\sin(\beta_{\text{ewG}\alpha})}; \quad (3.241)$$

$$\beta_{\text{ewG}\alpha}^{**} < \beta_{\text{ewG}\alpha} < \beta_{\text{ewG}\alpha}^{***} \Rightarrow l_{2\text{ewd}} = \frac{e_{2d}}{\operatorname{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha})} - (e_{1d} - e_{3d}). \quad (3.242)$$

3а  $\{2y/[\operatorname{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha})]-\lambda\} < \{e_{2d}/[\operatorname{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha})]-(e_{1d}-e_{3d})\}$  и  $2y/[\operatorname{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha})] > \lambda$ :

$$\beta_{\text{ewG}\alpha}^* < \beta_{\text{ewG}\alpha} \leq \beta_{\text{ewG}\alpha}^{**} \Rightarrow l_{2\text{ewd}} = \frac{e_{3d} \cdot \sin(\beta_{\text{ewG}\alpha}) + \cos(\beta_{\text{ewG}\alpha}) \cdot [e_{2d} - e_{1d} \cdot \operatorname{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha})]}{\sin(\beta_{\text{ewG}\alpha})} - 2p_{\text{ewG}\alpha} + \lambda \quad (3.243)$$

$$\beta_{\text{ewG}\alpha}^{**} < \beta_{\text{ewG}\alpha} < \beta_{\text{ewG}\alpha}^{***} \Rightarrow l_{2\text{ewd}} = \frac{e_{2d}}{\operatorname{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha})} - (e_{1d} - e_{3d}) - 2p_{\text{ewG}\alpha} + \lambda. \quad (3.244)$$

3а  $\{2y/[\operatorname{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha})]-\lambda\} \geq \{e_{2d}/[\operatorname{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha})]-(e_{1d}-e_{3d})\}$ :

$$l_{2\text{ewd}} = 0. \quad (3.245)$$

POZ<sub>ewGα</sub>:

3а  $(L_k - \lambda) < \{e_{2d}/[\operatorname{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha})]-(e_{1d}-e_{3d})\}$  и  $\lambda = L_k$ :

$$\beta_{\text{ewG}\alpha}^* < \beta_{\text{ewG}\alpha} \leq \beta_{\text{ewG}\alpha}^{**} \Rightarrow l_{2\text{ewd}} = \frac{e_{3d} \cdot \sin(\beta_{\text{ewG}\alpha}) + \cos(\beta_{\text{ewG}\alpha}) \cdot [e_{2d} - e_{1d} \cdot \operatorname{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha})]}{\sin(\beta_{\text{ewG}\alpha})}; \quad (3.246)$$

$$\beta_{\text{ewG}\alpha}^{**} < \beta_{\text{ewG}\alpha} < \beta_{\text{ewG}\alpha}^{***} \Rightarrow l_{2\text{ewd}} = \frac{e_{2d}}{\operatorname{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha})} - (e_{1d} - e_{3d}). \quad (3.247)$$

3а  $(L_k - \lambda) < \{e_{2d}/[\operatorname{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha})]-(e_{1d}-e_{3d})\}$  и  $\lambda < L_k$ :

$$\beta_{\text{ewG}\alpha}^* < \beta_{\text{ewG}\alpha} \leq \beta_{\text{ewG}\alpha}^{**} \Rightarrow l_{2\text{ewd}} = \frac{e_{3d} \cdot \sin(\beta_{\text{ewG}\alpha}) + \cos(\beta_{\text{ewG}\alpha}) \cdot [e_{2d} - e_{1d} \cdot \operatorname{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha})]}{\sin(\beta_{\text{ewG}\alpha})} - (L_k - \lambda); \quad (3.248)$$

$$\beta_{\text{ewG}\alpha}^{**} < \beta_{\text{ewG}\alpha} < \beta_{\text{ewG}\alpha}^{***} \Rightarrow l_{2\text{ewd}} = \frac{e_{2d}}{\operatorname{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha})} - (e_{1d} - e_{3d}) - (L_k - \lambda). \quad (3.249)$$

3а  $(L_k - \lambda) \geq \{e_{2d}/[\operatorname{tg}(\beta_{\text{ewG}\alpha})]-(e_{1d}-e_{3d})\}$ :

$$l_{2\text{ewd}} = 0. \quad (3.250)$$

Као што је већ поменуто, једначине за  $l_{1\text{ewl}}$  и  $l_{2\text{ewl}}$ , које важе за интервал  $0^\circ < \gamma_{\text{G}\alpha} < 180^\circ$ , исте су као и претходно изведене за  $l_{1\text{ewd}}$  и  $l_{2\text{ewd}}$  али за интервал  $180^\circ < \gamma_{\text{G}\alpha} < 360^\circ$ . У њима се уместо величина  $e_{1d}$ ,  $e_{2d}$  и  $e_{3d}$  сада користе величине  $e_{1l}$ ,  $e_{2l}$  и  $e_{3l}$ . По истом принципу, за одређивање величина  $l_{1\text{nsd}}$  и  $l_{2\text{nsd}}$  као и  $l_{1\text{nsl}}$  и  $l_{2\text{nsl}}$  користе се горње једначине за  $l_{1\text{ewd}}$  и  $l_{2\text{ewd}}$ , али за интервал  $90^\circ < \gamma_{\text{G}\alpha} < 270^\circ$  односно  $270^\circ < \gamma_{\text{G}\alpha} < 90^\circ$ , респективно. Уместо параметара:  $e_{1l}$ ,  $e_{2l}$ ,  $e_{3l}$ ,  $e_{1d}$ ,  $e_{2d}$ ,  $e_{3d}$  и  $\beta_{\text{ewG}\alpha}$  у њима тада фигуришу параметри:  $f_{1l}$ ,  $f_{2l}$ ,  $f_{3l}$ ,  $f_{1d}$ ,  $f_{2d}$ ,  $f_{3d}$  и  $\beta_{\text{nsG}\alpha}$ .

### 3.5.2.2 Једначине за $\lambda_{\text{ново}}$ ( $\xi_{\text{ново}}$ )

Када се израчунају величине смањења дужина озрачености:  $l_{1\text{ewd}}, l_{2\text{ewd}}, l_{1\text{ewl}}, l_{2\text{ewl}}, l_{1\text{nsd}}, l_{2\text{nsd}}, l_{1\text{nsl}}$  и  $l_{2\text{nsl}}$  прелази се на израчунавање нових дужина озрачености означених као  $\lambda_{\text{ново}}$  ( $\xi_{\text{ново}}$ ). Да би се оне одредиле претходно се, под претпоставком да нема утицаја бочних страна ДОП-а, израчунавају дужине озрачености  $\lambda$  ( $\xi$ ), означене сада као  $\lambda_{\text{старо}}$  ( $\xi_{\text{старо}}$ ). Добијање параметара  $\lambda_{\text{старо}}$  ( $\xi_{\text{старо}}$ ) објашњено је у одељку 3.5.1.2. На основу добијених вредности за:  $l_{1\text{ewd}}, l_{2\text{ewd}}, l_{1\text{ewl}}, l_{2\text{ewl}}, l_{1\text{nsd}}, l_{2\text{nsd}}, l_{1\text{nsl}}$  и  $l_{2\text{nsl}}$  и тренутно активне ситуације (DO, POZ или POS) нове дужине озрачености ( $\lambda_{\text{ново}}$  и  $\xi_{\text{ново}}$ ) се одређују и то на следећи начин:

За  $0^\circ < \gamma_{G\alpha} < 180^\circ$  и  $180^\circ < \gamma_{G\alpha} < 360^\circ$  и POS:

$$\lambda_{\text{ново}} = \lambda_{\text{старо}} \Rightarrow \text{POS}. \quad (3.251)$$

За  $0^\circ < \gamma_{G\alpha} < 180^\circ$  и DO:

$$\lambda_{\text{ново}} = \lambda_{\text{старо}} - l_{1\text{ewd}} - l_{2\text{ewd}} \Rightarrow \text{DO}. \quad (3.252)$$

За  $180^\circ < \gamma_{G\alpha} < 360^\circ$  и DO:

$$\lambda_{\text{ново}} = \lambda_{\text{старо}} - l_{1\text{ewl}} - l_{2\text{ewl}} \Rightarrow \text{DO}. \quad (3.253)$$

За  $0^\circ < \gamma_{G\alpha} < 180^\circ$ , POZ и  $l_{1\text{ewd}} = 0, l_{2\text{ewd}} = 0$ :

$$\lambda_{\text{ново}} = \lambda_{\text{старо}} \Rightarrow \text{POZ}. \quad (3.254)$$

За  $180^\circ < \gamma_{G\alpha} < 360^\circ$ , POZ и  $l_{1\text{ewl}} = 0, l_{2\text{ewl}} = 0$ :

$$\lambda_{\text{ново}} = \lambda_{\text{старо}} \Rightarrow \text{POZ}. \quad (3.255)$$

За  $0^\circ < \gamma_{G\alpha} < 180^\circ$ , POZ и  $l_{1\text{ewd}} = 0, l_{2\text{ewd}} > 0$ :

$$\lambda_{\text{ново}} = \lambda_{\text{старо}} - l_{2\text{ewd}} \Rightarrow \text{POZ}. \quad (3.256)$$

За  $180^\circ < \gamma_{G\alpha} < 360^\circ$ , POZ и  $l_{1\text{ewl}} = 0, l_{2\text{ewl}} > 0$ :

$$\lambda_{\text{ново}} = \lambda_{\text{старо}} - l_{2\text{ewl}} \Rightarrow \text{POZ}. \quad (3.257)$$

За  $0^\circ < \gamma_{G\alpha} < 180^\circ$ , POZ и  $l_{1\text{ewd}} > 0, l_{2\text{ewd}} > 0$ :

$$\lambda_{\text{ново}} = \lambda_{\text{старо}} - l_{1\text{ewd}} - l_{2\text{ewd}} \Rightarrow \text{DO}. \quad (3.258)$$

За  $180^\circ < \gamma_{G\alpha} < 360^\circ$ , POZ и  $l_{1\text{ewl}} > 0, l_{2\text{ewl}} > 0$ :

$$\lambda_{\text{ново}} = \lambda_{\text{старо}} - l_{1\text{ewl}} - l_{2\text{ewl}} \Rightarrow \text{DO}. \quad (3.259)$$

Лако се може закључити да ако су све величине:  $l_{1\text{ewd}}, l_{2\text{ewd}}, l_{1\text{ewl}}$  и  $l_{2\text{ewl}}$  (за  $\lambda_{\text{ново}}$ ) једнаке нули, да ће тада важити  $\lambda_{\text{ново}} = \lambda_{\text{старо}}$ . Битно је напоменути да у том случају све ситуације које су важиле за  $\lambda_{\text{старо}}$  сада важе и за  $\lambda_{\text{ново}}$ . Уколико се деси да је добијена вредности за  $\lambda_{\text{ново}}$  негативна то говори да је у некој од равни (EWG $\alpha$  или NSG $\alpha$ ) уместо ситуације DO активна ситуација POS. Једначине које се тада употребљавају за израчунавање  $\lambda_{\text{ново}}$  су подељене на оне које важе за случајеве (подслучајеве) **Е** и **Ф** и случајеве **А** и **В**. Поменуте једначине следе.

За случајеве (подслучајеве) **А** и **В**:

Ако је  $(L_{\underline{k}+w_1}) > (L_r/2)$  онда је:

За  $0^\circ < \gamma_{G\alpha} < 180^\circ$ :

$$\lambda_{\text{ново}} = \frac{L_r - 2w_1}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.260)$$

За  $180^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 360^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*) = y/[L_k + w_1 - (L_r/2)]$ :

$$\beta_{\text{ewGa}} \geq \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda_{\text{ново}} = \frac{L_r - 2w_1}{2} + \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.261)$$

$$\beta_{\text{ewGa}} < \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda_{\text{ново}} = L_k. \quad (3.262)$$

Ако је  $(L_k + w_1) = (L_r/2)$  онда је:

За  $0^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 180^\circ$ :

$$\lambda_{\text{ново}} = L_k - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.263)$$

За  $180^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 360^\circ$ :

$$\lambda_{\text{ново}} = L_k. \quad (3.264)$$

Ако је  $(L_k + w_1) < (L_r/2)$  онда је:

За  $0^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 180^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*) = y/[(L_r/2) - (L_k + w_1)]$ :

$$\beta_{\text{ewGa}} \geq \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda_{\text{ново}} = L_k; \quad (3.265)$$

$$\beta_{\text{ewGa}} < \beta_{\text{ewGa}}^* \Rightarrow \lambda_{\text{ново}} = \frac{L_r - 2w_1}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.266)$$

За  $180^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 360^\circ$ :

$$\lambda_{\text{ново}} = L_k. \quad (3.267)$$

За случајеве (подслучајеве) **Е** и **Ф**:

Ако је  $(L_r/2 = v_1)$  и  $(L_k/2 = v_1)$  онда је:

За  $0^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 180^\circ$  и  $180^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 360^\circ$ :

$$\lambda_{\text{ново}} = L_k - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.268)$$

Ако је  $(L_r/2 > v_1)$  и  $(L_r/2 < (L_k - v_1))$  онда је:

За  $0^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 180^\circ$ :

$$\lambda_{\text{ново}} = \frac{L_r + 2v_1}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}. \quad (3.269)$$

За  $180^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 360^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^*) = y/[(L_r/2) - v_1]$ ,  $\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}}^{**}) = y/[L_k - v_1 - (L_r/2)]$ :

$$\beta_{\text{ewGa}}^* \leq \beta_{\text{ewGa}} \geq \beta_{\text{ewGa}}^{**} \Rightarrow \lambda_{\text{ново}} = \frac{L_r + 2v_1}{2} + \frac{y}{\text{tg}(\beta_{\text{ewGa}})}; \quad (3.270)$$

$$\beta_{\text{ewGa}}^* \leq \beta_{\text{ewGa}} < \beta_{\text{ewGa}}^{**} \Rightarrow \lambda_{\text{ново}} = L_k; \quad (3.271)$$

$$\beta_{ewGa}^* > \beta_{ewGa} \geq \beta_{ewGa}^{**} \Rightarrow \lambda_{novo} = L_r; \quad (3.272)$$

$$\beta_{ewGa}^* > \beta_{ewGa} < \beta_{ewGa}^{**} \Rightarrow \lambda_{novo} = \frac{L_r - 2v_1}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{ewGa})} + L_k. \quad (3.273)$$

Ако је  $(L_r/2 > v_1)$  и  $(L_r/2 = (L_k - v_1))$  онда је:

За  $0^\circ < \gamma_{Ga} < 180^\circ$ :

$$\lambda_{novo} = L_k - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{ewGa})}. \quad (3.274)$$

За  $180^\circ < \gamma_{Ga} < 360^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{ewGa}^*) = y / [(L_r/2) - v_1]$ :

$$\beta_{ewGa} \geq \beta_{ewGa}^* \Rightarrow \lambda_{novo} = L_k; \quad (3.275)$$

$$\beta_{ewGa} < \beta_{ewGa}^* \Rightarrow \lambda_{novo} = \frac{L_r - 2v_1}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{ewGa})} + L_k. \quad (3.276)$$

Ако је  $(L_r/2 > v_1)$  и  $(L_r/2 > (L_k - v_1))$  онда је:

За  $0^\circ < \gamma_{Ga} < 180^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{ewGa}^*) = y / [(L_r/2) + v_1 - L_k]$ :

$$\beta_{ewGa} \geq \beta_{ewGa}^* \Rightarrow \lambda_{novo} = L_k; \quad (3.277)$$

$$\beta_{ewGa} < \beta_{ewGa}^* \Rightarrow \lambda_{novo} = \frac{L_r + 2v_1}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{ewGa})}. \quad (3.278)$$

За  $180^\circ < \gamma_{Ga} < 360^\circ$ ,  $\text{tg}(\beta_{ewGa}^*) = y / [(L_r/2) - v_1]$ :

$$\beta_{ewGa} \geq \beta_{ewGa}^* \Rightarrow \lambda_{novo} = L_k; \quad (3.279)$$

$$\beta_{ewGa} < \beta_{ewGa}^* \Rightarrow \lambda_{novo} = \frac{L_r - 2v_1}{2} - \frac{y}{\text{tg}(\beta_{ewGa})} + L_k. \quad (3.280)$$

Једначине за  $\xi_{novo}$  идентичне су једначинама за  $\lambda_{novo}$  са разликом што се тада уместо величина:  $L_k, L_r, v_1, w_1, \beta_{ewGa}, l_{1ewd}, l_{2ewd}, l_{1ewl}$  и  $l_{2ewl}$  примењују величине:  $W_k, W_r, v_2, w_2, \beta_{nsGa}, l_{1nsd}, l_{2nsd}, l_{1nsl}$  и  $l_{2nsl}$ .

### 3.5.2.3 Једначине за $a_p, b_{pewGa}, b_{pnsGa}$

Да би се израчунала површина озрачености ДДА ( $A_{ozr}$ ), при утицају бочних страна ДОП-а, неопходно је осим параметара  $\lambda_{novo}$  и  $\xi_{novo}$  одредити и параметре  $a_{pnovo}$  ( $DO_{ewGa}/DO_{nsGa}$ ),  $a_{pnovo}$  ( $DO_{ewGa}/POZ_{nsGa}$ ),  $b_{pewGanovo}$  ( $b_{pnsGanovo}$ ). Једначине за  $a_{pnovo}$  ( $DO_{ewGa}/DO_{nsGa}$ ),  $a_{pnovo}$  ( $DO_{ewGa}/POZ_{nsGa}$ ) и  $b_{pewGanovo}$  приказане су испод. Као што је то већ познато оне су дефинисане посматрајући ПРС само у EWGa равни. Због сличности између једначина за интервал  $0^\circ < \gamma_{Ga} < 180^\circ$  и  $180^\circ < \gamma_{Ga} < 360^\circ$  у наставку су дате само једначине за интервал  $0^\circ < \gamma_{Ga} < 180^\circ$ .

За  $0^\circ < \gamma_{Ga} < 180^\circ$ ,  $a_{pnovo}$  ( $DO_{ewGa}/DO_{nsGa}$ ),  $b_{pewGanovo}$ ,  $a_{pnovo}$  ( $DO_{ewGa}/POZ_{nsGa}$ ):

$$DO_{ewGa}/DO_{nsGa}: a_{pnovo} = a_{pstaro} - l_{2ewd}; \quad (3.281)$$

$$b_{\text{pewGanovo}} = b_{\text{pewGastaro}} + e_{1d} + e_{2d} \cdot \text{tg}(90^\circ - \beta_{\text{ewGa}}). \quad (3.282)$$

Ако је  $b_{\text{pewGanovo}} + 2p_{\text{ewGa}} \geq L_k + e_{1d} + e_{2d} \cdot \text{tg}(90^\circ - \beta_{\text{ewGa}})$  онда следи да је:

$$b_{\text{pewGanovo}} = L_k + e_{1d} + e_{2d} \cdot \text{tg}(90^\circ - \beta_{\text{ewGa}}) - 2p_{\text{ewGa}}. \quad (3.283)$$

$$\text{DO}_{\text{ewGa/POZnsGa}}: a_{\text{pnovo}} = b_{\text{pewGanovo}} + \lambda_{\text{pnovo}}. \quad (3.284)$$

Ако је  $b_{\text{pewGanovo}} + 2p_{\text{ewGa}} \geq L_k + e_{1d} + e_{2d} \cdot \text{tg}(90^\circ - \beta_{\text{ewGa}})$  онда следи да је:

$$a_{\text{pnovo}} = L_k + e_{1d} + e_{2d} \cdot \text{tg}(90^\circ - \beta_{\text{ewGa}}) - 2p_{\text{ewGa}} + \lambda_{\text{pnovo}}. \quad (3.285)$$

Једначине за интервал  $180^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 360^\circ$  идентичне су горњим једначинама за интервал  $0^\circ < \gamma_{\text{Ga}} < 180^\circ$  само што се код њих користе величине  $l_{2\text{ewl}}$ ,  $e_{11}$  и  $e_{21}$  уместо величина  $l_{2\text{ewd}}$ ,  $e_{1d}$  и  $e_{2d}$ .

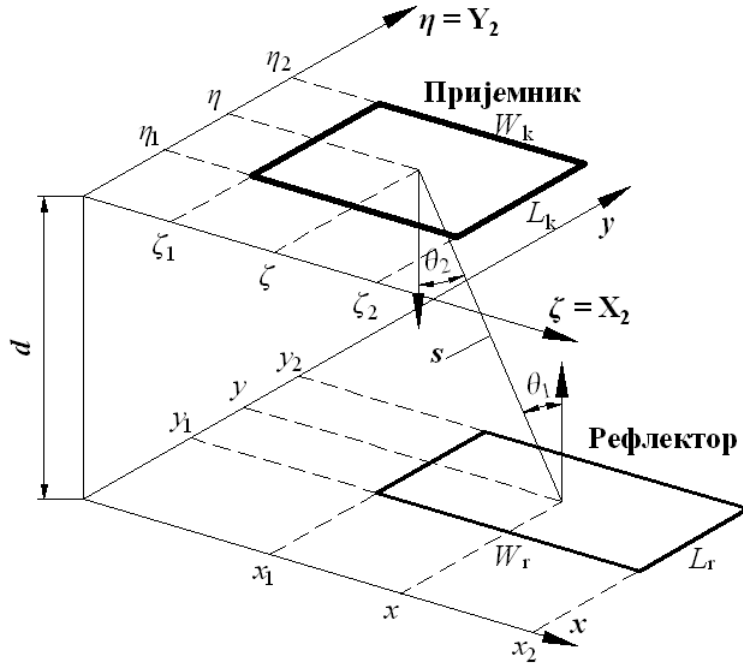
Као што је на почетку овог поглавља речено, горе изведене једначине примењиве су једино у случају када је рефлектор постављен лево у EWGa равни односно десно у NSGa равни. За остале међусобне положаје рефлектор-пријемник примењују се правила дефинисана табелом 3.2.

### 3.5.3 Математички модел фактора облика

Фактор облика указује на то колики део зрачења, које бива рефлектовано са рефлектора, доспева на доњи део апсорбера. Његово добијање се заснива на претпоставци да је дифузно зрачење, рефлектовано са рефлектора на доњу површину апсорбера, изотропно. Постоје два рада [31, 32] у оквиру којих је разматрано теоријско израчунавање фактора облика за две међусобно и произвољно постављене, паралелне, правоугаоне површине коначних димензија (слика 3.10). У овој дисертацији употребљен је математички модел аутора Ehlert-а [31]. У моделу горња површина представља пријемник а доња површина рефлектор. Фактор облика  $F_{\text{rp}}$  представљен је једначином (3.285):

$$F_{\text{rp}} = \frac{1}{A_{\text{r}}} \int_{A_{\text{k}}} \int_{A_{\text{r}}} \frac{\cos(\theta_1) \cdot \cos(\theta_2)}{\pi \cdot s^2} dA_1 dA_2 = \frac{1}{A_{\text{r}}} \int_{\xi_1}^{\xi_2} \int_{\eta_1}^{\eta_2} \int_{y_1}^{y_2} \int_{x_1}^{x_2} \frac{\cos(\theta_1) \cdot \cos(\theta_2)}{\pi \cdot s^2} dx dy d\eta d\xi, \quad (3.286)$$

где су:  $\theta_1$  ( $^\circ$ ) - упадни угао зрака на површини рефлектора,  $\theta_2$  ( $^\circ$ ) - упадни угао зрака на површини пријемника,  $s$  (m) - најкраће растојање између тежишта правоугаоних површина. Координатни системи  $x$  -  $y$  и  $\zeta$  -  $\eta$  су тако постављени да је оса  $x$  ( $\zeta$ ) усмерена ка југу а оса  $y$  ( $\eta$ ) ка истоку.



Слика 3.10 Произвољно постављене паралелне површине коначних димензија за  $F_{\text{rp}}$  (веза са једначином 3.286)

Како су равни пријемника и рефлектора међусобно паралелне следи да је:

$$\cos(\theta_1) = \cos(\theta_2) = \frac{d}{s}; \quad (3.287)$$

$$s^2 = d^2 + (x - \xi)^2 + (y - \eta)^2, \quad (3.288)$$

односно,

$$F_{\text{rp}} = \frac{1}{A_r} \int_{\xi_1}^{\xi_2} \int_{\eta_1}^{\eta_2} \int_{y_1}^{y_2} \int_{x_1}^{x_2} \frac{d^2}{\pi \cdot [d^2 + (x - \xi)^2 + (y - \eta)^2]^4} dx dy d\eta d\xi; \quad (3.289)$$

$$F_{\text{rp}} = \frac{1}{A_r} \cdot C(x, y, \eta, \xi) \Big|_{x_1, y_1, \eta_1, \xi_1}^{x_2, y_2, \eta_2, \xi_2} = \frac{1}{A_r} \frac{1}{2\pi} (C_1 + C_2 - C_3) \Big|_{x_1, y_1, \eta_1, \xi_1}^{x_2, y_2, \eta_2, \xi_2}; \quad (3.290)$$

$$C_1 = (y - \eta) \cdot [d^2 + (x - \xi)^2]^{0.5} \cdot \operatorname{arctg} \left\{ \frac{(y - \eta)}{[d^2 + (x - \xi)^2]^{0.5}} \right\}; \quad (3.291)$$

$$C_2 = (x - \xi) \cdot [d^2 + (y - \eta)^2]^{0.5} \cdot \operatorname{arctg} \left\{ \frac{(x - \xi)}{[d^2 + (y - \eta)^2]^{0.5}} \right\}; \quad (3.292)$$

$$C_3 = \frac{d^2}{2} \cdot \ln[(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2 + d^2]. \quad (3.293)$$

С обзиром на неопходност нумеричког израчунавања параметра  $F_{\text{rp}}$  у сваком тренутку и за сваки могући међусобни положај рефлектора у односу на пријемник, применом серије редова добија се погоднији израз за његово израчунавање:



$$F_{\text{гр}} = \frac{1}{A_r} \sum_{l=1}^2 \sum_{k=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 [(-1)^{(i+j+k+l)} \cdot C(x_i, y_j, \eta_k, \xi_l)]. \quad (3.294)$$

Израчунавање параметра  $F_{\text{гр}}$ , преко једначине (3.285), захтева претходно одређивање граница одређеног интеграла, односно величина:  $x_1, x_2, y_1, y_2, \zeta_1, \zeta_2, \eta_1, \eta_2$ , за сваки могући положај рефлектора у односу на пријемник. Поменуте границе приказане су једначинама (3.286-3.295), за сваку могућу комбинацију случајева:

**A(A1=...=A7)=B(B1=...=B9)=C(C1=...=C3)=D(D1=...=D3) - за рефлектор постављен лево од пријемника:**

$$x_1 = \zeta_1 - w_2 - \frac{W_r}{2}; \quad (3.295)$$

$$x_2 = x_1 + W_r. \quad (3.296)$$

**A(A1=...=A7)=B(B1=...=B9)=C(C1=...=C3)=D(D1=...=D3) - за рефлектор постављен десно од пријемника:**

$$x_1 = \zeta_1 + W_k + w_2 - \frac{W_r}{2}; \quad (3.297)$$

$$x_2 = x_1 + W_r. \quad (3.298)$$

**E(E1=...=E15)=F(F1=...=F5) - за рефлектор постављен лево од пријемника:**

$$x_1 = \zeta_1 + v_2 - \frac{W_r}{2}; \quad (3.299)$$

$$x_2 = x_1 + W_r. \quad (3.300)$$

**E(E1=...=E15)=F(F1=...=F5) - за рефлектор постављен десно од пријемника:**

$$x_1 = \zeta_1 + W_k - v_2 - \frac{W_r}{2}; \quad (3.301)$$

$$x_2 = x_1 + W_r. \quad (3.302)$$

Што се тиче једначина за  $\zeta_1$  и  $\zeta_2$  оне су исте за све могуће међусобне положаје рефлектора у односу на пријемник:

$$\zeta_1 = 10W_k + \frac{W_r}{2}; \quad (3.303)$$

$$\zeta_2 = \zeta_1 + W_k. \quad (3.304)$$

Једначине за  $y_1, y_2, \eta_1$  и  $\eta_2$ , идентичне су једначинама за  $x_1, x_2, \zeta_1$  и  $\zeta_2$  само са разликом што тада уместо параметара  $W_k, W_r, v_2, w_2, x, \zeta$  фигуришу параметри  $L_k, L_r, v_1, w_1, y$  и  $\eta$ .

## 4 Математички модели топлотних губитака соларних пријемника

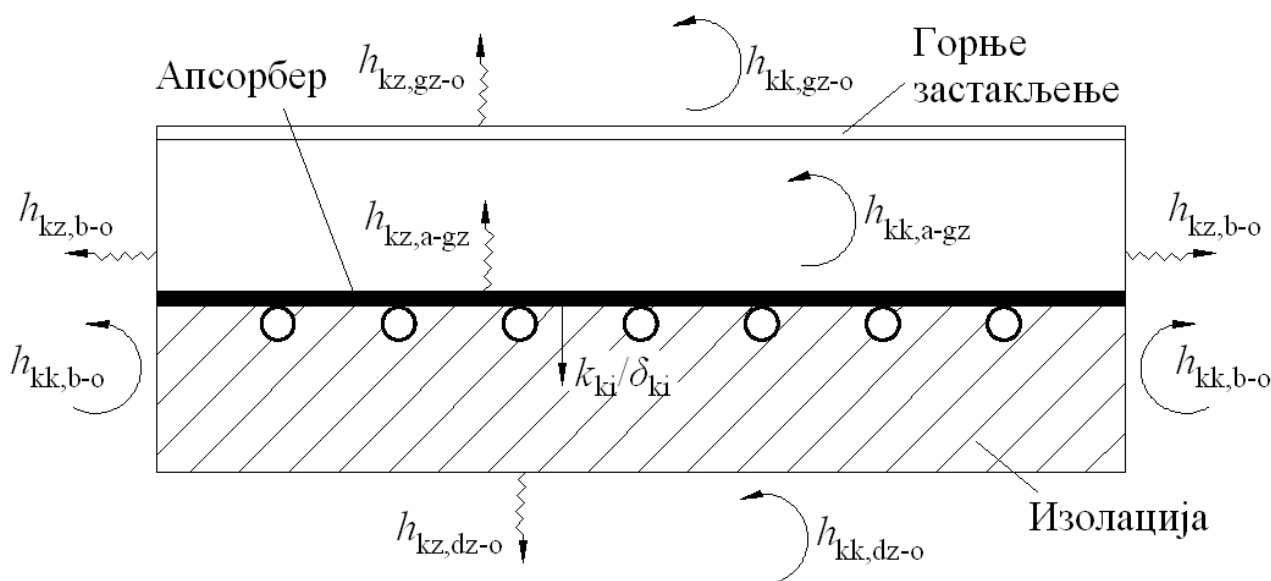
У најидеалнијем случају апсорбер соларног пријемника би задржао сву апсорбовану енергију  $I_k$  односно  $I_d$ . Тада би температура апсорбера и топлотна снага пријемника имале максималне вредности. Нажалост, апсорбер не може да задржи сву енергију коју апсорбује. Један део укупно апсорбоване енергије неповратно се губи механизмима преноса топлоте, кондукцијом, конвекцијом и зрачењем. У овом поглављу приказани су начини одређивања топлотних губитака класичног и двоструко-озраченог соларног пријемника.

### 4.1 Топлотни губици класичног соларног пријемника

Део укупно апсорбоване енергије КП-а ( $I_k$ ) неповратно се губи у околину преко његових граничних површина. У граничне површине овог пријемника спадају његова горња површина (застакљење), доња површина (доња површина кутије пријемника) као и бочне површине (бочне површине кутије пријемника). Ако соларни пријемник посматрамо као размењивач топлоте онда би се количина топлоте која се губи у јединици времена  $Q_{kg}$  (W) могла представити једначином (4.1):

$$Q_{kg} = A_k \cdot (K_{k_{gg}} + K_{k_{gd}} + K_{k_{gb}}) \cdot (T_{ka} - T_o) = A_k \cdot K_{kg} \cdot (T_{ka} - T_o), \quad (4.1)$$

где су:  $A_k$  ( $m^2$ ) површина апсорбера КП-а,  $K_{kg}$  ( $W/m^2K$ ) укупни коефицијент пролаза топлотних губитака КП-а,  $T_{ka}$  (K) средња температура апсорбера КП-а и  $T_o$  (K) температура околине. На основу претходно изложеног коефицијент  $K_{kg}$  би био једнак збиру коефицијента пролаза топлотних губитака кроз горњу површину КП-а  $K_{k_{gg}}$ , коефицијента пролаза топлотних губитака кроз доњу површину КП-а  $K_{k_{gd}}$  и коефицијента пролаза топлотних губитака кроз бочне површине КП-а  $K_{k_{gb}}$ . На слици 4.1 приказани су токови топлотних губитака испитиваног класичног соларног пријемника.



Слика 4.1 Токови топлотних губитака испитиваног класичног соларног пријемника

Приликом анализе топлотних губитака КП-а претпостављено је да се у њему одвија стационарно и једнодимензионално преношење топлоте. То значи да је, на пример, топлотни флуks који пређе са апсорбера на застакљење једнак топлотном флуksу који пређе са застакљења у околину. У наредном тексту дати су принципи израчунавања коефицијената  $K_{k_{gg}}$ ,  $K_{k_{gd}}$  и  $K_{k_{gb}}$ .

#### 4.1.1 Топлотни губици горње површине класичног соларног пријемника

Претпостављајући да је пренос топлоте у пријемнику стационаран и једнодимензионалан, топлотни губици са апсорбера ка застакљењу ( $q_{k_{gaz}}$  ( $W/m^2$ )) били би једнаки топлотним губицима са застакљења у околину ( $q_{k_{gzo}}$  ( $W/m^2$ )) односно топлотним губицима са горње површине апсорбера у околину ( $q_{k_{gao}}$  ( $W/m^2$ )) (једначина (4.2)). Како се топлота са апсорбера и застакљења губи конвекцијом и зрачењем, топлотни флуksеви  $q_{k_{gaz}}$  и  $q_{k_{gzo}}$  би се израчунавали на следећи начин:

$$q_{k_{gaz}} = q_{k_{gzo}} = q_{k_{gao}}; \quad (4.2)$$

$$q_{k_{gaz}} = h_{kz,a-gz} \cdot (T_{ka} - T_{kgz}) + h_{kk,a-gz} \cdot (T_{ka} - T_{kgz}) = (h_{kz,a-gz} + h_{kk,a-gz}) \cdot (T_{ka} - T_{kgz}); \quad (4.3)$$

$$q_{k_{gzo}} = h_{kz,gz-o} \cdot (T_{kgz} - T_o) + h_{kk,gz-o} \cdot (T_{kgz} - T_o) = (h_{kz,gz-o} + h_{kk,gz-o}) \cdot (T_{kgz} - T_o), \quad (4.4)$$

где су:  $T_{kgz}$  (K) средња температура горњег застакљења КП-а,  $h_{kz,a-gz}$  ( $W/m^2K$ ) коефицијент прелаза топлоте зрачењем са апсорбера на горње застакљење КП-а,  $h_{kk,a-gz}$  ( $W/m^2K$ ) коефицијент прелаза топлоте конвекцијом са апсорбера на горње застакљење КП-а,  $h_{kz,gz-o}$  ( $W/m^2K$ ) коефицијент прелаза топлоте зрачењем са горњег застакљења у околину КП-а и  $h_{kk,gz-o}$  ( $W/m^2K$ ) коефицијент прелаза топлоте конвекцијом са горњег застакљења у околину КП-а. Уколико се из једначина (4.3, 4.4) елиминише температура  $T_{kgz}$  добија се да је  $q_{k_{gao}}$ :

$$q_{k_{gao}} = \left( \frac{1}{h_{kz,a-gz} + h_{kk,a-gz}} + \frac{1}{h_{kz,gz-o} + h_{kk,gz-o}} \right)^{-1} \cdot (T_{ka} - T_o) = K_{k_{gg}} \cdot (T_{ka} - T_o). \quad (4.5)$$

На основу горње једначине коефицијент пролаза топлотних губитака са горње стране КП-а би се могао представити једначином (4.6):

$$K_{k_{gg}} = \left( \frac{1}{h_{kz,a-gz} + h_{kk,a-gz}} + \frac{1}{h_{kz,gz-o} + h_{kk,gz-o}} \right)^{-1}. \quad (4.6)$$

Коефицијент прелаза топлоте конвекцијом са апсорбера на горње застакљење дефинисан је под претпоставком да се између две паралелне плоче односно апсорбера и горњег застакљења, одвија природна конвекција ваздуха. Једначина (4.7) [33] описује поменути коефицијент као:

$$h_{kk,a-gz} = \frac{Nu_{kg} \cdot k_{kvg}}{L_{kv}}, \quad (4.7)$$

где су:  $Nu_{kg}$  (-) Nusselt-ов број за дату размену топлоте у горњем делу КП-а,  $k_{kvg}$  ( $W/mK$ ) топлотна проводљивост ваздуха између апсорбера и горњег застакљења КП-а на датој

температури и  $L_{kv}$  (m) геометријска карактеристика, у овом случају дебљина ваздушног слоја између апсорбера и горњег застакљења КП-а. Nusselt-ов број за ову размену топлоте и за нагибе КП-а од  $0-75^\circ$  је према [33] дат једначином:

$$Nu_{kg} = 1 + 1.44 \cdot \left\{ 1 - \frac{1708 \cdot [\sin(1.8 \cdot G)]^{1.6}}{Ra_{kg} \cdot \cos(G)} \right\} \cdot \left[ 1 - \frac{1708}{Ra_{kg} \cdot \cos(G)} \right]^+ + \left\{ \left[ \frac{Ra_{kg} \cdot \cos(G)}{5830} \right]^{0.3333} - 1 \right\}^+, \quad (4.8)$$

где је  $Ra_{kg}$  (-) Rayleigh-ов број за дату размену топлоте у горњем делу КП-а. Знак ''+''' у експоненту двеју последњих заграда горње једначине указује на то да се узимају само позитивне вредности у оквиру њих. Уколико је иста вредност негативна онда се узима да је та вредност једнака нули. Rayleigh-ов број ( $Ra_{kg}$ ) се одређује једначином:

$$Ra_{kg} = \frac{g \cdot \beta_{kg} \cdot \Delta T_{kg} \cdot L_{kv}^3}{\nu_{kvg} \cdot a_{kvg}}, \quad (4.9)$$

где је  $g$  ( $m/s^2$ ) убрзање Земљине теже,  $\beta_{kg}$  ( $1/K$ ) коефицијент запреминског ширења једнак реципрочной вредности средње температуре ваздуха између апсорбера и горњег застакљења КП-а као средње аритметичке вредности температура апсорбера и горњег застакљења,  $\Delta T_{kg}$  (K) разлика средњих температура апсорбера и горњег застакљења КП-а,  $\nu_{kvg}$  ( $m^2/s$ ) кинематска вискозност ваздуха између апсорбера и горњег застакљења КП-а и  $a_{kvg}$  ( $m^2/s$ ) температурна проводност ваздуха између апсорбера и горњег застакљења КП-а.

Коефицијент прелаза топлоте зрачењем са апсорбера на горње застакљење је према истој литератури ([33]) дефинисан као:

$$h_{kz,a-gz} = \frac{\sigma \cdot [(T_{ka})^2 + (T_{kgz})^2] \cdot (T_{ka} + T_{kgz})}{\frac{1}{\varepsilon_{ka}} + \frac{1}{\varepsilon_{kgz}} - 1}, \quad (4.10)$$

где је  $\sigma$  ( $W/m^2K^4$ ) Stefan-Boltzmann-ова константа,  $\varepsilon_{ka}$  (-) коефицијент емисије апсорбера КП-а и  $\varepsilon_{kgz}$  (-) коефицијент емисије горњег застакљења КП-а.

Коефицијент прелаза топлоте конвекцијом са горњег застакљења у околину зависи од вредности брзине ветра  $V_w$  (m/s) у околини испитиваног соларног пријемника. Једначина за његово израчунавање дата је према [33]:

$$h_{kk,gz-o} = 2.8 + 3 \cdot V_w. \quad (4.11)$$

Последњи коефицијент који се јавља у једначини (4.6) представља коефицијент прелаза топлоте зрачењем са горњег застакљења у околину. Израчунава се према [33] као:

$$h_{kz,gz-o} = \sigma \cdot \varepsilon_{kgz} [(T_{kgz})^2 + (T_s)^2] \cdot (T_{kgz} + T_s), \quad (4.12)$$

где је  $T_s$  (K) температура неба које се сматра црним телом. Најчешће се претпоставља да је она једнака температури околине  $T_o$ .

#### 4.1.2 Топлотни губици доње површине класичног соларног пријемника

Део апсорбоване енергије се са доње стране апсорбера у околину, губи кондукцијом кроз изолацију, а затим конвекцијом и зрачењем са доње површине кутије пријемника (слика 4.1). Уколико се и у овом случају претпостави стационарно и једнодимензионално преношење топлоте, онда ће топлотни губици који кондукцијом прођу кроз изолацију ( $q_{kdko}$  ( $W/m^2$ )) бити једнаки топлотним губицима који конвекцијом и зрачењем пређу у околину ( $q_{kddo}$  ( $W/m^2$ )) односно топлотним губицима са доње површине апсорбера у околину ( $q_{kdao}$  ( $W/m^2$ )):

$$q_{kdko} = q_{kddo} = q_{kdao}; \quad (4.13)$$

$$q_{kdko} = \frac{k_{ki}}{\delta_{ki}} \cdot (T_{ka} - T_{kd}); \quad (4.14)$$

$$q_{kddo} = h_{kz,d-o} \cdot (T_{kd} - T_o) + h_{kk,d-o} \cdot (T_{kd} - T_o) = (h_{kz,d-o} + h_{kk,d-o}) \cdot (T_{kd} - T_o), \quad (4.15)$$

где су:  $k_{ki}$  ( $W/mK$ ) коефицијент топлотне проводљивости изолације КП-а,  $\delta_{ki}$  (m) дебљина изолације КП-а,  $T_{kd}$  (K) температура доње површине кутије КП-а,  $h_{kz,d-o}$  ( $W/m^2K$ ) коефицијент прелаза топлоте зрачењем са доње површине КП-а у околину и  $h_{kk,d-o}$  ( $W/m^2K$ ) коефицијент прелаза топлоте конвекцијом са доње површине КП-а у околину. По процедури аналогној оној горе коефицијент пролаза топлотних губитака кроз доњу површину КП-а  $K_{kgd}$  би се израчунавао као:

$$K_{kgd} = \left( \frac{\delta_{ki}}{k_{ki}} + \frac{1}{h_{kz,d-o} + h_{kk,d-o}} \right)^{-1}. \quad (4.16)$$

С обзиром да је реципрочна вредност збира коефицијената  $h_{kz,d-o}$  и  $h_{kk,d-o}$  занемарљива у односу на вредност односа  $\delta_{ki}$  и  $k_{ki}$  [33], најчешће се коефицијент  $K_{kgd}$  израчунава само у функцији поменутих величина  $\delta_{ki}$  и  $k_{ki}$  као:

$$K_{kgd} = \frac{k_{ki}}{\delta_{ki}}. \quad (4.17)$$

#### 4.1.3 Топлотни губици бочних површина класичног соларног пријемника

Теоријско извођење топлотних губитака са бочних површина неког соларног пријемника веома је сложен поступак. Топлота се преко ових граничних површина конвекцијом и зрачењем одводи у околину. Са слике 4.1 величина  $h_{kz,b-o}$  ( $W/m^2K$ ) представља коефицијент прелаза топлоте зрачењем са бочних површина КП-а у околину, а  $h_{kk,b-o}$  ( $W/m^2K$ ) коефицијент прелаза топлоте конвекцијом са бочних површина КП-а у околину. Тешко је одредити горе наведене коефицијенте. Проблем је у томе што се не зна који део флукса топлотних губитака од апсорбера до бочних површина стиже до бочних површина кондукцијом кроз елементе који повезују апсорбер и бочне површине, који кондукцијом кроз доњу изолацију, који кондукцијом кроз изолацију постављену на бочним површинама КП-а (ако је има), који конвекцијом са ваздуха између апсорбера и горњег застакљења, а који зрачењем са горње површине апсорбера. Да би се смањили топлотни губици са бочних површина поставља се изолација на свим бочним површинама дуж целе њихове висине или

висине пријемника. У том случају сматра се да су ови губици константни током времена и независни од температуре околине или апсорбера. Аутори Duffie и Beckman [33] су предложили једначину по којој би се израчунавали топлотни губици на бочним површинама пријемника. По тој једначини (4.18) коефицијент пролаза топлотних губитака кроз бочне површине КП-а ( $K_{kgb}$ ) зависи од висине КП-а ( $\delta_{kb}$ ), обима КП-а ( $O_k$ ), површине КП-а ( $A_k$ ), дебљине изолације на бочним површинама КП-а ( $\delta_{kbi}$ ) као и коефицијента топлотне проводљивости исте ( $k_{kbi}$ ):

$$K_{kgb} = \frac{\delta_{kb} \cdot O_k \cdot \frac{k_{kbi}}{\delta_{kbi}}}{A_k}. \quad (4.18)$$

С друге стране, када је површина бочних страна пријемника занемарљива у односу на површину апсорбера онда се поменути губици најчешће занемарују.

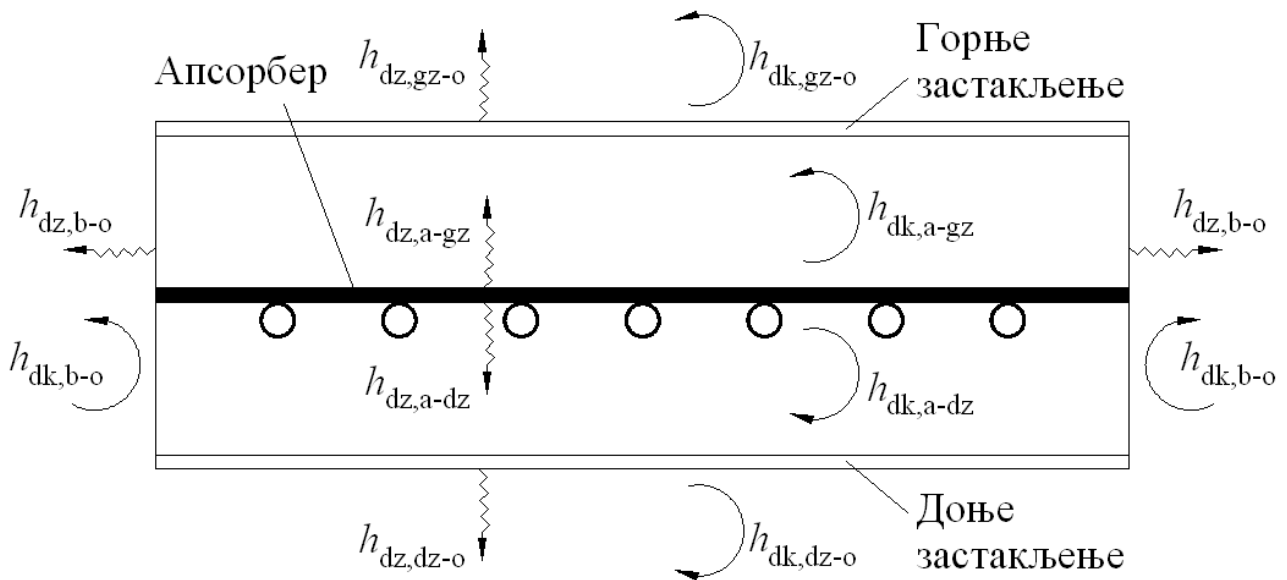
У случају испитиваног КП-а поменути топлотни губици се нису могли занемарити. Први разлог је тај да није могуће занемарити површину бочних страна пријемника у поређењу са површином апсорбера. Апсорбер пријемника релативно је малих димензија (0.840 x 0.460 m). Други разлог се везује за чињеницу да произвођач није поставио изолацију на бочним површинама пријемника. Истовремено, из наведених разлога ови губици неће бити константни током времена већ ће зависити од температуре околине и апсорбера (флуида). Коефицијент  $K_{kgb}$  за испитивани КП експериментално је одређен, а једначина по којој се израчунава дата је у одељку 7.2.1.

## 4.2 Топлотни губици двоструко-озраченог соларног пријемника

Граничне површине ДОП-а преко којих се део апсорбоване енергије  $I_d$  губи у околину представљају његова горња површина (горње застакљење), доња површина (доње застакљење) као и бочне површине (бочне површине кутије пријемника). Посматрајући ДОП као размењивач топлоте онда би се количина топлоте која се губи у јединици времена  $Q_{dg}$  (W) могла представити једначином:

$$Q_{dg} = (A_{dg} \cdot K_{dgg} + A_{dd} \cdot K_{dgd} + A_d \cdot K_{dgb}) \cdot (T_{da} - T_o) = A_d \cdot K_{dg} \cdot (T_{da} - T_o), \quad (4.19)$$

где су:  $K_{dg}$  (W/m<sup>2</sup>K) коефицијент пролаза топлотних губитака ДОП-а и  $T_{da}$  (K) средња температура апсорбера ДОП-а. Код овог пријемника коефицијент  $K_{dg}$  би био једнак збиру коефицијента пролаза топлотних губитака кроз горње застакљење  $K_{dgg}$ , коефицијента пролаза топлотних губитака кроз доње застакљење  $K_{dgd}$  и коефицијента пролаза топлотних губитака кроз бочне површине ДОП-а  $K_{dgb}$ . На слици 4.2 приказани су токови топлотних губитака испитиваног ДОП-а.



Слика 4.2 Токови топлотних губитака испитиваног двоструко-озраченог соларног пријемника

У поређењу са КП-ом код овог соларног пријемника изолација је замењена застакљењем. Због тога се део апсорбоване енергије губи зрачењем и конвекцијом са горње односно доње граничне површине пријемника у околину. Израчунавање коефицијената  $K_{dgg}$ ,  $K_{dgd}$  и  $K_{dgb}$  се разматра у тексту који следи.

#### 4.2.1 Топлотни губици горње површине двоструко-озраченог соларног пријемника

Извођење једначине за израчунавање коефицијента  $K_{dgg}$  идентично је извођењу једначине за израчунавање коефицијента  $K_{kgg}$  код КП-а, због чињенице да је горњи део КП-а идентичан горњем делу ДОП-а. Једина разлика је у означавању коефицијената који фигуришу у једначинама за њихово одређивање. И код овог пријемника, при извођењу једначина које следе, претпоставило се да је пренос топлоте стационаран и једнодимензионалан. Ове једначине су:

$$q_{dgaz} = q_{dgzo} = q_{dgao}; \quad (4.20)$$

$$q_{dgaz} = h_{dz,a-gz} \cdot (T_{da} - T_{dgz}) + h_{dk,a-gz} \cdot (T_{da} - T_{dgz}) = (h_{dz,a-gz} + h_{dk,a-gz}) \cdot (T_{da} - T_{dgz}); \quad (4.21)$$

$$q_{dgzo} = h_{dz,gz-o} \cdot (T_{dgz} - T_o) + h_{dk,gz-o} \cdot (T_{dgz} - T_o) = (h_{dz,gz-o} + h_{dk,gz-o}) \cdot (T_{dgz} - T_o), \quad (4.22)$$

где су:  $q_{dgaz}$  ( $W/m^2$ ) топлотни губици ДОП-а са апсорбера ка застакљењу,  $q_{dgzo}$  ( $W/m^2$ ) топлотни губици ДОП-а са застакљења у околину,  $q_{dgao}$  ( $W/m^2$ ) топлотни губици ДОП-а са горње површине апсорбера у околину,  $T_{dgz}$  (К) средња температура горњег застакљења ДОП-а,  $h_{dz,a-gz}$  ( $W/m^2K$ ) коефицијент прелаза топлоте зрачењем са апсорбера на горње застакљење ДОП-а,  $h_{dk,a-gz}$  ( $W/m^2K$ ) коефицијент прелаза топлоте конвекцијом са апсорбера на горње застакљење ДОП-а,  $h_{dz,gz-o}$  ( $W/m^2K$ ) коефицијент прелаза топлоте зрачењем са горњег застакљења у околину ДОП-а и  $h_{dk,gz-o}$  ( $W/m^2K$ ) коефицијент прелаза топлоте конвекцијом са горњег застакљења у околину ДОП-а.

Након елиминисања температуре  $T_{dgz}$  из једначина (4.21, 4.22) добија се:

$$q_{\text{dga0}} = \left( \frac{1}{h_{\text{dz,a-gz}} + h_{\text{dk,a-gz}}} + \frac{1}{h_{\text{dz,gz-o}} + h_{\text{dk,gz-o}}} \right)^{-1} \cdot (T_{\text{da}} - T_{\text{o}}) = K_{\text{dgg}} \cdot (T_{\text{da}} - T_{\text{o}}); \quad (4.23)$$

$$K_{\text{dgg}} = \left( \frac{1}{h_{\text{dz,a-gz}} + h_{\text{dk,a-gz}}} + \frac{1}{h_{\text{dz,gz-o}} + h_{\text{dk,gz-o}}} \right)^{-1}. \quad (4.24)$$

Коефицијенти  $h_{\text{dz,a-gz}}$ ,  $h_{\text{dk,a-gz}}$ ,  $h_{\text{dz,gz-o}}$  и  $h_{\text{dk,gz-o}}$  се израчунавају на исти начин као и коефицијенти:  $h_{\text{kz,a-gz}}$ ,  $h_{\text{kk,a-gz}}$ ,  $h_{\text{kz,gz-o}}$  и  $h_{\text{kk,gz-o}}$  користећи једначине (4.7-4.12). Разлика је у томе што су сада све величине, које се јављају у тим једначинама, везане за ДОП:

$$h_{\text{dk,a-gz}} = \frac{Nu_{\text{dg}} \cdot k_{\text{dvg}}}{L_{\text{dv}}}; \quad (4.25)$$

$$Nu_{\text{dg}} = 1 + 1.44 \cdot \left\{ 1 - \frac{1708 \cdot [\sin(1.8 \cdot G)]^{1.6}}{Ra_{\text{dg}} \cdot \cos(G)} \right\} \cdot \left[ 1 - \frac{1708}{Ra_{\text{dg}} \cdot \cos(G)} \right]^+ + \left\{ \left[ \frac{Ra_{\text{dg}} \cdot \cos(G)}{5830} \right]^{0.3333} - 1 \right\}^+; \quad (4.26)$$

$$Ra_{\text{dg}} = \frac{g \cdot \beta_{\text{dg}} \cdot \Delta T_{\text{dg}} \cdot L_{\text{dv}}^3}{v_{\text{dvg}} \cdot a_{\text{dvg}}}; \quad (4.27)$$

$$h_{\text{dz,a-gz}} = \frac{\sigma \cdot [(T_{\text{da}})^2 + (T_{\text{dgz}})^2] \cdot (T_{\text{da}} + T_{\text{dgz}})}{\frac{1}{\varepsilon_{\text{da}}} + \frac{1}{\varepsilon_{\text{dgz}}} - 1}; \quad (4.28)$$

$$h_{\text{dk,gz-o}} = 2.8 + 3 \cdot V_{\text{w}}; \quad (4.29)$$

$$h_{\text{dz,gz-o}} = \sigma \cdot \varepsilon_{\text{dgz}} \cdot [(T_{\text{dgz}})^2 + (T_{\text{s}})^2] \cdot (T_{\text{dgz}} + T_{\text{s}}), \quad (4.30)$$

где су:  $Nu_{\text{dg}}$  (-) Nusselt-ов број за размену топлоте конвекцијом између апсорбера и горњег застакљења ДОП-а,  $k_{\text{dvg}}$  (W/mK) топлотна проводљивост ваздуха између апсорбера и горњег застакљења ДОП-а,  $L_{\text{dv}}$  (m) дебљина ваздушног слоја између апсорбера и горњег застакљења ДОП-а,  $Ra_{\text{dg}}$  (-) Rayleigh-ов број за ДОП-а,  $\beta_{\text{dg}}$  (1/K) коефицијент запреминског ширења ваздуха између апсорбера и горњег застакљења ДОП-а,  $\Delta T_{\text{dg}}$  (K) разлика средњих температура апсорбера и горњег застакљења ДОП-а,  $v_{\text{dvg}}$  ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) кинематска вискозност ваздуха између апсорбера и горњег застакљења ДОП-а,  $a_{\text{dvg}}$  ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) температурна проводност ваздуха између апсорбера и горњег застакљења ДОП-а,  $\varepsilon_{\text{da}}$  (-) коефицијент емисије апсорбера ДОП-а и  $\varepsilon_{\text{dgz}}$  (-) коефицијент емисије горњег застакљења ДОП-а.

#### 4.2.2 Топлотни губици доње површине двоструко-озраченог соларног пријемника

Посматрајући слику 4.2 може се приметити да је горњи део пријемника по конструкцији исти као и доњи, односно да је пријемник симетричан у односу на апсорбер. С обзиром да је апсорбер пријемника мале дебљине претпостављено је да су температуре горње и доње површине апсорбера једнаке. Такође, застакљење са доње стране је по својствима идентично оном са горње. На основу наведеног усвојено је да су топлотни губици са доње исти топлотним губицима са горње површине апсорбера. Другим речима, сви параметри који се везују за горњи део пријемника идентични су оним за доњи део пријемника:



$h_{dz,a-dz} = h_{dz,a-gz}$ ,  $h_{dk,a-dz} = h_{dk,a-gz}$ ,  $h_{dz,dz-o} = h_{dz,gz-o}$ ,  $h_{dk,dz-o} = h_{dk,gz-o}$  и  $K_{dgd} = K_{dgg}$ . За одређивање коефицијента  $K_{dgd}$  као и утицајних параметара, користе се једначине (4.24-4.30).

#### 4.2.3 Топлотни губици бочних површина двоструко-озраченог соларног пријемника

Топлотни губици са бочних површина ДОП-а се конвекцијом и зрачењем одводе у околину. Са слике 4.2, величина  $h_{dz,b-o}$  ( $W/m^2K$ ) представља коефицијент прелаза топлоте зрачењем са бочних површина ДОП-а у околину, а величина  $h_{dk,b-o}$  ( $W/m^2K$ ) коефицијент прелаза топлоте конвекцијом са бочних површина ДОП-а у околину. И код ДОП-а теоријско одређивање топлотних губитака са бочних површина веома је компликовано. Није могуће теоријски утврдити који део флукса топлотних губитака, од апсорбера до бочних површина, стиже до бочних површина кондукцијом кроз елементе који повезују апсорбер и бочне површине, који конвекцијом са ваздуха између апсорбера и горњег застакљења, који конвекцијом са ваздуха између апсорбера и доњег застакљења, а који зрачењем са горње односно доње површине апсорбера. Поменуте губитке није могуће занемарити због непостојања изолације на бочним површинама пријемника. Зато ови топлотни губици неће бити константни током времена, већ ће зависити од температуре апсорбера (радног флуида) и температуре околине. Коефицијент  $K_{dgb}$  за испитивани ДОП експериментално је одређен, а једначина по којој се израчунава дата је у одељку 7.2.2.

## 5 Математички модели термичког понашања класичног и двоструко-озраченог соларног пријемника

Термичко понашање соларног пријемника описује се једначином енергетског биланса добијеном применом закона о одржању енергије. Претпостављајући да је пријемник црна кутија и да је пренос топлоте у оквиру њега стационаран тада би ова једначина за КП и ДОП имала следећи облик:

$$Q_k = I_k \cdot A_k - Q_{kg} = I_k \cdot A_k - A_k \cdot K_{kg} \cdot (T_{ka} - T_o); \quad (5.1)$$

$$Q_d = (I_{dg} + I_{dd}) \cdot A_d - Q_{dg} = I_d \cdot A_d - A_d \cdot K_{dg} \cdot (T_{da} - T_o), \quad (5.2)$$

где су:  $Q_k$  (W) корисна топлотна снага КП-а,  $A_k$  ( $m^2$ ) површина апсорбера КП-а,  $Q_d$  (W) корисна топлотна снага ДОП-а,  $A_d$  ( $m^2$ ) површина горњег или доњег дела апсорбера ДОП-а.

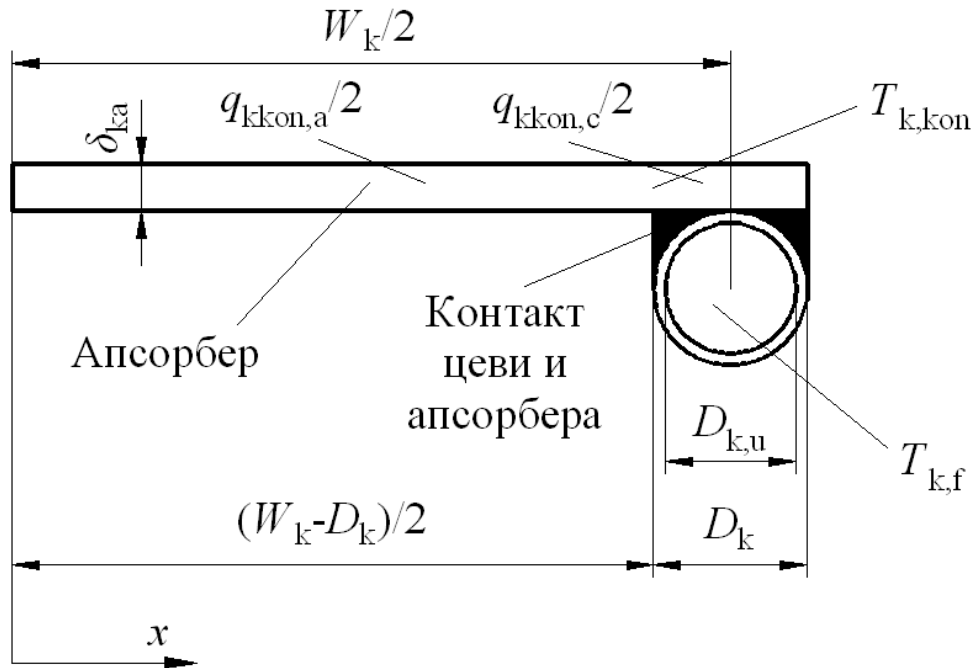
Једначина енергетског биланса говори да укупно апсорбована снага ( $I_k$  или  $I_d$ ) мора бити једнака збиру корисне топлотне снаге, апсорбоване од стране флуида ( $Q_k$  или  $Q_d$ ), и топлотних губитака ( $Q_{kg}$  или  $Q_{dg}$ ). Горње једначине се у овом облику у пракси ретко користе, због тога што је тешко измерити температуру апсорбера ( $T_{ka}$  или  $T_{da}$ ). На њену вредност утичу конструкција пријемника, вредност апсорбованог зрачења, карактеристике флуида на улазу у пријемник као и параметри стања околине. Управо због тога неопходно је изразити  $Q_k$  или  $Q_d$  у функцији других лакше мерљивих температура, о чему ће бити речи у наредном тексту.

### 5.1 Једначина енергетског биланса апсорбера соларног пријемника

При свакој детаљној анализи било ког размењивача топлоте, полази се од примене закона о одржању енергије. Када се тај закон примени на соларни пријемник, при чему се за границе термодинамичког система поставе граничне површине пријемника, добија се најједноставнија једначина енергетског биланса тог пријемника. То су једначине 5.1 (за КП) и 5.2 (за ДОП). Као што је већ горе поменуто, ове једначине се у пракси ретко користе у том облику. Уобичајено је да се уместо средње температуре апсорбера ( $T_{ka}$  или  $T_{da}$ ) корисна топлотна снага пријемника изражава преко средње температуре флуида ( $T_{k,fm}$  или  $T_{d,fm}$ ) или температуре флуида на улазу у пријемник ( $T_{k,u}$  или  $T_{d,u}$ ). Из тог разлога приступа се детаљнијем анализирању пријемника. Нека сада термодинамички систем, на којем ће се применити закон о одржању енергије, представља елементарна запремина апсорбера. При овој анализи претпоставља се да је градијент промене температуре апсорбера дуж апсорберске цеви занемарљив. Једначине енергетског биланса ће бити прво изведене за КП а касније и за ДОП.

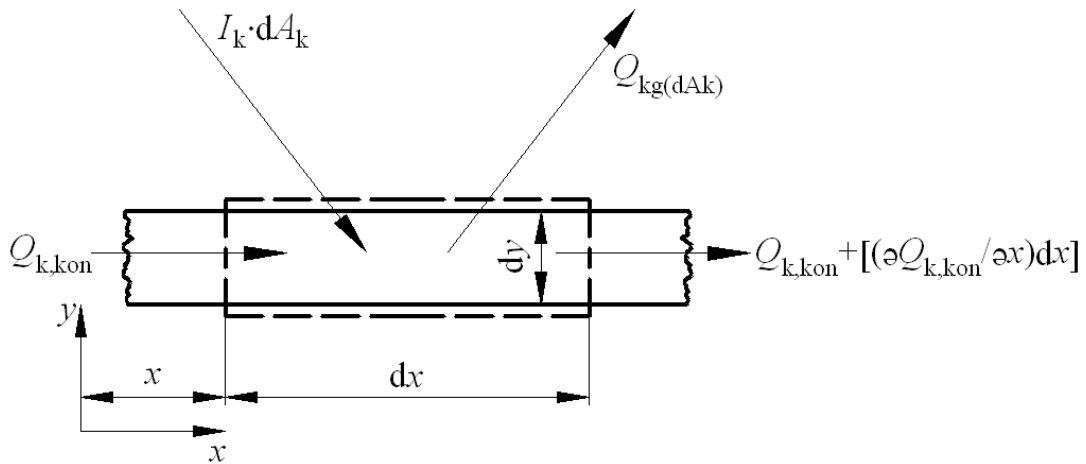
С обзиром да цеви кроз које струји радни флуид најчешће деле апсорбер на неколико једнаких целина и да је градијент температуре у оквиру сваке целине исти, за анализу се посматра само једна целина. Једну целину апсорбера чини део апсорберске плоче између две цеви. Градијент температуре апсорбера између две цеви је такав да се максимална температура постиже на његовој средини а најнижа у околини цеви. Највећи део апсорбоване енергије се из зоне максималне температуре кондукцијом преноси до цеви а затим

конвекцијом радном флуиду. На основу горе изложеног могло би се рећи да у оквиру једне целине постоји симетричност расподеле температуре ка цевима. Зато се може посматрати само половина једне целине цев-апсорбер (слика 5.1).



Слика 5.1 Анализирани део апсорбера КП-а

На слици 5.1 приказана је половина целине апсорбера КП-а, док је на слици 5.2 приказана елементарна запремина апсорбера КП-а са токовима енергије.



Слика 5.2 Елементарна запремина апсорбера КП-а

Када се примени закон о одржању енергије на елементарну запремину апсорбера КП-а, једначина енергетског биланса ће имати облик:

$$Q_{k,кон} + I_k \cdot dA_k = Q_{k,кон} + \left[ \left( \frac{\partial Q_{k,кон}}{\partial x} \right) dx \right] + Q_{kg(dA_k)}, \quad (5.3)$$

где су:  $Q_{k,кон}$  (W) количина топлоте која у јединици времена кондукцијом уђе у елементарну запремину апсорбера КП-а,  $Q_{kg(dA_k)}$  (W) количина топлоте која се у јединици времена одводи

(губи) из елементарне запремине апсорбера КП-а и  $dA_k$  ( $m^2$ ) елементарна површина апсорбера КП-а.

Када се примени Fourier-ов закон преноса топлоте кондукцијом једначина (5.3) добија облик:

$$k_{ka} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} dx dy dz = [K_{kg} \cdot (T - T_o)] dx dz - I_k dx dz. \quad (5.4)$$

Као што је већ речено, при решавању једначине (5.4) занемарује се градијент промене температуре апсорбера у правцу цеви апсорбера, а како је плоча апсорбера релативно мале дебљине и високе топлотне проводљивости занемарује се и градијент промене температуре апсорбера по његовом попречном пресеку. Дакле, постоји само градијент промене температуре у правцу нормалном на правац цеви, а у равни апсорбера. Ако се на основу горе наведеног усвоји да је  $dz = 1$  m, а  $dy = \delta_{ka}$  и ако се затим једначина (5.4) подели са  $dx$  добиће се једначина:

$$k_{ka} \cdot \delta_{ka} \cdot \frac{d^2 T}{dx^2} = K_{kg} \cdot (T - T_o) - I_k. \quad (5.5)$$

Дељењем једначине (5.5) са  $k_{ka} \cdot \delta_{ka}$  добија се:

$$\frac{d^2 T}{dx^2} = \frac{K_{kg}}{k_{ka} \cdot \delta_{ka}} \cdot \left( T - T_o - \frac{I_k}{K_{kg}} \right). \quad (5.6)$$

Два гранична услова за решавање горње диференцијалне једначине другог реда добијена су посматрањем полуцелине апсорбера односно:

$$\left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=0} = 0, \quad T|_{x=(W_k - D_k)/2} = T_{k,kon}, \quad (5.7)$$

где су:  $W_k$  (m) осно растојање између цеви апсорбера,  $D_k$  (m) спољашњи пречник цеви и  $T_{k,kon}$  (K) температура споја цеви и апсорбера код КП-а (слика 5.1).

У циљу лакшег решавања једначине (5.6) уводе се следеће смене:

$$\psi = T - T_o - \frac{I_k}{K_{kg}}, \quad m = \sqrt{\frac{K_{kg}}{k_{ka} \cdot \delta_{ka}}}. \quad (5.8)$$

Након увођења смена једначина (5.6) добија облик хомогене диференцијалне једначине другог реда са константним коефицијентима:

$$\frac{d^2 \psi}{dx^2} - m^2 \cdot \psi = 0, \quad (5.9)$$

при чему су сада гранични услови:

$$\left. \frac{d\psi}{dx} \right|_{x=0} = 0, \quad \psi \Big|_{x=(W_k - D_k)/2} = T_{k,\text{kon}} - T_o - \frac{I_k}{K_{\text{kg}}}. \quad (5.10)$$

Решавањем једначине (5.9) долази се до општег решења:

$$\psi = C_1 \cdot e^{mx} + C_2 \cdot e^{-mx}, \quad (5.11)$$

где су  $C_1$  (-) и  $C_2$  (-) интеграционе константе.

Применом граничних услова добија се да је:

$$T - T_o - \frac{I_k}{K_{\text{kg}}} = \frac{\cosh(mx)}{\cosh[m(W_k - D_k)/2]} \cdot \left( T_{k,\text{kon}} - T_o - \frac{I_k}{K_{\text{kg}}} \right). \quad (5.12)$$

Ако се сада примени Fourier-ов закон преноса топлоте кондукцијом за полупречнику апсорбера КП-а, добија се количина топлоте по јединици дужине цеви која у јединици времена кондукцијом улази у зону споја цеви и апсорбера ( $q_{\text{kkon,pa}}$  (W/m)):

$$q_{\text{kkon,pa}} = -k_{\text{ка}} \delta_{\text{ка}} \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=(W_k - D_k)/2} = \frac{1}{m} \cdot [I_k - K_{\text{kg}} \cdot (T_{k,\text{kon}} - T_o)] \cdot \tanh[m(W_k - D_k)/2]. \quad (5.13)$$

Пошто се претходна анализа односила на половину целине апсорбера онда би за једну целину укупна количина топлоте у јединици времена и по јединици дужине цеви, која кондукцијом доспева у зону споја, ( $q_{\text{kkon,a}}$  (W/m)) била:

$$q_{\text{kkon,a}} = 2 \cdot q_{\text{kkon,pa}} = (W_k - D_k) \cdot [I_k - K_{\text{kg}} \cdot (T_{k,\text{kon}} - T_o)] \cdot F_k, \quad (5.14)$$

где је  $F_k$  (-) коефицијент ефикасности апсорбера КП-а дат као:

$$F_k = \frac{\tanh[m(W_k - D_k)/2]}{m(W_k - D_k)/2}. \quad (5.15)$$

Осим флукса  $q_{\text{kkon,a}}$ , који у зону споја цеви и апсорбера долази кондукцијом кроз део плоче апсорбера са стране цеви, у исту зону улази и флукс  $q_{\text{kkon,c}}$  (W/m). Он представља количину топлоте која кондукцијом у јединици времена и по јединици дужине пролази кроз део плоче апсорбера КП-а непосредно изнад споја (изнад цеви) (слика 5.1). Примењујући закон о одржању енергије на половину зоне изнад цеви и поштујући аналогију код извођења једначине (5.14), добиће се једначина за  $q_{\text{kkon,c}}$ :

$$q_{\text{kkon,c}} = D_k \cdot [I_k - K_{\text{kg}} \cdot (T_{k,\text{kon}} - T_o)]. \quad (5.16)$$

Збир флуксева  $q_{\text{kkon,a}}$  и  $q_{\text{kkon,c}}$  представља корисну количину топлоте по јединици дужине цеви  $q_{\text{kk}}$  (W/m), која у јединици времена кондукцијом улази у зону споја цеви и апсорбера КП-а:

$$q_{\text{kk}} = [(W_k - D_k) \cdot F_k + D_k] \cdot [I_k - K_{\text{kg}} \cdot (T_{k,\text{kon}} - T_o)]. \quad (5.17)$$

Како је пренос топлоте стационаран, тако је флуks који кондукцијом пролази кроз спој и зид цеви  $q_{kk}$  (W/m) једнак флуksу који конвекцијом прелази са унутрашњег зида цеви на флуид  $q_{kkonv}$  (W/m). Према томе, флуks  $q_{kk}$  би се могао израчунати и на следећи начин:

$$q_{kk} = \left( \frac{1}{\frac{k_{k,kon} \cdot b_{k,kon}}{\kappa_{k,kon}} + \frac{1}{h_{k,c-f} \cdot D_{k,u} \cdot \pi}} \right)^{-1} \cdot (T_{k,kon} - T_{k,f}), \quad (5.18)$$

где су:  $k_{k,kon}$  (W/mK) коефицијент топлотне проводљивости споја КП-а,  $b_{k,kon}$  (m) ширина споја КП-а,  $\kappa_{k,kon}$  (m) средња дебелина споја КП-а,  $h_{k,c-f}$  (W/m<sup>2</sup>K) коефицијент прелаза топлоте са унутрашње површине цеви на флуид КП-а,  $D_{k,u}$  (m) унутрашњи пречник цеви КП-а (слика 5.1) и  $T_{k,f}$  (K) температура флуида КП-а (слика 5.1).

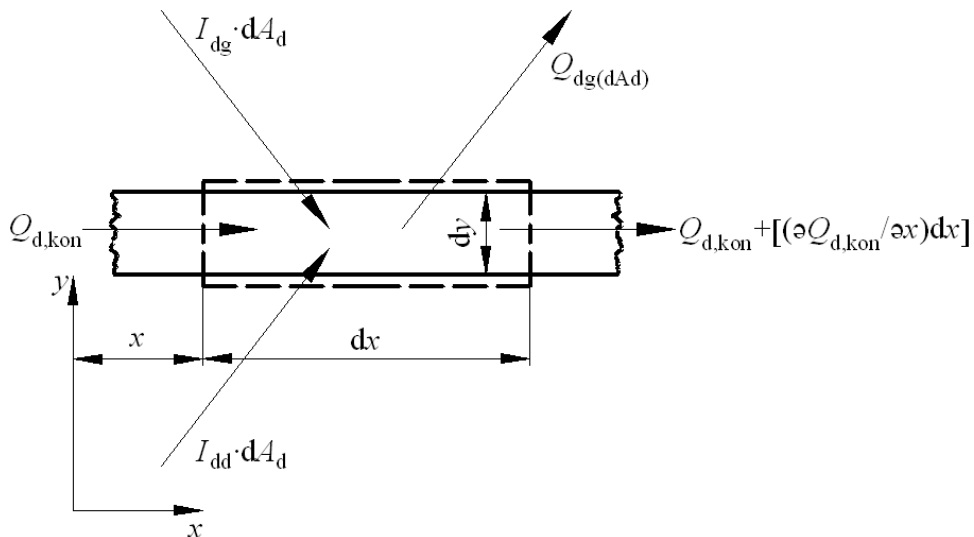
Због практичности примене једначине за корисни топлотни флуks, било би пожељно елиминисати величину  $T_{k,kon}$  из једначина (5.17) и (5.18). Елиминисањем температуре  $T_{k,kon}$  из двеју поменутих једначина добија се  $q_{kk}$  зависно од разлике температуре флуида и околине:

$$q_{kk} = W_k \cdot F_k' \cdot [I_k - K_{kg} \cdot (T_{k,f} - T_o)], \quad (5.19)$$

где је  $F_k'$  (-) фактор ефикасности КП-а чија је једначина дата као:

$$F_k' = \frac{1/K_{kg}}{\left\{ \frac{1}{K_{kg} \cdot [D_k + (W_k - D_k) \cdot F_k]} + \frac{1}{\frac{k_{k,kon} \cdot b_{k,kon}}{\kappa_{k,kon}}} + \frac{1}{h_{k,c-f} \cdot D_{k,u} \cdot \pi} \right\} \cdot W_k}. \quad (5.20)$$

Претходно изведена анализа односи се на КП. Када је у питању ДОП, он се у поређењу са КП-ом, разликује по томе што и доња површина апсорбера апсорбује соларно зрачење. Оба анализирана пријемника имају апсорбер истих карактеристика. Апсорбери су исте дебелине, истих пречника цеви и са истим међусобним растојањима између цеви. То значи да важи да је:  $\delta_{da} = \delta_{ka}$ ,  $W_d = W_k$ ,  $D_d = D_k$ ,  $D_{d,u} = D_{k,u}$ ,  $k_{d,kon} = k_{k,kon}$ ,  $b_{d,kon} = b_{k,kon}$  и  $\kappa_{d,kon} = \kappa_{k,kon}$ . Због могућности апсорбовања зрачења и доњом површином апсорбера, код ДОП-а, шема токова енергије се разликује по томе што постоји ток енергије у елементарну запремину апсорбера и са његове доње стране (слика 5.3).



Слика 5.3 Елементарна запремина апсорбера ДОП-а

Са слике 5.3,  $Q_{d,kon}$  (W) представља количину топлоте која у јединици времена кондукцијом уђе у елементарну запремину апсорбера ДОП-а,  $Q_{dg(dA_d)}$  (W) количину топлоте која се у јединици времена одводи (губи) из елементарне запремине апсорбера ДОП-а и  $dA_d$  ( $m^2$ ) елементарну површину апсорбера ДОП-а.

Применом закона о одржању енергије за елементарну запремину апсорбера ДОП-а једначина енергетског биланса биће:

$$Q_{d,kon} + (I_{dg} + I_{dd}) \cdot dA_d = Q_{d,kon} + \left[ \left( \frac{\partial Q_{d,kon}}{\partial x} \right) dx \right] + Q_{dg(dA_d)} = Q_{d,kon} + I_d \cdot dA_d. \quad (5.21)$$

Због једнакости горње и доње површине апсорбера могу се сабрати параметри апсорбованог зрачења са обе површине. Такође, како анализирани пријемници имају апсорбере истих димензија, онда важи да је  $dA_k = dA_d$ . То је значајно, јер то значи да је једначина (5.21) суштински идентична једначини (5.3) за КП. Другим речима, решавање једначине енергетског биланса, као и извођења коефицијената  $F$  и  $F'$  су идентична са оним која су приказана и анализирана за КП.

## 5.2 Једначина енергетског биланса за флуид у цеви апсорбера соларног пријемника

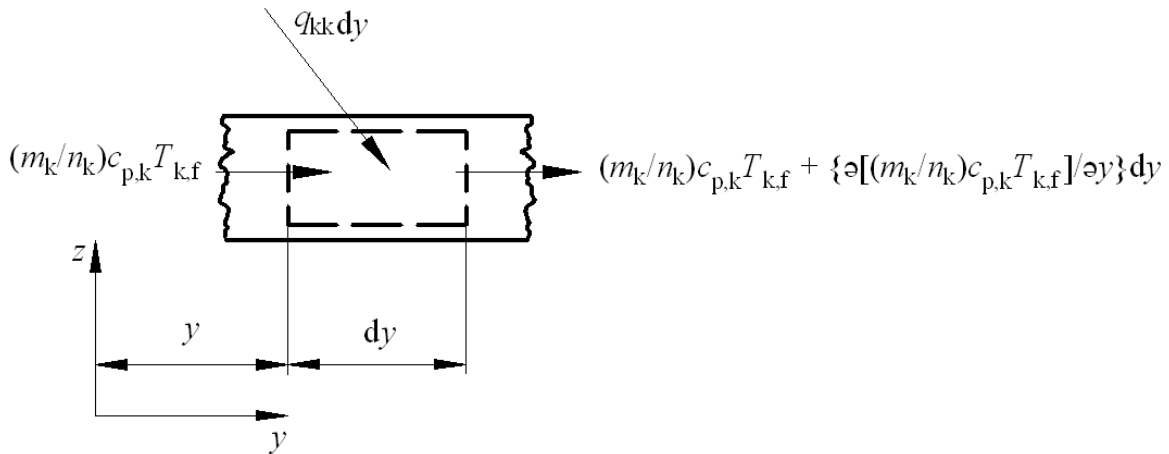
Корисна топлотна снага пријемника ( $Q_k$  или  $Q_d$ ) се у пракси најчешће изражава преко температуре флуида на улазу у пријемник ( $T_{k,u}$  или  $T_{d,u}$ ). То је због тога што је вредност температуре  $T_{k,u}$  или  $T_{d,u}$  обично позната, јер је исту лако измерити. Да би величина  $Q_k$  или  $Q_d$  била представљена у функцији величине  $T_{k,u}$  односно  $T_{d,u}$  уводи се параметар  $F_{R,k}$  ( $F_{R,d}$ ) (-). Параметар  $F_{R,k}$  ( $F_{R,d}$ ) или фактор преноса топлоте КП-а (ДОП-а) дефинише однос између тренутне корисне снаге пријемника и корисне снаге пријемника, када би апсорбер истог био на температури флуида на улазу у пријемник:

$$F_{R,k} = \frac{\dot{m}_k \cdot c_{p,k} \cdot (T_{k,i} - T_{k,u})}{A_k \cdot [I_k - K_{kg} \cdot (T_{k,u} - T_o)]}, \quad (5.22)$$

где су:  $m_k$  (kg/s) масени проток флуида кроз КП,  $c_{p,k}$  (J/kgK) специфична топлота флуида за КП и  $T_{k,i}$  (K) температура флуида на излазу из КП-а. Сређивањем једначине (5.22) добија се:

$$F_{R,k} = \frac{\dot{m}_k \cdot c_{p,k}}{A_k \cdot K_{kg}} \cdot \left\{ \frac{\left( T_{k,i} - T_o - \frac{I_k}{K_{kg}} \right) - \left( T_{k,u} - T_o - \frac{I_k}{K_{kg}} \right)}{\left[ \frac{I_k}{K_{kg}} - (T_{k,u} - T_o) \right]} \right\} = \frac{\dot{m}_k \cdot c_{p,k}}{A_k \cdot K_{kg}} \cdot \left\{ 1 - \frac{\frac{I_k}{K_{kg}} - (T_{k,i} - T_o)}{\left[ \frac{I_k}{K_{kg}} - (T_{k,u} - T_o) \right]} \right\}. \quad (5.23)$$

Даље упрошћавање једначине (5.23) подразумева претходно познавање градијента температуре флуида у правцу цеви апсорбера. Поменути градијент температуре одређује се применом закона о одржању енергије на елементарни флуидни делић у цеви апсорбера. На слици 5.4 приказан је елемент цеви апсорбера са елементарном запремином радног флуида.



Слика 5.4 Елементарна запремина радног флуида у цеви апсорбера КП-а

Посматрајући флуидни делић који струји кроз цев апсорбера (слика 5.4), његово загревање се може изразити на следећи начин:

$$\left( \frac{\dot{m}_k}{n_k} \right) \cdot c_{p,k} \cdot T_{k,f} + q_{kk} \cdot dy = \left( \frac{\dot{m}_k}{n_k} \right) \cdot c_{p,k} \cdot T_{k,f} + \left( \frac{\dot{m}_k}{n_k} \right) \cdot c_{p,k} \cdot \frac{\partial T_{k,f}}{\partial y} \cdot dy, \quad (5.24)$$

где је  $n_k$  (m) број цеви апсорбера КП-а. Множењем једначине (5.24) са  $n_k$ , затим дељењем са  $dy$ , а потом и увођењем једначине (5.19) за  $q_{kk}$ , након сређивања добија се диференцијална једначина облика:

$$\frac{dT_{k,f}}{dy} = \frac{n_k \cdot W_k \cdot F_k \cdot K_{kg}}{\dot{m}_k \cdot c_{p,k}} \left( \frac{I_k}{K_{kg}} - T_{k,f} + T_o \right). \quad (5.25)$$



Под претпоставком да параметри  $F_k'$  и  $K_{kg}$  не зависе од положаја  $y$ , опште решење горње једначине је:

$$T_{k,f} - T_0 - \frac{I_k}{K_{kg}} = C \cdot e^{\frac{n_k \cdot W_k \cdot F_k' \cdot K_{kg}}{m_k \cdot c_{p,k}} y}. \quad (5.26)$$

За почетни услов да је  $T_{k,f}(y=0) = T_{k,u}$  следи да је  $C = T_{k,u} - T_0 - I_k/K_{kg}$  односно да је:

$$T_{k,f} - T_0 - \frac{I_k}{K_{kg}} = \left( T_{k,u} - T_0 - \frac{I_k}{K_{kg}} \right) \cdot e^{\frac{n_k \cdot W_k \cdot F_k' \cdot K_{kg}}{m_k \cdot c_{p,k}} y}. \quad (5.27)$$

Из једначине (5.27) лако се може одредити температура флуида на излазу из пријемника ( $T_{k,i}$ ) и то ако се узме да је  $y = L_k$ :

$$T_{k,i} - T_0 - \frac{I_k}{K_{kg}} = \left( T_{k,u} - T_0 - \frac{I_k}{K_{kg}} \right) \cdot e^{\frac{A_k \cdot F_k' \cdot K_{kg}}{m_k \cdot c_{p,k}}}, \quad (5.28)$$

при чему је  $n_k W_k L_k = A_k$ .

Увођењем једначине (5.28) у једначину (5.23) добија се коначан облик за  $F_{R,k}$ :

$$F_{R,k} = \frac{m_k \cdot c_{p,k}}{A_k \cdot K_{kg}} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{A_k \cdot F_k' \cdot K_{kg}}{m_k \cdot c_{p,k}}} \right). \quad (5.29)$$

Код ДОП-а укупно апсорбовано зрачење једнако је збиру апсорбованог зрачења са горње ( $I_{dg}$ ) и доње ( $I_{dd}$ ) стране његовог апсорбера. Како су површине горњег и доњег дела апсорбера једнаке ( $A_{dg} = A_{dd}$ ) и како је збир величина  $I_{dg}$  и  $I_{dd}$  једнак величини  $I_d$ , следи да се фактор преноса топлоте код ДОП-а  $F_{R,d}$  може изразити као:

$$F_{R,d} = \frac{m_d \cdot c_{p,d} \cdot (T_{d,i} - T_{d,u})}{A_d \cdot [I_d - K_{dg} \cdot (T_{d,u} - T_0)]}. \quad (5.30)$$

Посматрајући једначину (5.30), види се да је она идентична једначини (5.22). Истовремено, због чињенице да је извођење једначине за корисну топлотну снагу ДОП-а  $q_{dk}$ , исто оном за КП, на основу изложеног се може закључити да је и извођење фактора преноса топлоте за ДОП ( $F_{R,d}$ ) идентично извођењу фактора  $F_{R,k}$  приказаном горе. Једначина која се користи за израчунавање  $F_{R,d}$  дата је као:

$$F_{R,d} = \frac{m_d \cdot c_{p,d}}{A_d \cdot K_{kd}} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{A_d \cdot F_d' \cdot K_{kd}}{m_d \cdot c_{p,d}}} \right). \quad (5.31)$$

Све величине у једначини (5.31) имају исто значење као и величине у једначини (5.29), само што се сада односе на ДОП. Након дефинисања фактора  $F_{R,k}$  и  $F_{R,d}$  могу се приказати једначине које се у пракси најчешће користе за израчунавање корисне топлотне снаге КП-а и ДОП-а и то као:

$$Q_k = F_{R,k} \cdot A_k \cdot [I_k - K_{kg} \cdot (T_{k,u} - T_o)]; \quad (5.32)$$

$$Q_d = F_{R,d} \cdot A_d \cdot [I_d - K_{dg} \cdot (T_{d,u} - T_o)]. \quad (5.33)$$

### 5.3 Средња температура флуида и средња температура апсорбера

У четвртом поглављу било је речи о математичким моделима одређивања топлотних губитака класичног и двоструко-озраченог соларног пријемника. У једначинама у оквиру модела, фигуришу између осталих величине као што су средња температура апсорбера ( $T_{ka}$  или  $T_{da}$ ), као и средње температуре горњег и доњег застакљења ( $T_{kgz}$ ,  $T_{dgz}$  и  $T_{ddz}$ ). Вредности ових температура морају бити познате како би се могло прећи на израчунавање коефицијената пролаза топлотних губитака  $K_{kg}$  и  $K_{dg}$ . С друге стране, да би се израчунали фактори  $F_{R,k}$  и  $F_{R,d}$  неопходно је претходно израчунати факторе ефикасности  $F_k'$  и  $F_d'$  у чијим једначинама се јављају коефицијенти  $h_{k,c-f}$  и  $h_{d,c-f}$ . Ови коефицијенти се могу одредити уколико су средње температуре флуида  $T_{k,fin}$  ( $T_{d,fin}$ ) претходно израчунате. У наредном тексту приказане су једначине за израчунавање претходно наведених температура за КП. Исти принцип важи за израчунавање температура које важе за ДОП.

Средња температура флуида  $T_{k,fin}$  се може одредити интегралњем једначине (5.27) у границама од 0 до  $L_k$ :

$$T_{k,fin} = \frac{1}{L_k} \cdot \int_0^{L_k} T_{k,f} \cdot dy. \quad (5.34)$$

Интегралњем се добија једначина следећег облика:

$$T_{k,fin} = T_o + \frac{I_k}{K_{kg}} + \frac{F_{R,k}}{F_k'} \cdot \left( T_{k,u} - T_o - \frac{I_k}{K_{kg}} \right). \quad (5.35)$$

Употребом једначина (5.29) и (5.32) добија се коначан облик једначине за израчунавање средње температуре флуида КП-а:

$$T_{k,fin} = T_{k,u} + \frac{Q_k}{A_k \cdot F_{R,k} \cdot K_{kg}} \cdot (1 - F_k''), \quad (5.36)$$

где је  $F_k''$  (-) фактор протока КП-а дефинисан као:

$$F_k'' = \frac{F_{R,k}}{F_k'}. \quad (5.37)$$

Средња температура апсорбера ( $T_{ka}$ ) увек је виша од средње температуре флуида због отпора преносу топлоте између апсорбера и флуида. Ову температуру могуће је одредити комбинацијом једначина (5.1) и (5.32) при чему се добија:

$$T_{ka} = T_{k,u} + \frac{Q_k}{A_k \cdot F_{R,k} \cdot K_{kg}} \cdot (1 - F_{R,k}). \quad (5.38)$$

Једначина за средњу температуру горњег застакљења КП-а,  $T_{kgz}$  се добија комбинацијом једначина (4.3) и (4.5) при чему настаје:

$$T_{kgz} = T_{ka} - \frac{K_{kzg} \cdot (T_{ka} - T_o)}{h_{kz,a-gz} + h_{kk,a-gz}}. \quad (5.39)$$

Као што је већ речено процедура израчунавања ових температура за ДОП идентична је горе приказаној. У наставку су наведене поменуте једначине за ДОП:

$$T_{d,fin} = T_{d,u} + \frac{Q_d}{A_d \cdot F_{R,d} \cdot K_{dg}} \cdot (1 - F_d''); \quad (5.40)$$

$$T_{da} = T_{d,u} + \frac{Q_d}{A_d \cdot F_{R,d} \cdot K_{dg}} \cdot (1 - F_{R,d}); \quad (5.41)$$

$$T_{dgz} = T_{da} - \frac{K_{dgg} \cdot (T_{da} - T_o)}{h_{dz,a-gz} + h_{dk,a-gz}}; \quad (5.42)$$

$$T_{ddz} = T_{da} - \frac{K_{dgd} \cdot (T_{da} - T_o)}{h_{dz,a-dz} + h_{dk,a-dz}}. \quad (5.43)$$

## 5.4 Топлотна снага класичног и двоструко-озраченог соларног пријемника

У оквиру овог одељка приказана је процедура израчунавања корисне топлотне снаге КП-а и ДОП-а.

Једначине, које се у пракси најчешће користе за одређивање величина  $Q_k$  и  $Q_d$ , су једначине (5.32) и (5.33) изведене у одељку 5.2. То су једначине:

$$Q_k = F_{R,k} \cdot A_k \cdot [I_k - K_{kg} \cdot (T_{k,u} - T_o)]; \quad (5.44)$$

$$Q_d = F_{R,d} \cdot A_d \cdot [I_d - K_{dg} \cdot (T_{d,u} - T_o)]. \quad (5.45)$$

Анализирањем ових једначина следи да за прорачун величина  $Q_k$  и  $Q_d$  претходно треба израчунати величине  $F_{R,k}$  ( $F_{R,d}$ ),  $I_k$  ( $I_d$ ),  $K_{kg}$  и  $K_{dg}$ . Температуре  $T_{k,u}$  ( $T_{d,u}$ ) и  $T_o$  сматрају се познатим величинама. Поступак одређивања величина зрачења  $I_k$  и  $I_d$  објашњен је у одељцима 3.4 и 3.5 (једначине (3.30) и (3.35)). Израчунавању коефицијената пролаза топлотних губитака  $K_{kg}$  и  $K_{dg}$  претходи израчунавање температура  $T_{ka}$  ( $T_{da}$ ),  $T_{kgz}$  ( $T_{dgz}$ ) и  $T_{ddz}$ . С обзиром на сложеност експерименталног мерења ових температура исте се на почетку прорачуна претпостављају. За претпостављене температуре израчунавају се коефицијенти

$K_{kg}$  и  $K_{dg}$ . Затим се итеративним поступком, коришћењем једначине (5.39) за  $T_{kgz}$  (КП) и  $T_{dgz}$  (ДОП) односно једначине (5.43) за  $T_{ddz}$  (ДОП), израчунава нова вредност ових температура која се онда упоређује са претпостављеном. Уколико је одступање добијене и претпостављене вредности минимално ( $< 0.01^\circ\text{K}$ ) наставља се даље са прорачуном параметара  $h_{k,c-f}$  ( $h_{d,c-f}$ ),  $F_k'$  ( $F_d'$ ),  $F_{R,k}$  ( $F_{R,d}$ ),  $F_k''$  ( $F_d''$ ) и  $Q_k$  ( $Q_d$ ). По добијању вредности наведених параметара, итеративним поступком израчунавају се нове вредности за температуре  $T_{k,fm}$  ( $T_{d,fm}$ ), применом једначине (5.36) за КП и (5.40) за ДОП, као и температуре  $T_{ka}$  ( $T_{da}$ ), применом једначине (5.38) за КП и (5.41) за ДОП. Такође, уколико је разлика добијених и претпостављених вредности температура  $T_{k,fm}$  ( $T_{d,fm}$ ) и  $T_{ka}$  ( $T_{da}$ ) у границама дозвољеног одступања ( $< 0.01^\circ\text{K}$ ) онда се прорачун завршава, односно исписују се резултати поменутих параметара  $F_{R,k}$  ( $F_{R,d}$ ),  $K_{kg}$  ( $K_{dg}$ ) и  $Q_k$  ( $Q_d$ ). Треба напоменути да је коефицијент  $h_{k,c-f}$  ( $h_{d,c-f}$ ) израчунат по процедури предложеној у [33].

Приликом експерименталног испитивања соларних пријемника, на основу измерених вредности масеног протока флуида  $m_k$  ( $m_d$ ), излазне  $T_{k,i}$  ( $T_{d,i}$ ) и улазне температуре флуида  $T_{k,u}$  ( $T_{d,u}$ ), за израчунавање корисне топлотне снаге примењене су познате једначине (5.46) и (5.47):

$$Q_{k,e} = \dot{m}_k \cdot c_{p,k} \cdot (T_{k,i} - T_{k,u}); \quad (5.46)$$

$$Q_{d,e} = \dot{m}_d \cdot c_{p,d} \cdot (T_{d,i} - T_{d,u}). \quad (5.47)$$

## 5.5 Ефикасност класичног и двоструко-озраченог соларног пријемника

Поред параметра корисне топлотне снаге пријемника  $Q_k$  ( $Q_d$ ), за оцену термичког понашања пријемника користи се и параметар, степен ефикасности пријемника  $\eta_k$  ( $\eta_d$ ). Уопштено посматрано степен ефикасности неког енергетског система дефинише се као однос добијене (корисне) и уложене (доведене или максимално расположиве) енергије. Код соларних пријемника корисна енергија представља енергију предату радном флуиду ( $Q_k$  ( $Q_d$ )) док уложена енергија представља укупно дозрачену енергију на површину застакљења тих пријемника  $H'_{kg} \cdot A_k$  ( $H'_{dg} \cdot A_d$ ). Једначине које се користе за израчунавање параметра  $\eta_k$  и  $\eta_d$  дате су као:

$$\eta_k = \frac{Q_k}{H'_{kg} \cdot A_k} = \frac{F_{R,k} \cdot A_k \cdot [I_k - K_{kg} \cdot (T_{k,u} - T_o)]}{H'_{kg} \cdot A_k} = \frac{F_{R,k} \cdot I_k}{H'_{kg}} - \frac{F_{R,k} \cdot K_{kg} \cdot (T_{k,u} - T_o)}{H'_{kg}}; \quad (5.48)$$

$$\eta_d = \frac{Q_d}{H'_{dg} \cdot A_d} = \frac{F_{R,d} \cdot A_d \cdot [I_d - K_{dg} \cdot (T_{d,u} - T_o)]}{H'_{dg} \cdot A_d} = \frac{F_{R,d} \cdot I_d}{H'_{dg}} - \frac{F_{R,d} \cdot K_{dg} \cdot (T_{d,u} - T_o)}{H'_{dg}}. \quad (5.49)$$

Коришћењем експерименталних резултата мерења оба пријемника,  $\eta_{k,e}$  и  $\eta_{d,e}$  се могу израчунати на следећи начин:

$$\eta_{k,e} = \frac{Q_{k,e}}{H'_{kg} \cdot A_k} = \frac{\dot{m}_k \cdot c_{p,k} \cdot (T_{k,i} - T_{k,u})}{H'_{kg} \cdot A_k}; \quad (5.50)$$

$$\eta_{d,e} = \frac{Q_{d,e}}{H'_{dg} \cdot A_d} = \frac{\dot{m}_d \cdot c_{p,d} \cdot (T_{d,i} - T_{d,u})}{H'_{dg} \cdot A_d}. \quad (5.51)$$

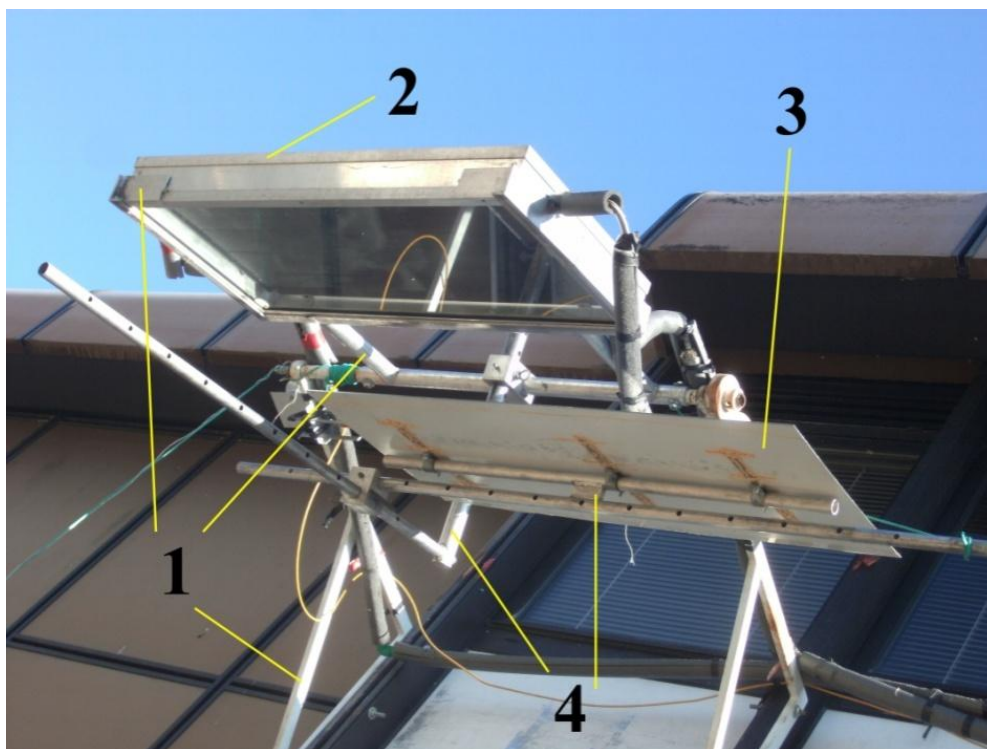
## 6 Эксперимент

Главни циљеви експерименталног истраживања су утврђивање изводљивости предложеног концепта ДОП-а и верификација теоријских математичких модела. У овом поглављу описана је реализована експериментална инсталација КП-а и ДОП-а, мерна опрема и представљени су услови и процедура испитивања. На крају поглавља дати су и резултати експерименталних испитивања испитиваних соларних пријемника.

### 6.1 Експериментална инсталација класичног и двоструко-озраченог соларног пријемника

Експериментална инсталација испитиваних соларних пријемника налази се у оквиру Лабораторије за Термодинамику и термотехнику, Факултета инжењерских наука у Крагујевцу. Инсталација обухвата пријемно-рефлектујући систем (ПРС), класичан соларни пријемник, хидрауличну и мерну инсталацију.

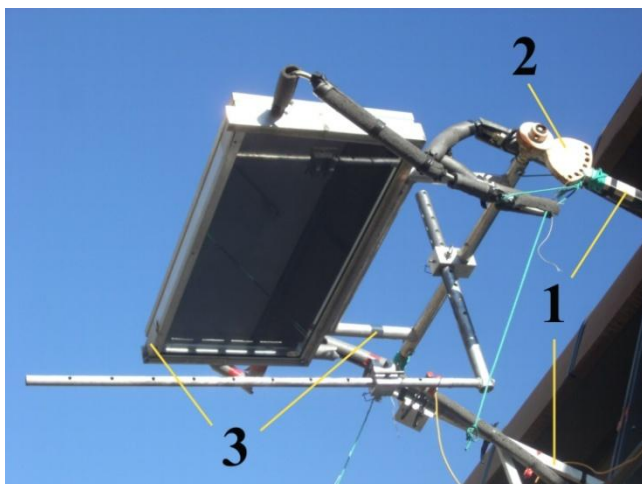
Пријемно-рефлектујући систем (слика 6.1) састоји се од носеће конструкције (позиција 1), двоструко-озраченог пријемника (позиција 2), рефлектора (позиција 3) и конструкције за померање рефлектора (позиција 4).



Слика 6.1 Пријемно - рефлектујући систем: 1 - носећа конструкција, 2 - ДОП, 3 - рефлектор и 4 - конструкција за померање рефлектора

Носећу конструкцију ПРС-а (слика 6.2) чине два конзолна носача (позиција 1), осовина са подеоном главом (позиција 2) и носач пријемника (позиција 3). Челичним

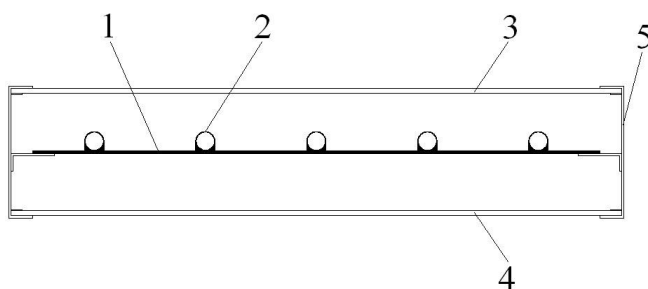
конзолним носачима остварена је веза између вертикалног зида лабораторије и ПРС-а. Алуминијумски носач пријемника (лево и десно), осим тога што носи сам пријемник, носи конструкцију за померање рефлектора, као и рефлектор. Приликом његове израде водило се рачуна о томе да профили његових страница не прекривају површину застакљења.



**Слика 6.2** Носећа конструкција ПРС-а (лево): 1 - конзолни носач, 2 - осовина са подеоном главом, 3 - носач пријемника и носач пријемника (десно)

Веза између носача пријемника и конзолних носача остварена је преко осовине за коју је причвршћен носач пријемника. За осовину је заварена подеона глава на којој је избушено 7 отвора. Сваки отвор представља тачно одређен угао нагиба соларног пријемника. Угаоно осно растојање између отвора износи  $15^\circ$ . Фиксирање пријемника под одређеним углом омогућено је посредством клина провученог кроз отвор на подеоној глави и отвор на конзолном носачу. Постављање клина у први отвор подеоне главе подразумева да је угао нагиба ПРС-а  $6^\circ$ .

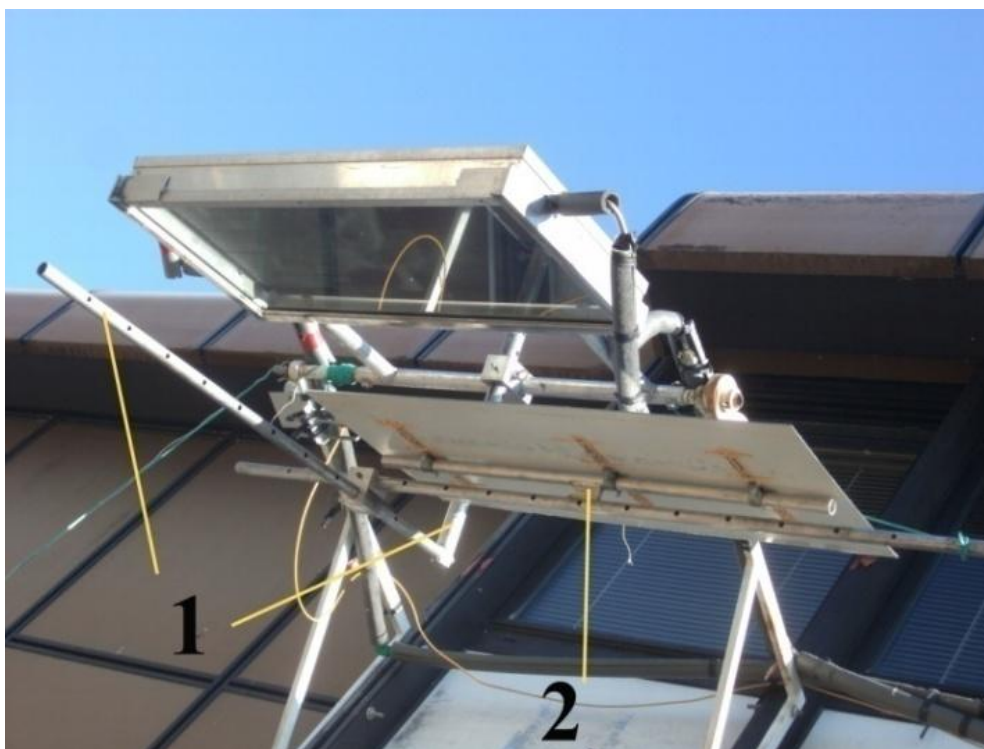
Двоструко-озрачени соларни пријемник, приказан на слици 6.3 (лево), има габаритне димензије  $945 \times 483 \times 105 \text{ mm}$ . Апсорбер (позиција 1) и кућиште (позиција 5) пријемника су израђени од алуминијума док су апсорберске цеви (позиција 2), разводна, сабирна цев као и прикључне цеви од бакра. Горња и доња покривна површина пријемника (горње и доње застакљење, позиције 3 и 4) су од стакла, дебљине  $4 \text{ mm}$ . Димензије апсорбера су  $840 \times 460 \times 2 \text{ mm}$ . Коефицијент емисије апсорбера износи  $0.9$ . Спајање апсорберских цеви и апсорбера је изведено специјалном техником утискивања. Постоји укупно пет апсорберских цеви унутрашњег пречника  $15 \text{ mm}$ .



**Слика 6.3** Попречни пресек ДОП-а (лево): 1 - апсорбер, 2 - апсорберске цеви, 3 - горње застакљење, 4 - доње застакљење, 5 - кућиште и рефлектор (десно)

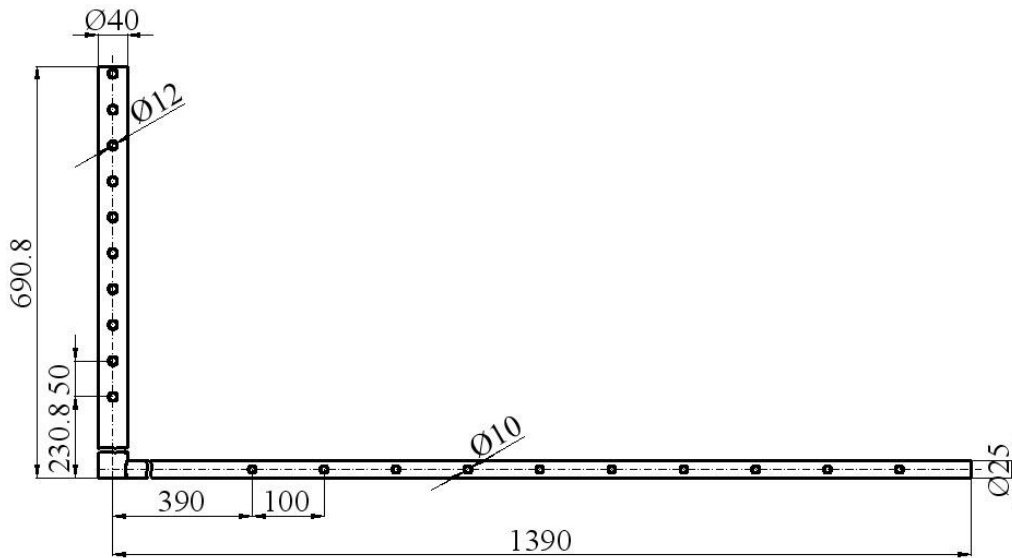
Апсорпција соларног зрачења доњим делом апсорбера ДОП-а омогућена је употребом рефлектора (слика 6.3 (десно)). Одабрани рефлектор је плексиглас огледало димензија 1000 x 500 x 2 mm. Рефлектор је увек паралелно постављен у односу на пријемник. Коефицијент рефлексије рефлектора износи 0.9. Због промене положаја Сунца на небу током дана и године, неопходно је померати рефлектор да би доњи део апсорбера био делимично или по могућству потпуно озрачен. Рефлектор се помера мануелно уз помоћ конструкције за померање рефлектора.

Померање рефлектора врши се у три међусобно управна правца: правцу управном на његову раван, правцу управном на његову дужину (правац север-југ), као и правцу управном на његову ширину (правац исток-запад). Да би се то извело израђена је алуминијумска конструкција за његово померање (слика 6.4). Она се састоји од правоугаоног рама (позиција 1) и рама за рефлектор (позиција 2).



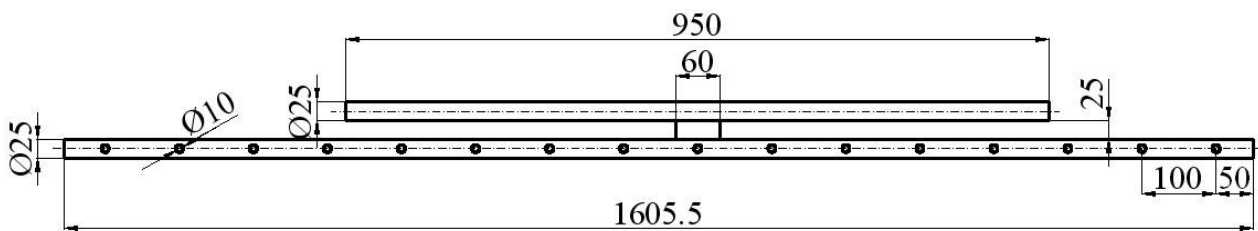
**Слика 6.4** Конструкција за померање рефлектора: 1 - правоугаони рама и 2 - рама за рефлектор

Вертикалним делом правоугаоног рама мења се растојање између рефлектора и пријемника у правцу нормалном на њихову раван. Померањем рефлектора по хоризонталном делу овог рама мења се растојање између оса рефлектора и пријемника у правцу нормалном на њихову дужину. Осно растојање отвора на вертикалном делу износи 50 mm, док је исто растојање на хоризонталном делу рама 100 mm (слика 6.5).



Слика 6.5 Правоугаони рам

У циљу померања рефлектора и у правцу нормалном на његову ширину израђен је рам за који је причвршћен сам рефлектор. Осно растојање између отвора на овом раму износи 100 mm (слика 6.6).



Слика 6.6 Рам за рефлектор

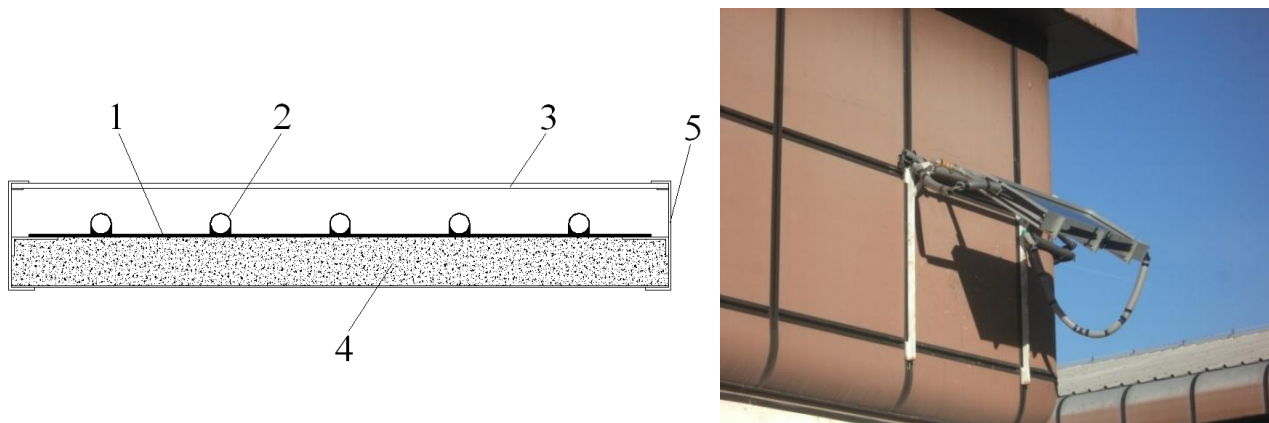
Фиксирање конструкције за померање рефлектора и рефлектора у тачно одређени положај омогућено је посредством алуминијумских коцки и клинова (слика 6.7).



Слика 6.7 Конструкција за померање рефлектора: 1 - алуминијумске коцке и 2 - клинови



Испитивани класични соларни пријемник, приказан на слици 6.8, има габаритне димензије 940 x 476 x 80 mm. Треба нагласити да су конструкција и материјали КП-а и ДОП-а идентични. Димензије и карактеристике њихових апсорбера су такође исте. Једина разлика између КП-а и ДОП-а је та што је висина кућишта ДОП-а нешто већа. Испод апсорбера КП-а (позиција 1), у доњем делу кућишта пријемника (позиција 5), постављена је изолација у виду тврдо пресоване минералне вуне дебљине 32 mm (позиција 4). И код КП-а горња покривна плоча је од стакла, дебљине 4 mm (позиција 3).



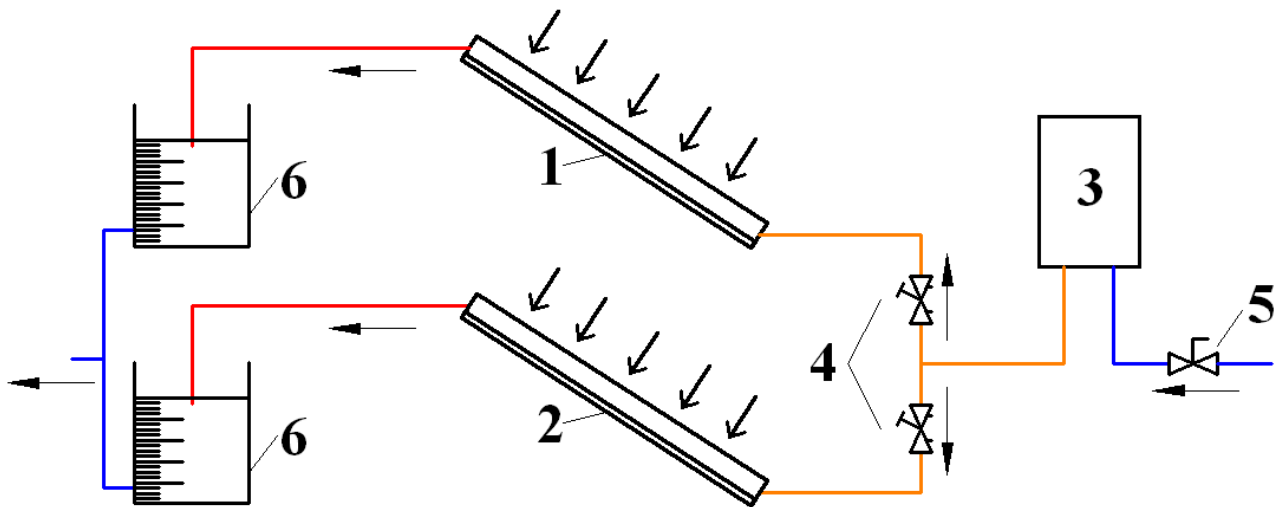
**Слика 6.8** Попречни пресек КП-а (лево): 1 - апсорбер, 2 - апсорберске цеви, 3 - горње застакљење, 4 - изолација, 5 - кућиште и положај КП-а у оквиру експерименталне инсталације (десно)

Носећа конструкција КП-а, која носи КП, слична је оној код ДОП-а. На слици 6.9 приказана су оба испитивана соларна пријемника постављена на југ-југозападном зиду Лабораторије за Термодинамику и термотехнику. При њиховом постављању водило се рачуна да њихово међусобно растојање буде толико да сенка неког од њих, у било ком делу дана и године, не утиче на апсорпцију соларног зрачења. Обе носеће конструкције имају подеоне главе са истим угаоним растојањем између отвора од  $15^\circ$ . Тиме је омогућено да оба соларна пријемника буду постављена под истим углом нагиба.



**Слика 6.9** Положај оба соларна пријемника у оквиру експерименталне инсталације

Трећу компоненту експерименталне инсталације представља хидраулична инсталација. На слици 6.10 дата је шема хидрауличне инсталације са својим токовима и компонентама.



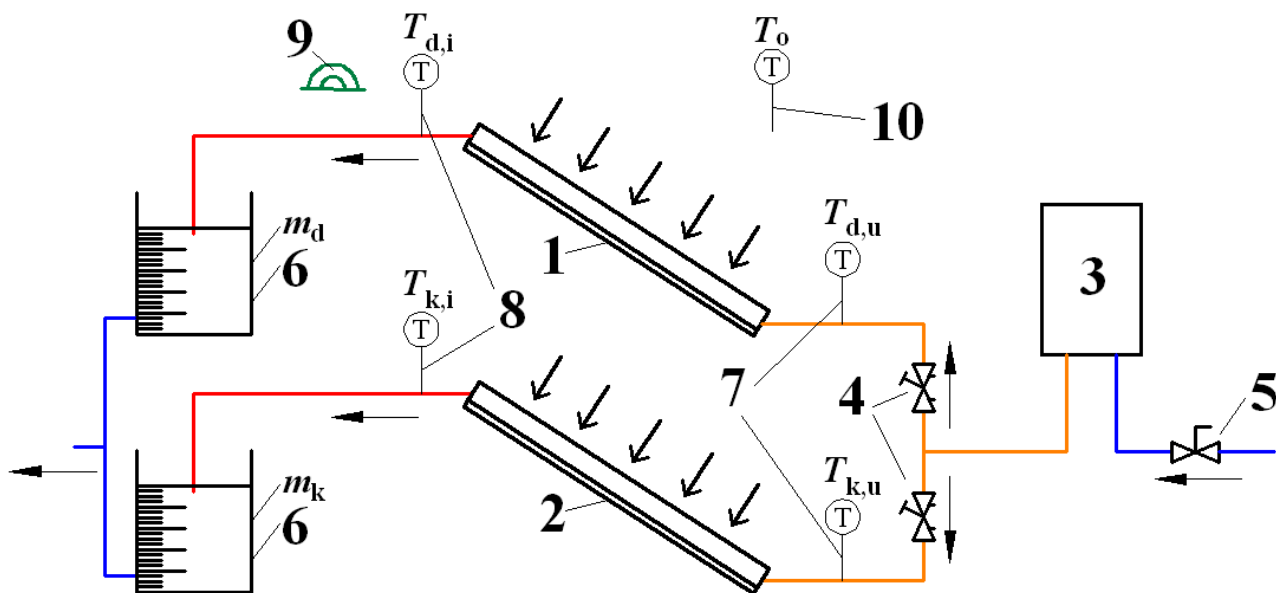
Слика 6.10 Шема хидрауличне инсталације: 1 - ДОП, 2 - КП, 3 - бојлер са електричним грејачем, 4 - регулациони вентили, 5 - зауставни вентил и 6 - резервоари

Као радни флуид у експерименталним испитивањима се користила вода из водоводне инсталације. Пре него што дође до соларних пријемника вода је улазила у проточни бојлер електричне снаге 2 kW (позиција 3). У њему се загревала на жељену вредност улазне температуре воде у соларним пријемницима. По изласку из бојлера загрејана вода се цевоводима усмеравала ка пријемницима. Од бојлера крећу два хидраулична тока, један који укључује ДОП (позиција 1) и други који укључује КП (позиција 2). Вредност протока воде ка соларним пријемницима подешавала се помоћу регулационих вентила (позиција 4), постављених у оквиру сваког хидрауличног тока. Након проласка кроз соларне пријемнике вода се сакупљала у резервоарима (позиција 6). Постоје два резервоара, један резервоар за ДОП и други за КП. Ови резервоари су се користили за прецизно мерење запреминског протока воде кроз соларне пријемнике. Када би се резервоари напунили вршило се њихово потпуно пражњење. Анализирањем хидрауличне шеме може се закључити да инсталација не садржи циркулациону пумпу. За то постоје два разлога. Први разлог је тај да је хидраулична инсталација отворена, ради волуметријског мерења протока. Други разлог се везује за то да су соларни пријемници релативно малих димензија због чега и проток воде кроз њих има мале вредности. Мале вредности протока не захтевају велике разлике притиска у инсталацији. Због свега наведеног било је одлучено да се неопходан притисак у инсталацији обезбеди прикључењем експерименталне инсталације за водоводну мрежу.

## 6.2 Мерни ланац и мерна опрема

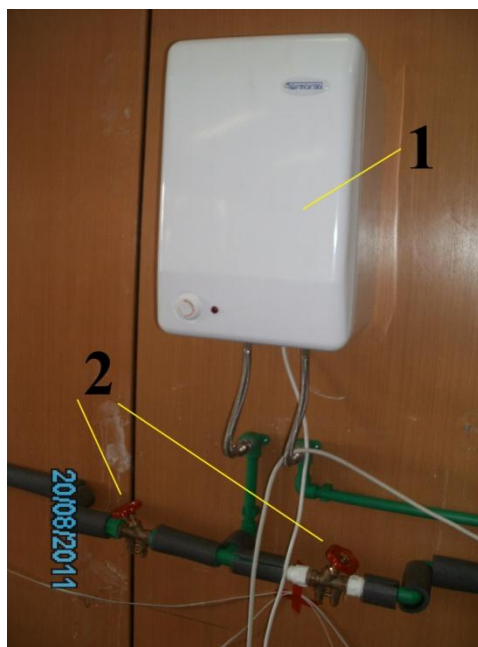
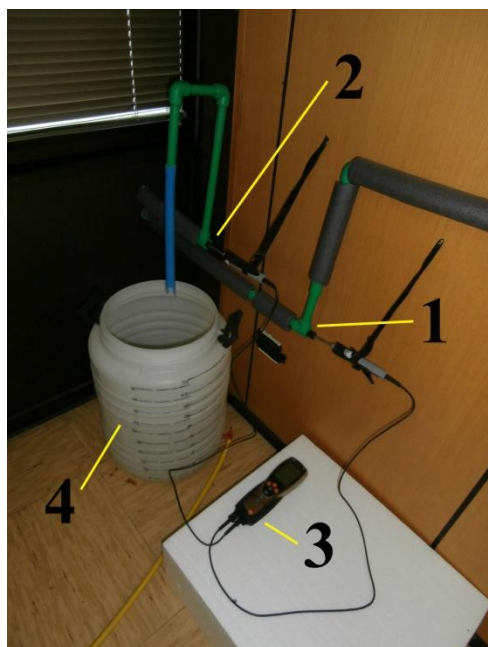
Спровођење експерименталних испитивања соларних пријемника има за циљ добијање података о њиховом термичком понашању. Термичко понашање пријемника осликавају величине, као што су корисна топлотна снага и ефикасност соларног пријемника. За израчунавање експерименталних вредности ових величина употребљене су једначине: (5.46), (5.47), (5.50) и (5.51). Решавање ових једначина подразумева познавање вредности свих величина, са десне стране знака једнакости, које фигуришу у њима. Те вредности су

добијене експерименталним мерењем помоћу мерне опреме [34]. Величине које су биле мерене су:  $m_k$  ( $m_d$ ),  $T_{k,u}$  ( $T_{d,u}$ ),  $T_{k,i}$  ( $T_{d,i}$ ),  $H$ ,  $T_o$  и  $V_{\text{vetra}}$ . На слици 6.11 приказана је експериментална инсталација са пратећом мерном опремом.



**Слика 6.11** Шема експерименталне инсталације са мерном опремом: 1 - ДОП, 2 - КП, 3 - бојлер са електричним грејачем, 4 - регулациони вентили, 5 - зауставни вентил, 6 - резервоари, 7 - Pt-100 сонде на улазу воде у пријемник, 8 - Pt-100 сонде на излазу воде из пријемника, 9 - пиранометар и 10 - живин термометар

Запремински проток воде мерио се на најједноставнији, најтачнији и најпоузданији начин, волуметријском методом, употребом резервоара (слика 6.12 (лево), позиција 4) и штопернице.



**Слика 6.12** Резервоар са опремом за мерење температуре (лево): 1 - Pt-100 сонда на улазу воде у пријемник, 2 - Pt-100 сонда на излазу воде из пријемника, 3 - референтни отпорни термометар TESTO, 4 - резервоар и изглед бојлера са регулационим вентилима (десно): 1 - бојлер и 2 - регулациони вентили

Пре мерења, на резервоарима, запремине 50 l, одређене су и уцртане мерне скале коришћењем лабораторијске мензуре. Растојање између два подеока скале је 5 l. На почетку сваког мерења читавала се почетна запремина воде у резервоарима и време. Када би се напунили резервоари (50 l), са штоперице би се читавало време пуњења резервоара и израчунавао би се средњи проток воде за тај временски период. Након добијања неопходних података за израчунавање протока резервоари су се потпуно празнили и процедура мерења протока се понављала. Вредност протока воде подешавана је помоћу регулационих вентила (слика 6.12 (десно), позиција 2).

Мерење укупног дозраченог соларног зрачења на хоризонталну површину остварено је употребом Kipp & Zonen пиранометра (слика 6.13, позиција 2). Пиранометар, постављен на конзолном носачу ПРС-а (слика 6.13, позиција 1), се уз помоћ сопствених подешивача доводио у неопходан хоризонталан положај. Пиранометар је био повезан са рачунаром чиме је било омогућено аутоматско прикупљање и складиштење података на рачунару.



Слика 6.13 Положај пиранометра: 1 - конзолни носач ПРС-а и 2 - пиранометар

Отпорни електрични термометри са Pt-100 сензорима употребљени су за мерење улазних и излазних температура воде соларних пријемника. Термометри су били повезани са референтним отпорним термометрима TESTO (КП) и АОiP (ДОП) посредством којих су се читавале вредности поменутих температура. Изглед и позиције термометара (за КП) у експерименталној инсталацији приказани су на слици 6.12 (лево)(позиције 1, 2 и 3). Тачност мерења температуре је износила  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ . Помоћу потенциометра на проточном бојлеру, снаге 2 kW и запремине 10 l (слика 6.12 (десно), позиција 1), мануелно се подешавала температура воде на улазима у пријемнике. Вредности температуре околине добијене су коришћењем живиног термометра, постављеног на прозору лабораторије и заштићеном од ветра и соларног зрачења. Брзина ветра није експериментално мерена. Вредности брзине ветра преузете су од метеоролошке станице у Крагујевцу.

### 6.3 Услови и процедура испитивања

Експериментална испитивања двоструко-озраченог и класичног соларног пријемника вршена су за различите вредности запреминских протока воде и различите вредности улазних температура воде, у периоду од 05. августа до 19. октобра 2012. године. С обзиром да је експериментална инсталација отвореног типа и да се као радни флуид користила вода из водовода соларни пријемници су испитивани само у условима када су најниже спољашње температуре биле изнад нуле. Дневна мерења соларних пријемника најчешће су започињала у 10:00 h а завршавала се у 17:00 h. Током периода мерења који је обухватао крај септембра и почетак октобра мерења би се прекидала и пре 17:00 h због присуства сенке суседних објеката на пријемно-рефлектујућем систему.

Оба соларна система су у наведеном времену испитивања била постављена под углом нагиба од  $G = 36^\circ$  и орјентацијом од  $\alpha = 147^\circ$  (отклон од правца југа према западу за  $33^\circ$ ). Овај угао нагиба је одабран јер је то угао приближно једнак годишњем оптималном углу нагиба соларних пријемника за град Крагујевац од  $37.5^\circ$  [35]. Годишња оптимална орјентација соларних пријемника за Крагујевац је према [35]  $180^\circ$ . Соларни пријемници се нису могли поставити према тој орјентацији с обзиром на потешкоће око монтирања спољне инсталације и чињенице да је југ-југозападни зид лабораторије био једина локација у оквиру факултета где је било могуће поставити исте пријемнике. У сваком случају основна замисао мерења је подразумевала идентичне услове за КП и ДОП. Рефлектор ПРС-а се померао мануелно и то на сваких сат времена током периода испитивања.

Сваким даном испитивања истовремено су се прикупљали подаци о:

- тренутном дозраченом зрачењу на хоризонталну површину,
- температуре околине,
- улазним и излазним температурама воде у оквиру соларних пријемника,
- брзини ветра и
- масеним протоцима воде кроз соларне пријемнике.

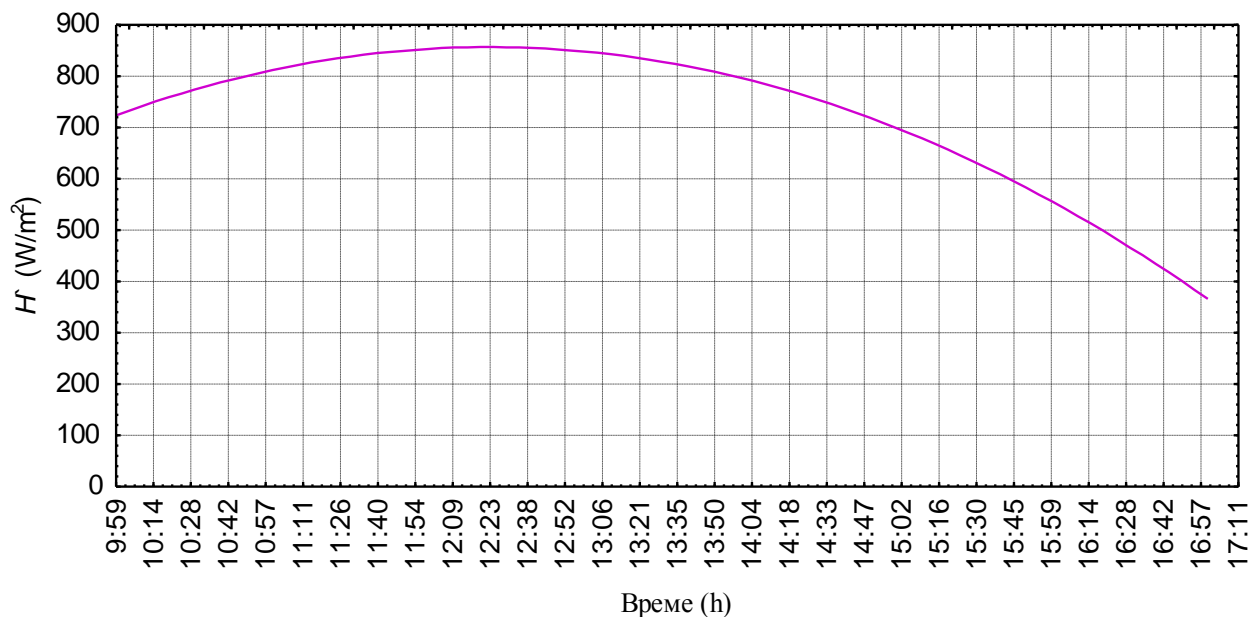
Подаци о дозраченом зрачењу на хоризонталну површину регистровани су на сваких 30 секунди, температуре воде на улазу и излазу на сваких 5 минута, температура околине на сваких 15 минута а брзина ветра на сваких сат времена трајања експерименталног мерења.

### 6.4 Резултати испитивања

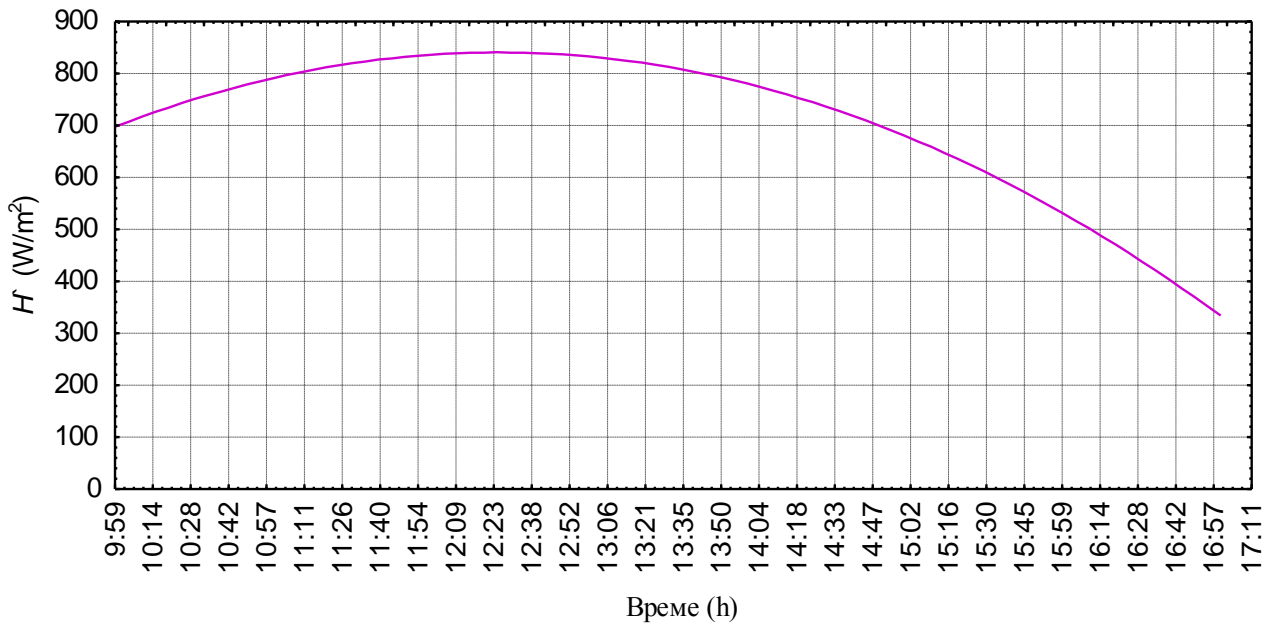
Експериментална испитивања соларних пријемника спроведена су током августа, септембра и октобра 2012. године. У наставку су приказани експериментални резултати ових мерења добијени за следеће датуме: 08.08., 20.08., 04.09., 09.09. и 04.10.. За три наведена датума 20.08., 04.09. и 04.10. средње вредности масених протока воде кроз оба пријемника приближно су једнаке препорученој вредности масеног протока за површину пријемника од  $0.3864 \text{ m}^2$ . Препоручена вредност масеног протока радног флуида дефинисана је преко масеног флукса од  $0.015 \text{ kg/sm}^2$  [36]. Тако се за површину апсорбера анализираних пријемника од  $0.3864 \text{ m}^2$  добија да је препоручена вредност масеног протока  $0.005796 \text{ kg/s}$ . Код преостала два датума средња вредност масеног протока је планирано већа (08.08.) и мања (09.09.) од препоручене вредности. Такође, одабрани датуми се разликују по

вредностима површина озрачености ДДА што је последица положаја Сунца на небу и међусобног положаја рефлектора и пријемника у том тренутку.

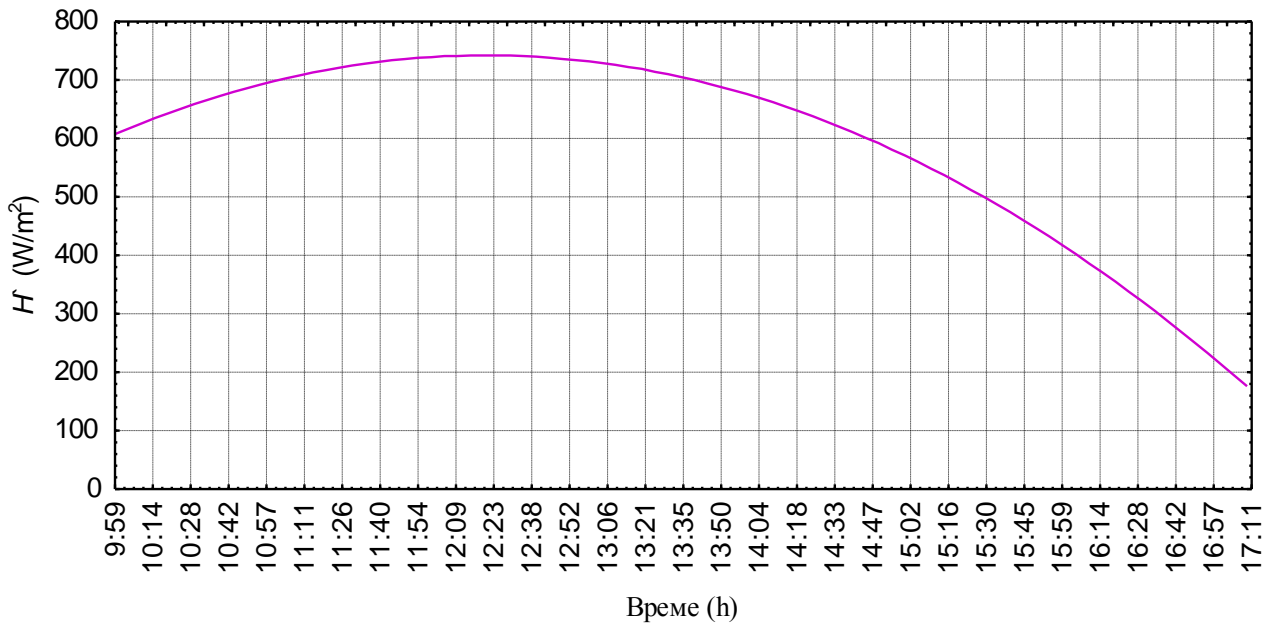
Резултати експерименталног испитивања оба соларна пријемника приказани су у наставку. На сликама: 6.14, 6.15, 6.16, 6.17 и 6.18 приказани су експериментални дијаграми соларног зрачења на хоризонталну површину, а на сликама 6.19, 6.20, 6.21, 6.22 и 6.23 дати су упоредни прикази дијаграма корисне топлотне снаге за КП ( $Q_k$ ) и ДОП ( $Q_d$ ), за све анализирани датуме. Поменути дијаграми су представљени за корак мерења од 5 min. Такође, у табелама А.1, А.3, А.5, А.7 и А.9 дати су резултати експерименталног мерења КП-а, а у табелама А.2, А.4, А.6, А.8 и А.10 резултати експерименталног мерења ДОП-а за поменуте датуме и за корак мерења од 5 min (Прилог А).



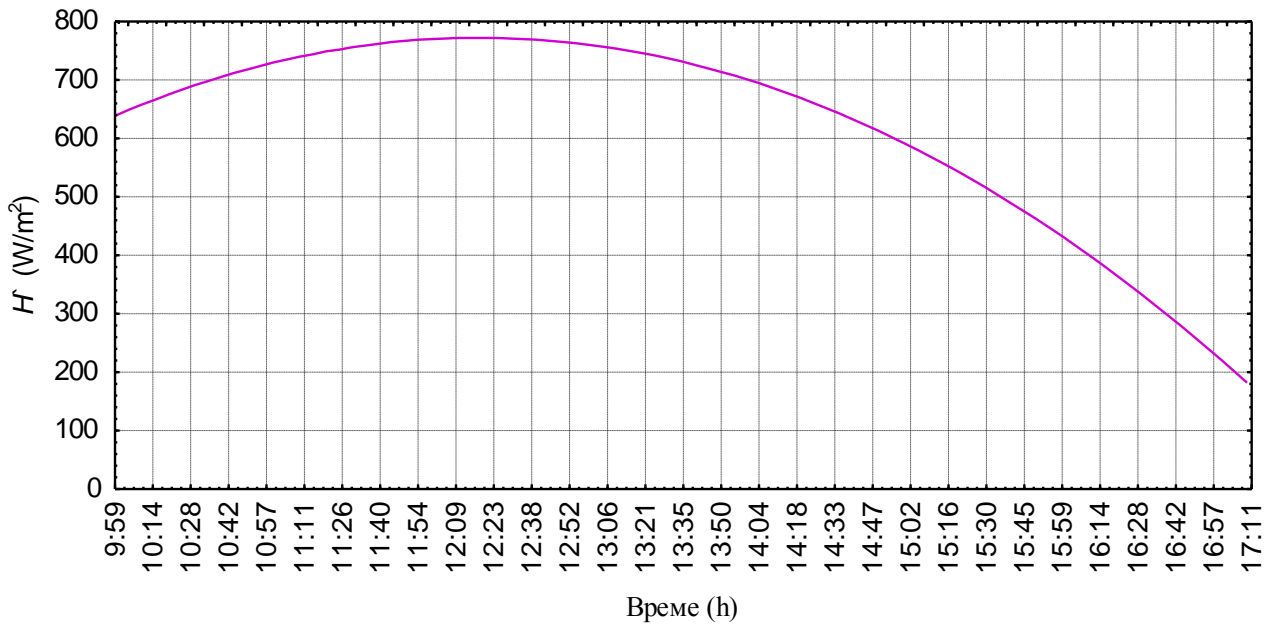
Слика 6.14 Експериментални дијаграм соларног зрачења на хоризонталну површину за 08. август 2012.



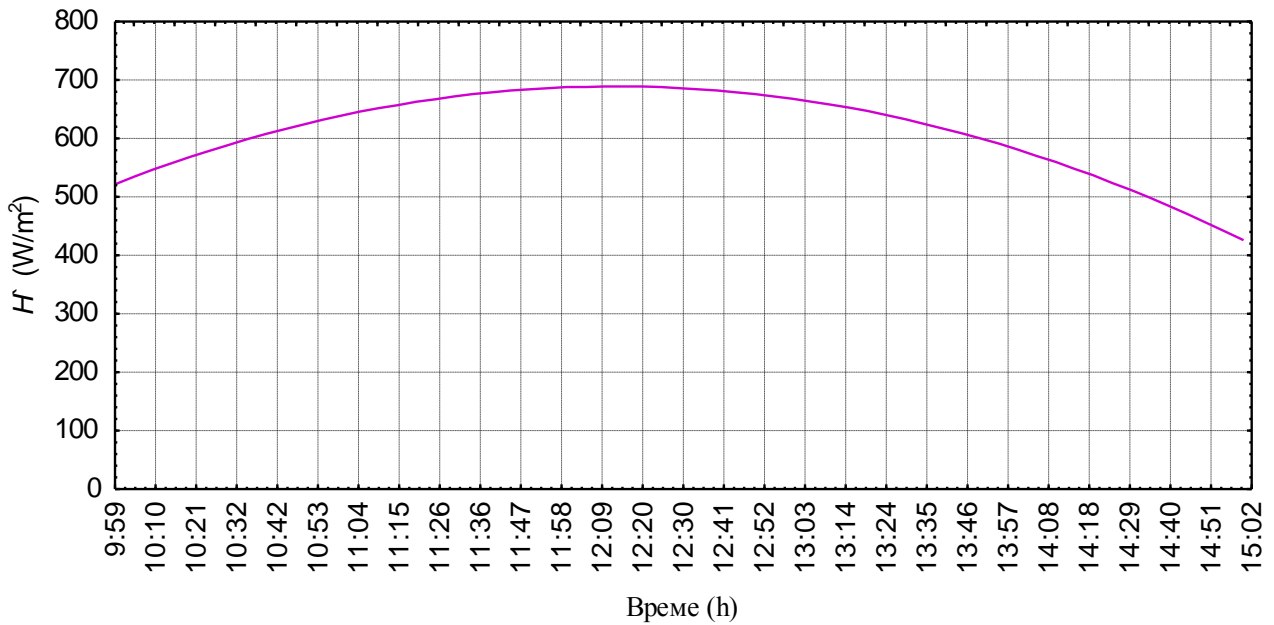
Слика 6.15 Експериментални дијаграм соларног зрачења на хоризонталну површину за 20. август 2012.



Слика 6.16 Експериментални дијаграм соларног зрачења на хоризонталну површину за 04. септембар 2012.



Слика 6.17 Експериментални дијаграм соларног зрачења на хоризонталну површину за 09. септембар 2012.



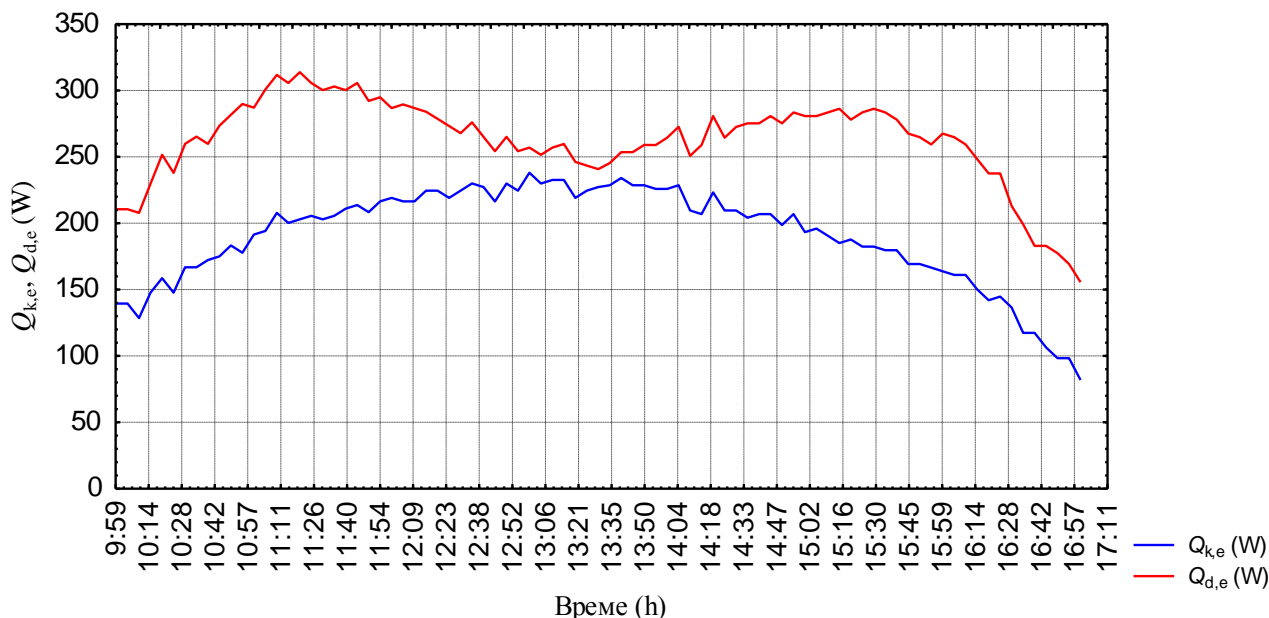
Слика 6.18 Експериментални дијаграм соларног зрачења на хоризонталну површину за 04. октобар 2012.



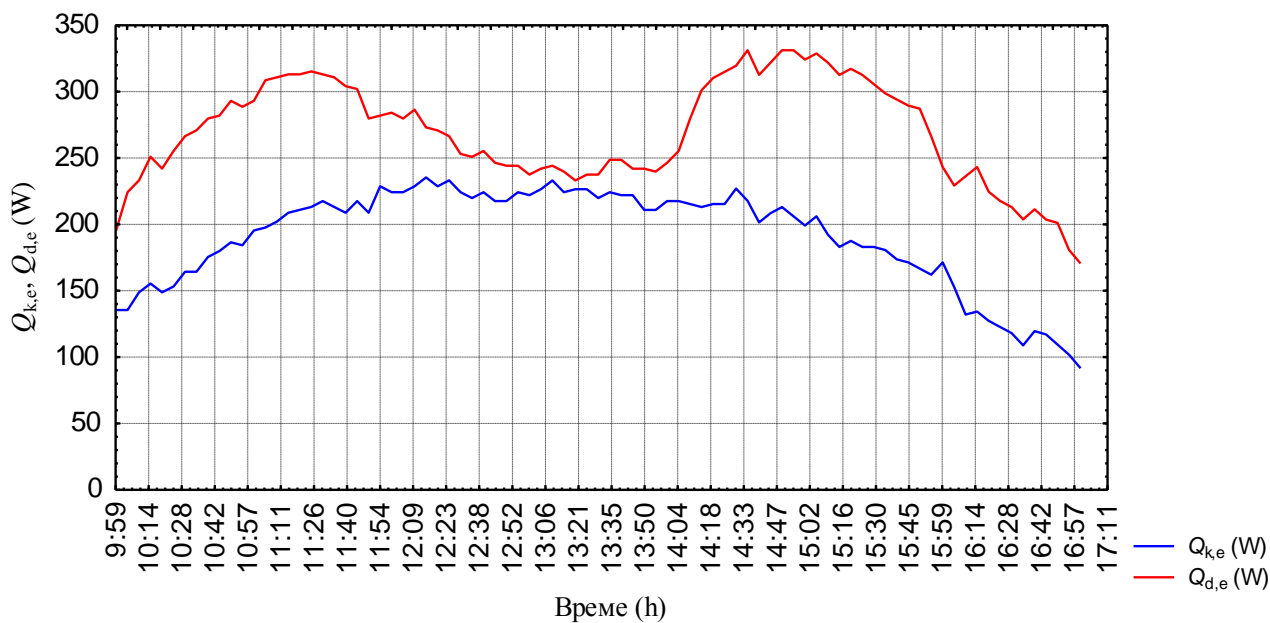
Са дијаграма на сликама 6.14, 6.15, 6.16, 6.17 и 6.18 се може уочити да је највећа вредност интензитета соларног зрачења  $H'$  била у периоду око поднева. Најмања вредност интензитета овог зрачења била је на крају дневног испитивања соларних пријемника. За све анализирани датуме, осим за 04.10., то је био период око 17:00 h. Дневно мерење зрачења и испитивање пријемника, током 04.10., било је прекинато око 15:00 h због осенчености ПРС-а од стране суседних објеката.

Сви ови датуми су одабрани због чињенице да је све време, током трајања испитивања соларних пријемника, било потпуно ведро, што показују и приложени дијаграми соларног зрачења. Поредећи ове дијаграме по датумима, највећи интензитет соларног зрачења дозраченог на хоризонталну површину био је током 08.08. ( $857 \text{ W/m}^2$  (око поднева)), а најмањи током 04.10. ( $689 \text{ W/m}^2$  (око поднева)).

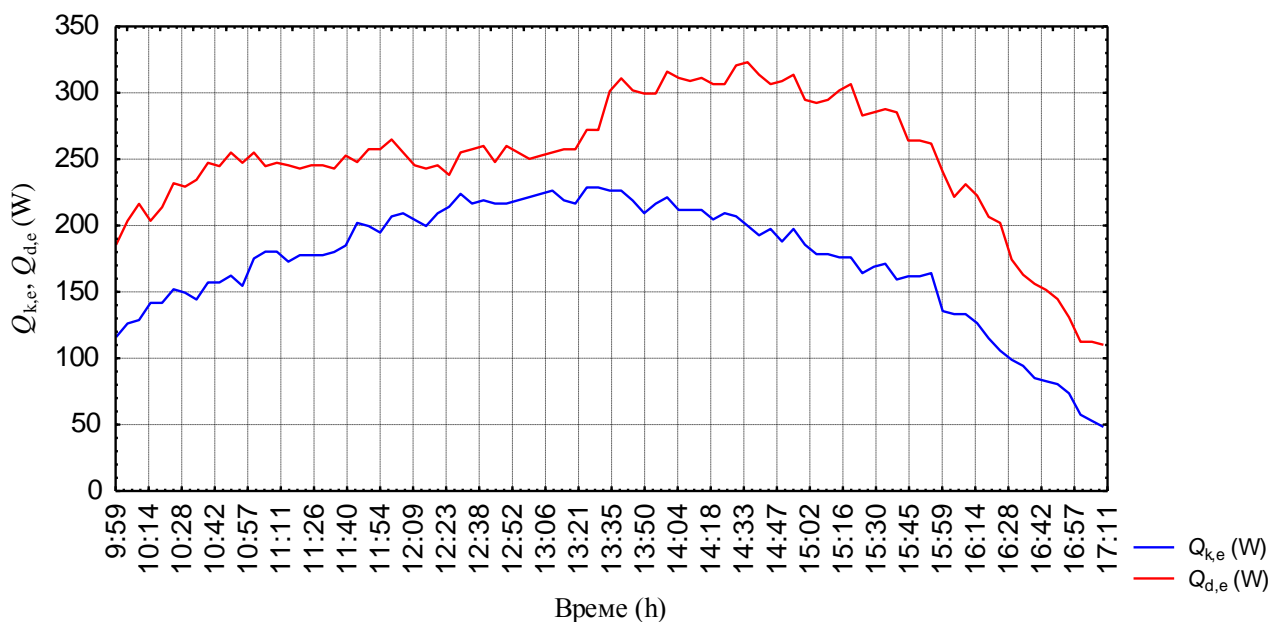
На сликама 6.19, 6.20, 6.21, 6.22 и 6.23 приказани су упоредни дијаграми експерименталне корисне топлотне снаге КП-а ( $Q_{k,e}$ ) и ДОП-а ( $Q_{d,e}$ ), за све анализирани датуме.



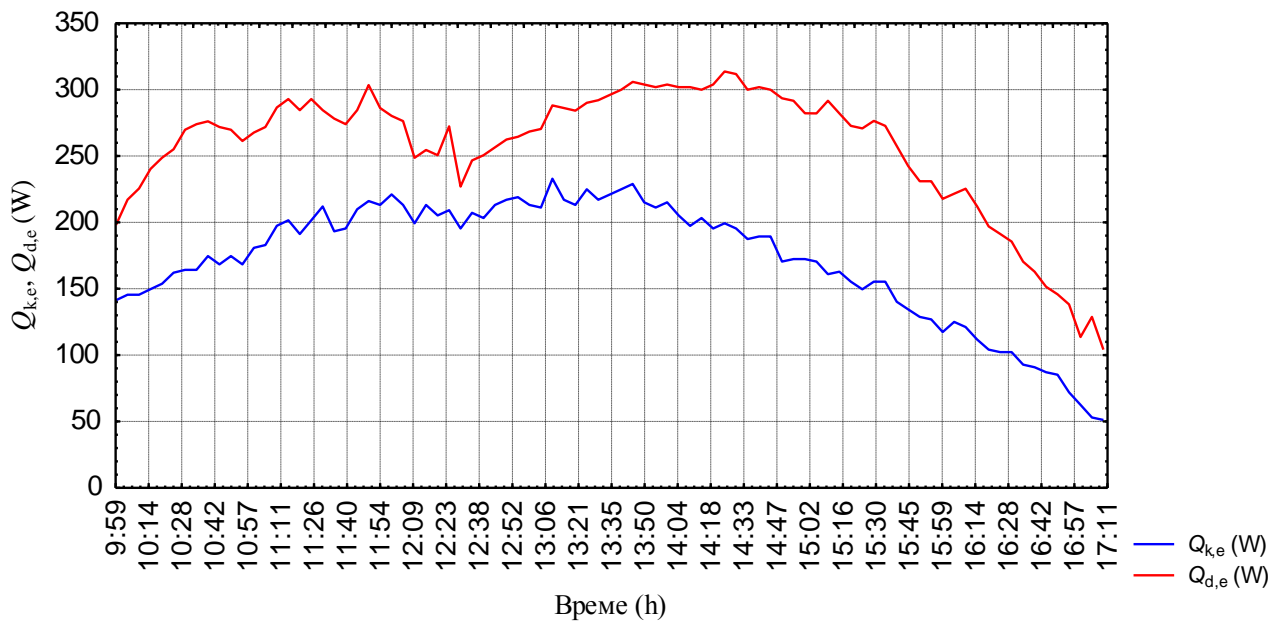
**Слика 6.19** Експериментални дијаграми корисне топлотне снаге КП-а ( $Q_{k,e}$ ) и ДОП-а ( $Q_{d,e}$ ) за 08. август 2012.



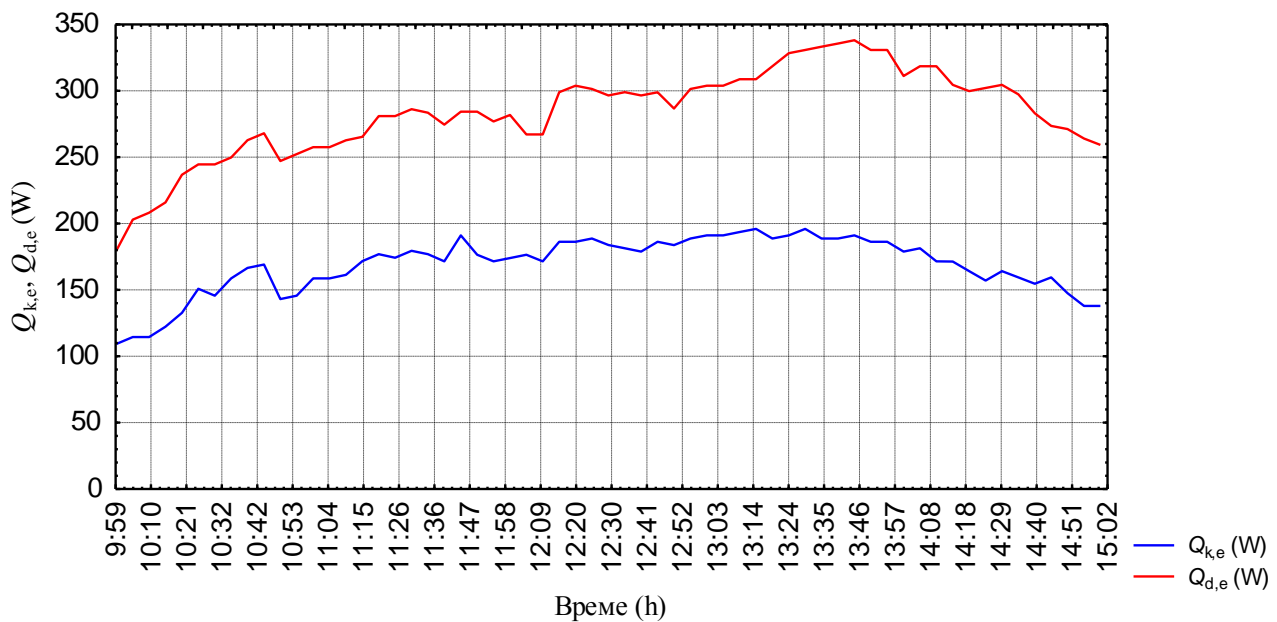
Слика 6.20 Експериментални дијаграми корисне топлотне снаге КП-а ( $Q_{k,e}$ ) и ДОП-а ( $Q_{d,e}$ ) за 20. август 2012.



Слика 6.21 Експериментални дијаграми корисне топлотне снаге КП-а ( $Q_{k,e}$ ) и ДОП-а ( $Q_{d,e}$ ) за 04. септембар 2012.



Слика 6.22 Експериментални дијаграми корисне топлотне снаге КП-а ( $Q_{k,e}$ ) и ДОП-а ( $Q_{d,e}$ ) за 09. септембар 2012.



Слика 6.23 Експериментални дијаграми корисне топлотне снаге КП-а ( $Q_{k,e}$ ) и ДОП-а ( $Q_{d,e}$ ) за 04. октобар 2012.

Приложене слике указују на то да је облик криве дијаграма корисне топлотне снаге КП-а идентичан за све анализиране датуме. Криве дијаграма корисне топлотне снаге ДОП-а приближно су исте за све датуме, осим за 04.10.. На облик поменутих кривих веома утиче интензитет зрачења апсорбованог доњим делом апсорбера ДОП-а. Највећи утицај на износ овог зрачења има површина озрачености ДДА  $A_{ozr}$ . Током дана, најмања озраченост ДДА ДОП-а била је око поднева. Зато је апсолутна разлика између снага  $Q_{d,e}$  и  $Q_{k,e}$  била најмања у том периоду. С друге стране, највећа разлика између ових снага била је у преподневним и послеподневним сатима, када је озраченост ДДА била највећа. То су периоди 10:00-11:30 h и 15:00-17:00 h (13:00-15:00 h за 04.10.). Крива корисне топлотне снаге ДОП-а за 04.10. се разликује од осталих због тога што апсолутна разлика снага  $Q_{d,e}$  и  $Q_{k,e}$ , у периоду око поднева, није била мала. У том периоду, тог дана, просечна озраченост ДДА била је око 66 % за разлику од осталих датума када је у истом периоду била у опсегу од 12-24 %. У сваком случају, детаљна анализа приказаних експерименталних резултата испитивања соларних пријемника изведена је у наредном поглављу.

## 7 Нумеричка симулација и експериментална верификација математичких модела

Поузданост предложених теоријских модела утврђује се поређењем теоријских са експерименталним резултатима. Теоријски резултати добијени су нумеричким симулирањем математичких модела, детаљно објашњених у поглављима 3, 4 и 5. Сви ти модели софтверски су реализовани у програмском језику FORTRAN.

У оквиру овог поглавља, приказани су и упоређени теоријски и експериментални резултати површине озрачености доњег дела апсорбера двоструко-озраченог соларног пријемника (одељак 7.1.), као и теоријски и експериментални резултати термичког понашања оба соларна пријемника (одељци 7.2. и 7.3.).

### 7.1 Симулације и експериментална верификација математичког модела одређивања површине озрачености доњег дела апсорбера двоструко-озраченог соларног пријемника

Експериментална верификација теоријског модела одређивања површине озрачености доњег дела апсорбера ДОП-а је детаљно анализирана и овде приказана за датум 20.08.2012. године [37]. За сваки сат, почев од 09:00 h па до 17:00 h, израчуната је теоријска површина озрачености  $A_{ozr,t}$ , узимајући у обзир утицај бочних страна пријемника. С друге стране, за сваки поменути сат одређена је и вредност експерименталне површине озрачености  $A_{ozr,e}$ . Неопходни подаци за њихово израчунавање су: димензије пријемника (840 x 460 x 105 mm), димензије рефлектора (1000 x 500 x 2 mm), величине  $e_{1d}, e_{2d}, e_{3d}, e_{1l}, e_{2l}, e_{3l}, f_{1d}, f_{2d}, f_{3d}, f_{1l}, f_{2l}, f_{3l}$ , положај ПРС (угао нагиба од  $G = 36^\circ$  и оријентација од  $\alpha = 147^\circ$ ), међусобни положај рефлектора и пријемника, као и тренутни положај Сунца (углови  $\beta_{ewGa}, \beta_{nsGa}$  и  $\gamma_{Ga}$ ). У табели 7.1 приказани су подаци о положају Сунца и међусобном положају рефлектора и пријемника са комбинацијама случајева (подслучајева) за сваки сат испитивања.

**Табела 7.1** Подаци о положају Сунца и међусобном положају рефлектора и пријемника са комбинацијама случајева (подслучајева) за сваки сат током обданице 20.08.2012. године

Време (h)	$\beta_{ewGa}$ (°)	$\beta_{nsGa}$ (°)	$\gamma_{Ga}$ (°)	Позиције рефлектора ( $v_1, v_2, w_1, w_2, y$ )(m)	Случај (подслучај)
9	36.568	52.487	60.363	$w_1=0.08, v_2=0.0085, y=0.3463$	<b>B5</b> <sub>ewGa</sub> / <b>E11b</b> <sub>nsGa</sub>
10	50.847	66.944	62.415	$v_1=0.02, v_2=0.0085, y=0.5963$	<b>E11b</b> <sub>ewGa</sub> / <b>E11b</b> <sub>nsGa</sub>
11	64.45	77.142	64.473	$v_1=0.12, v_2=0.1085, y=0.5963$	<b>E11a</b> <sub>ewGa</sub> / <b>E11a</b> <sub>nsGa</sub>
12	77.755	84.806	67.208	$v_1=0.32, v_2=0.1085, y=0.5963$	<b>E11a</b> <sub>ewGa</sub> / <b>E11a</b> <sub>nsGa</sub>
13	88.957	89.031	227.064	$v_1=0.32, v_2=0.1085, y=0.5963$	<b>E11a</b> <sub>ewGa</sub> / <b>E11a</b> <sub>nsGa</sub>
14	75.239	83.442	246.474	$v_1=0.22, v_2=0.1515, y=0.5963$	<b>E11a</b> <sub>ewGa</sub> / <b>E11a</b> <sub>nsGa</sub>
15	61.011	77.904	248.939	$v_1=0.12, v_2=0.1515, y=0.5963$	<b>E11a</b> <sub>ewGa</sub> / <b>E11a</b> <sub>nsGa</sub>
16	46.261	71.639	250.974	$v_1=0.02, v_2=0.0515, y=0.5963$	<b>E11b</b> <sub>ewGa</sub> / <b>E11a</b> <sub>nsGa</sub>
17	31.150	63.086	253.061	$w_1=0.18, v_2=0.0515, y=0.4463$	<b>B3</b> <sub>ewGa</sub> / <b>E11a</b> <sub>nsGa</sub>

Вредности величина бочних страна анализираних пријемника у EWGa и NSGa равни износе:  $e_{11} = 70 \text{ mm}$ ,  $e_{21} = e_{2d} = f_{21} = f_{2d} = 58.5 \text{ mm}$ ,  $e_{31} = e_{3d} = f_{31} = f_{3d} = 20 \text{ mm}$ ,  $e_{1d} = 50 \text{ mm}$ ,  $f_{11} = 40 \text{ mm}$  и  $f_{1d} = 30 \text{ mm}$ . Треба напоменути да су димензије пријемника од 840 x 460 mm димензије активне површине апсорбера.

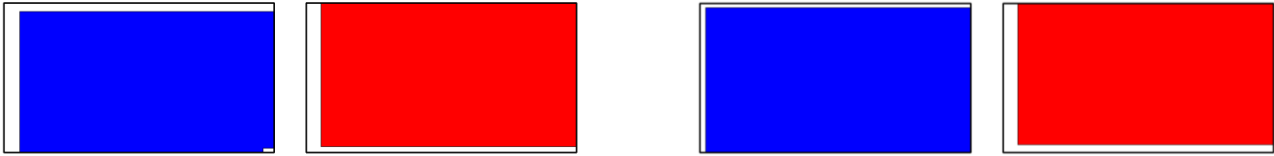
На основу података из табеле 7.1 приступа се израчунавању величина неопходних за дефинисање вредности површине  $A_{ozr,t}$  ( $\text{m}^2$ ). Добијене вредности поменутих величина  $\lambda$ ,  $\zeta$ ,  $a_p$  и  $b_{pnsGa}$ , као и вредности површине  $A_{ozr,t}$  приказане су у табели 7.2. Вредности површине  $A_{ozr,t}$  упоређене су са експериментално измереним и израчунатим вредностима површине  $A_{ozr,e}$  ( $\text{m}^2$ ). Поређењем ових површина одређена су њихова међусобна одступања (грешке), такође приказана у табели 7.2.

**Табела 7.2** Теоријске вредности величина  $\lambda$ ,  $\zeta$ ,  $a_p$  и  $b_{pnsGa}$ , вредности површина  $A_{ozr,t}$  и  $A_{ozr,e}$  и њихова међусобна одступања

Време (h)	$\lambda$ (m)	$\zeta$ (m)	$a_p$ (m)	$b_{pnsGa}$ (m)	$A_{ozr,t}$ ( $\text{m}^2$ )	$A_{ozr,e}$ ( $\text{m}^2$ )	Грешка (%)
9	0.7565	0.4224	0.7911	0.0127	0.3437	0.3506	2.01
10	0.8223	0.4307	-	0.0166	0.3678	0.3469	5.68
11	0.4930	0.2197	0.84	0.2403	0.3030	0.2914	3.83
12	0.1969	0.0639	0.84	0.3492	0.1224	0.1317	7.60
13	0	0	0	0	0	0	0
14	0.2296	0.1012	0.84	0.3588	0.1674	0.1542	7.89
15	0.5592	0.1841	0.84	0.2461	0.2923	0.2815	3.69
16	0.7489	0.3378	-	0.1128	0.3374	0.3306	2.02
17	0.7811	0.3656	-	0.066	0.3372	0.3435	1.87

Осим поређења вредности површина озрачености  $A_{ozr,t}$  и  $A_{ozr,e}$ , за потпуну верификацију теоријског модела неопходно је упоредити и облик истих површина. Због тога су добијене вредности ових површина графички представљене употребом софтвера AutoCad. Графички прикази површина  $A_{ozr,t}$  и  $A_{ozr,e}$ , за сваки анализирани сат, представљени су на сликама 7.1, 7.4, 7.7, 7.10 и 7.13. Плавом бојом обележена је површина  $A_{ozr,t}$  док је црвеном бојом обележена површина  $A_{ozr,e}$ . На сликама 7.2, 7.5, 7.8, 7.11 и 7.14 приказане су фотографије површине  $A_{ozr,e}$  коришћене при експерименталном одређивању вредности њене површине, док су на сликама 7.3, 7.6, 7.9, 7.12 и 7.15 приказане фотографије међусобног положаја рефлектора и пријемника за сваки сат испитивања.

За 09:00 h и 10:00 h (20.08.2012.)



Слика 7.1 Теоријска  $A_{ozr,t}$  (плаво) и експериментална  $A_{ozr,e}$  (црвено) за 09:00 h (лево) и 10:00 h (десно)

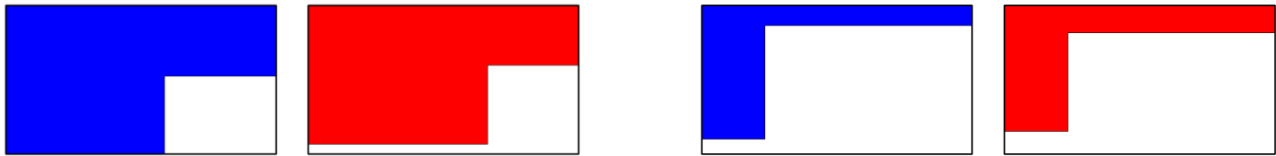


Слика 7.2 Експериментална  $A_{ozr,e}$  за 09:00 h (лево) и експериментална  $A_{ozr,e}$  за 10:00 h (десно)



Слика 7.3 Међусобни положај рефлектора и пријемника за 09:00 h (лево) и 10:00 h (десно)

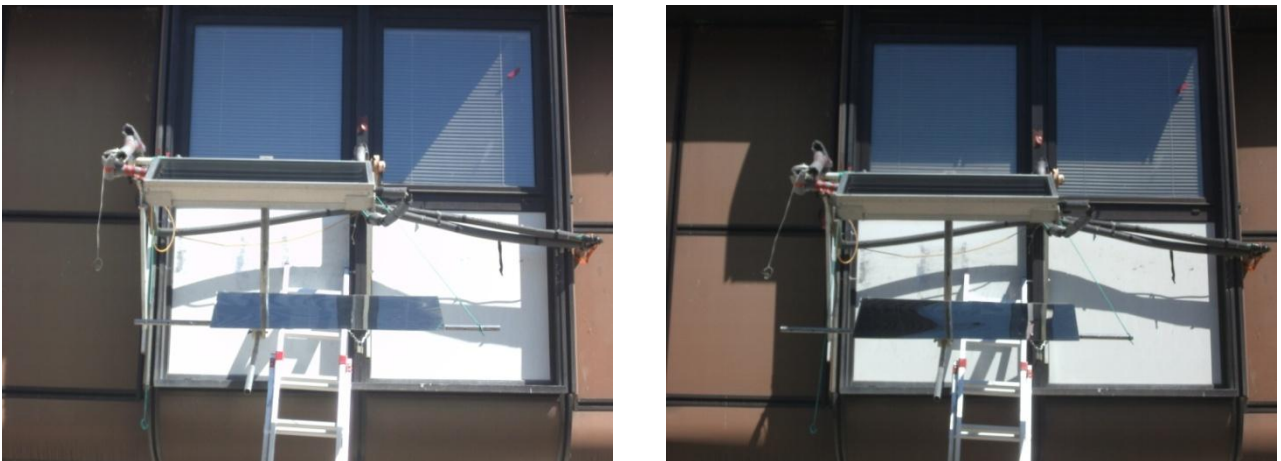
За 11:00 h и 12:00 h (20.08.2012.)



Слика 7.4 Теоријска  $A_{ozr,t}$  (плаво) и експериментална  $A_{ozr,e}$  (црвено) за 11:00 h (лево) и 12:00 h (десно)



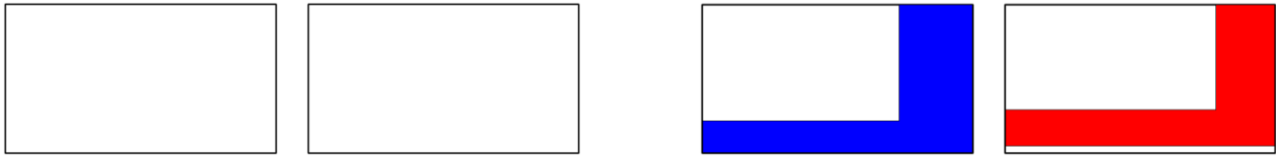
Слика 7.5 Експериментална  $A_{ozr,e}$  за 11:00 h (лево) и експериментална  $A_{ozr,e}$  за 12:00 h (десно)



Слика 7.6 Међусобни положај рефлектора и пријемника за 11:00 h (лево) и 12:00 h (десно)



За 13:00 h и 14:00 h (20.08.2012.)



Слика 7.7 Теоријска  $A_{ozr,t}$  (плаво) и експериментална  $A_{ozr,e}$  (црвено) за 13:00 h (лево) и 14:00 h (десно)

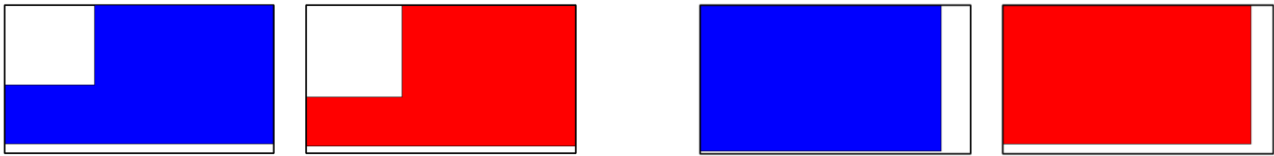


Слика 7.8 Експериментална  $A_{ozr,e}$  за 13:00 h (лево) и експериментална  $A_{ozr,e}$  за 14:00 h (десно)



Слика 7.9 Међусобни положај рефлектора и пријемника за 13:00 h (лево) и 14:00 h (десно)

За 15:00 h и 16:00 h (20.08.2012.)



Слика 7.10 Теоријска  $A_{ozr,t}$  (плаво) и експериментална  $A_{ozr,e}$  (црвено) за 15:00 h (лево) и 16:00 h (десно)

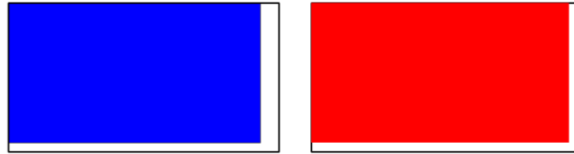


Слика 7.11 Експериментална  $A_{ozr,e}$  за 15:00 h (лево) и експериментална  $A_{ozr,e}$  за 16:00 h (десно)



Слика 7.12 Међусобни положај рефлектора и пријемника за 15:00 h (лево) и 16:00 h (десно)

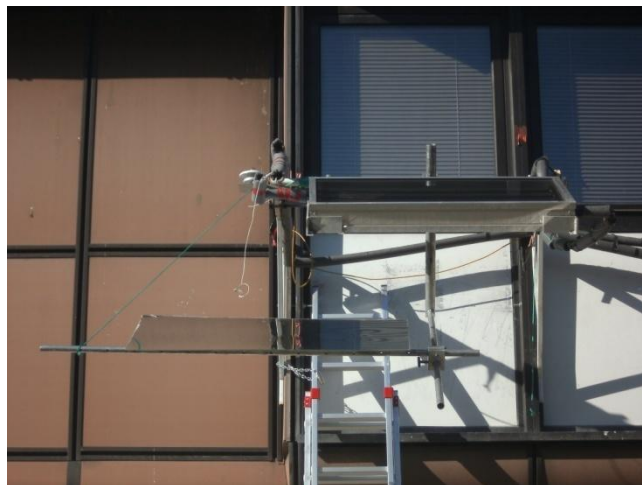
За 17:00 h (20.08.2012.)



**Слика 7.13** Теоријска  $A_{ozr,t}$  (плаво) и експериментална  $A_{ozr,e}$  (црвено) за 17:00 h



**Слика 7.14** Експериментална  $A_{ozr,e}$  за 17:00 h



**Слика 7.15** Међусобни положај рефлектора и пријемника за 17:00 h

Анализом слика 7.1, 7.4, 7.7, 7.10 и 7.13 утврђено је да не постоје одступања облика површина  $A_{ozr,t}$  и  $A_{ozr,e}$ .

Горе наведена одступања (табела 7.2) последица су несавршености конструкције ПРС-а, неидеалне паралелности између рефлектора и пријемника, као и неидеалне рефлексије зрачења са рефлектора (расипања светлости). Слична процедура је спроведена и

за друге датуме за које су постојали експериментални резултати. Како су одступања била минимална може се закључити да је теоријски модел одређивања површине озрачености доњег дела апсорбера двоструко-озраченог соларног пријемника експериментално верификован.

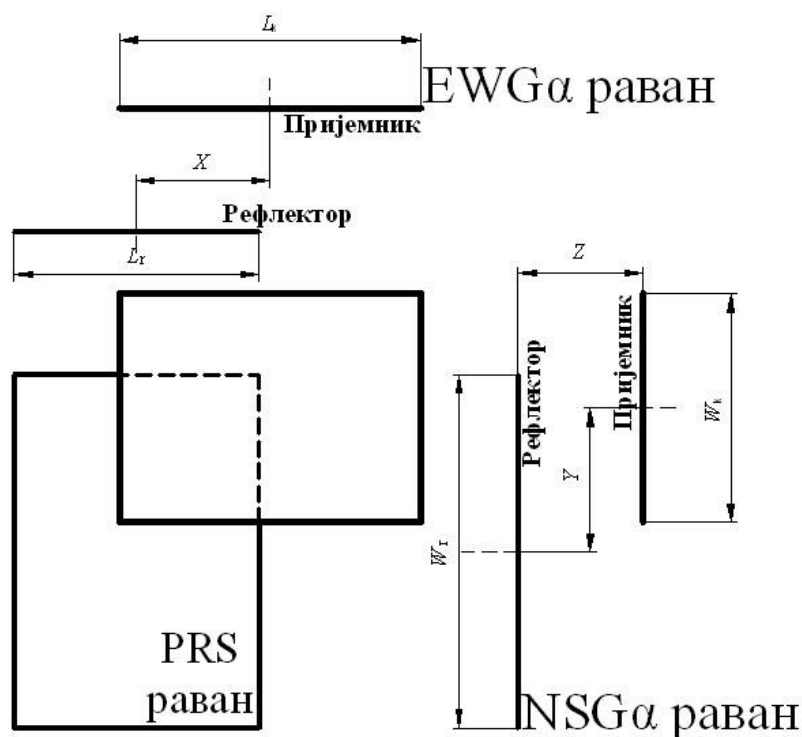
### 7.1.1 Оптимални положај рефлектора

На износ апсорбованог соларног зрачења, корисне топлотне снаге, као и ефикасности двоструко-озраченог соларног пријемника значајан утицај има вредност површине озрачености доњег дела његовог апсорбера. У циљу добијања максимално могућег апсорбованог зрачења од стране ДОП-а, неопходно је да ДДА буде у сваком тренутку максимално озрачен. Озраченост ДДА зависи од положаја рефлектора у односу на пријемник и тренутног положаја Сунца на небу. Како Сунце мења свој положај током дана и године, тако и рефлектор мења свој положај пратећи сунчево кретање.

Након успешне верификације математичког модела одређивања површине озрачености ДДА, овај модел је искоришћен за добијање оптималног положаја рефлектора. Неопходни подаци за његово израчунавање су: географска ширина ( $\varphi = 44.1^\circ\text{N}$ ), временска зона ( $TZ = 1$ ) и географска дужина за Крагујевац ( $l_{\text{geo}} = 20.54^\circ$ ).

Приликом одређивања оптималних положаја рефлектора, разматрана су три карактеристична датума у години: пролећна (јесења) равнодневица, летња дугодневица и зимска краткодневица. Ови датуми су одабрани да би се одредиле најприближније границе опсега кретања рефлектора за годишњи оптимални положај ПРС. Годишњи оптимални положај класичног соларног пријемника, за град Крагујевац, дефинисан је његовим углом нагиба од  $37.5^\circ$  и орјентацијом од  $180^\circ$  [35]. Током дугодневице соларна алтитуда има највећу, а током краткодневице најмању вредност. С друге стране, за равнодневицу око поднева, упадни угао соларних зрака, за угао нагиба од  $37.5^\circ$  има веома малу вредност. У том периоду зраци падају скоро управно на површину пријемника.

С циљем практичног приказивања резултата симулација, уведене су величине  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ . Величина  $X$  представља растојање између оса рефлектора и пријемника у  $EWG\alpha$  равни, величина  $Y$  растојање између оса рефлектора и пријемника у  $NSG\alpha$  равни, а величина  $Z$  растојање између равни рефлектора и пријемника ( $Z = y$ ) (слика 7.16).

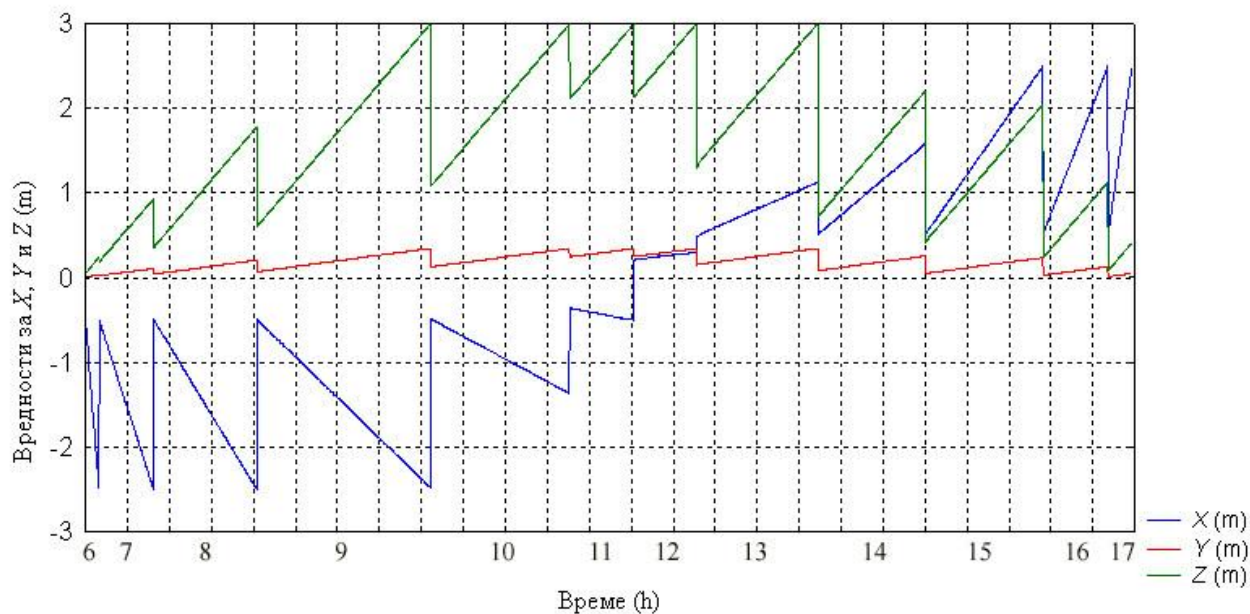


Слика 7.16 ПРС: значење величина  $X$ ,  $Y$  и  $Z$

Усвојено је да опсег могућег кретања рефлектора, у сва три правца, буде у оквиру следећих граница:  $-3 \leq X \leq 3$  m,  $-1.25 \leq Y \leq 1.25$  m и  $0 \leq Z \leq 3$  m. Негативне вредности за  $X$  и  $Y$  указују на то да је рефлектор позициониран ка истоку и северу, респективно.

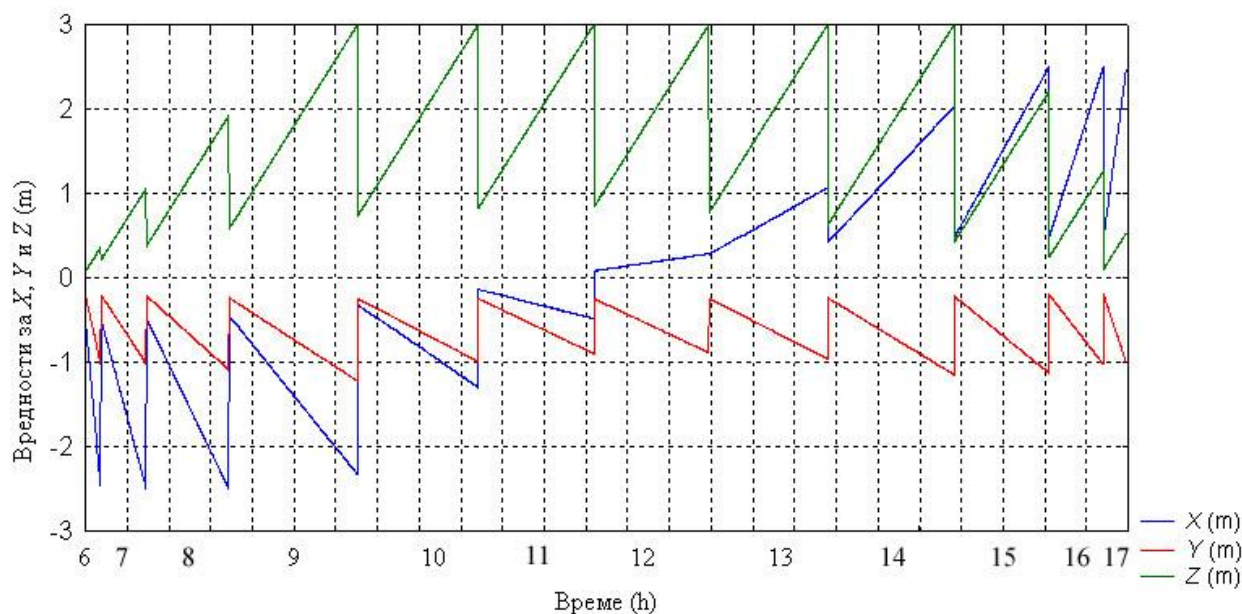
Неопходан услов потпуне озрачености ДДА, јесте да димензије рефлектора буду једнаке или веће од димензија пријемника (апсорбера). Узето је да димензије рефлектора и пријемника буду приближно једнаке димензијама експерименталне инсталације ПРС-а ( $L_r = L_k = 1$  m,  $W_r = W_k = 0.5$  m). Симулације су спроведене за сваки сат трајања обданице. Корак симулације или промена положаја рефлектора у сва три правца, износио је 5 mm. Треба истаћи да нису разматрани оптимални положаји рефлектора за случај када је упадни угао соларног зрака био једнак или већи од  $90^\circ$ . У овом тренутку занемарен је утицај бочних страна пријемника на величину и облик површине озрачености ДДА.

Симулирањем понашања ПРС-а утврђено је да, за сваки симулирани сат у оквиру типичног дана у години и усвојеног опсега кретања рефлектора, постоји више од једног положаја рефлектора за који је ДДА потпуно озрачен. Разлози за то су међусобна паралелност равни рефлектора и пријемника и спекуларна рефлексија соларних зрака са рефлектора. Сви могући положаји рефлектора који омогућавају потпуну озраченост ДДА током равnodневице, дугодневице и краткодневице приказани су на сликама 7.17, 7.18 и 7.19.

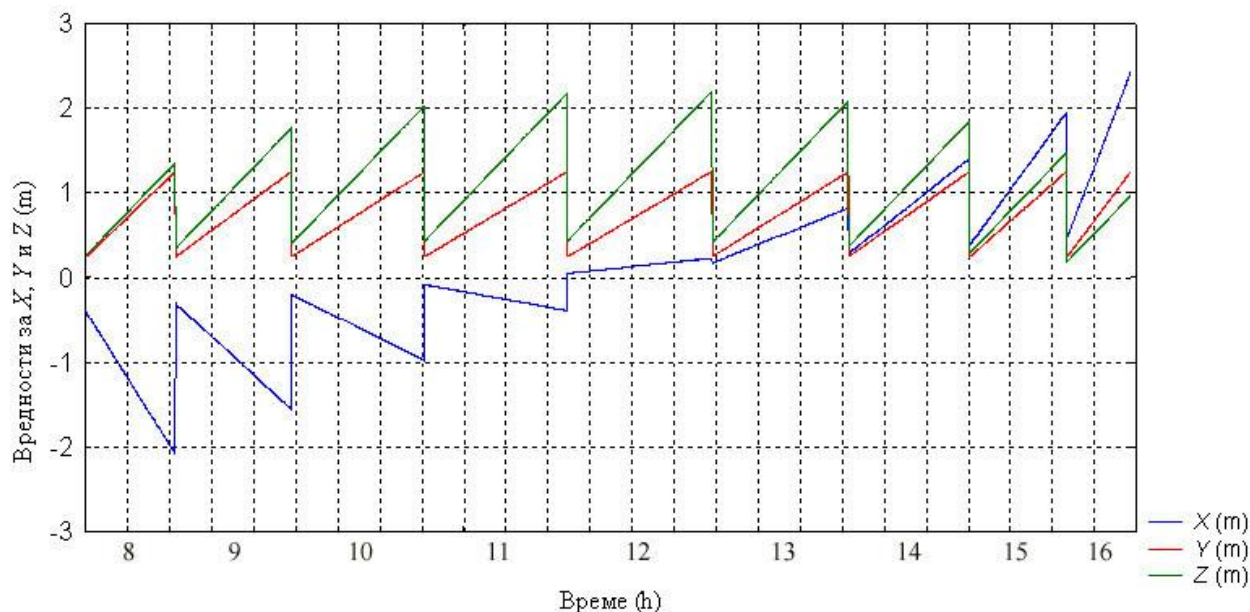


**Слика 7.17** Сви положаји рефлектора који омогућавају потпуну озраченост ДДА током пролећне (јесење) равнодневице (21.03.)

Са поменутих слика се могу уочити и најближи и најдаљи положаји рефлектора за сваки симулирани сат. За најближе и најдаље положаје рефлектора његова растојања у односу на пријемник су минимална, односно максимална.

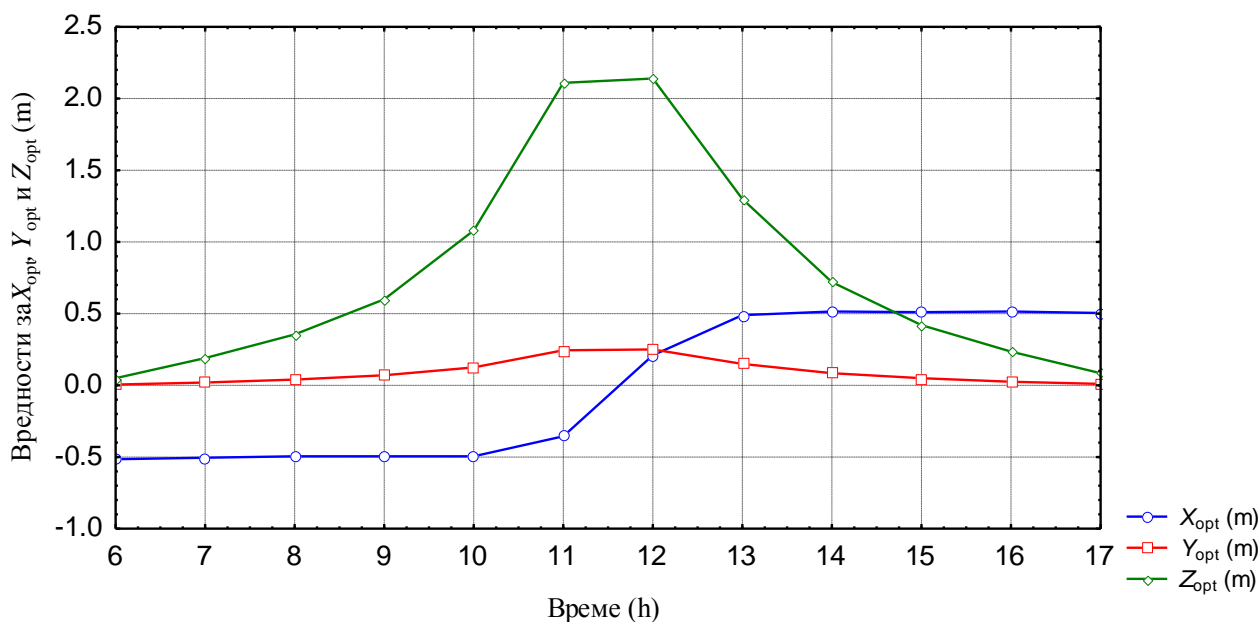


**Слика 7.18** Сви положаји рефлектора који омогућавају потпуну озраченост ДДА током летње дугодневице (22.06.)

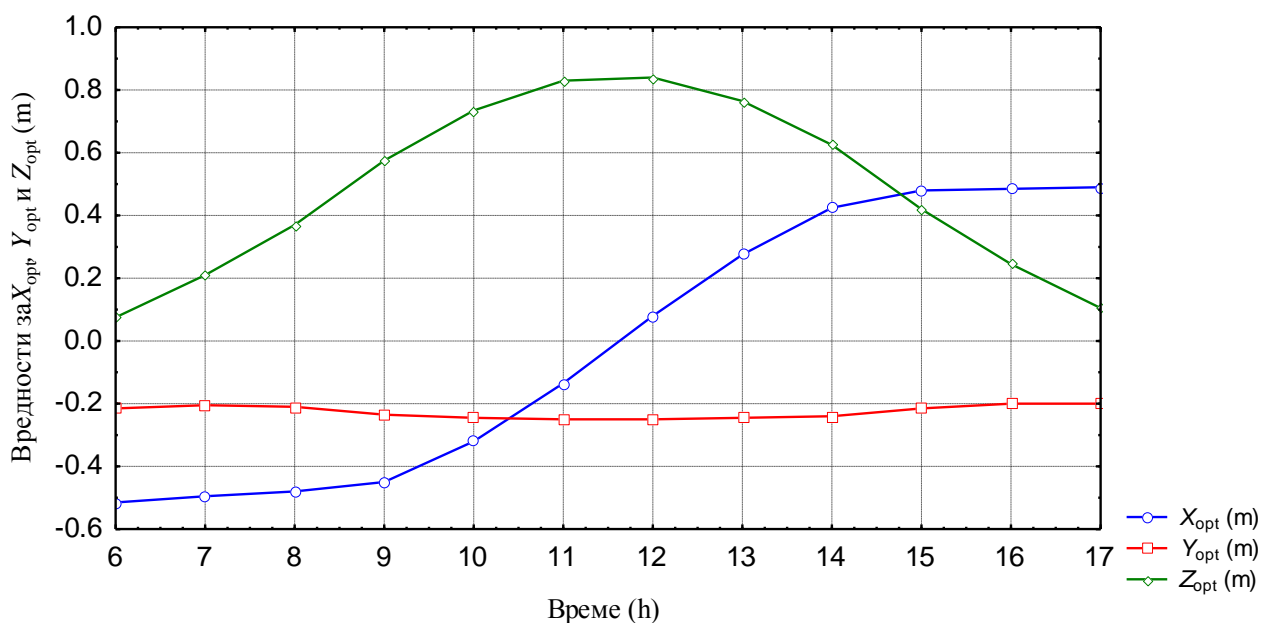


**Слика 7.19** Сви положаји рефлектора који омогућавају потпуну озраченост ДДА током зимске краткодневице (22.12.)

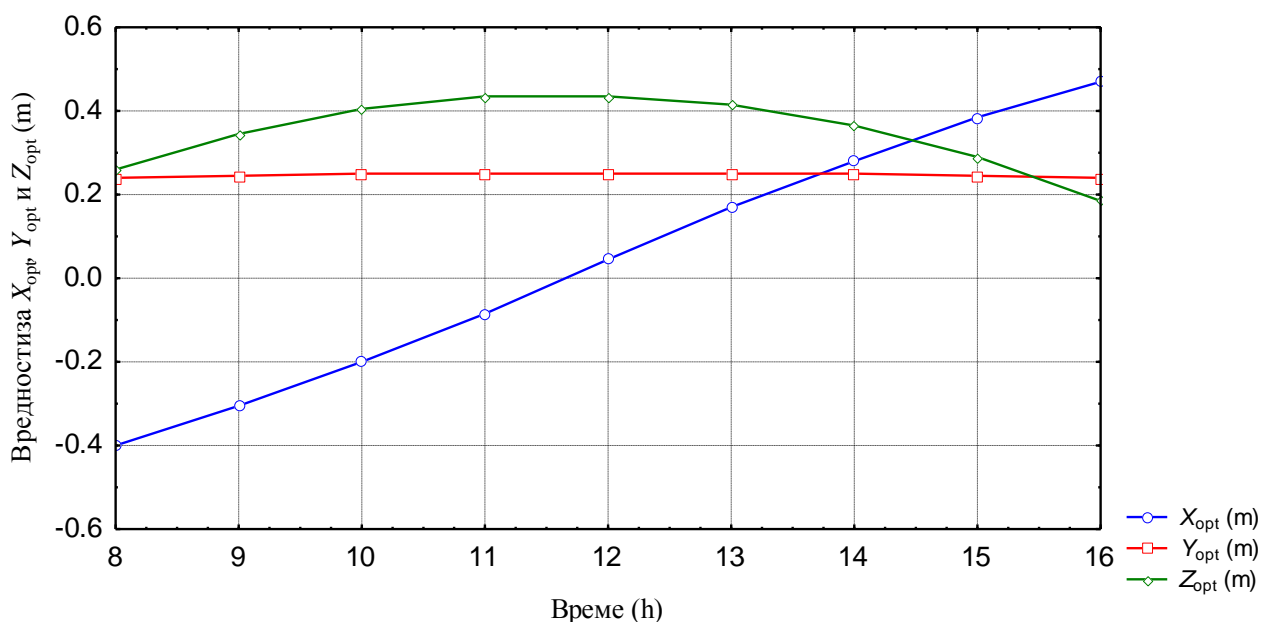
Оптимални положај рефлектора представља најближи положај рефлектора, у односу на пријемник, за који је ДДА потпуно или максимално могуће озрачен. За најближе положаје рефлектора минимално је његово кретање и једноставнија конструкција ПРС-а. На сликама 7.20, 7.21 и 7.22 приказани су 2D дијаграми, а на слици 7.23 3D дијаграми оптималних положаја рефлектора за сва три анализирана датума.



**Слика 7.20** Оптимални положаји рефлектора (2D) током пролећне (јесење) равнодневице (21.03.)



**Слика 7.21** Оптимални положаји рефлектора (2D) током летње дугодневице (22.06.)

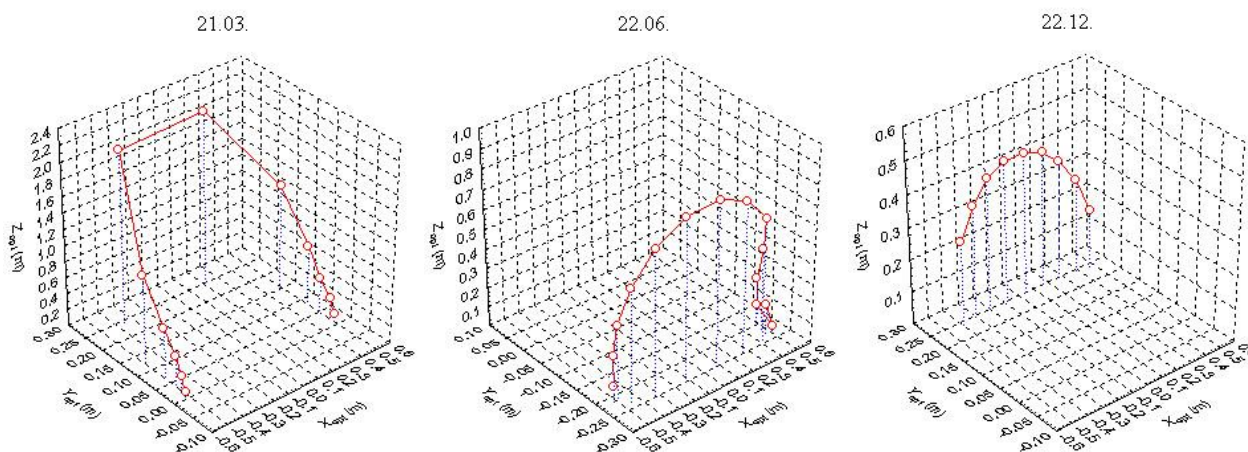


**Слика 7.22** Оптимални положаји рефлектора (2D) током зимске краткодневице (22.12.)

Скуп тачака са слика 7.20, 7.21 и 7.22, које означавају оптимални положај рефлектора за сваки сат трајања обданице, представља оптималну путању кретања рефлектора током анализираних датума. Анализирањем ових слика уочава се да су минималне вредности за  $X$  око поднева, а за  $Z$  у време изласка и заласка Сунца. Максималне вредности величина  $X$  и  $Z$  јављају се у време заласка (изласка) Сунца и око поднева, респективно. Објашњење за поменуто лежи у чињеници да соларна алтитуда има најмању вредност током изласка (заласка) Сунца а највећу око поднева. Величина  $Y$  има готово константну вредност током дневног кретања Сунца. Са слике 7.20 види се да су минималне и максималне вредности за  $X$ : 0.21 и 0.515 m, за  $Y$ : 0.005 и 0.25 m и за  $Z$ : 0.05 и 2.14 m. Слика 7.21 показује да су током дугодневице минималне и максималне вредности за  $X$ : 0.08 и 0.52 m, за  $Y$ : 0.2 и 0.25 m и за  $Z$ :



0.025 и 0.84 m. Минималне и максималне вредности ових величина током краткодневице (слика 7.22) су за  $X$ : 0.045 и 0.47 m, за  $Y$ : 0.24 и 0.25 m и за  $Z$ : 0.185 и 0.435 m.



Слика 7.23 Оптимални положаји рефлектора (3D) за сва три анализирана датума

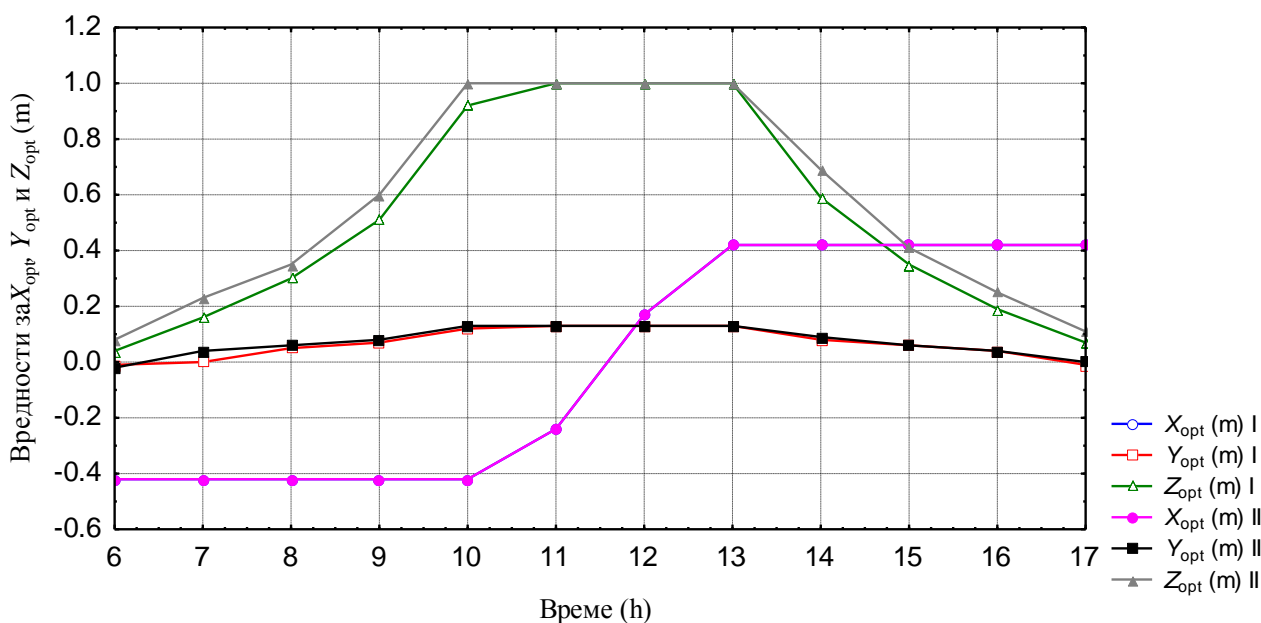
Гледајући све одабране датуме, максимална вредност за  $Z$  је 2.14 m током равнодневице у 12:00 h. То је због тога што је за угао нагиба ПРС-а од  $37.5^\circ$  вредност упадног угла соларног зрака најмања. С друге стране, како је током дугодневице вредност соларне алтитуде највећа тако су вредности за  $Y$ , за овај угао нагиба, негативне током читаве обданице.

На основу оптималних вредности величина  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ , за три одабрана датума, могу се одредити нове границе опсега кретања рефлектора:  $-0.52 \leq X \leq 0.52$  m,  $-0.25 \leq Y \leq 0.25$  m и  $0 \leq Z \leq 2.14$  m. Примећује се да су границе за величине  $X$  и  $Y$  такве да се оса рефлектора креће у границама површине пријемника. Тако је највеће растојање између осе рефлектора и осе пријемника једнако половини дужине односно половини ширине пријемника. Ове вредности интервала указују да постоје две опције пројектовања конструкције ПРС-а. Прва опција подразумева да рефлектор има исте димензије као и пријемник ( $L_r = L_k = 1$  m,  $W_r = W_k = 0.5$  m) и да његово кретање буде у сва три могућа правца и у оквирима редукованих граница интервала. Друга опција се односи на то да се на основу граничних вредности за  $X$  и  $Y$  одреде оптималне димензије рефлектора. На тај начин би рефлектор био покретан једино у правцу нормалном на раван ПРС-а. У том случају оптималне димензије рефлектора биле би  $L_r = 2.04$  m и  $W_r = 1.0$  m.

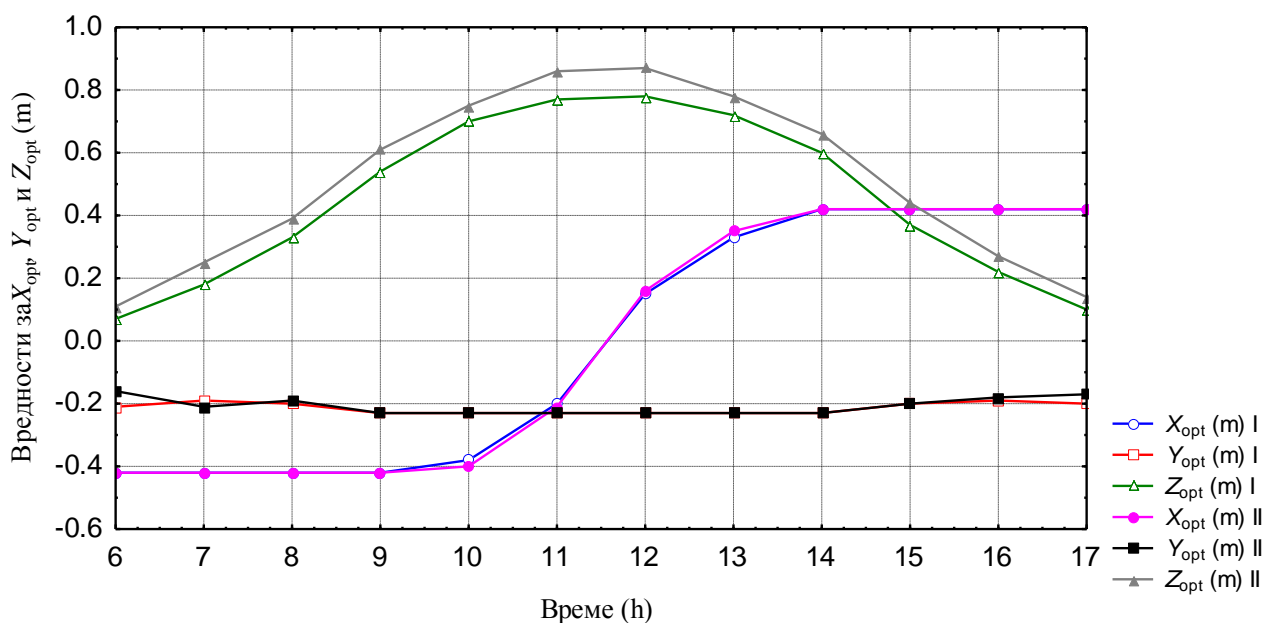
Код претходне анализе оптималних положаја узето је да су димензије апсорбера једнаке димензијама пријемника. У пракси су, због постојања сабирних и разводних цеви, димензије апсорбера мање од димензија пријемника. Димензије апсорбера испитиваних пријемника су 0.840 x 0.460 m. При пројектовању и реализацији конструкције овог ПРС-а, највећи проблем би представљало померање рефлектора у правцу нормалном на његову раван. Као што се може видети са горњих дијаграма највеће померање рефлектора је у овом правцу (до 2.14 m). Из практичних разлога предлаже се редуција опсега кретања рефлектора. Нове граничне вредности параметара  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  биле би:  $-0.42 \leq X \leq 0.42$  m,  $-0.23 \leq Y \leq 0.23$  m и  $0 \leq Z \leq 1$  m. На основу претходних симулација, границе за  $X$  и  $Y$  дефинисане су тако да сада оса рефлектора не прелази границе површине апсорбера. Иако, ово смањење опсега кретања рефлектора доприноси поједностављењу конструкције ПРС-а, то за последицу има да је, у одређеним периодима у години, око поднева, озраченост ДДА веома мала. То су периоди око пролећа и јесени, када се вредност упадног угла соларних зрака приближава нули. Тада су растојања између равни пријемника и рефлектора, која

омогућавају највећу могућу озраченост ДДА, највећа. Највећа вредност за  $Z$ , од три анализирана датума, је управо за равнодневицу. Осим тога, на озраченост ДДА утичу и бочне стране ДОП-а. Због тога су спроведене симулације за два сценарија. Први сценарио се односи на симулирање понашања система за нови, редуковани опсег кретања рефлектора и годишњи оптимални положај ПРС-а, при занемареном утицају бочних страна ДОП-а. Код другог сценарија узет је у обзир и утицај бочних страна ДОП-а. Током ових симулација, димензије пријемника и рефлектора су идентичне оним из експеримента, али је површина пријема соларног зрачења сада активна површина апсорбера. Такође, вредности величина:  $e_{1d}$ ,  $e_{2d}$ ,  $e_{3d}$ ,  $e_{1l}$ ,  $e_{2l}$ ,  $e_{3l}$ ,  $f_{1d}$ ,  $f_{2d}$ ,  $f_{3d}$ ,  $f_{1l}$ ,  $f_{2l}$  и  $f_{3l}$ , које описују утицај бочних страна, идентичне су оним вредностима из експеримента.

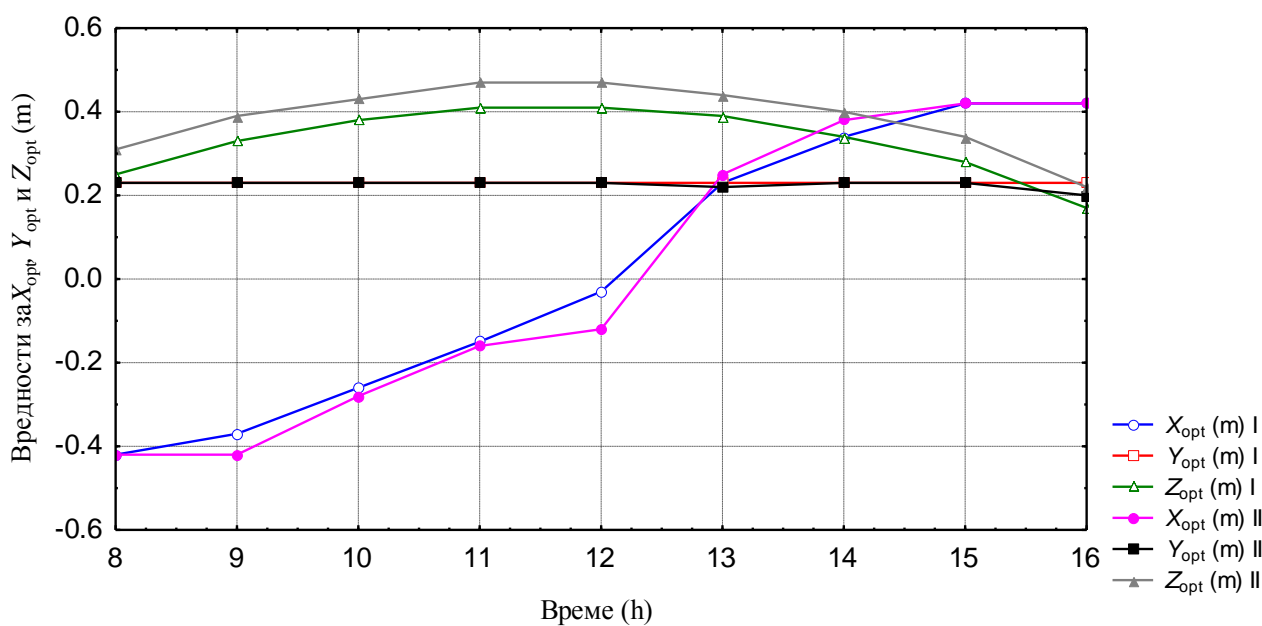
Да би се испитале разлике и сличности између дијаграма оптималних положаја рефлектора првог и другог сценарија израђени су упоредни дијаграми оптималних положаја рефлектора за сваки од три анализирана датума (слике 7.24-7.26).



Слика 7.24 Оптимални положаји рефлектора (2D) током пролећне (јесење) равнодневице за први и други сценарио (21.03.)



Слика 7.25 Оптимални положаји рефлектора (2D) током летње дугодневице за први и други сценарио (22.06.)



Слика 7.26 Оптимални положаји рефлектора (2D) током зимске краткодневице за први и други сценарио (22.12.)

Приказани упоредни дијаграми за први и други сценарио веома су слични. Највеће подударане дијаграма је између дијаграма за параметре  $X_{opt}$  и  $Y_{opt}$ . Супротно, највећа одступања су за дијаграме параметра  $Z_{opt}$ . Веће су вредности за  $Z_{opt}$  код другог у односу на први сценарио. Због тога је веће померање рефлектора код другог сценарија. Што се тиче оптималне путање рефлектора, највећи утицај бочних страна је на положаје рефлектора у правцу нормалном на његову раван. Како су границе за  $X$  и  $Y$  остале непромењене за оба сценарија, закључено је да су последње, редуковане границе опсега најприближније границе опсега годишњег кретања рефлектора.

Иако су оптималне путање кретања рефлектора за први и други сценарио сличне, велика разлика између ових сценарија је та што, за оптималне положаје рефлектора другог сценарија, вредности површина озрачености ДДА, за већи број сати обданице, немају максималну вредност. Као што је већ поменуто, оптималне положаје рефлектора за овај сценарио представљају најближи могући положаји рефлектора пријемнику за које су добијене максимално могуће површине озрачености ДДА. Процентуалне вредности ових површина дате су у табели 7.3. У овој табели приказане су и апсолутне разлике између површина озрачености добијених за први и други сценарио.

**Табела 7.3** Максималне могуће вредности површине  $A_{ozr}$  (%) за први и други сценарио и њихова апсолутна разлика

Време (h)	$A_{ozr}$ I (%)	$A_{ozr}$ I (%)	$A_{ozr}$ I (%)	$A_{ozr}$ II (%)	$A_{ozr}$ II (%)	$A_{ozr}$ II (%)	$A_{ozr}$ I, II (%)	$A_{ozr}$ I, II (%)	$A_{ozr}$ I, II (%)
	21.03.	22.06.	22.12.	21.03.	22.06.	22.12.	21.03.	22.06.	22.12.
6	98.86	100	-	31.29	37.99	-	67.57	62.01	-
7	100	100	-	84.86	80.31	-	15.14	19.69	-
8	100	100	100	93.76	91.82	83.95	6.237	8.178	16.05
9	100	100	100	97.8	97.33	90.73	2.2	2.666	9.265
10	100	100	100	99.92	98.58	94.36	0.078	1.423	5.642
11	70.16	100	100	61.23	97.98	94.88	8.929	2.019	5.124
12	61.85	100	100	50.52	97.9	94.93	11.34	2.096	5.072
13	94.93	100	100	87.78	98.19	94.54	7.143	1.812	5.461
14	100	100	100	100	99.2	93.56	0	0.802	6.444
15	100	100	100	97.44	95.91	88.38	2.562	4.089	11.62
16	100	100	100	90.53	86.65	75.83	9.472	13.35	24.17
17	100	100	-	63.87	58.98	-	36.13	41.02	-

Према подацима из горње табеле, највеће апсолутне процентуалне разлике површина озрачености су при изласку и заласку Сунца. У тим тренуцима вредности угла  $\beta_{ewGa}$  и  $\beta_{nsGa}$  су веома мале. Тако је највећи утицај бочних страна ДОП-а управо у овом периоду. Уколико се изузму подаци за равнодневицу, најмањи утицај бочних страна, током дана, је у периоду око поднева када соларна алтитуда има највећу вредност. Када вредност соларне алтитуде расте, тада је површина озрачености већа, а утицај бочних страна мањи и обрнуто. Ово правило на важи за дане у периоду пролећа и јесени. Током ових дана, у периоду око поднева, апсолутна разлика између површина озрачености није занемарљива. Узрок за то је истовремени утицај упадног угла соларног зрака, чија вредност је веома мала и бочних страна пријемника.

Гледано за читав дан, средње дневне апсолутне разлике површина озрачености, између два сценарија, износе: 13.9 % (равнодневица), 13.26 % (дугодневица) и 9.87 % (краткодневица). С друге стране, када се израчунају средње дневне процентуалне вредности површина  $A_{ozr}$  (други сценарио), добија се: 79.92 % (равнодневица), 86.74 % (дугодневица) и 90.13 % (краткодневица). Ово говори да је највећи утицај упадног угла и бочних страна око пролећа и јесени. О овом утицају више речи биће у једном од наредних поглавља.

После усвајања предлога да се, због једноставности конструкције ПРС-а, опсег кретања рефлектора редукује (нарочито  $Z$  правац), приступило би се пројектовању ове конструкције. Као што је већ објашњено постоје две опције. Према првој опцији рефлектор би имао исте или приближно исте димензије као пријемник и померао би се у сва три могућа правца у оквирима редукованих граница опсега. Код друге опције рефлектор би био

покретан једино у правцу нормалном на његову раван. У том случају, оптималне димензије рефлектора биле би:  $L_r = 1.68 \text{ m}$  и  $W_r = 0.92 \text{ m}$ . Према томе површина рефлектора би требало да буде 4 пута већа од површине апсорбера. Ово је још једна предност предложеног ПРС. У својим радовима, аутор Souka [20, 21, 22] није разматрао одређивање оптималних димензија рефлектора, за које ће ДДА бити у потпуности озрачен. Током експерименталних испитивања, исти аутор користио је рефлекторе чија је укупна површина била 7.58 пута већа од површине апсорбера пријемника. Тако је однос површине рефлектора и површине апсорбера код поменутог аутора за 89 % већи од истог односа предложеног у овој дисертацији. Која од ових опција је прихватљивија зависи од локације и могућности постављања и померања рефлектора.

Експериментална инсталација ПРС-а није могла заузимати годишњи оптимални положај, због тога што је југ-југозападни зид на коме је она инсталирана био једина могућа локација за њено постављање, као и због чињенице да је рефлектор померан мануелно. Угао нагиба и оријентација ПРС-а износе  $36^\circ$  и  $147^\circ$ , респективно. Из истих разлога, максимални опсег кретања рефлектора у оквиру инсталације ПРС-а био је:  $-0.80 \leq X \leq 0.70 \text{ m}$ ,  $-0.2215 \leq Y \leq 0.5785 \text{ m}$  и  $0.1463 \leq Z \leq 0.5963 \text{ m}$ .

## **7.2 Симулације и експериментална верификација математичких модела термичког понашања класичног и двоструко-озраченог соларног пријемника**

Термичко понашање класичног и двоструко-озраченог соларног пријемника описују вредности корисне топлотне снаге ( $Q_k$  и  $Q_d$ ) и термичке ефикасности ( $\eta_k$  и  $\eta_d$ ). Да би се теоријски одредиле горње величине неопходно је претходно израчунати величине  $F_{R,k}$ ,  $F_{R,d}$ ,  $I_k$ ,  $I_d$ ,  $K_{kg}$  и  $K_{dg}$ . Теоријско израчунавање поменутих величина детаљно је описано у поглављима 3, 4 и 5. Формирана су два математичка модела: модел термичког понашања класичног и модел термичког понашања двоструко-озраченог соларног пријемника. Оба модела су софтверски реализована у програмском језику FORTRAN. За спровођење симулација неопходно је познавати вредности величина приказаних у табели 7.4.

**Табела 7.4** Вредности величина неопходних за симулације понашања ДОП-а и КП-а

Географска дужина (Крагујевац) $l_{geo}$ ( $^{\circ}$ )	44.1
Географска ширина (Крагујевац) $\varphi$ ( $^{\circ}$ )	20.54
Угао нагиба пријемника $G$ ( $^{\circ}$ )	36
Орјентација пријемника $\alpha$ ( $^{\circ}$ )	147
Дужина рефлектора $L_r$ (m)	1
Ширина рефлектора $W_r$ (m)	0.5
Коефицијент рефлексије рефлектора $\rho$ (-)	0.9
Дужина апсорбера пријемника $L_k$ (m)	0.840
Ширина апсорбера пријемника $W_k$ (m)	0.460
Дебљина апсорбера пријемника $\delta_a$ (m)	0.002
Дебљина ваздушног слоја између апсорбера и застакљења $L_{kv}$ (m) (КП)	0.035
Дебљина ваздушног слоја између апсорбера и застакљења $L_{dv}$ (m) (ДОП)	0.048
Коефицијент емисије апсорбера $\varepsilon_a$ (-)	0.9
Коефицијент апсорпције апсорбера $\alpha$ (-)	0.9
Коефицијент емисије застакљења $\varepsilon_{gz}, \varepsilon_{dz}$ (-)	0.95
Коефицијент топлотне проводљивости апсорбера пријемника $k_a$ (W/mK)	203
Коефицијент топлотне проводљивости изолације пријемника $k_i$ (W/mK)	0.041
Дебљина изолације пријемника (m)	0.032
Растојање између суседних цеви апсорбера пријемника (m)	0.092
Унутрашњи пречник цеви апсорбера пријемника (m)	0.015

За потребе верификације теоријских модела спроведена су експериментална испитивања соларних пријемника током месеца августа, септембра и октобра 2012. године. У наредним одељцима приказани су и анализирани експериментални и теоријски резултати за пет одабраних датума: 08.08., 20.08., 04.09., 09.09. и 04.10.. Резултати мерења за ове датуме дати су у Прилогу А. Осим података приказаних у табели 7.4 за потврду теоријских модела употребљени су и експериментални подаци везани за параметре:  $m_k, m_d, T_{k,u}, T_{d,u}, T_o, H^p, T_{k,fm}, T_{d,fm}$  и  $V_{vetra}$ . Вредности величина  $T_{k,fm}$  и  $T_{d,fm}$  добијене су као аритметичка средина величина  $T_{k,u}$  и  $T_{k,i}$ , односно  $T_{d,u}$  и  $T_{d,i}$ . Истовремено, за потребе прорачуна неопходно је унети и вредност величина  $T_{ka}$  ( $T_{da}$ ) и  $T_{kgz}$  ( $T_{dgz}, T_{ddz}$ ). Њихове претпостављене вредности биле су за  $3.7^{\circ}\text{C}$  ( $5.7^{\circ}\text{C}$ ) односно  $3^{\circ}\text{C}$  ( $5^{\circ}\text{C}$ ) веће у односу на вредност величине  $T_{k,fm}$  ( $T_{d,fm}$ ) у датом тренутку, респективно.

### 7.2.1 Симулације и експериментална верификација математичког модела термичког понашања класичног соларног пријемника

У овом одељку представљени су и упоређени експериментални и теоријски резултати термичког понашања КП-а. Добијене теоријске вредности величина  $F_{R,k}, I_k, K_{kg}$  и  $Q_k$  за све анализирани датуме и временски интервал од 15 min дате су у Прилогу Б (табеле Б.1-Б.5). У истим табелама приказани су и резултати измерене корисне топлотне снаге означене са  $Q_{k,e}$ . Теоријска корисна топлотна снага означена је са  $Q_{k,t}$ .

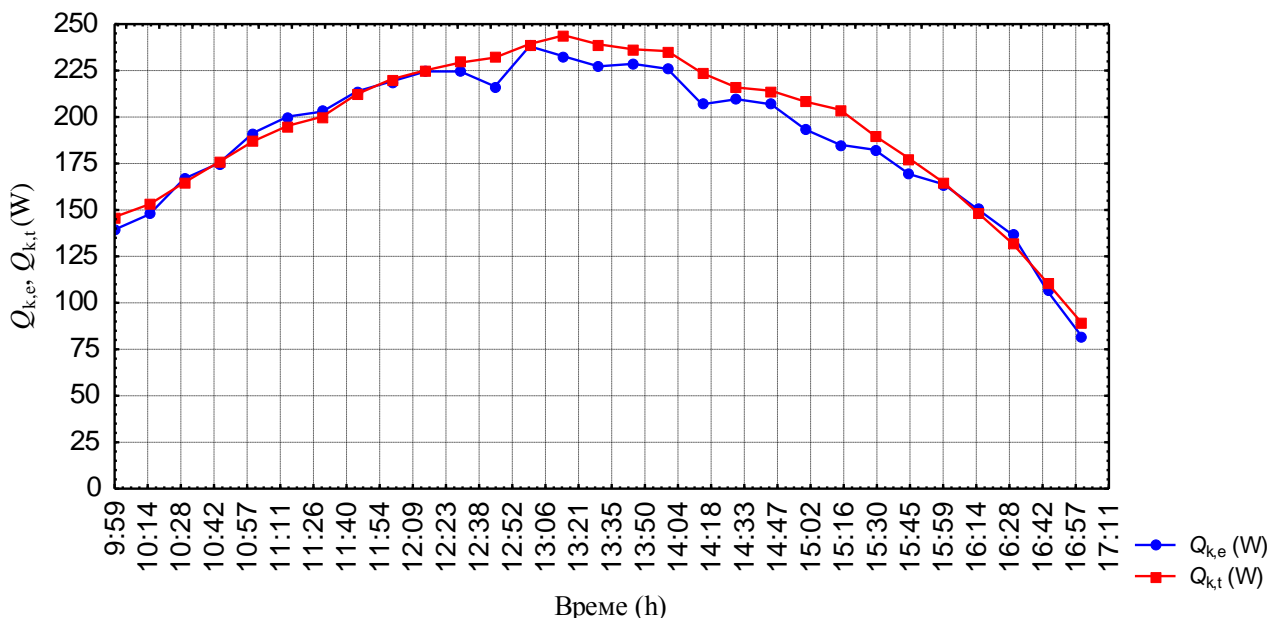
Као што је већ поменуто у поглављу 4, због непостојања изолације на бочним површинама пријемника и немогућности занемаривања величине њихових површина у односу на величину површине апсорбера, топлотни губици са бочних површина пријемника се морају узети у обзир. Један од параметара који описује вредност ових губитака је коефицијент  $K_{k,gb}$  ( $K_{d,gb}$ ). Вредност овог коефицијента одређена је на основу добијених експерименталних података о укупним топлотним губицима пријемника. Наиме, прво су

одређене вредности коефицијената  $K_{k_{gg}}$  ( $K_{d_{gg}}$ ) и  $K_{k_{gd}}$  ( $K_{d_{gd}}$ ) коришћењем теоријског модела. Затим је помоћу истог модела одређена и вредност коефицијента  $K_{k_g}$  ( $K_{d_g}$ ), за коју теоријски укупни топлотни губици приближно одговарају топлотним губицима добијеним у експерименту. Примећено је да вредност коефицијента  $K_{k_g}$  ( $K_{d_g}$ ), а самим тим и коефицијента  $K_{k_{gb}}$  ( $K_{d_{gb}}$ ) расте са порастом разлике средње температуре флуида ( $T_{k,fm}$  ( $T_{d,fm}$ )) и температуре околине ( $T_o$ ). На основу добијених вредности параметра  $K_{k_{gb}}$  ( $K_{d_{gb}}$ ), за све дане испитивања соларних пријемника, одређена је општа једначина за њихово израчунавање. Једначина за израчунавање коефицијента  $K_{k_{gb}}$  ( $W/m^2K$ ) дата је испод (једначина (7.1)) док је једначина за израчунавање коефицијента  $K_{d_{gb}}$  ( $W/m^2K$ ) дата у наредном одељку (једначина (7.2)):

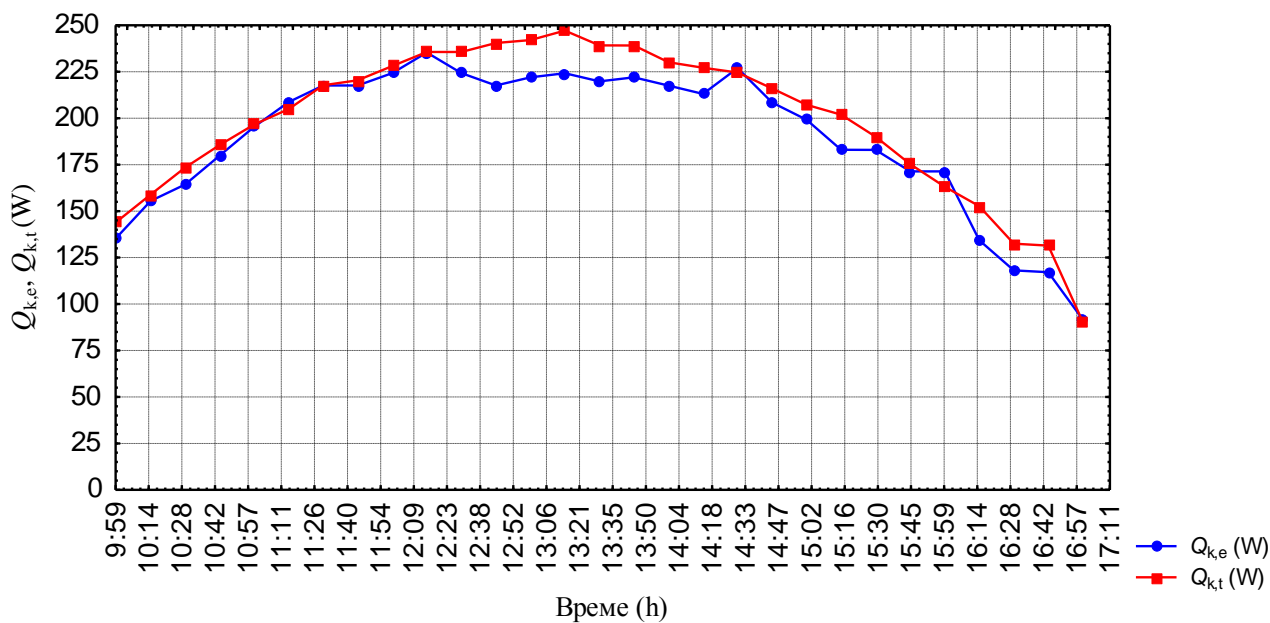
$$K_{k_{gb}} = 0.551724 \cdot (T_{k,fm} - T_o) - 3.2541. \quad (7.1)$$

Обе поменуте једначине (7.1) и (7.2) укључене су у математичке моделе термичког понашања КП-а и ДОП-а. Уколико би разлика температура ( $T_{k,fm} - T_o$ ) износила 5.9 К била би усвојена вредност коефицијента  $K_{k_{gb}}$  од 0.5  $W/m^2K$ .

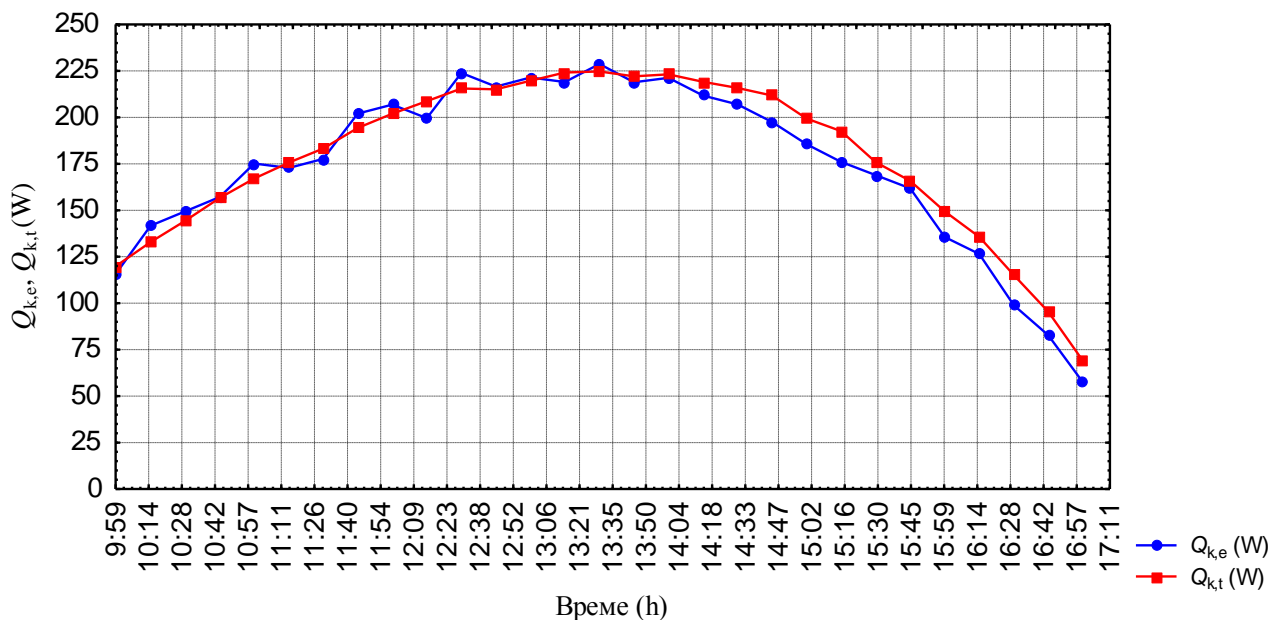
На сликама 7.27-7.31 приказани су упоредни дијаграми експерименталних и теоријских корисних топлотних снага КП-а за све анализираних датуме.



Слика 7.27 Експериментална ( $Q_{k,e}$ ) и теоријска ( $Q_{k,t}$ ) корисна топлотна снага КП-а за 08. август 2012.

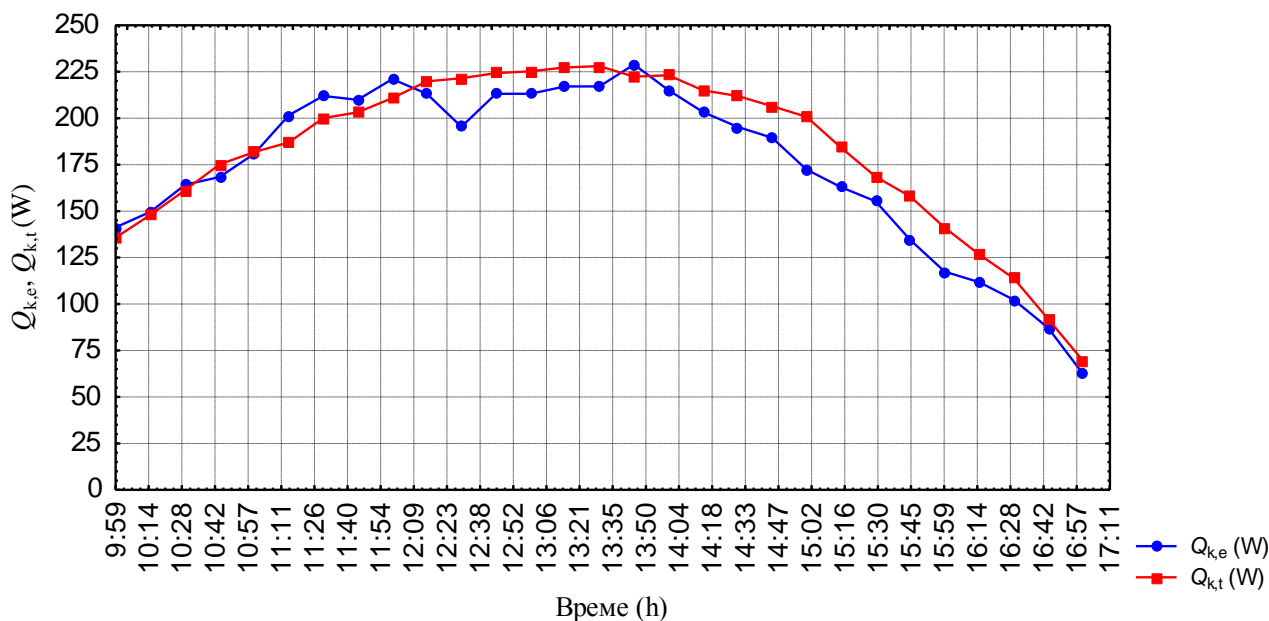


Слика 7.28 Експериментална ( $Q_{k,e}$ ) и теоријска ( $Q_{k,t}$ ) корисна топлотна снага КП-а за 20. август 2012.

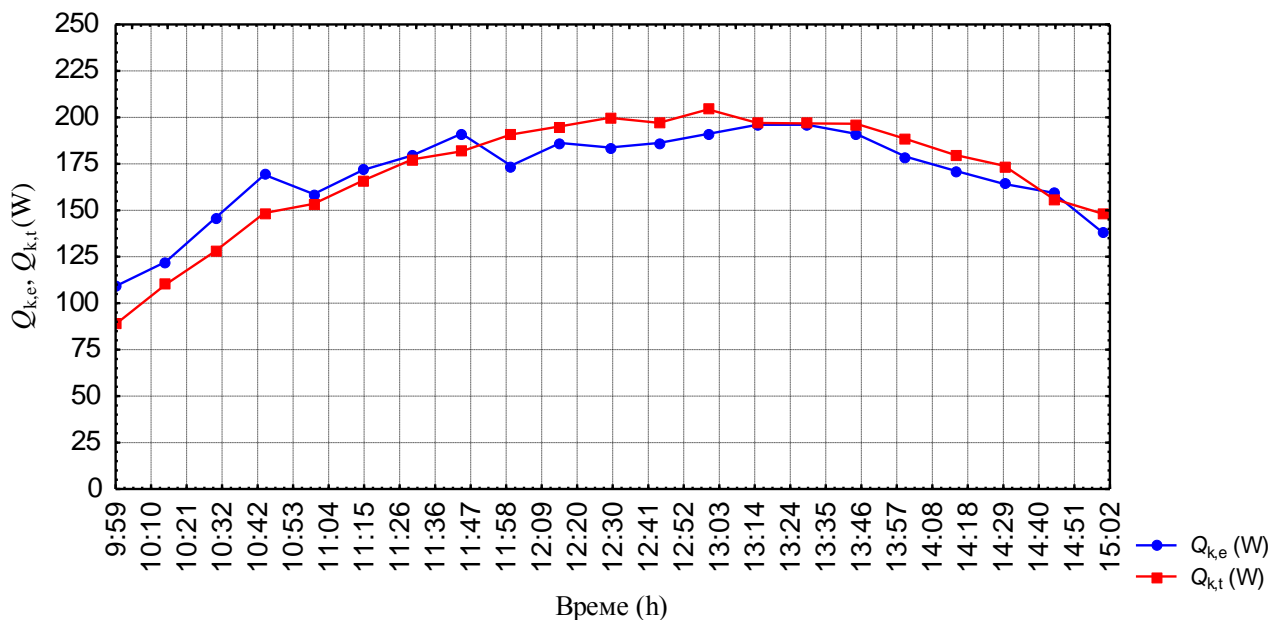


Слика 7.29 Експериментална ( $Q_{k,e}$ ) и теоријска ( $Q_{k,t}$ ) корисна топлотна снага КП-а за 04. септембар 2012.





Слика 7.30 Експериментална ( $Q_{k,e}$ ) и теоријска ( $Q_{k,t}$ ) корисна топлотна снага КП-а за 09. септембар 2012.



Слика 7.31 Експериментална ( $Q_{k,e}$ ) и теоријска ( $Q_{k,t}$ ) корисна топлотна снага КП-а за 04. октобар 2012.

Са дијаграма на сликама 7.27-7.31 се може приметити сличност између кривих експерименталне и теоријске корисне топлотне снаге КП-а и кривих соларног зрачења дозраченог на хоризонталну површину. Током дана, највећа вредност снаге КП-а забележена је у периоду око поднева. Најмања вредност исте снаге била је на крају мерења, осим за 04.10.. Тог дана, испитивање пријемника је трајало краће због осенчености ПРС-а од стране суседних објеката.

Добијене вредности за  $Q_{k,e}$  и  $Q_{k,t}$  су упоређене након чега су израчуната њихова међусобна одступања. Вредности одступања или релативне грешке дате су у табелама Б.1-Б.5. Минимална и максимална одступања износе: 0.29-9.24 % (08.08.), 0.05-12.01 % (20.08.), 0.33-16.75 % (04.09.), 0.51-16.78 % (09.09.) и 0.35-22.75 % (04.10.). С друге стране, средње вредности ових одступања за анализиране датуме су: 3.46 % (08.08.), 4.99 % (20.08.), 4.90 % (04.09.), 6.83 % (09.09.) и 6.48 % (04.10.). Одступања су последица пролазних утицајних фактора као што су: замућење атмосфере, присуство прашине на застакљењу пријемника, минималне варијације протока радног флуида и промена брзине ветра. Како је износ израчунатих одступања вредности експерименталне и теоријске корисне топлотне снаге релативно мали закључује се да је математички модел термичког понашања КП-а експериментално потврђен.

### 7.2.2 Симулације и експериментална верификација математичког модела термичког понашања двоструко-озраченог соларног пријемника

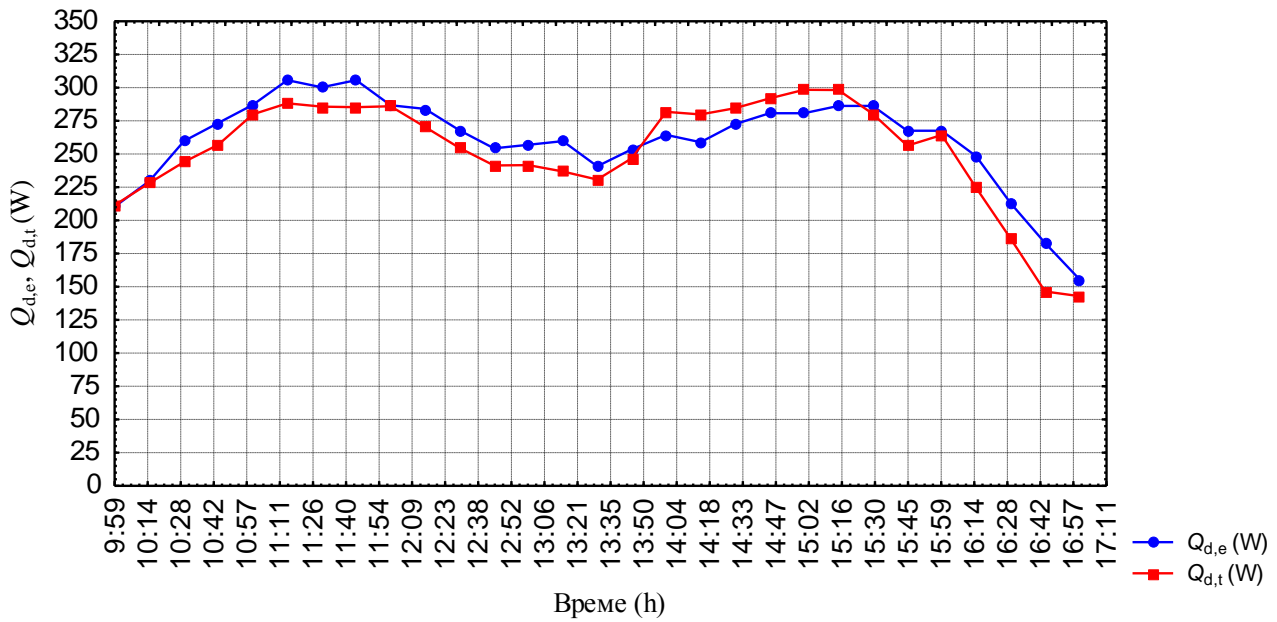
Експериментални и теоријски резултати термичког понашања ДОП-а приказани су и упоређени у овом одељку. Теоријске вредности величина  $A_{ozr,t}$ ,  $F_{R,d}$ ,  $I_d$ ,  $K_{dg}$ ,  $Q_d$  и производа величина  $A_r$  и  $F_{rp}$  ( $A_r \cdot F_{rp}$ ) за све анализиране датуме и временски интервал од 15 min дате су у Прилогу Б (табеле Б.6-Б.12). У табелама Б.6-Б.10 су дате и вредности експерименталне ( $Q_{d,e}$ ) и теоријске ( $Q_{d,t}$ ) корисне топлотне снаге као и вредности њиховог међусобног одступања.

Из истих разлога као код КП-а и код овог соларног пријемника није било могуће занемарити вредност топлотних губитака са његових бочних површина. Одређивање вредности коефицијента  $K_{dgb}$  ( $W/m^2K$ ) описано је у претходном одељку. Једначина којом се израчунава вредност поменутог коефицијента приказана је испод:

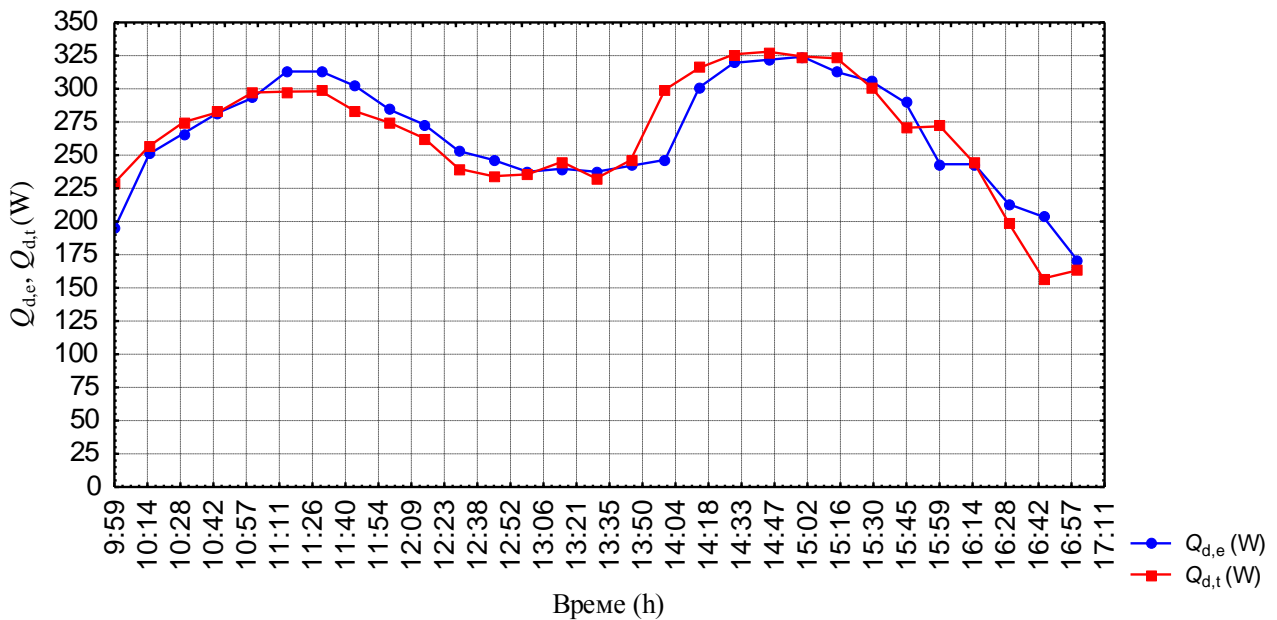
$$K_{dgb} = 0.511644 \cdot (T_{d,fin} - T_o) - 3.6312. \quad (7.2)$$

Уколико би разлика температура ( $T_{d,fin} - T_o$ ) износила 7.1 К била би усвојена вредност коефицијента  $K_{dgb}$  од  $0.5 W/m^2K$ .

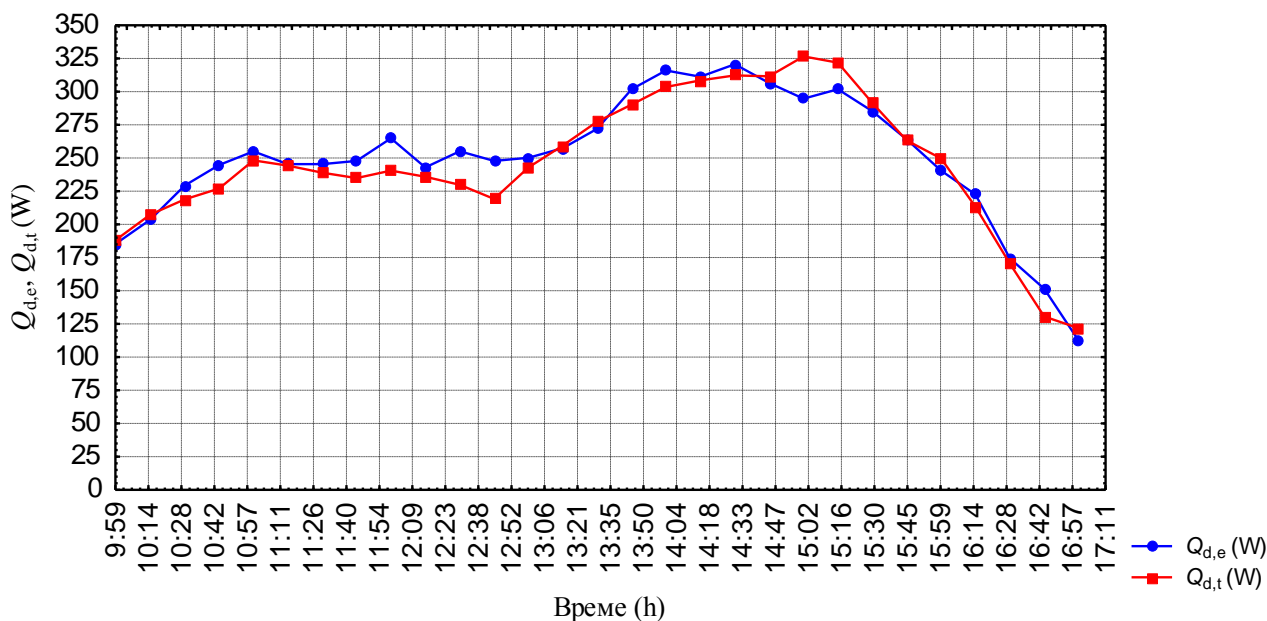
На сликама 7.32-7.36 приказани су упоредни дијаграми експерименталних и теоријских корисних топлотних снага ДОП-а за све анализиране датуме.



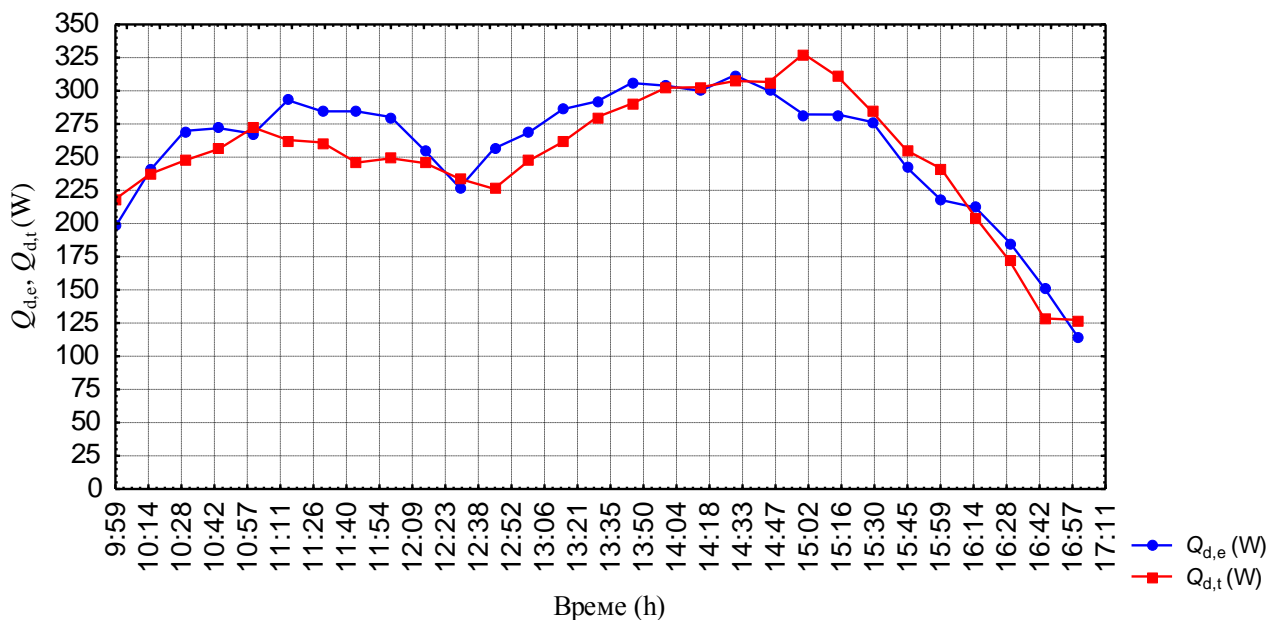
Слика 7.32 Експериментална ( $Q_{d,e}$ ) и теоријска ( $Q_{d,t}$ ) корисна топлотна снага ДОП-а за 08. август 2012.



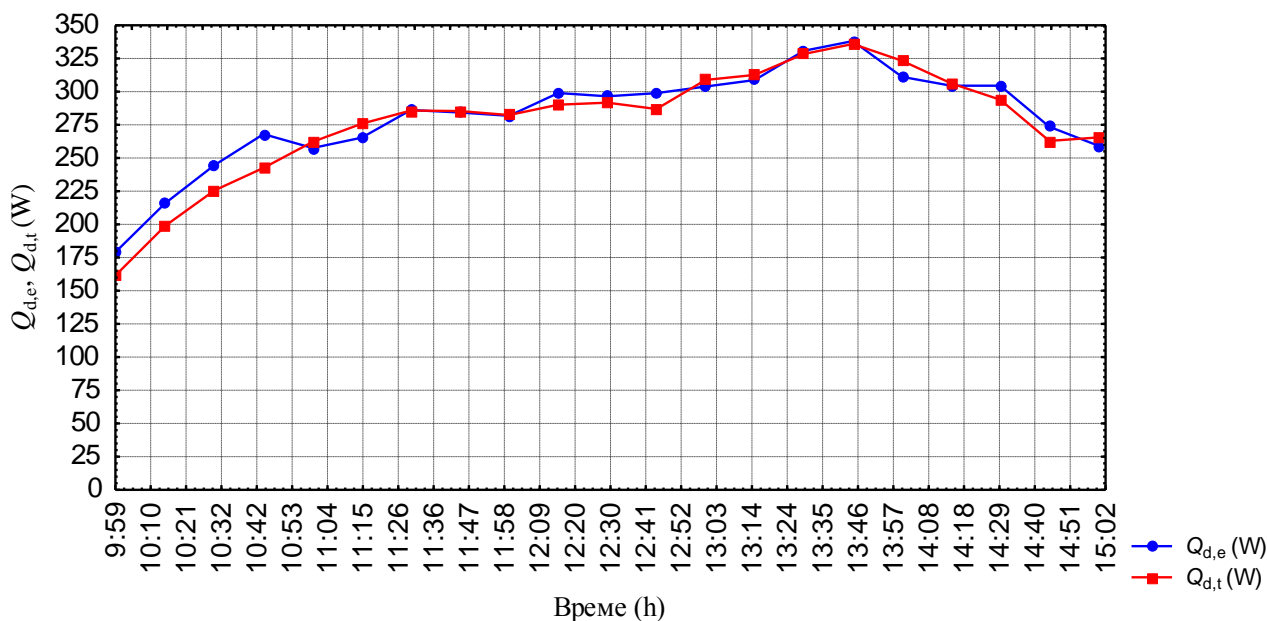
Слика 7.33 Експериментална ( $Q_{d,e}$ ) и теоријска ( $Q_{d,t}$ ) корисна топлотна снага ДОП-а за 20. август 2012.



Слика 7.34 Експериментална ( $Q_{d,e}$ ) и теоријска ( $Q_{d,t}$ ) корисна топлотна снага ДОП-а за 04. септембар 2012.



Слика 7.35 Експериментална ( $Q_{d,e}$ ) и теоријска ( $Q_{d,t}$ ) корисна топлотна снага ДОП-а за 09. септембар 2012.



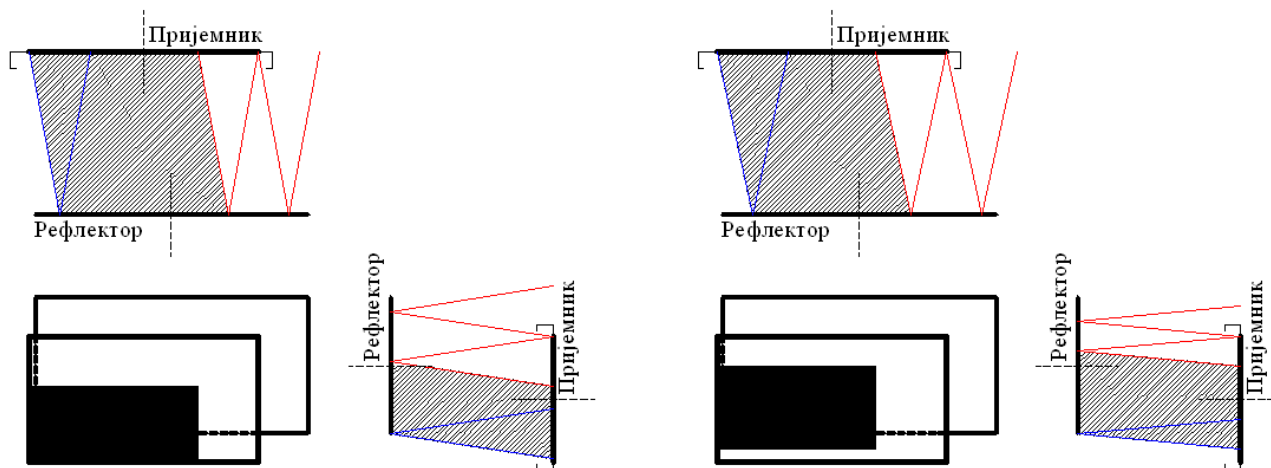
**Слика 7.36** Експериментална ( $Q_{d,e}$ ) и теоријска ( $Q_{d,t}$ ) корисна топлотна снага ДОП-а за 04. октобар 2012.

Минимална и максимална одступања вредности за  $Q_{d,e}$  и  $Q_{d,t}$  износе: 0.27-24.92 % (08.08.), 0.03-29.62 % (20.08.), 0.31-15.97 % (04.09.), 0.51-17.84 % (09.09.) и 0.1-10.83 % (04.10.). Средње вредности ових одступања за анализиране датуме су: 5.93 % (08.08.), 5.30 % (20.08.), 4.68 % (04.09.), 7.23 % (09.09.) и 3.43 % (04.10.). Највећа одступања се јављају у последњем сату мерења због појаве прелазног ефекта о чему ће бити речи у одељку који следи. Примећује се да су у периоду око поднева, за све датуме, вредности експерименталне снаге  $Q_{d,e}$  нешто веће од вредности теоријске снаге  $Q_{d,t}$ . Претпоставља се да је узрок томе утицај рефлектованог рефлектованог соларног зрачења са апсорбера и стакла, као и рефлектованих топлотних губитака услед зрачења са доњег дела апсорбера (доњег застакљења). У периоду око поднева упадни угао соларних зрака био је веома мали и рефлектор је био подвучен испод пријемника.

Познато је да апсорбер соларног пријемника не апсорбује у потпуности долазно соларно зрачење. Један мали део тог зрачења се рефлектује са његове површине. Код испитиваних соларних пријемника коефицијент апсорпције апсорбера износи 0.9. Када је у питању стакло, сматра се да оно пропушта видљиви део спектра у просечном износу од 90 %. Остали део зрачења стакло било апсорбује или рефлектује. Како би се представио утицај рефлектованог рефлектованог соларног зрачења са апсорбера и стакла формиран су дијаграми приказани на сликама 7.37 и 7.38. На сликама су приказане површине озрачености ДДА, означене црном бојом, коју образују соларни зраци рефлектовани са апсорбера (стакла). Површине су одређене под претпоставком да је рефлексија са рефлектора и апсорбера спекуларна. Црвеном бојом су означени први, а плавом бојом последњи соларни зраци који након рефлексије са апсорбера, а потом и рефлектора, поново падају на ДДА.

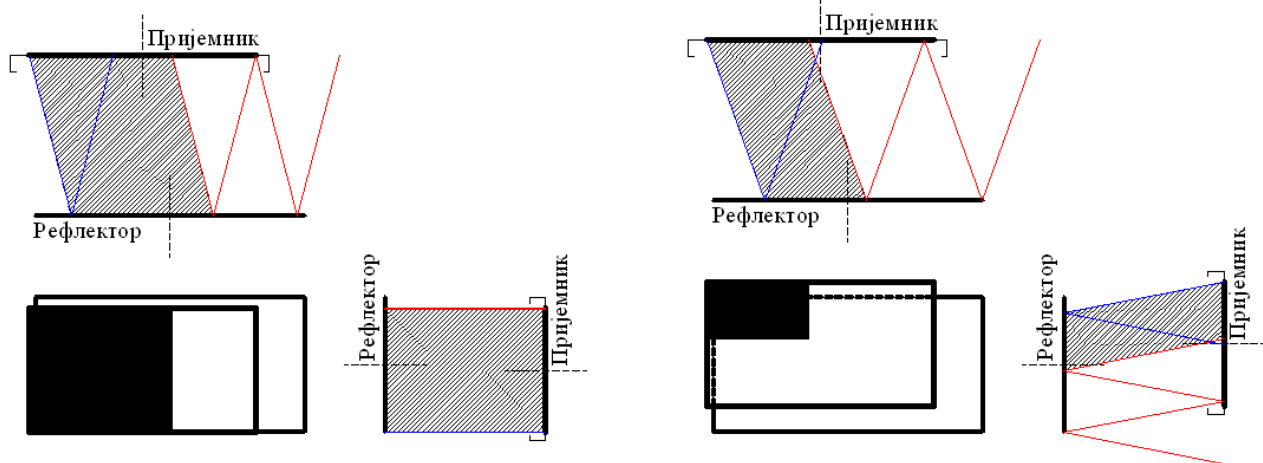
08.08.2012.

20.08.2012.



04.09.2012. (09.09.2012.)

04.10.2012.

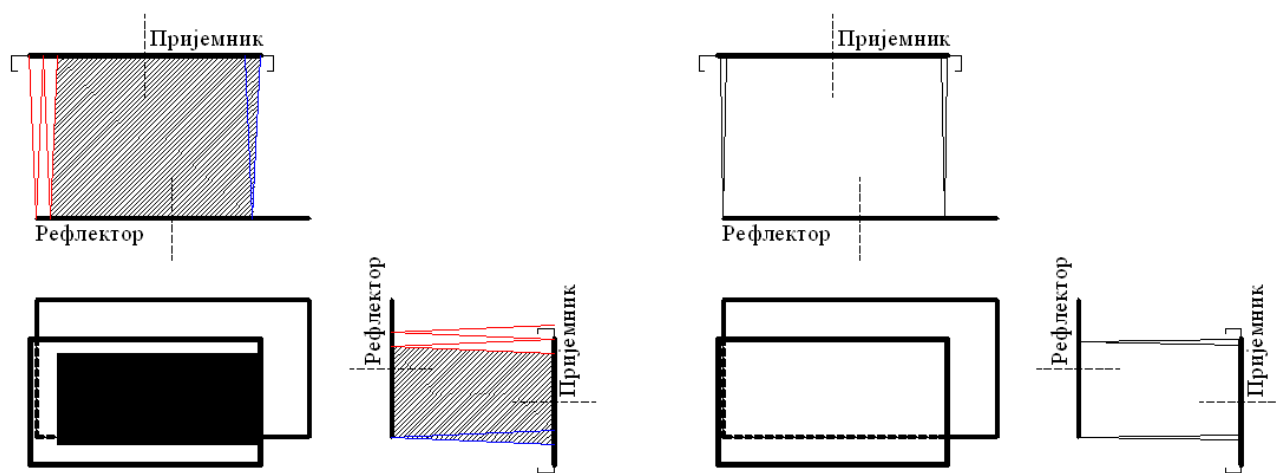


Слика 7.37 Површине озрачености ДДА коју образују соларни зраци рефлектовани са апсорбера у 12:00 h за све анализирани датуме

На слици 7.37 су приказане поменуте површине озрачености ДДА добијене за 12:00 h за све анализирани датуме. Треба истаћи да површине нису одређене за датум 09.09.. Усвојено је да су оне идентичне као за 04.09. због занемарљиво мале промене положаја Сунца. Највећа вредност површине добијена је управо за 04.09. (09.09.). С друге стране, најмања вредност исте површине добијена је за 04.10.. То потврђују експериментални дијаграми 7.32-7.36. У октобру је површина озрачености мања због већег упадног угла соларних зрака као последица нижег положаја Сунца. Што су мање вредности соларне алтитуде мања је могућност да соларни зрак, рефлектован са рефлектора, а затим и апсорбера, поново падне на ДДА. Мањи је број рефлексија соларних зрака са апсорбера и рефлектора. Када је у питању стакло (застакљење), његова пропустљивост зрачења опада са смањењем вредности соларне алтитуде.

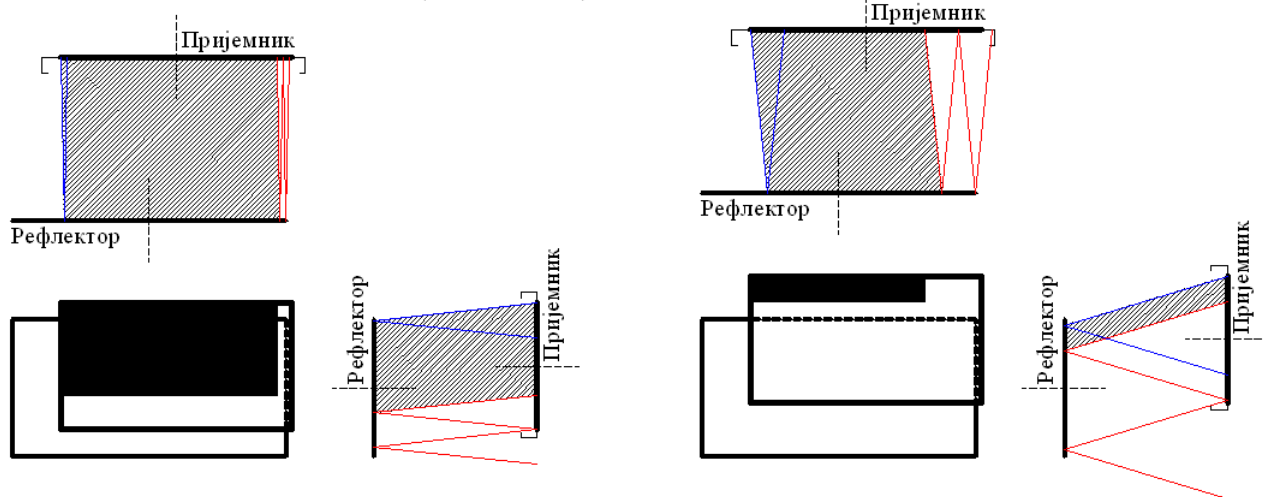
08.08.2012.

20.08.2012.



04.09.2012. (09.09.2012.)

04.10.2012.



**Слика 7.38** Површине озрачености ДДА коју образују соларни зраци рефлектовани са апсорбера у 13:00 h за све анализиране датуме

Површине озрачености ДДА добијене за 13:00 h за све анализиране датуме дате су на слици 7.38. И за овај сат највећа вредност површине добијена је за датум 04.09. (09.09.). Минимална вредност површине озрачености добијена је за 20.08.. Због подвучености рефлектора испод пријемника и високог положаја Сунца, соларни зраци, рефлектовани са рефлектора, нису могли да образују поменуту површину. Веома мали утицај рефлектованог рефлектованог соларног зрачења са апсорбера био је и током 04.10., што потврђују експериментални дијаграми 7.32-7.36.

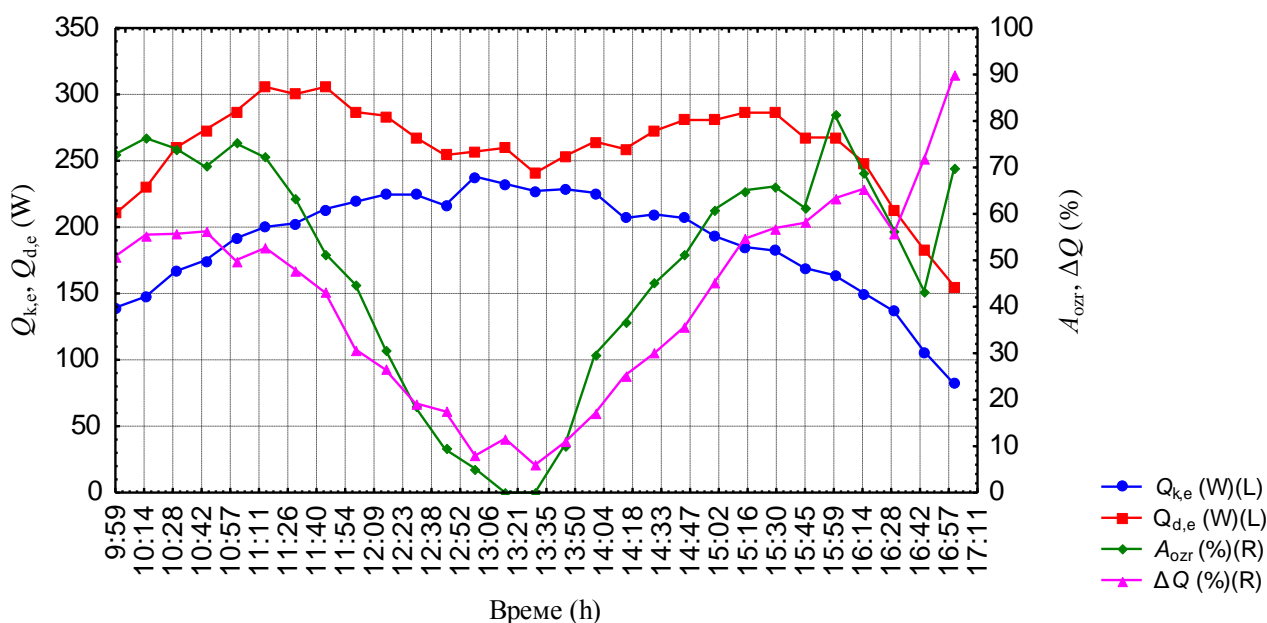
Осим претходно наведених утицаја, на одступања вредности за  $Q_{d,e}$  и  $Q_{d,t}$  утицали су и: нечистоћа атмосфере, појава прашине на застакљењима пријемника, мале промене протока и брзине ветра, неиделна рефлексија соларног зрачења са рефлектора и неиделна паралелност рефлектора у односу на пријемник. Веома је компликовано теоријски дефинисати на који начин и у ком износу поменути утицајни фактори утичу на вредност снаге било ДОП-а или КП-а. Како је и код ДОП-а износ израчунатих одступања вредности експерименталне и теоријске корисне топлотне снаге релативно мали закључује се да је и математички модел термичког понашања ДОП-а експериментално потврђен.

### 7.2.3 Поређење класичног и двоструко-озраченог соларног пријемника

Испитивани соларни пријемници поредили су се тако што су се поредиле и анализирале вредности њихових корисних топлотних снага, средњих температура флуида и термичких ефикасности. За ову сврху уведене су величине које дефинишу процентуалну разлику топлотних снага и укупно апсорбованог зрачења. Једначине, којима се израчунавају наведене величине су респективно:  $\Delta Q = (Q_{d,e} - Q_{k,e}) / Q_{k,e} \cdot 100$  и  $\Delta I = (I_d - I_k) / I_k \cdot 100$ .

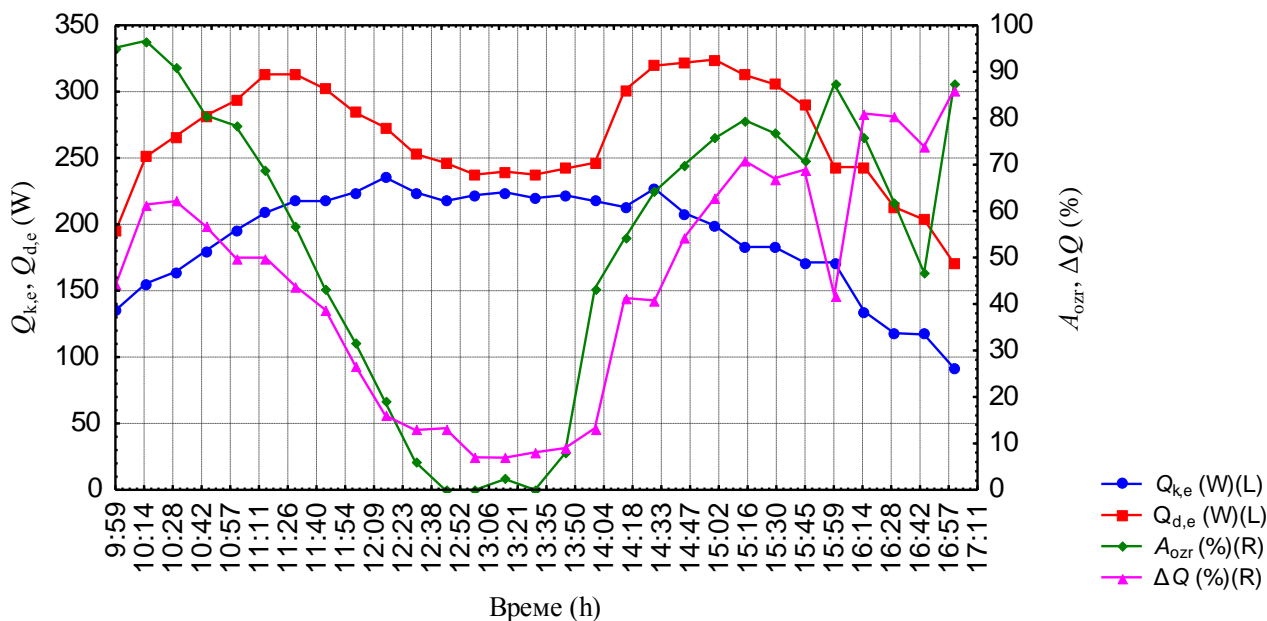
#### 7.2.3.1 Корисна топлотна снага

На сликама 7.39-7.43 приказани су експериментални дијаграми корисне топлотне снаге за КП и ДОП ( $Q_{k,e}$  и  $Q_{d,e}$ ) у функцији времена, за временски интервал од 15 min. Вредности поменутих снага дате су у Прилогу А у табелама А.1-А.10. На истим сликама дате су и процентуалне разлике топлотних снага и вредности површине озрачености ДДА у %.

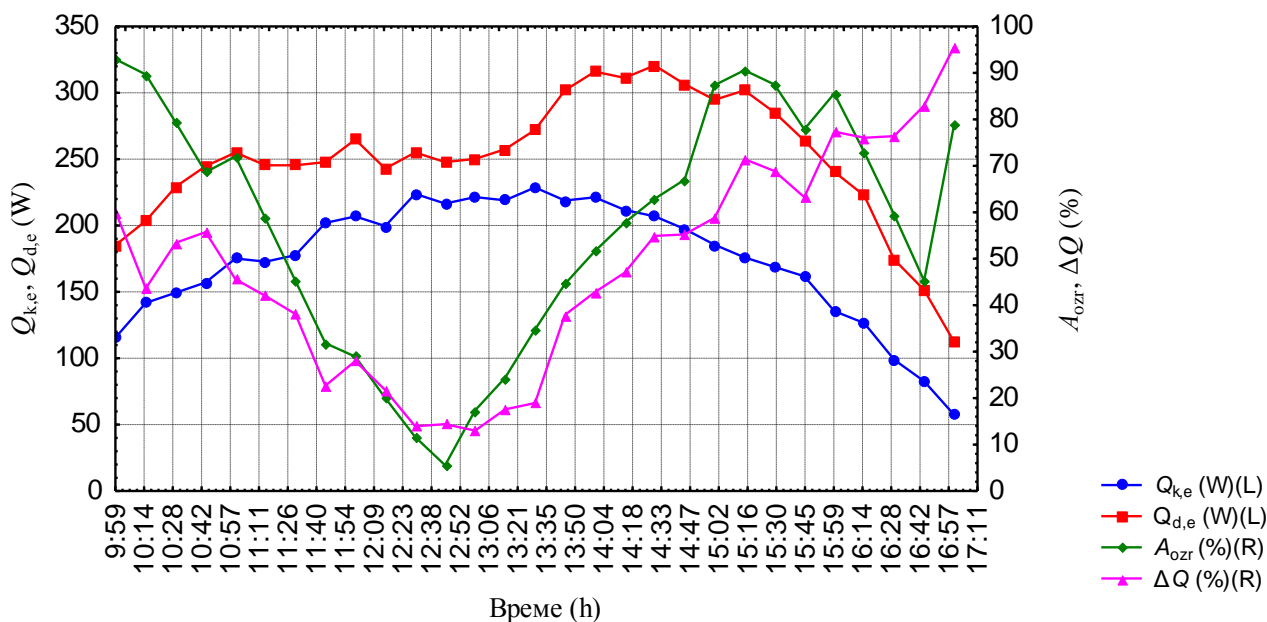


Слика 7.39 Експерименталне корисне топлотне снаге  $Q_{k,e}$  и  $Q_{d,e}$ , њихова процентуална разлика  $\Delta Q$  и површина озрачености ДДА  $A_{ozr}$  у функцији времена за 08. август 2012.

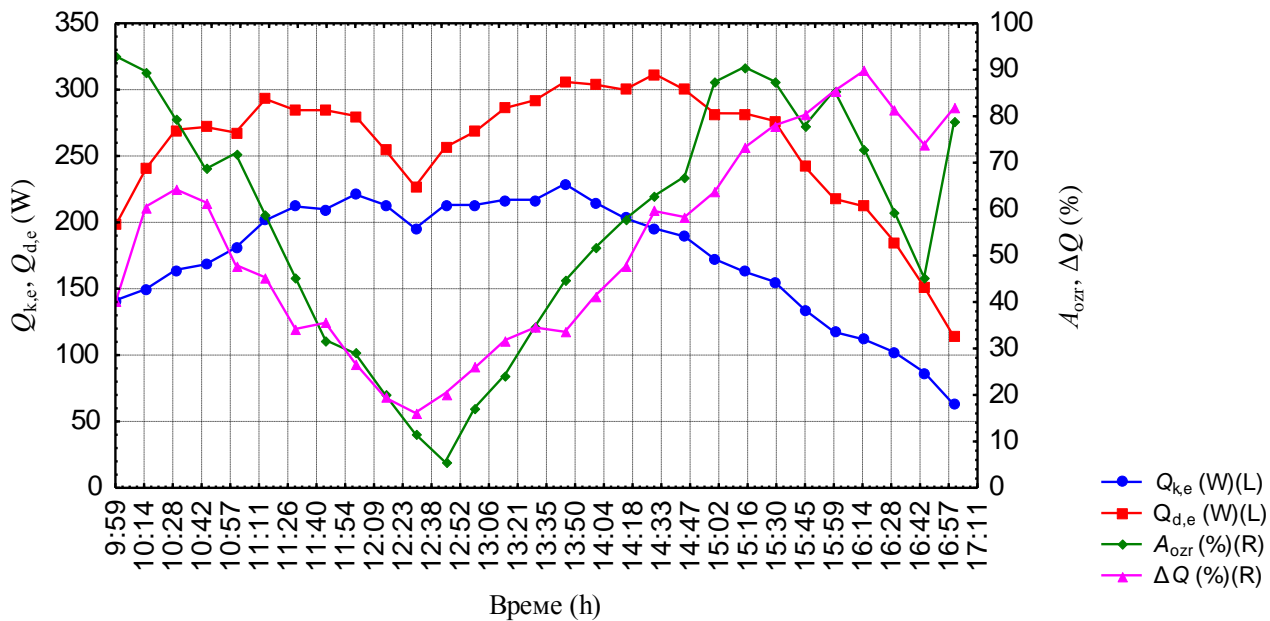




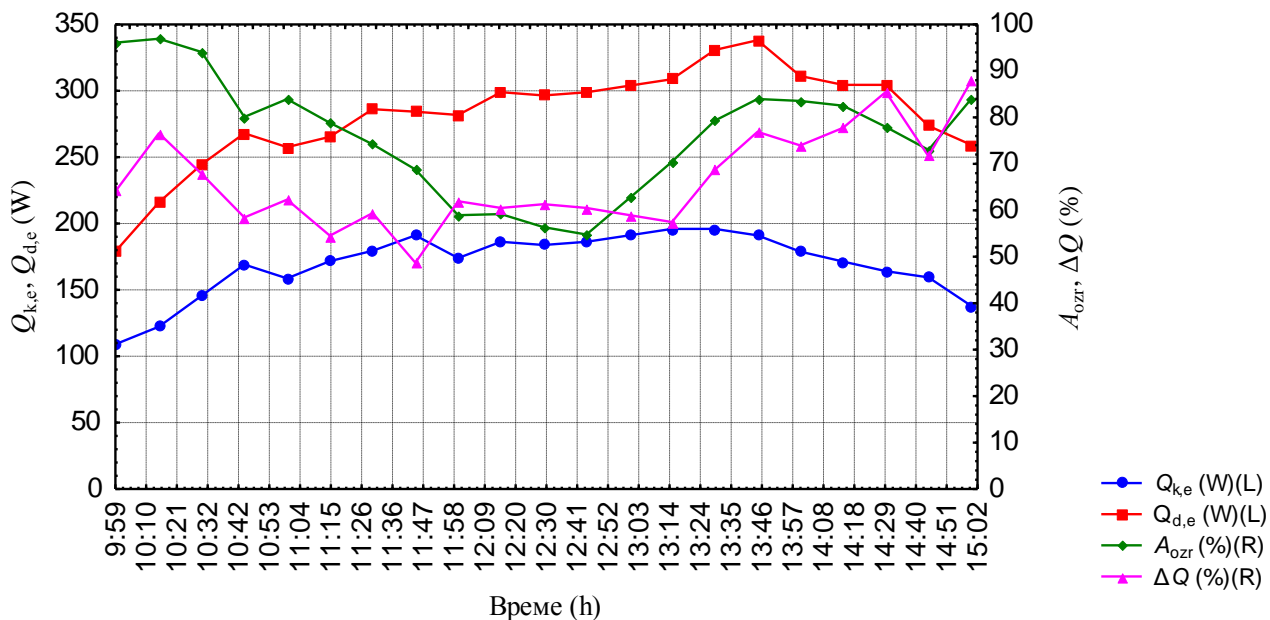
Слика 7.40 Експерименталне корисне топлотне снаге  $Q_{k,e}$  и  $Q_{d,e}$ , њихова процентуална разлика  $\Delta Q$  и површина озрачености ДДА  $A_{ozr}$  у функцији времена за 20. август 2012.



Слика 7.41 Експерименталне корисне топлотне снаге  $Q_{k,e}$  и  $Q_{d,e}$ , њихова процентуална разлика  $\Delta Q$  и површина озрачености ДДА  $A_{ozr}$  у функцији времена за 04. септембар 2012.



Слика 7.42 Експерименталне корисне топлотне снаге  $Q_{k,e}$  и  $Q_{d,e}$ , њихова процентуална разлика  $\Delta Q$  и површина озрачености ДДА  $A_{ozr}$  у функцији времена за 09. септембар 2012.



Слика 7.43 Експерименталне корисне топлотне снаге  $Q_{k,e}$  и  $Q_{d,e}$ , њихова процентуална разлика  $\Delta Q$  и површина озрачености ДДА  $A_{ozr}$  у функцији времена за 04. октобар 2012.

Велики утицај на вредност корисних топлотних снага  $Q_{k,e}$  и  $Q_{d,e}$  има укупно апсорбовано зрачење  $I_k$  и  $I_d$ . Познато је да осим интензитета дозраченог соларног зрачења, на њихову вредност утиче и површина апсорпције тог зрачења. Вредност зрачења  $I_d$ , у односу на  $I_k$ , већа је за износ зрачења апсорбованог доњим делом апсорбера ДОП-а. Највећи утицај на износ овог зрачења има вредност површине озрачености  $A_{ozr}$ . На сликама 7.39-7.43 се види да дијаграми топлотне снаге  $Q_{d,e}$  и процентуалне разлике  $\Delta Q$  добро кореспондирају са дијаграмом површине  $A_{ozr}$ . Скокови и падови вредности површине  $A_{ozr}$  постоје због чињенице да се рефлектор померао на сваких сат времена трајања испитивања. Вредности процентуалне разлике  $\Delta Q$ , за анализирани датум, дате су у прилогу Б (табела Б.13). Гледано за све датуме, најмања разлика  $\Delta Q$ , током дана, била је око поднева када је озраченост ДДА ДОП-а била најмања. Највећа апсолутна разлика снага, за овај период дана, била је 04.10.. Тог дана, у том периоду, просечна озраченост ДДА била је око 66 % за разлику од осталих датума када се кретала у опсегу од 12-24 %. Највећа процентуална разлика између  $Q_{d,e}$  и  $Q_{k,e}$  била је у преподневним и послеподневним сатима, када је озраченост ДДА била највећа. То су периоди 10:00-11:30 h и 15:00-17:00 h (13:00-15:00 h за 04.10.). Средња вредност површине озрачености и процентуалне разлике снага за наведене временске интервале као и за читав дан дате су у табели 7.5.

**Табела 7.5** Средња вредност површине  $A_{ozr}$  (%) и средња вредност разлике топлотних снага  $\Delta Q$  (%) за временске интервале максимално постигнуте озрачености и за цео дан

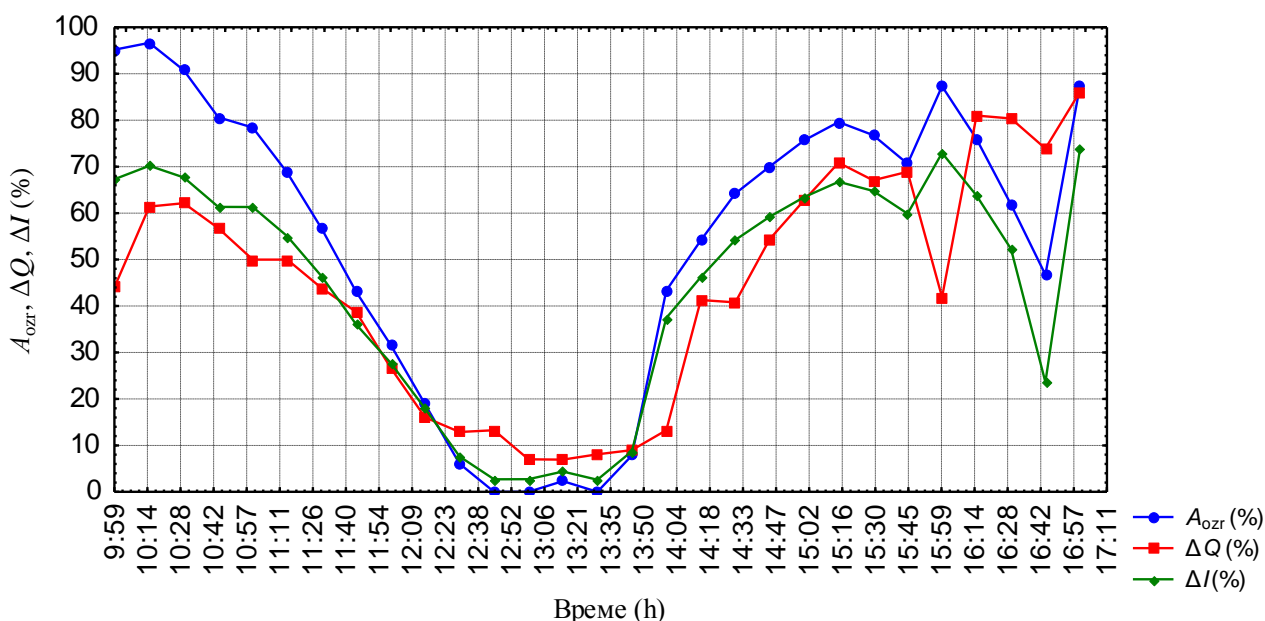
$A_{ozr}$ (%)	<b>08.08.</b>	<b>20.08.</b>	<b>04.09.</b>	<b>09.09.</b>	<b>04.10.</b>
10:00-11:30 h	72.01	81.00	72.35	72.35	86.31
15:00-17:00 h (13:00-15:00 h)	63.69	73.53	76.15	76.15	77.48
Цео дан	48.63	54.15	56.90	56.90	76.17
$\Delta Q$ (%)	<b>08.08.</b>	<b>20.08.</b>	<b>04.09.</b>	<b>09.09.</b>	<b>04.10.</b>
10:00-11:30 h	52.73	52.63	48.35	50.57	63.34
15:00-17:00 h (13:00-15:00 h)	62.38	70.32	74.54	78.63	73.20
Цео дан	41.79	44.47	48.19	52.16	66.44

Према подацима из горње табеле, за временске интервале 10:00-11:30 h и 15:00-17:00 h, средња вредност разлике  $\Delta Q$  креће се у опсегу од 48.35-63.34 % и 62.38-78.63 %, респективно. Озраченост ДДА током ових периода износи 72.01-86.31 % и 63.69-77.48 %, респективно. Средња дневна вредност озрачености и средња дневна разлика снага, за анализирани датум, имају вредности у оквиру граница 48.63-76.17 % и 41.79-66.44 %.

Тешко је поредити вредности процентуалних разлика снага по датумима јер су се разликовали услови испитивања. Различите су биле вредности улазне температуре воде у пријемнике, температуре околине, масених протока воде кроз пријемнике као и време трајања испитивања. Анализирајући резултате, приказане на дијаграмима и у табели 7.5, уочава се да је процентуална разлика снага у послеподневном интервалу већа од оне у преподневном интервалу, иако је озраченост ДДА мања. Ово се објашњава тиме да је процентуална разлика укупно апсорбованог зрачења  $\Delta I$  већа послеподне због мањег износа дифузног зрачења у укупно апсорбованом зрачењу. Подсећања ради, према предложеном теоријском моделу величина  $A_{ozr}$  је везана за рефлектовано директно соларно зрачење. Другим речима, за конкретну вредност површине  $A_{ozr}$  разлика  $\Delta I$  ће бити већа уколико је удео директног зрачења у укупно апсорбованом зрачењу већи и обрнуто. Повећање разлике снага при крају мерења се објашњава и постојањем прелазног ефекта. Узроци појаве овог ефекта су виша температура система ДОП-а и његове нешто веће габаритне димензије, односно топлотни капацитет, у односу на систем КП-а. Утицај прелазног ефекта је најизраженији у последњем сату мерења, када се разлика  $\Delta Q$  повећавала иако је вредност

површине  $A_{ozr}$  опадала. По правилу исти ефекат би требало да постоји и на почетку мерења. Тада би, због већег топлотног капацитета, један мали део топлотне енергије одлазио на загревање система. На горњим дијаграмима, за период на почетку мерења, утицај овог ефекта је веома мали. Наиме, читавање података мерених величина започињало је у 10:00 h, иако је инсталација ДОП-а и КП-а пуштена у рад раније. Да је мерење започињало у тренутку пуштања инсталације у рад утицај прелазног ефекта би био за који проценат већи. Пре читавања података вршено је подешавање протока радног флуида КП-а и ДОП-а на жељену вредност.

У прилог претходном објашњењу дат је дијаграм за 20.08. на коме су приказане зависности између процентуалних разлика снага, процентуалних разлика укупно апсорбованог зрачења и површине озрачености у функцији времена (слика 7.44).



**Слика 7.44** Површина озрачености  $A_{ozr}$ , процентуална разлика топлотних снага  $\Delta Q$  и укупно апсорбованог зрачења  $\Delta I$  у функцији времена за 20. август 2012.

На приложеном дијаграму примећује се да је разлика снага значајно већа од разлике укупно апсорбованог зрачења за период при крају испитивања. И у периоду око поднева, када је озраченост била најмања, разлика  $\Delta Q$  је нешто већа од разлике  $\Delta I$ . То је због утицаја рефлектованог рефлектованог соларног зрачења са апсорбера и стакла, рефлектованих топлотних губитака услед зрачења са доњег дела апсорбера, као и поменутог прелазног ефекта.

Соларни пријемници би могли да се пореде и на основу произведене количине корисне топлотне енергије. Из тог разлога израчунате су процентуалне разлике корисних енергија и укупно апсорбованих енергија за периоде максималне постигнуте озрачености ДДА и читав дан, приказаних у табели 7.6. Изрази који се користе за добијање њихових вредности су:  $\Delta Q_j = (Q_{d,j} - Q_{k,j}) / Q_{k,j} \cdot 100$  и  $\Delta I_j = (I_{d,j} - I_{k,j}) / I_{k,j} \cdot 100$ . Величине  $I_{d,j}$  и  $I_{k,j}$  (J) представљају укупно апсорбовану енергију, а величине  $Q_{d,j}$  и  $Q_{k,j}$  експерименталну корисну топлотну енергију ДОП-а и КП-а.

**Табела 7.6** Процентуална разлика укупно апсорбованих енергија  $\Delta I_j$  (%) и процентуална разлика корисних количина енергије  $\Delta Q_j$  (%) за временске интервале максимално постигнуте озрачености ДДА и за цео дан

$\Delta I_j$ (%)	<b>08.08.</b>	<b>20.08.</b>	<b>04.09.</b>	<b>09.09.</b>	<b>04.10.</b>
10:00-11:30 h	55.08	60.53	51.11	54.63	66.74
15:00-17:00 h (13:00-15:00 h)	53.90	60.65	66.29	66.36	65.44
Цео дан	37.94	41.34	44.52	45.32	61.89
$\Delta Q_j$ (%)	<b>08.08.</b>	<b>20.08.</b>	<b>04.09.</b>	<b>09.09.</b>	<b>04.10.</b>
10:00-11:30 h	52.55	52.28	47.61	49.85	62.55
15:00-17:00 h (13:00-15:00 h)	59.85	68.40	71.54	77.55	72.40
Цео дан	37.95	40.46	43.36	47.54	65.89

Процентуалне разлике корисних топлотних енергија незнатно се разликују од процентуалних разлика топлотних снага пријемника.

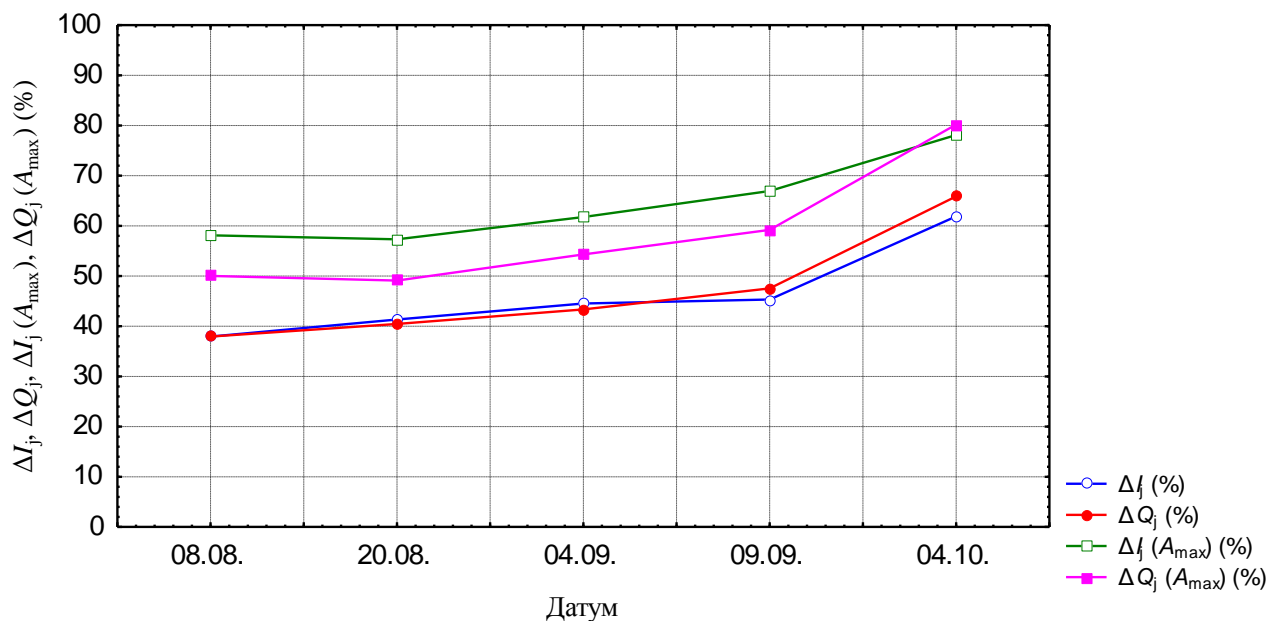
Осим тога, спроведене су теоријске симулације и добијене су количине корисне енергије ДОП-а али за случај да је озраченост ДДА била максимално могућа. Површина озрачености израчуната је за годишњи оптимални опсег кретања рефлектора, узимањем у обзир утицај бочних страна ДОП-а. У табели 7.7 приказане су вредности процентуалне разлике корисних енергија  $\Delta Q_j$  ( $A_{\max}$ ) и укупно апсорбованих енергија  $\Delta I_j$  ( $A_{\max}$ ) током периода 10:00-11:30 h и 15:00-17:00 h и за читав дан, за случај максималне могуће озрачености ДДА ( $A_{\text{ozr}}$  ( $A_{\max}$ )). У истој табели дата је и средња вредност површине  $A_{\text{ozr}}$  ( $A_{\max}$ ).

**Табела 7.7** Средња вредност површине  $A_{\text{ozr}}$  ( $A_{\max}$ ) (%), процентуална разлика укупно апсорбованих енергија  $\Delta I_j$  ( $A_{\max}$ ) (%) и процентуална разлика корисних количина енергије  $\Delta Q_j$  ( $A_{\max}$ ) (%) за временске интервале максимално могуће озрачености ДДА и за читав дан

$A_{\text{ozr}}$ ( $A_{\max}$ ) (%)	<b>08.08.</b>	<b>20.08.</b>	<b>04.09.</b>	<b>09.09.</b>	<b>04.10.</b>
10:00-11:30 h	97.54	97.03	97.25	97.37	98.26
15:00-17:00 h (13:00-15:00 h)	97.33	96.22	94.51	93.90	96.76
Цео дан	78.38	76.60	82.39	85.63	96.95
$\Delta I_j$ ( $A_{\max}$ ) (%)	<b>08.08.</b>	<b>20.08.</b>	<b>04.09.</b>	<b>09.09.</b>	<b>04.10.</b>
10:00-11:30 h	68.72	69.44	64.60	71.24	74.66
15:00-17:00 h (13:00-15:00 h)	79.25	79.03	78.69	78.51	79.98
Цео дан	58.11	57.33	61.77	66.96	78.11
$\Delta Q_j$ ( $A_{\max}$ ) (%)	<b>08.08.</b>	<b>20.08.</b>	<b>04.09.</b>	<b>09.09.</b>	<b>04.10.</b>
10:00-11:30 h	60.19	59.27	59.00	63.83	79.11
15:00-17:00 h (13:00-15:00 h)	72.71	74.67	73.20	76.14	82.23
Цео дан	50.03	49.11	54.32	59.19	80.20

Када се посматрају само временски интервали 10:00-11:30 h и 15:00-17:00 h уочава се да се вредност максимално могуће површине  $A_{\text{ozr}}$  ( $A_{\max}$ ) креће у границама 97.03-98.26 % и 93.9-97.33 %, респективно. Највећа апсолутна разлика између вредности ове површине и вредности експерименталне (максимално постигнуте) површине  $A_{\text{ozr}}$  износи 25.02 % (10:00-11:30 h) и 30.21 % (15:00-17:00 h). Током истих ових интервала вредност процентуалне разлике  $\Delta Q_j$  износи 47.61-62.55 % и 59.85-77.55 %, респективно. С друге стране, теоријске вредности разлика  $\Delta Q_j$  ( $A_{\max}$ ) крећу се у границама 59-79.11 % и 72.71-82.23 %, респективно. Гледано за све анализиране датуме, апсолутно повећање процентуалне разлике корисних количина енергије износи, у просеку, 11.31 % (10:00-11:30 h) и 5.84 % (15:00-17:00 h). Дијаграми дневне процентуалне разлике корисних енергија и укупно апсорбованих енергија

током експерименталних испитивања и за случај максимално могуће озрачености ДДА приказани су на слици 7.45.



**Слика 7.45** Дневна процентуална разлика укупно апсорбованих енергија и корисних енергија током експерименталних испитивања ( $\Delta I_j$ ,  $\Delta Q_j$ ) и за случај максимално могуће озрачености ДДА ( $\Delta I_j (A_{max})$ ,  $\Delta Q_j (A_{max})$ )

Заједничко за оба разматрана случаја је то што крива дневне разлике корисних енергија прати криву дневне разлике укупно апсорбованих енергија. Због веће површине озрачености, код случаја максималне могуће озрачености ДДА, веће су вредности дневних разлика апсорбованих и корисних енергија, у односу на оне експериментално добијене. За анализирани датуме, апсолутно повећање разлике корисних енергија креће се од 8.65 % (20.08.) до 14.31 % (04.10.). У просеку, оно износи 11.53 %.

Са слике се види и да су експерименталне процентуалне разлике корисних енергија и укупно апсорбованих енергија приближно исте. Код случаја максималне могуће озрачености, за све датуме, осим за 04.10., дневна разлика корисних енергија мања је од дневне разлике укупно апсорбованих енергија. То је због тога што теоријски модел ДОП-а не узима у обзир утицаје прелазног ефекта (осим на бочним површинама пријемника), рефлектованог рефлектованог зрачења са апсорбера и рефлектованих топлотних губитака услед зрачења са апсорбера. Последња два утицајна фактора утичу на повећање експерименталне корисне топлотне снаге (енергије) тако што утичу на повећање износа укупно апсорбованог зрачења (енергије) ДОП-а. Вредности укупно апсорбованог зрачења добијене су теоријски, при чему су занемарени ови утицајни фактори. Није било могућности да се одреде експерименталне вредности укупно апсорбованог зрачења. Када би се познавале експерименталне вредности ове величине онда би крива  $\Delta I_j$  била померена навише. У том случају разлика између  $\Delta Q_j$  и  $\Delta I_j$  би била мања, посебно за датуме у августу и септембру.

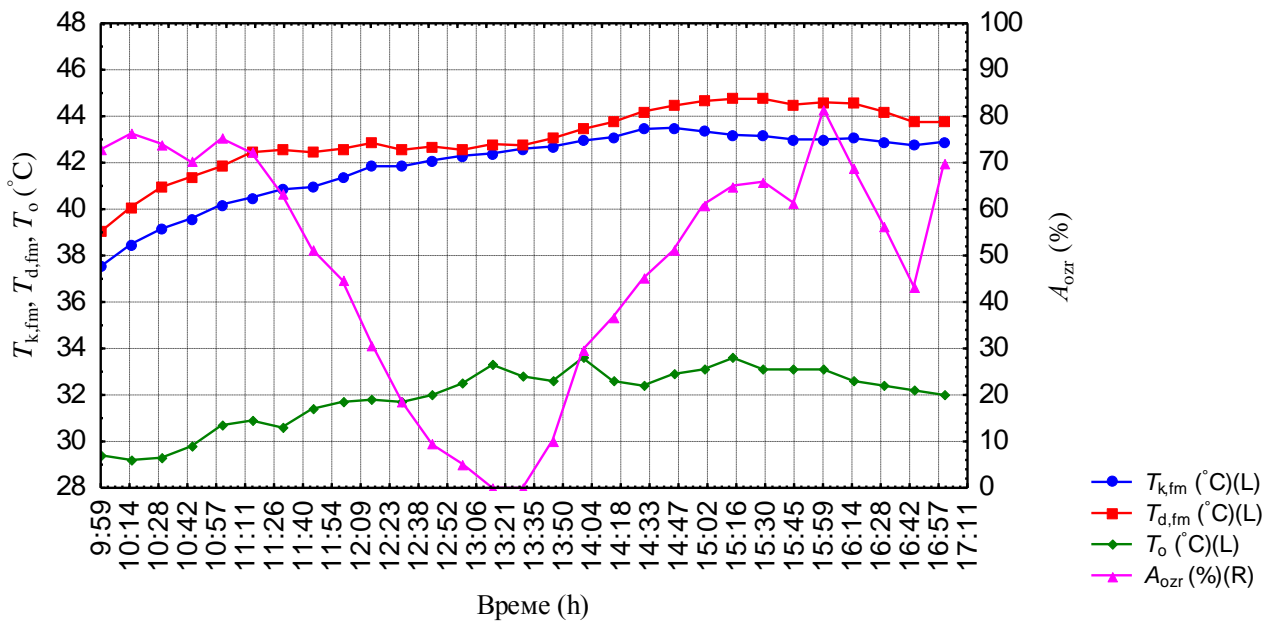
Ако се посматрају само датуми приближно истих протока (20.08., 04.09. и 04.10.) уочава се да је за 04.10., у оба случаја, дневна процентуална разлика корисних енергија већа од дневне процентуалне разлике укупно апсорбованих енергија. Процентуална разлика топлотних губитака најмања је за овај датум. Иначе, средње вредности протока за анализирани датуме су: 0.006506 kg/s (08.08.), 0.005434 kg/s (20.08.), 0.005796 kg/s (04.09.),

0.004727 kg/s (09.09.) и 0.00595 kg/s (04.10.). Разлог се везује за температуру околине односно температуру апсорбера. Ово се може објаснити ако се посматрају два произвољна датума у години са различитим вредностима температуре околине. Када се узме да су протоци исти, да је процентуална разлика укупно апсорбованих енергија иста, да је разлика између улазне температуре и температуре околине иста, разлика између дневне процентуалне разлике корисних енергија и укупно апсорбованих енергија биће већа за датум са нижим вредностима температуре околине (апсорбера). Због ниже температуре апсорбера, процентуална разлика коефицијената пролаза топлотних губитака и процентуална разлика укупних топлотних губитака биће мања због нижих вредности коефицијената пролаза топлотних губитака са горње површине КП-а и горње и доње површине ДОП-а. Вредности коефицијената пролаза топлотних губитака кроз бочне површине КП-а и ДОП-а увек су приближно исте без обзира на температуру околине. Исто тако и коефицијент пролаза топлотних губитака са доње стране КП-а има исту вредност независно од вредности температуре околине. Дневна средња температура околине за 04.10. је за око 8 °C нижа у односу на средњу температуру околине за преостала два датума (слике 7.46-7.50). На основу претходног објашњења, већа разлика између процентуалне разлике топлотних енергија и апсорбованих енергија биће за датум са већим средњим масеним протоком флуида.

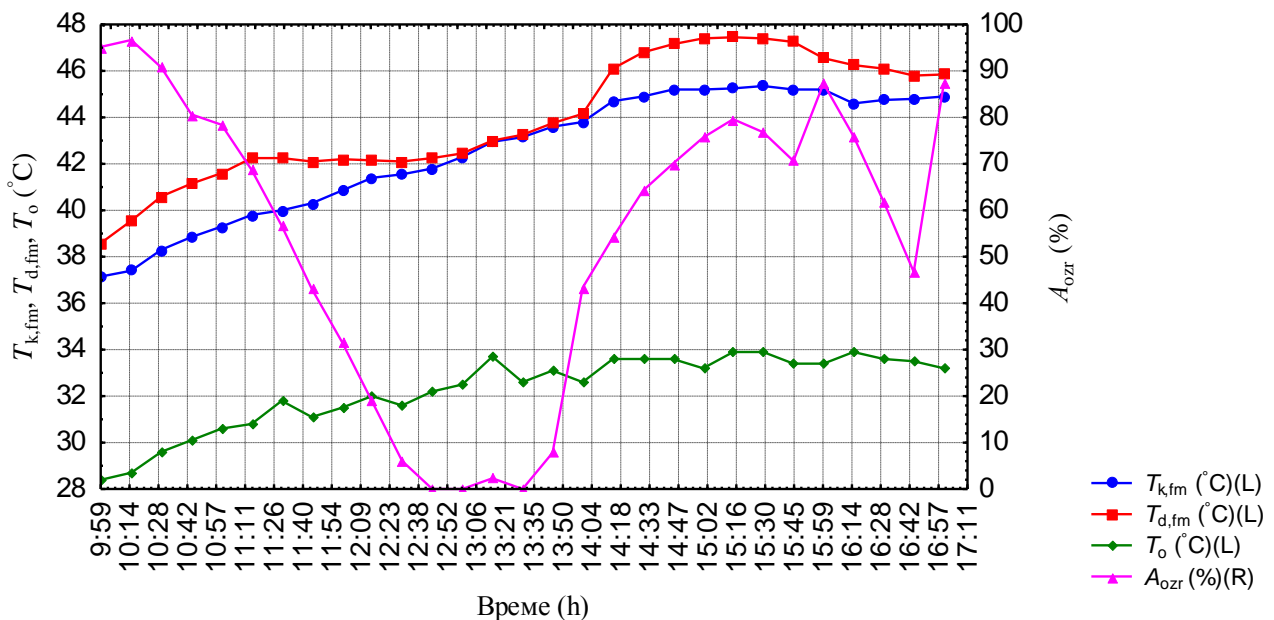
У претходном истраживању ДОП-а [20], остварена је максимална процентуална разлика топлотних енергија од 48 %. Ова вредност је добијена при потпуној озрачености ДДА. Највећа постигнута озраченост ДДА, код предложеног ПРС-а, била је у преподневним и послеподневним сатима. Током ових временских периода, најмања процентуална разлика топлотних енергија износи 47.61 %, што је приближно једнако максималној вредности разлике добијеној у [20]. Истовремено, највећа експериментална разлика енергија износи 77.55 %. Међутим, обе ове вредности добијене су при непотпуној озрачености ДДА од 72.35 % односно 76.15 %. У идеалном случају, када би озраченост била максимално могућа најмања разлика топлотних енергија била би 59 %, а највећа 82.23 %. Према томе, највећа апсолутна разлика између експерименталне процентуалне разлике енергија, добијене у оквиру ове дисертације и оне добијене у [20], износи 29.55 %. У случају максимално могуће озрачености ДДА она би имала вредност од 34.23 %. Повећање разлике топлотних енергија код предложеног ПРС-а, у односу на онај анализиран у [20], последица је међусобне паралелности пријемника и рефлектора и рефлектујуће огледало површине.

### 7.2.3.2 Средња температура флуида

Дијаграми експерименталних вредности средњих температура флуида  $T_{k,fm}$ ,  $T_{d,fm}$  и температуре околине  $T_o$  у функцији времена приказани су на сликама 7.46-7.50. Вредности поменутих температура за временски интервал од 15 min дате су у табелама Б.15-17 (Прилог Б). Средње температуре флуида су добијене као аритметичка средина улазне и излазне температуре флуида.

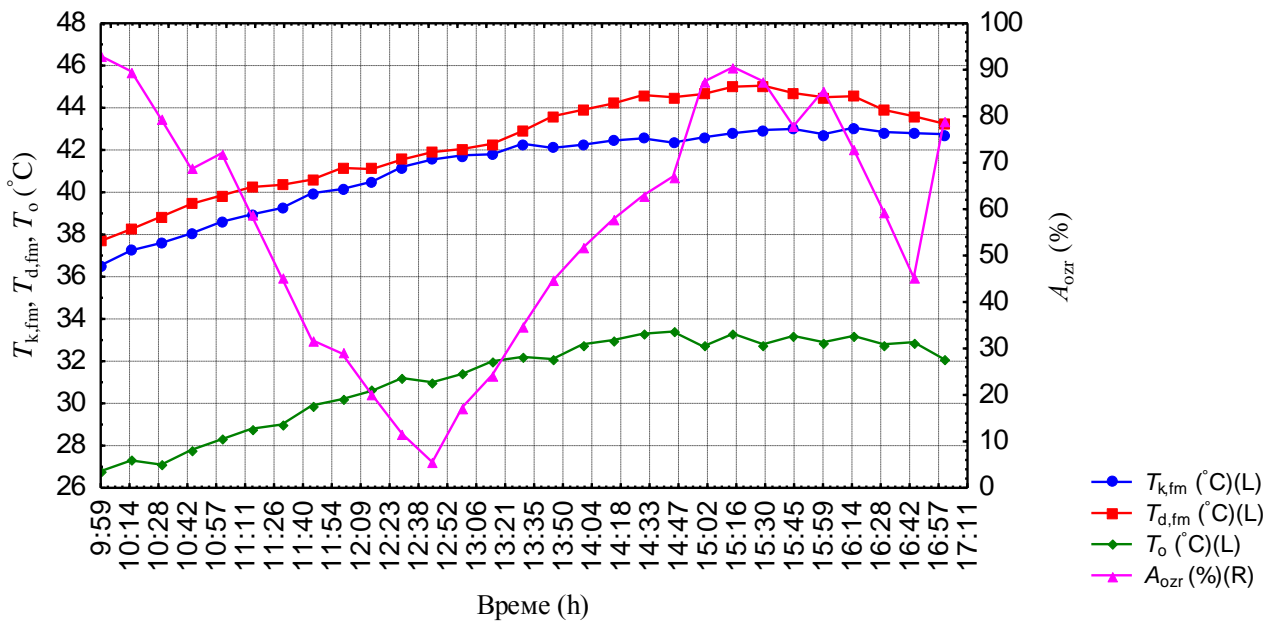


Слика 7.46 Експериментални дијаграми температура  $T_{k,fm}$ ,  $T_{d,fm}$ ,  $T_o$  и површине озрачености  $A_{ozr}$  у функцији времена за 08. август 2012.

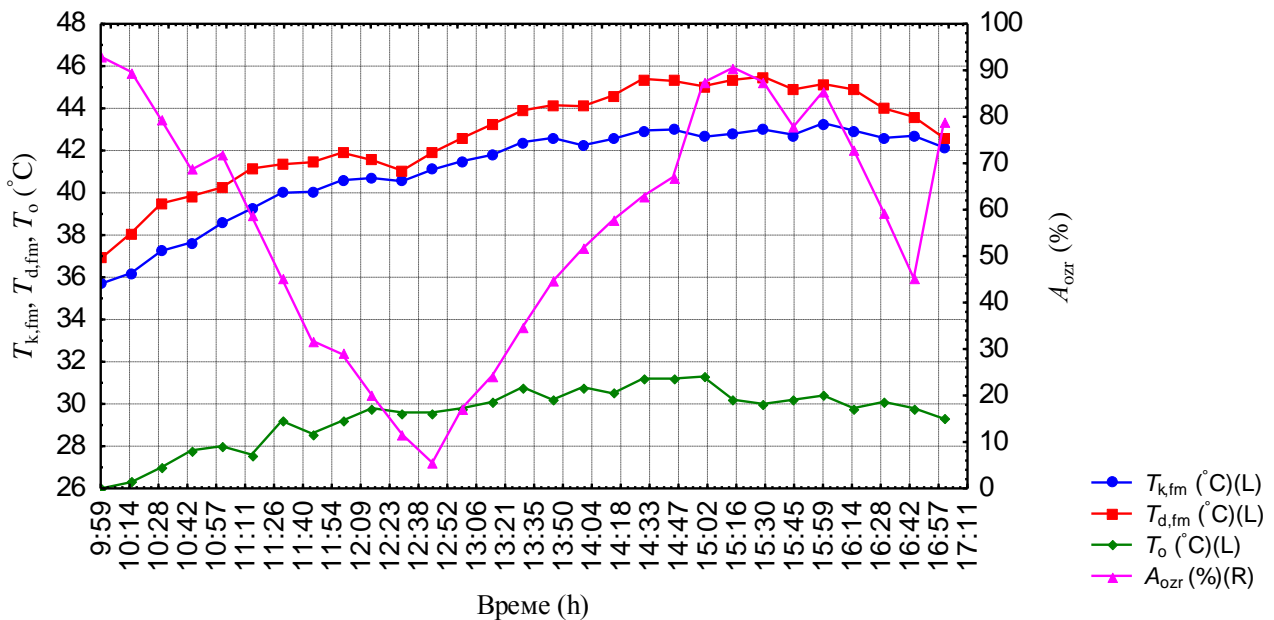


Слика 7.47 Експериментални дијаграми температура  $T_{k,fm}$ ,  $T_{d,fm}$ ,  $T_o$  и површине озрачености  $A_{ozr}$  у функцији времена за 20. август 2012.

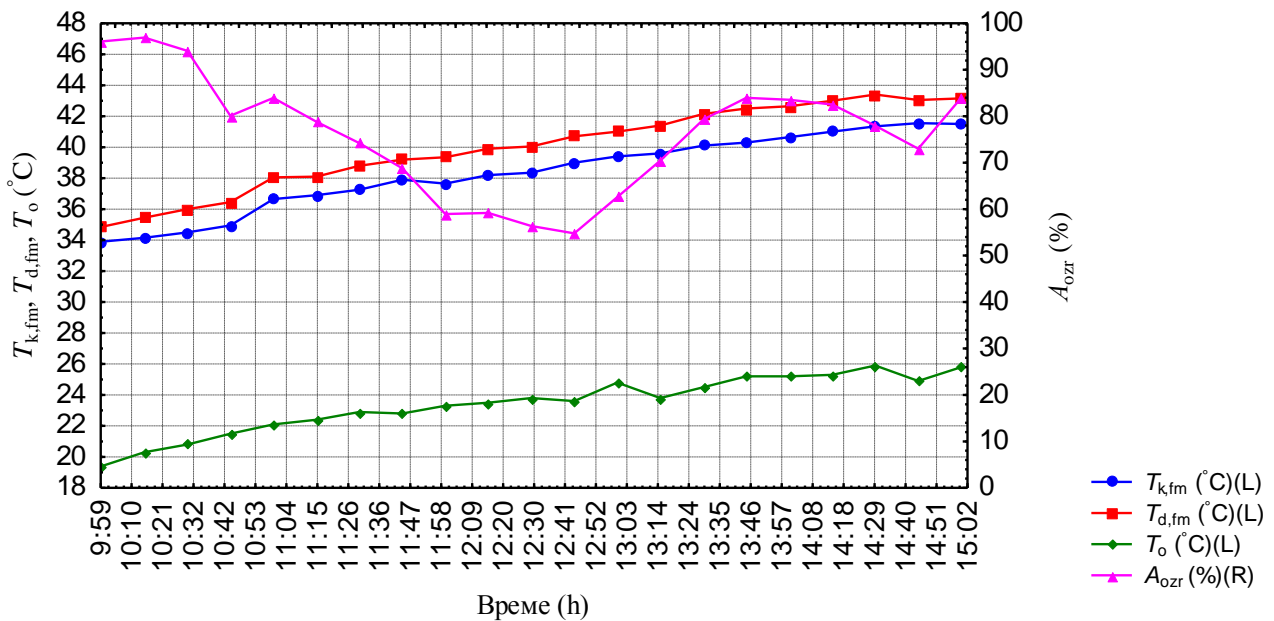




Слика 7.48 Експериментални дијаграми температура  $T_{k,fm}$ ,  $T_{d,fm}$ ,  $T_o$  и површине озрачености  $A_{ozr}$  у функцији времена за 04. септембар 2012.



Слика 7.49 Експериментални дијаграми температура  $T_{k,fm}$ ,  $T_{d,fm}$ ,  $T_o$  и површине озрачености  $A_{ozr}$  у функцији времена за 09. септембар 2012.



Слика 7.50 Експериментални дијаграми температура  $T_{k,fm}$ ,  $T_{d,fm}$ ,  $T_o$  и површине озрачености  $A_{ozr}$  у функцији времена за 04. октобар 2012.

Из горњих дијаграма се примећује да облик криве средње температуре ДОП-а одговара облику криве површине озрачености ДДА. За све анализирани датуме вредности за  $T_{d,fm}$  веће су од вредности за  $T_{k,fm}$ . То је последица већег износа укупно апсорбованог зрачења и корисне топлотне снаге ДОП-а у односу на КП. Највећа апсолутна разлика између средњих температура радног флуида ДОП-а и КП-а била је у периоду када су вредности процентуалних разлика  $\Delta I$  и  $\Delta Q$  биле највеће. У овом случају то су преподневни и послеподневни часови. Апсолутне разлике између средњих температура  $T_{d,fm}$  и  $T_{k,fm}$ , у  $^{\circ}\text{C}$ , за све анализирани датуме дате су у прилогу Б (табела Б.17). Вредности разлика између  $T_{d,fm}$  и  $T_{k,fm}$  у преподневним сатима износе:  $1.71^{\circ}\text{C}$  (08.08.),  $2.17^{\circ}\text{C}$  (20.08.),  $1.21^{\circ}\text{C}$  (04.09.),  $1.79^{\circ}\text{C}$  (09.09.) и  $1.34^{\circ}\text{C}$  (04.10.), а у послеподневним сатима:  $1.36^{\circ}\text{C}$  (08.08.),  $1.64^{\circ}\text{C}$  (20.08.),  $1.52^{\circ}\text{C}$  (04.09.),  $1.79^{\circ}\text{C}$  (09.09.) и  $1.87^{\circ}\text{C}$  (04.10.). Најмања разлика између ових температура била је, за све датуме, осим за 04.10., у периоду око поднева. Тада су озраченост ДДА ДОП-а, а самим тим и вредности разлика  $\Delta I$  и  $\Delta Q$  биле најмање током дана. У тим тренуцима вредности за  $T_{d,fm}$  биле су приближне вредностима за  $T_{k,fm}$ . Дана 04.10., у периоду око поднева, средња озраченост ДДА била је око 66 % док се код осталих датума њена вредност кретала у опсегу од 12-24 %. Истовремено, вредност средње дневне озрачености за овај датум износи 76.17 %. Због тога постоји уједначеност разлике средњих температура  $T_{d,fm}$  и  $T_{k,fm}$  током читавог дана.

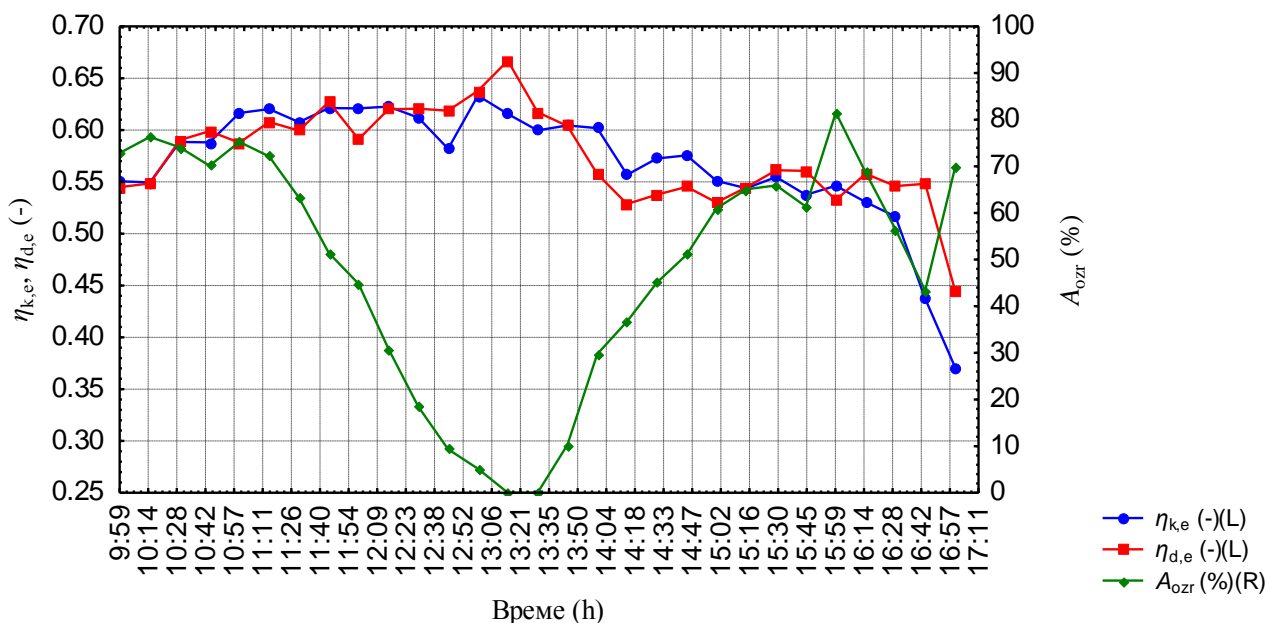
Средња дневна апсолутна разлика поменутих температура за анализирани датуме износи:  $1.15^{\circ}\text{C}$  (08.08.),  $1.41^{\circ}\text{C}$  (20.08.),  $1.23^{\circ}\text{C}$  (04.09.),  $1.65^{\circ}\text{C}$  (09.09.) и  $1.64^{\circ}\text{C}$  (04.10.). Немогуће је поредити разлике средњих температура флуида због различитих вредности улазне температуре воде у пријемнике, температуре околине, масених протока воде кроз пријемнике као и времена трајања испитивања. Треба нагласити да током испитивања температура воде на улазу у пријемнике није била константна. Њена вредност се подешавала према вредностима температуре околине. Другим речима, вредност улазне температуре воде се током читавог дана повећавала.

Из горњих дијаграма се може видети и да је вредност средње дневне температуре околине најмања за 04.10.. Подсећања ради, због најниже температуре околине највећа је

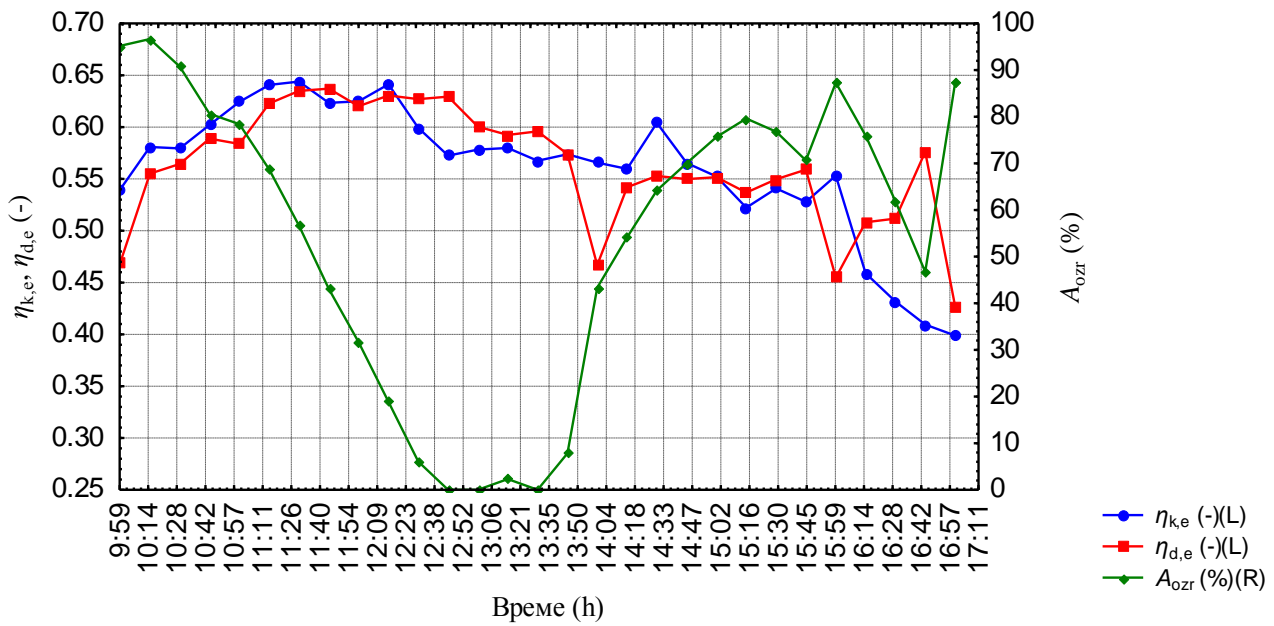
разлика између дневне процентуалне разлике корисних енергија и укупно апсорбованих енергија за овај датум.

### 7.2.3.3 Ефикасност соларног пријемника

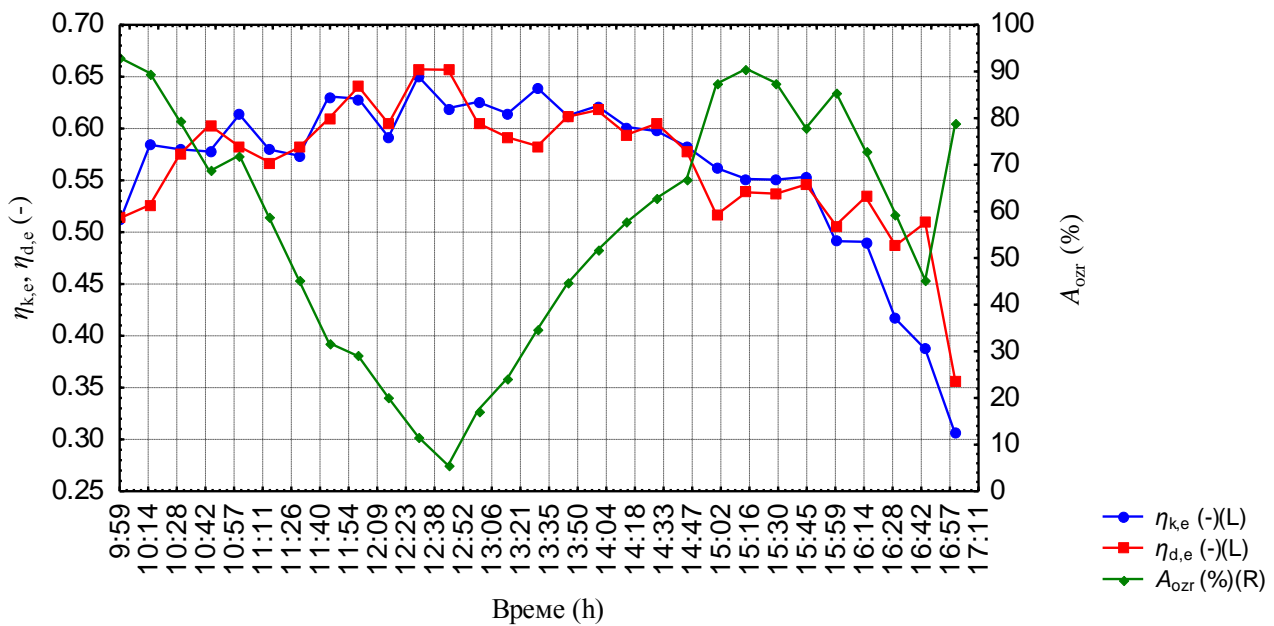
На сликама 7.51-7.55 приказани су дијаграми експерименталних вредности термичке ефикасности класичног ( $\eta_{k,e}$ ), двоструко-озраченог соларног пријемника ( $\eta_{d,e}$ ) као и вредности површине озрачености  $A_{ozr}$  (%), у зависности од времена. Вредности укупно дозраченог зрачења и термичких ефикасности соларних пријемника дате су у Прилогу Б (табеле Б.18-Б.21).



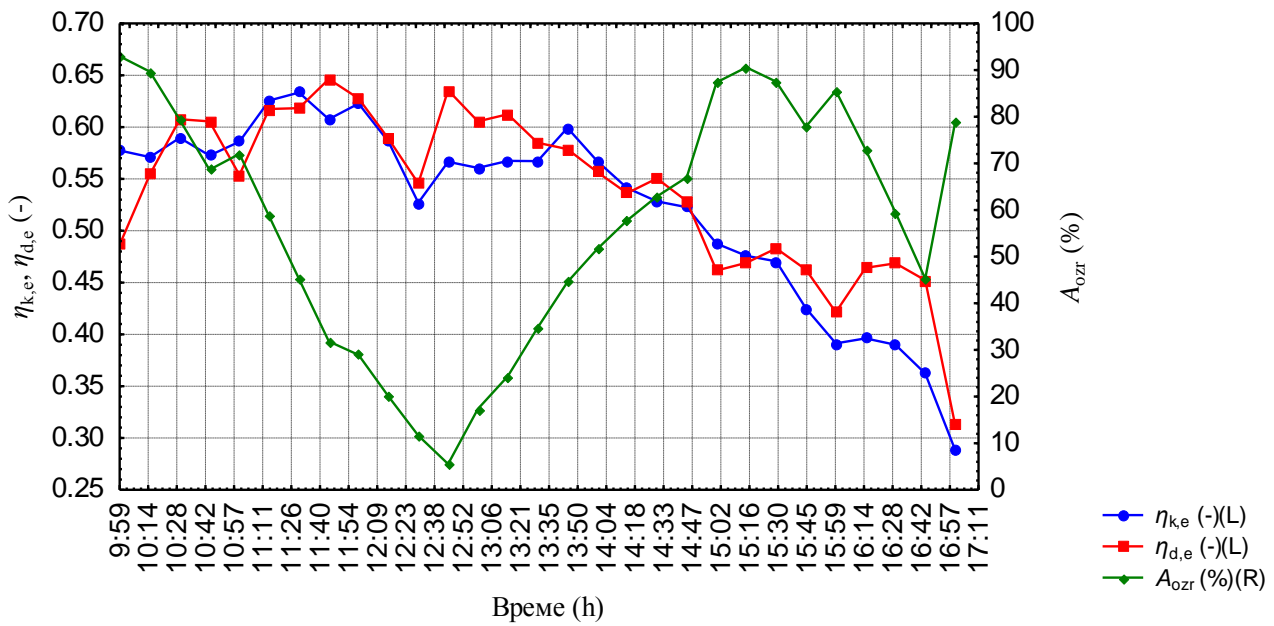
Слика 7.51 Експериментални дијаграми термичких ефикасности  $\eta_{k,e}$ ,  $\eta_{d,e}$  и површине  $A_{ozr}$  у функцији времена за 08. август 2012.



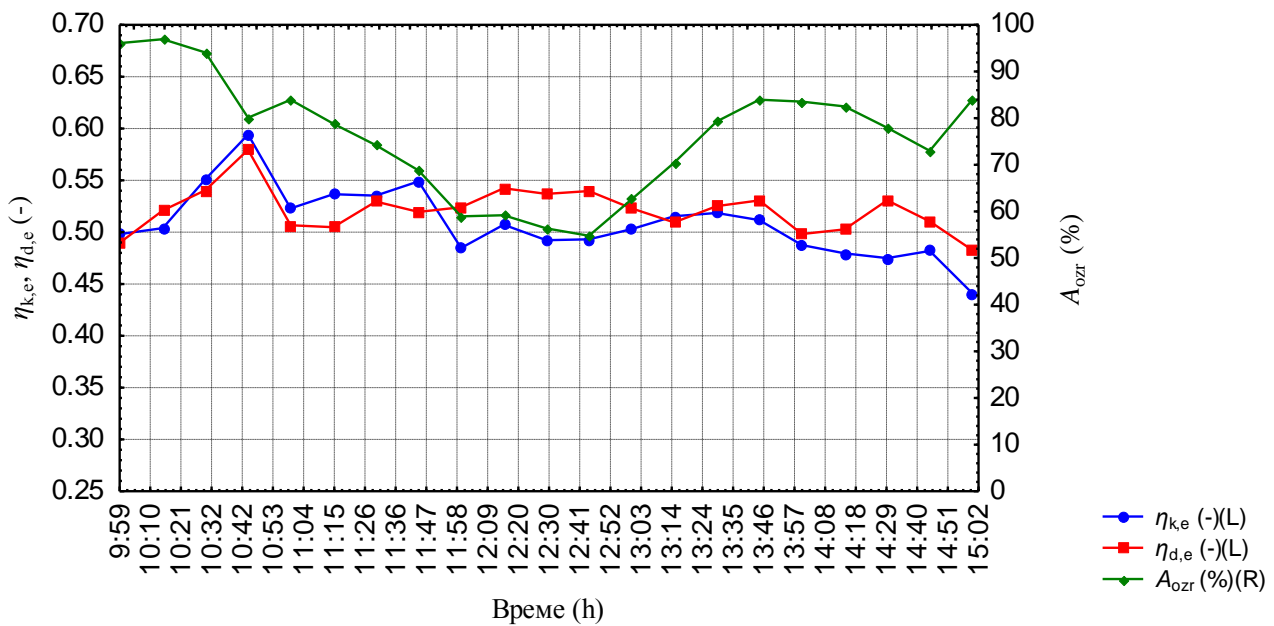
Слика 7.52 Експериментални дијаграми термичких ефикасности  $\eta_{k,e}$ ,  $\eta_{d,e}$  и површине  $A_{ozr}$  у функцији времена за 20. август 2012.



Слика 7.53 Експериментални дијаграми термичких ефикасности  $\eta_{k,e}$ ,  $\eta_{d,e}$  и површине  $A_{ozr}$  у функцији времена за 04. септембар 2012.



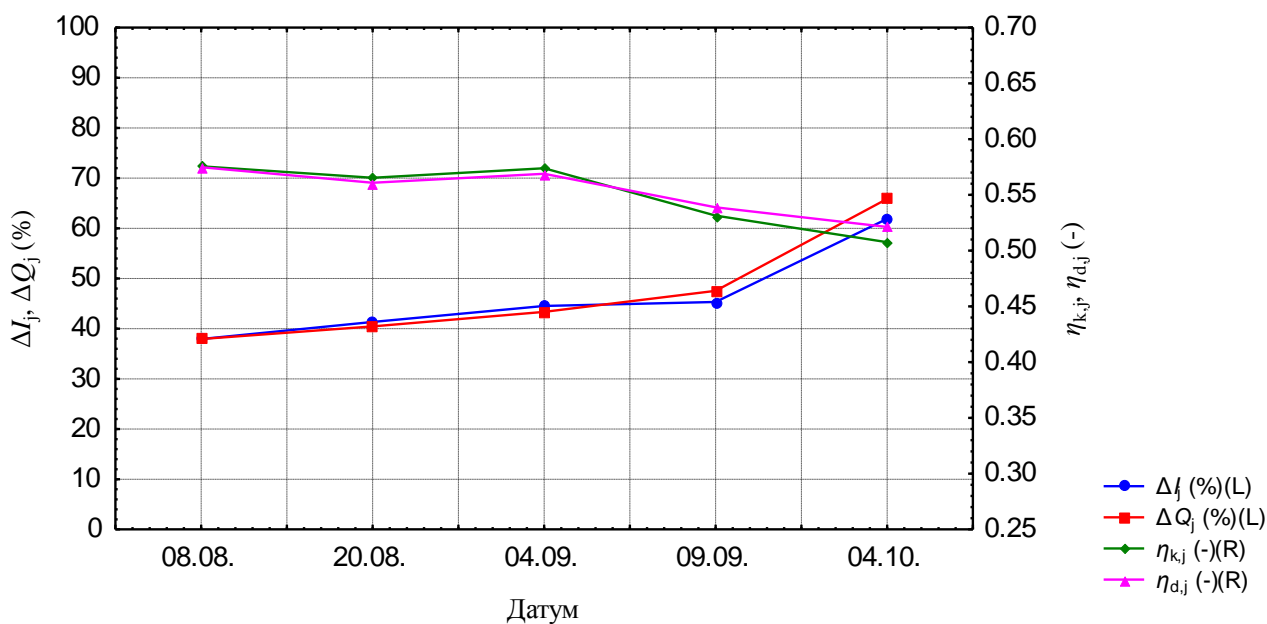
Слика 7.54 Експериментални дијаграми термичких ефикасности  $\eta_{к,е}$ ,  $\eta_{д,е}$  и површине  $A_{озр}$  у функцији времена за 09. септембар 2012.



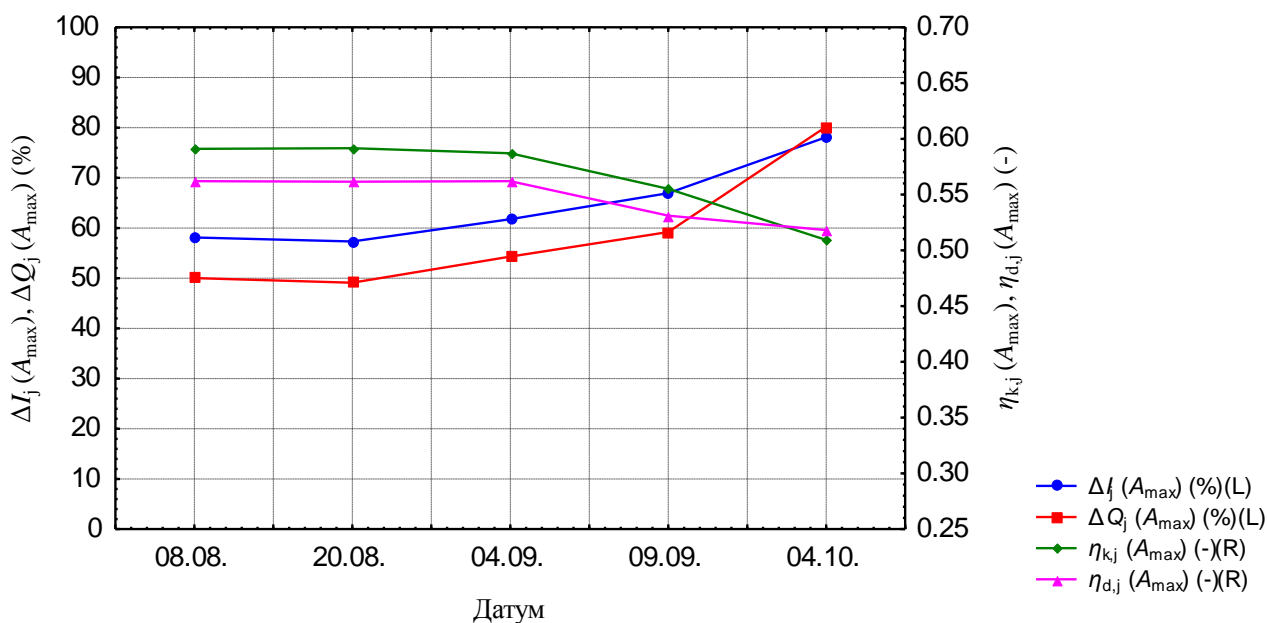
Слика 7.55 Експериментални дијаграми термичких ефикасности  $\eta_{к,е}$ ,  $\eta_{д,е}$  и површине  $A_{озр}$  у функцији времена за 04. октобар 2012.

Дијаграми са слика 7.51-7.55 указују на то да је термичка ефикасност ДОП-а приближно једнака или већа од термичке ефикасности КП-а. За временске интервале 10:00-11:30 h и 15:00-17:00 h, када је била највећа озраченост ДДА у току дана, ефикасност ДОП-а била је нешто мања односно већа од ефикасности КП-а, респективно. Објашњење се везује за већу процентуалну разлику топлотних снага у послеподневним сатима као последица веће процентуалне разлике укупно апсорбованог зрачења и утицаја прелазног ефекта. Такође, и у периоду око поднева, када је озраченост ДДА била најмања током дана, ефикасност ДОП-а била је већа од ефикасности КП-а. Разлог је утицај рефлектованог рефлектованог зрачења са апсорбера и стакла, рефлектованих топлотних губитака са апсорбера и прелазног ефекта. Разлика између ефикасности ДОП-а и КП-а би, током овог периода, била мања да није занемарен утицај фактора рефлексије приликом израчунавања укупно апсорбованог зрачења односно да су се познавале експерименталне вредности ове величине.

Вредности дневних термичких ефикасности  $\eta_{k,j}$  и  $\eta_{d,j}$  приказане су на слици 7.56 заједно са дневном процентуалном разликом укупно апсорбованих енергија  $\Delta I_j$  и дневном процентуалном разликом корисних топлотних енергија  $\Delta Q_j$ . С друге стране, на слици 7.57 дати су дијаграми дневних термичких ефикасности ( $\eta_{k,j} (A_{max})$  и  $\eta_{d,j} (A_{max})$ ) и дневних процентуалних разлика ( $\Delta I_j (A_{max})$  и  $\Delta Q_j (A_{max})$ ) али за случај максимално могуће озрачености ДДА за годишњи оптимални опсег кретања рефлектора.



**Слика 7.56** Дневна процентуална разлика укупно апсорбованих енергија  $\Delta I_j$ , дневна процентуална разлика корисних топлотних енергија  $\Delta Q_j$  и дневне термичке ефикасности  $\eta_{k,j}$  и  $\eta_{d,j}$  током експерименталних испитивања



**Слика 7.57** Дневна процентуална разлика укупно апсорбованих енергија  $\Delta I_j (A_{max})$ , дневна процентуална разлика корисних топлотних енергија  $\Delta Q_j (A_{max})$  и дневне термичке ефикасности  $\eta_{kj} (A_{max})$  и  $\eta_{dj} (A_{max})$  за случај максималне озрачености ДДА

Према горе приказаним дијаграмима на разлику дневних термичких ефикасности веома утиче разлика између процентуалне разлике корисних топлотних енергија и процентуалне разлике укупно апсорбованих енергија. Већа разлика ових енергија већа је и разлика између ефикасности. Истовремено, за мању процентуалну разлику топлотних губитака већа ће бити разлика између ових ефикасности. Како је процентуална разлика топлотних губитака најмања за 04.10. тако је и разлика између ефикасности највећа за овај датум, у поређењу са осталим анализираним датумима.

Дневне вредности ефикасности  $\eta_{kj}$  и  $\eta_{dj}$  током експерименталних испитивања имају минималну и максималну вредност од 0.508 и 0.521 (04.10.) и 0.576 и 0.575 (08.08.). С друге стране, вредности величина  $\eta_{kj} (A_{max})$  и  $\eta_{dj} (A_{max})$  за случај максималне озрачености ДДА износе 0.509 и 0.518 (04.10.) и 0.591 и 0.562 (08.08.). Примећује се да се минималне и максималне вредности ефикасности, добијене у експерименту и за случај максималне озрачености ДДА, незнатно разликују. У оба случаја највеће вредности ефикасности су добијене за 08.08. а најмање за 04.10.. Дана 04.10. дневна средња температура околине била је за око  $8^\circ\text{C}$  нижа у односу на исту температуру за преостала четири датума. Осим температуре околине на вредност ефикасности, између осталог, утицала је и вредност масеног протока. Највећа средња дневна вредност протока била је током 08.08. а најмања током 09.09..

Термичка ефикасност  $\eta_{d,e}$ , добијена у овом истраживању, није упоређена са термичком ефикасношћу ДОП-а, добијеном у [22]. Разлог за то јесте неправилно израчунавање ефикасности у [22]. Она је рачуната преко односа добијене корисне топлотне енергије и укупно апсорбоване енергије, уместо преко односа добијене корисне топлотне енергије и укупно дозрачене енергије на површину застакљења.

#### 7.2.3.4 Годишња производња топлотне енергије и термичка ефикасност класичног и двоструко-озраченог соларног пријемника

Сврха коришћења соларних пријемника је производња топлотне енергије. Тако добијена топлотна енергија се у зависности од потребе може користити, између осталог, за загревање просторија, загревање воде у базенима, загревање високо или нискотемпературне воде која се користи у индустрији и домаћинствима, ... За сваку ову намену, у одређеном временском периоду, неопходно је познавати профил термичког оптерећења и профил расположиве топлотне енергије. На основу тих профила одређује се површина или број соларних пријемника који ће бити инсталиран за делимично или потпуно задовољење потреба.

У овом одељку приказан је и анализиран профил расположиве топлотне енергије анализираних соларних пријемника за сваки месец у години. Поред месечне и годишње корисне топлотне енергије анализирани су и резултати месечне и годишње термичке ефикасности истих соларних пријемника.

За ову намену коришћен је претходно верификован математички модел термичког понашања КП-а и ДОП-а. Подаци потребни за симулацију као што су температура околине, интензитет дозраченог соларног зрачења на хоризонталну површину и брзина ветра, за град Крагујевац, преузети су из базе података софтвера EnergyPlus [38, 39]. Овај софтвер представља веома користан алат за моделирање енергетског и еколошког понашања стамбених и пословних објеката и енергетских система [40-44]. База података садржи реалне вредности поменутих величина забележених на сваких сат времена током читаве године. Све вредности се односе на 1995. годину. За потребе симулирања термичког понашања ДОП-а било је потребно обезбедити податке о максимално могућој површини озрачености ДДА. Вредности ове површине израчунате су коришћењем верификованог математичког модела одређивања површине озрачености ДДА, за годишњи оптимални опсег кретања рефлектора. Приликом извођења симулација узет је у обзир утицај бочних страна ДОП-а на вредност површине озрачености ДДА.

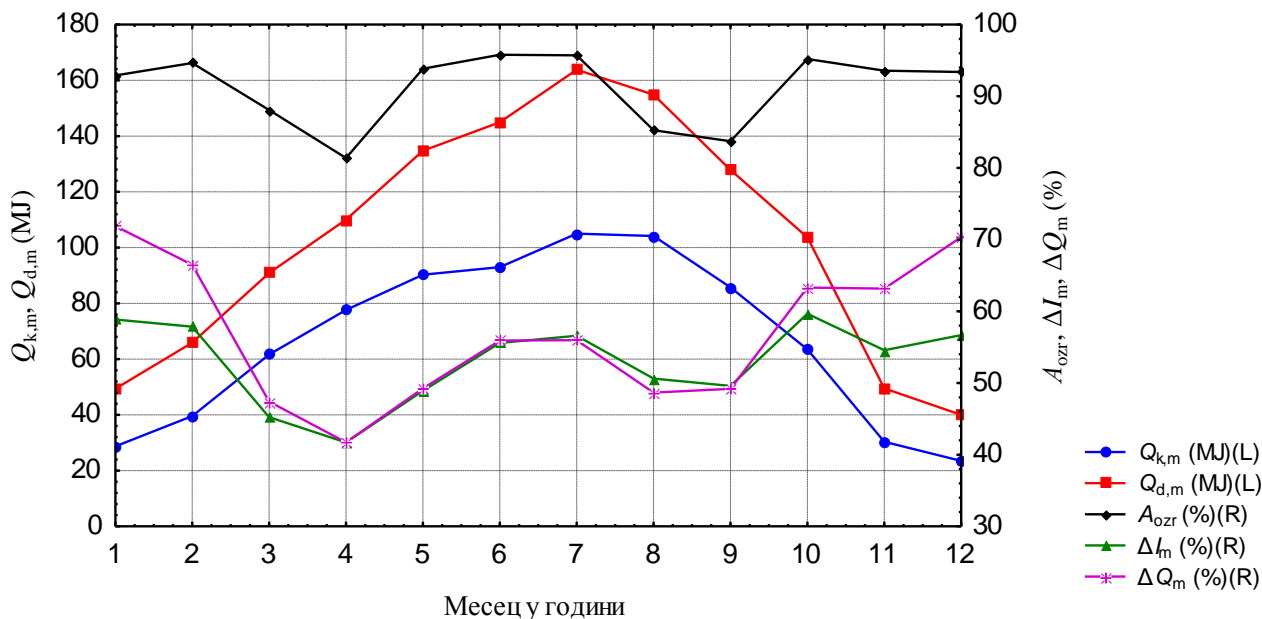
Вредности величина везаних за димензије и конструкцију пријемника преузете су из табеле 7.4. У циљу поређења резултата симулација за КП и ДОП, усвојено је да масени проток воде кроз оба пријемника буде исти, једнак препорученој вредности од  $0.005796 \text{ kg/s}$ . Такође, усвојено је да вредност улазне температуре воде у пријемнике буде увек за  $10^\circ\text{C}$  већа од вредности температуре околине. Уколико је температура околине била нижа од  $0^\circ\text{C}$  онда је вредност улазне температуре воде износила  $10^\circ\text{C}$ . За итеративни поступак израчунавања средње температуре воде и температуре апсорбера било је неопходно претпоставити њихове вредности на почетку симулација. Поменуте претпоставке за КП и ДОП су, респективно:  $T_{k, \text{fm}} = T_{k, \text{u}} + 3^\circ\text{C}$ ,  $T_{ka} = T_{k, \text{fm}} + 3.7^\circ\text{C}$ ,  $T_{d, \text{fm}} = T_{d, \text{u}} + 5^\circ\text{C}$ ,  $T_{da} = T_{d, \text{fm}} + 5.7^\circ\text{C}$ .

Све горе поменуте симулације извршене су за оптимални годишњи и фиксни положај пријемника за град Крагујевац, за сваки дан у години и за часовни интервал од 6-19 h. Због малог износа и веома малог утицаја дифузног зрачења, рефлектованог са рефлектора на ДДА, на износ корисне топлотне снаге ДОП-а, оно је занемарено у овим симулацијама. При анализи добијених резултата симулација нису разматране вредности топлотних снага пријемника које су биле негативне.

Резултати симулација приказани су на сликама 7.58 и 7.59. На слици 7.58 дате су вредности добијене месечне корисне топлотне енергије  $Q_{k, \text{m}}$  и  $Q_{d, \text{m}}$  (MJ), месечне



процентуалне разлике укупно апсорбованих енергија  $\Delta I_m$  (%), месечне процентуалне разлике корисних топлотних енергија  $\Delta Q_m$  (%) и површине  $A_{ozr}$  (%) за случај максималне могуће озрачености ДДА. Све вредности ових величина дате су у табелама Б.22 и Б.23 (Прилог Б).



**Слика 7.58** Месечна корисна топлотна енергија пријемника  $Q_{k,m}$  и  $Q_{d,m}$ , месечна процентуална разлика укупно апсорбованих енергија  $\Delta I_m$ , месечна процентуална разлика корисних топлотних енергија  $\Delta Q_m$  и средња месечна површина озрачености  $A_{ozr}$  за случај максималне озрачености ДДА

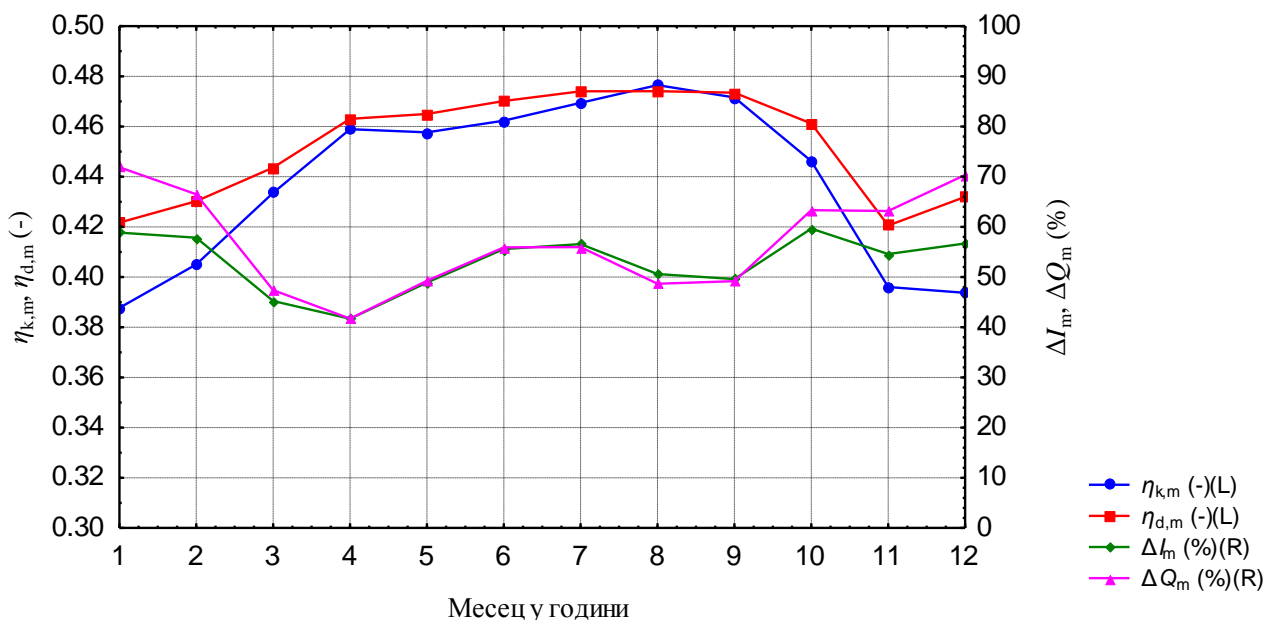
Најмања количина корисне топлотне енергије, за оба соларна пријемника, добијена је у децембру, а највећа у јулу. То су периоди године када је интензитет соларног зрачења био најмањи односно највећи. Дијаграм процентуалних месечних разлика  $\Delta Q_m$  има облик сличан облику дијаграма процентуалних месечних разлика  $\Delta I_m$  и дијаграма површине  $A_{ozr}$ . Са дијаграма површине  $A_{ozr}$ , види се да она ни за један месец у години нема максималну могућу вредност једнаку површини ДДА. Узрок је утицај бочних страна ДОП-а као и угла нагиба пријемника. Најмање вредности поменуте површине  $A_{ozr}$  су у периоду око пролећа (март и април) и јесени (август и септембар). За преостале месеце она је приближно иста и износи преко 93 %.

Ако се упореде дијаграм површине  $A_{ozr}$  и дијаграм месечне процентуалне разлике укупно апсорбованих енергија  $\Delta I_m$ , за месец јануар и фебруар, уочава се да је ова разлика већа за јануар, иако је површина  $A_{ozr}$  већа за фебруар. То се објашњава тиме да је током фебруара удео дифузног зрачења у укупном дозраченом зрачењу већи него током јануара. Како је утицај и износ дифузног зрачења, рефлектованог са рефлектора на ДДА, веома мали, тако се може сматрати да ДДА апсорбује само рефлектовано директно соларно зрачење. Исто објашњење би важило и при поређењу резултата за месеце мај, јун и јул. Упркос томе што је површина  $A_{ozr}$  за ове месеце приближно иста, добијена разлика енергија  $\Delta I_m$  најмања је за месец мај.

Анализом дијаграма  $\Delta I_m$  и  $\Delta Q_m$ , вредности разлике  $\Delta Q_m$  веће су од разлике  $\Delta I_m$  током периода зиме. За остале месеце у години ове вредности се готово поклапају. Разлог за ово је већ објашњени утицај температуре околине. Када се посматрају само месеци истих месечних разлика  $\Delta I_m$ , као на пример јун и децембар, за јун је ова разлика приближно једнака разлици

$\Delta Q_m$ , dok je za decembar razlika  $\Delta Q_m$  veća od razlike  $\Delta I_m$  i to za 13.7 %. Apсолутна разлика између поменутих месечних разлика већа је за децембар зато што је просечна температура околине за овај месец нижа од температуре за јун. Нижа температура околине узрокује нижу температуру апсорбера а са тим и ниже вредности коефицијената топлотних губитака са горње површине (КП) и горње и доње површине апсорбера (ДОП). Вредности коефицијената пролаза топлотних губитака кроз бочне површине оба пријемника увек су приближно једнаке. Такође, вредност коефицијента  $K_{kgd}$  увек је иста без обзира на температуру околине. Тако је процентуална разлика коефицијената пролаза топлотних губитака  $K_{dg}$  и  $K_{kg}$ , који укључују претходно неведене коефицијенте, мања за нижу температуру околине. И процентуална разлика укупних топлотних губитака је мања. У овом случају, поменута разлика топлотних губитака мања је за децембар у односу на јун.

На слици 7.59 приказани су подаци о месечној процентуалној разлици укупно апсорбованих енергија  $\Delta I_m$  (%), месечној процентуалној разлици корисних топлотних енергија  $\Delta Q_m$  (%) и месечним термичким ефикасностима  $\eta_{k,m}$  и  $\eta_{d,m}$  (-) за случај максималне озрачености ДДА.

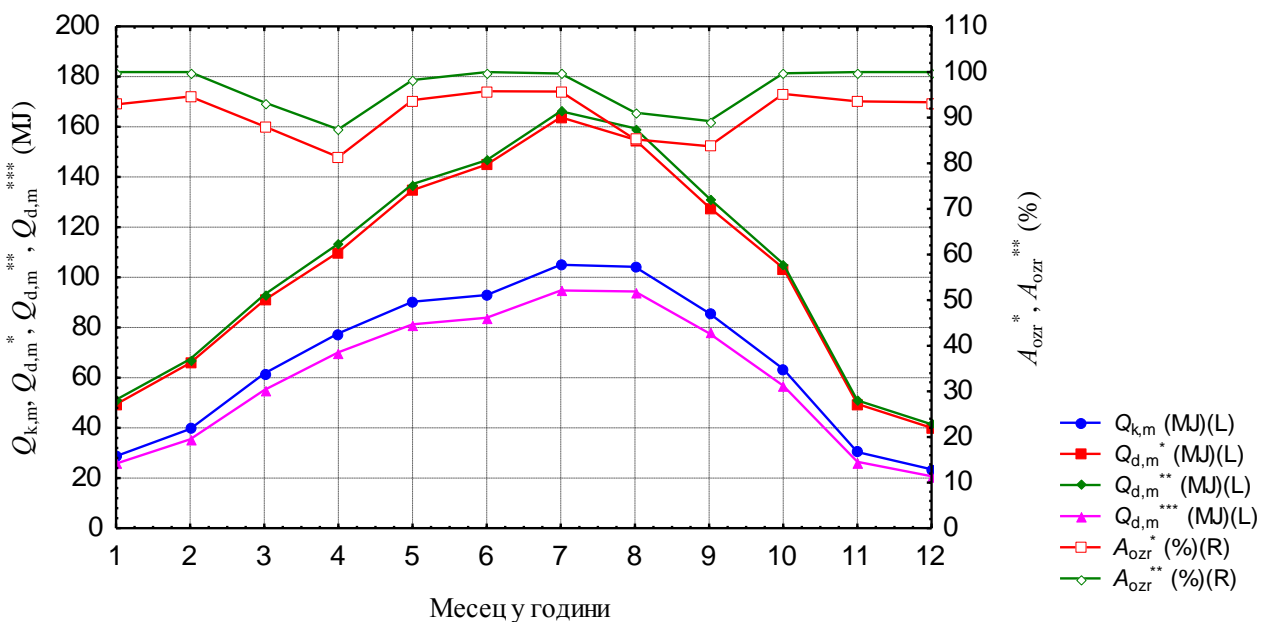


**Слика 7.59** Месечне термичке ефикасности  $\eta_{k,m}$  и  $\eta_{d,m}$ , месечна процентуална разлика укупно апсорбованих енергија  $\Delta I_m$  и месечна процентуална разлика корисних топлотних енергија  $\Delta Q_m$  за случај максималне озрачености ДДА

Термичке ефикасности оба пријемника добијене су као однос месечне корисне топлотне енергије ( $Q_{k,m}$  ( $Q_{d,m}$ )) и укупно дозрачене соларне енергије на површину застакљења пријемника ( $H'_{kGm}$  ( $H'_{dGm}$ )). Све месечне вредности ових величина дате су у табели Б.23. Са дијаграма се види да је за већину месеци у години ефикасност ДОП-а већа од ефикасности КП-а. Највећа разлика између ових ефикасности је у зимском периоду. За остали период године вредности ефикасности приближно су једнаке. На разлику ефикасности утиче разлика између процентуалне разлике корисних топлотних енергија  $\Delta Q_m$  и процентуалне разлике укупно апсорбованих енергија  $\Delta I_m$ . Када је ова разлика већа онда је већа и разлика између термичких ефикасности  $\eta_{d,m}$  и  $\eta_{k,m}$ . Супротно, за мању разлику ових процентуалних разлика мања је и разлика између  $\eta_{d,m}$  и  $\eta_{k,m}$ . Као што је већ горе објашњено на вредност разлике између  $\Delta Q_m$  и  $\Delta I_m$  утиче температура околине.

Ако се посматрају подаци на годишњем нивоу, годишња процентуална разлика укупно апсорбованих енергија  $\Delta I_y$ , годишња процентуална разлика корисних топлотних енергија  $\Delta Q_y$  и годишње термичке ефикасности  $\eta_{k,y}$  и  $\eta_{d,y}$ , имају следеће вредности: 52.99 %, 56.95 %, 0.44 (-) и 0.45 (-). Захваљујући већој месечној процентуалној разлици топлотних енергија у зимском периоду надомештен је мањи износ ове разлике у периоду око пролећа и јесени. Из истог разлога, годишња процентуална разлика  $\Delta Q_y$  и ефикасност ДОП-а нешто су веће од годишње процентуалне разлике  $\Delta I_y$  односно ефикасности КП-а.

Претходна анализа обухвата податке о апсорбованој енергији, корисној топлотној енергији и термичкој ефикасности оба соларна пријемника за случај максимално могуће озрачености ДДА, при утицају бочних страна ДОП-а. Осим тога, у оквиру овог одељка приказани су и резултати претходно наведених величина али за случај озрачености ДДА без утицаја бочних страна ДОП-а, као и за случај да је површина озрачености ДДА током целе године једнака нули. Ови резултати упоређени су са горњим резултатима. Упоредне величине, за случај озрачености ДДА са утицајем бочних страна пријемника, обележене су са једном звездicom (случај I) док су величине за озраченост ДДА без овог утицаја обележене са две звезде (II). Са три звезде означене су величине у случају када је, током читаве године,  $A_{ozr} = 0$  (III). Дијаграми корисне топлотне енергије КП-а и ДОП-а за сва три случаја представљени су на слици 7.60. На истој слици дати су и дијаграми површине  $A_{ozr}$ . Вредности свих поменутих величина, за случај II и III, дате су у табели Б.24 (Прилог Б).

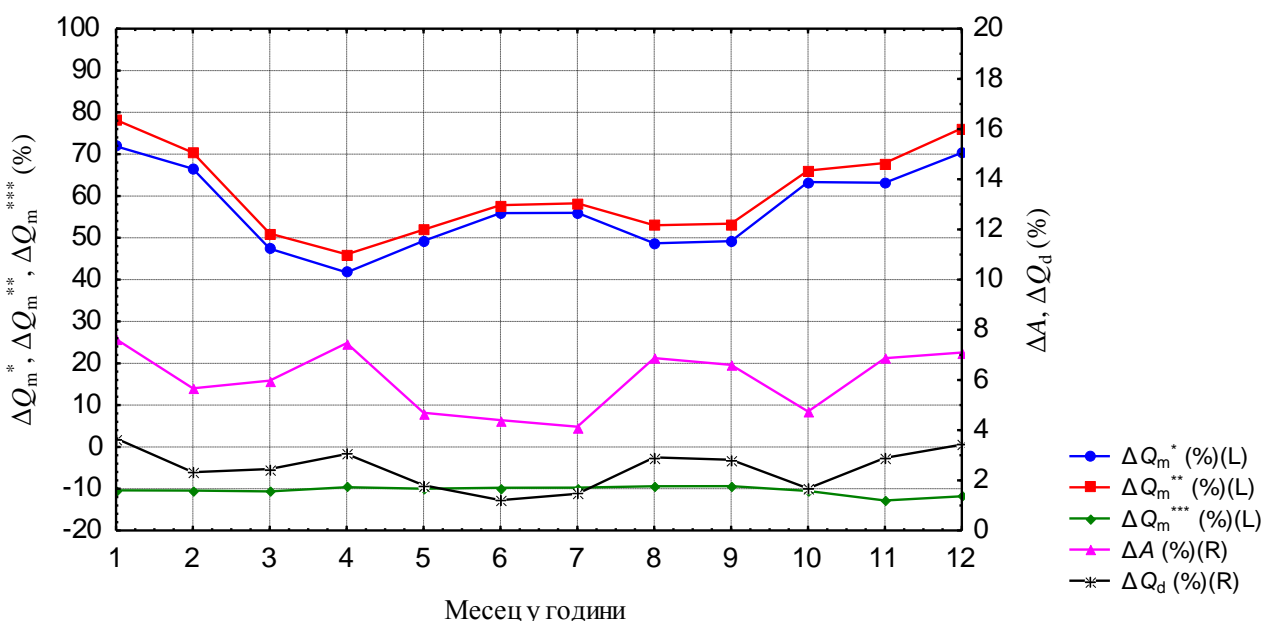


**Слика 7.60** Месечна корисна топлотна енергија пријемника  $Q_{k,m}$ ,  $Q_{d,m}^*$ ,  $Q_{d,m}^{**}$ ,  $Q_{d,m}^{***}$  и средња месечна површина озрачености  $A_{ozr}^*$ ,  $A_{ozr}^{**}$  за три анализирана случаја

Када се занемари утицај бочних страна ДОП-а на облик и величину површине  $A_{ozr}$ , озраченост ДДА ће бити већа (слика 7.60). Због тога је корисна топлотна енергија за други случај, током целе године, већа од корисне топлотне енергије за први случај. С друге стране, када је озраченост ДДА једнака нули, топлотна енергија ДОП-а ће, током целе године, бити мања од топлотне енергије КП-а. Овај случај се може поистоветити са ситуацијом када је потпуно облачно време. Тада је однос између дифузног и директног зрачења веома велики. Познато је да је параметар  $A_{ozr}$  везан за рефлектовано директно соларно зрачење. Када је веома мала вредност овог зрачења тада ће и утицај апсорбованог директног зрачења ДДА, и у случају потпуне озрачености ДДА, бити веома мали. Ако се узме у обзир и мали утицај

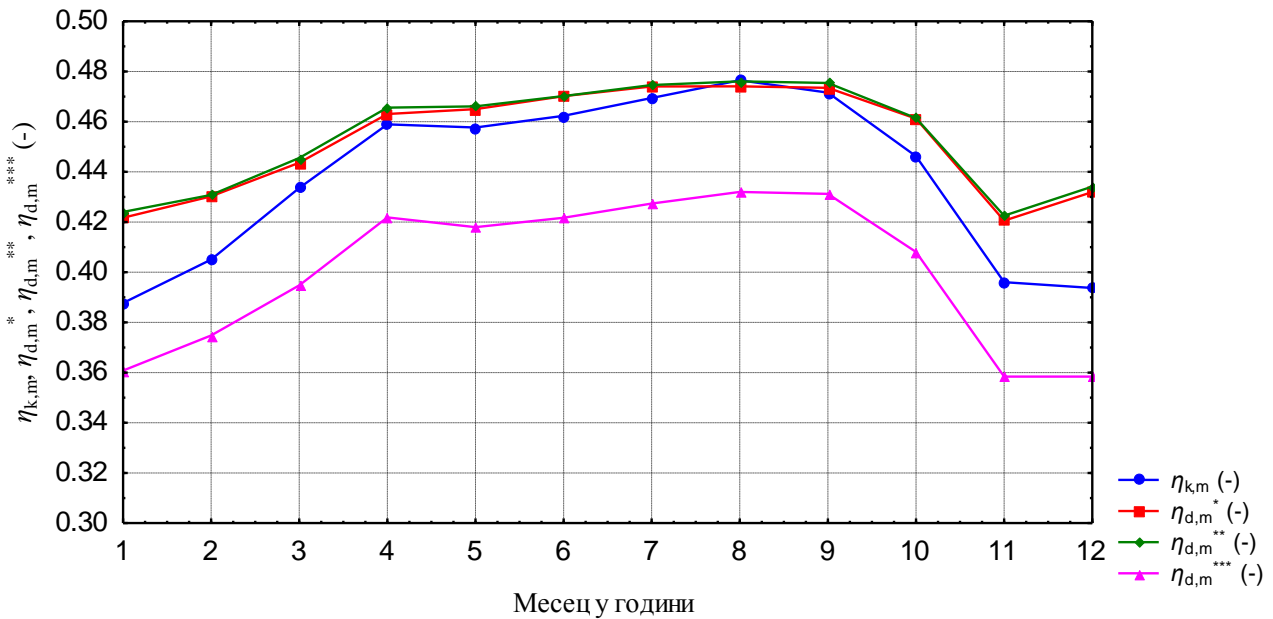
рефлектованог дифузног зрачења, долази се до закључка да је утицај укупно апсорбованог зрачења са ДДА, на износ корисне топлотне енергије ДОП-а, занемарљив.

Месечне процентуалне разлике између топлотних енергија ова три анализирана случаја и топлотне енергије КП-а приказане су на слици 7.61., док су њихове вредности дате у табели Б.25 (Прилог Б). Такође, на овој слици дате су и месечне процентуалне разлике топлотних енергија и површине озрачености ДДА између првог и другог случаја. Гледано на годишњем нивоу, озраченост ДДА код другог случаја већа је за 6 % у односу на озраченост ДДА за први случај. У вези с тим, топлотна енергија ДОП-а за други случај већа је за 2.5 % од исте за први случај. Ако се посматрају топлотна енергија ДОП-а за трећи случај и топлотна енергија КП-а, топлотна енергија КП-а већа је за 10.4 % од топлотне енергије ДОП-а. Годишње процентуалне разлике за  $\Delta Q_m^{**}$  и  $\Delta Q_m^*$  приближно су исте и износе 60.85 % и 56.95 %.



**Слика 7.61** Месечна процентуална разлика корисних топлотних енергија за три анализирана случаја  $\Delta Q_m^*$ ,  $\Delta Q_m^{**}$ ,  $\Delta Q_m^{***}$ , месечна процентуална разлика корисних топлотних енергија  $\Delta Q_d$  и површине озрачености  $\Delta A$  за случај I и II

Осим дијаграма корисне топлотне енергије, овде су приказани и дијаграми месечне термичке ефикасности за сва три анализирана случаја (слика 7.62) (табела Б.26 (Прилог Б)).



Слика 7.62 Месечне термичке ефикасности за сва три анализирана случаја  $\eta_{k,m}$ ,  $\eta_{d,m}^*$ ,  $\eta_{d,m}^{**}$  и  $\eta_{d,m}^{***}$

Готово да нема разлике између месечних термичких ефикасности првог и другог случаја, због веома мале процентуалне разлике између њихових топлотних енергија. С друге стране, месечна термичка ефикасност за трећи случај мања је и од месечне термичке ефикасности КП-а. Вредности годишњих ефикасности износе: 0.44 ( $\eta_{k,y}$ ), 0.45 ( $\eta_{d,y}^*$ ), 0.45 ( $\eta_{d,y}^{**}$ ) и 0.4 ( $\eta_{d,y}^{***}$ ). Тако је годишња термичка ефикасност за трећи случај мања за 9.1 % од исте за КП и 11.1 % од исте за први (други) случај.

Треба нагласити да при анализи претходних резултата и дијаграма нису разматрани резултати када је топлотна снага пријемника била негативна. Негативне вредности ових снага последица су малог износа дозраченог соларног зрачења и/или веома ниских температура околине. Најчешће су то били рани јутарњи и касни вечерњи сати. У овим периодима највећа је процентуална разлика између озрачености ДДА без и са утицајем бочних страна пријемника. Према расположивим временским подацима за целу годину, управо у овим временским периодима однос дифузног и директног зрачења веома је велики. Због тога је утицај бочних страна пријемника на износ топлотне енергије ДОП-а мали. На годишњем нивоу повећање топлотне енергије ДОП-а износи 2.5 %. За неке друге податке о временским приликама, за мање вредности односа дифузног и директног зрачења, овај утицај био би већи од добијеног. Због тога и због потребе за одређивањем оптималне путање кретања рефлектора, за одређену локацију и одређени временски период, не би требало занемарити овај утицај.

## 8 Закључак

У оквиру ове докторске дисертације приказани су резултати спроведених теоријских и експерименталних истраживања двоструко-озраченог, равног, соларног пријемника са равном рефлектујућом површином. Основни циљ овог рада везан је за утврђивање могућности повећања производње корисне топлотне енергије и ефикасности класичног равног, воденог соларног пријемника, употребом равне рефлектујуће површине. У односу на претходно развијене пријемно-рефлектујуће системе, главне предности предложеног система су: паралелност рефлектора и пријемника, огледало рефлектујућа површина и покретљивост рефлектора у сва три могућа ортогонална правца. Паралелност рефлектора и пријемника омогућава да упадни угао соларног зрака, који пада на горњу површину апсорбера, буде идентичан упадном углу рефлектованог соларног зрака који пада на доњу површину апсорбера. Код огледало површине упадни и одбојни углови рефлектованог соларног зрака су исти. Померањем рефлектора у сва три могућа ортогонална правца обезбеђено је праћење дневног и годишњег кретања Сунца, а тиме и услови за максимално могућу озраченост доњег дела апсорбера у сваком тренутку.

За симулацију термичког понашања ДОП-а формиран је математички модел. Модел по први пут укључује одређивање површине озрачености ДДА при произвољним коначним димензијама пријемника и рефлектора и њиховим произвољним међусобним положајима. Узет је у обзир утицај осенчења рефлектора, као последица постојања пријемника изнад рефлектора и утицај бочних страна пријемника на облик и величину површине озрачености ДДА. Због потребе поређења, развијен је и математички модел термичког понашања класичног, равног соларног пријемника. Оба теоријска модела експериментално су верификована.

Коришћењем математичког модела одређивања површине озрачености ДДА одређени су оптимални положаји и димензије рефлектора. Оптимални положај рефлектора представља најближи положај рефлектора пријемнику за који је ДДА потпуно или максимално могуће озрачен. На основу оптималних положаја рефлектора, добијених за димензије ПРС-а као у експерименту, одређене су најприближније границе опсега годишњег кретања рефлектора, за годишњи оптимални положај ПРС-а за град Крагујевац. Границе опсега годишњег кретања рефлектора су:  $-0.42 \leq X \leq 0.42$  m,  $-0.23 \leq Y \leq 0.23$  m и  $0 \leq Z \leq 1$  m. Граничне вредности за  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  су добијене узимањем у обзир утицај бочних страна пријемника. Њихов највећи утицај, током дана, је при изласку и заласку Сунца, а током године у периоду око пролећа и јесени. Када би се приступило пројектовању конструкције ПРС-а постојале би две опције. Према првој опцији рефлектор би имао исте димензије као пријемник и померао би се у сва три могућа правца, у оквиру граница годишњег опсега. Код друге опције рефлектор би био покретан једино у правцу нормалном на његову раван. У том случају, оптималне димензије рефлектора биле би:  $L_r = 1.68$  m и  $W_r = 0.92$  m. То би значило да површина рефлектора треба да буде 4 пута већа од површине апсорбера. У оквиру претходних истраживања ДОП-а употребљена рефлектујућа површина била је 7.58 пута већа од површине апсорбера [20].

Соларни пријемници ДОП и КП су се поредили тако што су се поредиле и анализирале вредности њихових корисних топлотних снага, средњих температура флуида и термичких ефикасности. На вредност поменутих величина велики утицај има укупно апсорбовано зрачење. Зрачење  $I_d$ , у односу на  $I_k$ , веће је за износ зрачења апсорбованог доњим делом апсорбера ДОП-а. Параметар који највише утиче на износ овог зрачења је

површина озрачености  $A_{ozr}$ . Зато дијаграми снаге  $Q_{d,e}$ , разлике снага  $\Delta Q$  и температуре  $T_{d,fm}$  добро кореспондирају са дијаграмом површине  $A_{ozr}$ . Током дана, најмања озраченост ДДА ДОП-а била је око поднева, а највећа у преподневним и послеподневним сатима, односно у периодима 10:00-11:30 h и 15:00-17:00 h (13:00-15:00 h за 04.10.). Анализирањем експерименталних резултата примећено је да је разлика  $\Delta Q$  у послеподневном интервалу била већа од оне у преподневном интервалу, иако је озраченост ДДА била мања. Први разлог је тај што је разлика укупно апсорбованог зрачења  $\Delta I$  била већа послеподне због мањег износа дифузног зрачења у укупно апсорбованом зрачењу. Други разлог се везује за постојање прелазног ефекта, као последица више температуре система ДОП-а и његовог нешто већег топлотног капацитета, у односу на систем КП-а. И у периоду око поднева, када је озраченост била најмања, разлика  $\Delta Q$  је била нешто већа од разлике  $\Delta I$ . То је због утицаја рефлектованог рефлектованог соларног зрачења са апсорбера и стакла, рефлектованих топлотних губитака услед зрачења са доњег дела апсорбера и поменутог прелазног ефекта.

Пријемници су упоређени и на основу произведене дневне количине топлотне енергије. Експерименталне вредности топлотне енергије упоређене су са теоријским вредностима топлотне енергије, добијеним за случај да је озраченост ДДА била максимално могућа. Због веће површине озрачености, код случаја максималне могуће озрачености ДДА, веће су вредности дневних разлика апсорбованих и корисних енергија, у односу на оне експериментално добијене. Апсолутно повећање разлике корисних енергија, за анализирани датум, креће се од 8.65 % (20.08.) до 14.31 % (04.10.). Средња вредност овог повећања износи 11.53 %. У експерименту, процентуалне разлике корисних енергија и укупно апсорбованих енергија приближно су исте, док по теорији за већину датума, за случај максималне озрачености ДДА, дневна разлика корисних енергија мања је од дневне разлике укупно апсорбованих енергија. Разлог је тај што математички модел ДОП-а искључује утицаје прелазног ефекта (осим на бочним површинама), рефлектованог рефлектованог зрачења са апсорбера и рефлектованих топлотних губитака услед зрачења са апсорбера. Да су они узети у обзир експериментална процентуална разлика корисних и укупно апсорбованих енергија била би мања, посебно за датуме у августу и септембру. Када су се посматрали само датуми приближно истих протока (20.08., 04.09. и 04.10.) уочено је да је за 04.10. у оба случаја, и експерименталних и теоријских количина енергије, дневна процентуална разлика корисних енергија већа од дневне процентуалне разлике укупно апсорбованих енергија. Ово је последица ниже температуре околине односно ниже температуре апсорбера. Дневна средња температура околине за 04.10. била је нижа за око 8 °C у односу на исту за преостала два датума. Због ниже температуре апсорбера, мања је процентуална разлика коефицијената пролаза топлотних губитака и укупних топлотних губитака.

Захваљујући паралелности пријемника и рефлектора и рефлектујућој огледало површини остварена је већа вредност експерименталне процентуалне разлике корисних топлотних енергија код предложеног ПРС-а у односу на ПРС испитиван у [20]. Најмања вредност експерименталне процентуалне разлике топлотних енергија износи 47.61 %, а највећа 77.55 %. Да је озраченост ДДА била максимално могућа вредност најмање разлике ових енергија била би 59 %, а највеће 82.23 %. У том случају, највећа апсолутна разлика између експерименталне процентуалне разлике енергија, добијене у оквиру ове дисертације и оне добијене у [20], износи 29.55 %, а у случају максимално могуће озрачености ДДА 34.23 %.

Термичка ефикасност ДОП-а приближно је једнака или већа од термичке ефикасности КП-а. Посматрајући само временске интервале највеће постигнуте озрачености ДДА током

дана, већа разлика између  $\eta_{d,e}$  и  $\eta_{k,e}$  била је у послеподневним сатима. То се објашњава већом разликом  $\Delta Q$  у овом периоду као последица веће разлике  $\Delta I$  и утицаја прелазног ефекта. И у периоду око поднева, када је озраченост ДДА била најмања током дана, вредност  $\eta_{d,e}$  била је већа од вредности  $\eta_{k,e}$ . Разлог се везује за утицаје рефлектованог рефлектованог зрачења са апсорбера и стакла, рефлектованих топлотних губитака са апсорбера и прелазног ефекта. Разлика између ових ефикасности би, током овог периода, била мања да није занемарен утицај фактора рефлексије приликом израчунавања укупно апсорбованог зрачења. На разлику дневних термичких ефикасности веома утиче разлика између процентуалне разлике корисних топлотних енергија и процентуалне разлике укупно апсорбованих енергија. Највећа разлика између дневних ефикасности била је током 04.10. када је разлика између поменутих енергија била највећа. Вредности ефикасности, добијених у експерименту и за случај максималне озрачености ДДА, незнатно се разликују. Термичка ефикасност, добијена у оквиру овог истраживања, није упоређена са ефикасношћу ДОП-а, добијеном у [22] због неправилног израчунавања исте у [22].

У овој дисертацији извршене су и анализе термичког понашања КП-а и ДОП-а током читаве једне године, коришћењем већ поменутих математичких модела, за реалне податке о временским приликама. Прво су извршене симулације за максимално могућу озраченост ДДА при утицају бочних страна пријемника и за годишњи оптимални опсег кретања рефлектора. Дијаграм месечних разлика топлотних енергија  $\Delta Q_m$  добро кореспондира са дијаграмима месечних разлика укупно апсорбованих енергија  $\Delta I_m$  и површине  $A_{ozr}$ . Због истовременог утицаја бочних страна ДОП-а и угла нагиба пријемника, површина  $A_{ozr}$  нема, ни за један месец у години, максималну вредност једнаку површини апсорбера. Најмање вредности ове површине добијене су у периоду око пролећа (март и април) и јесени (август и септембар). Током зимских месеци, вредности разлике  $\Delta Q_m$  веће су од вредности разлике  $\Delta I_m$ . За остале месеце у години ове вредности се готово поклапају. Разлог за ово је већ објашњени утицај температуре околине (апсорбера). Из истог разлога, највећа разлика између месечних термичких ефикасности  $\eta_{d,m}$  и  $\eta_{k,m}$  је у зимском периоду. Термичка ефикасност ДОП-а је, за већину месеци у години, већа од ефикасности КП-а. Годишња процентуална разлика укупно апсорбованих енергија  $\Delta I_y$ , корисних топлотних енергија  $\Delta Q_y$  и годишње термичке ефикасности  $\eta_{k,y}$  и  $\eta_{d,y}$ , имају следеће вредности: 52.99 %, 56.95 %, 0.44 (-) и 0.45 (-). Због веће разлике  $\Delta Q_m$  у зимском периоду надомештен је мањи износ ове разлике у периоду око пролећа и јесени.

Годишње симулације извршене су и за случај озрачености ДДА без утицаја бочних страна ДОП-а (случај II) као и за случај да је површина озрачености ДДА током читаве године једнака нули (случај III). Добијени резултати упоређени су са претходним годишњим резултатима (случај I). Због веће озрачености ДДА у другом случају већа је, током целе године, количина топлотне енергије за случај II у односу на случај I. С друге стране, када је озраченост ДДА једнака нули, количина топлотне енергије ДОП-а, током читаве године, мања је од исте за КП. Овај случај се може поистоветити са ситуацијом када је потпуно облачно време. Тада је однос између дифузног и директног зрачења веома велики. Када је веома велика вредност овог односа тада ће утицај апсорбованог директног зрачења ДДА, и у случају потпуне озрачености ДДА, бити веома мали. Како је и утицај рефлектованог дифузног зрачења мали, долази се до закључка да је, у овом случају, утицај укупно апсорбованог зрачења са ДДА на износ корисне топлотне снаге пријемника занемарљив. Гледано на годишњем нивоу, озраченост ДДА за случај II већа је за 6 % у односу на озраченост ДДА за случај I, док је топлотна енергија ДОП-а за случај II већа за 2.5 % од исте за случај I. Ако се посматрају топлотна енергија ДОП-а за случај III и топлотна енергија КП-а, топлотна енергија КП-а већа је за 10.4 %. Због веома мале процентуалне разлике између



топлотних енергија за случај I и II, готово да нема разлике између месечних ефикасности ДОП-а за ова два случаја. Годишња ефикасност ДОП-а за случај III мања је за 9.1 % од исте за КП и 11.1 % од оне за случај I (случај II).

Топлотна енергија добијена коришћењем предложеног ПРС-а би се могла искористити за грејање потрошне воде или грејање просторија. Оно што ограничава употребу овог соларног система јесте место или локација на којој би исти био постављен. Могућност његовог постављања уско је повезана са могућношћу померања рефлектора. Другим речима, будућа локација ПРС-а одређује начин пројектовања конструкције за померање рефлектора. Као што је већ поменуто постоје две опције пројектовања ове конструкције. Код прве опције рефлектор би се померао у сва три могућа ортогонална правца, а код друге једино у правцу нормалном на његову раван. Такође, димензије рефлектора код прве опције су неколико пута мање. Без обзира на опције, најпогодније место за постављање инсталације ПРС-а била би нека хоризонтална површина, било на земљи или на крову неког објекта. Уколико би вертикална површина неког објекта била једина могућа локација за постављање ПРС-а, препорука би била да се његова конструкција пројектује према првој опцији. У том случају, тежина конструкције би била мања, лакша би била њена монтажа и демонтажа, а постоји и могућност за ограничавањем кретања рефлектора било у једном или више праваца. Истовремено, због мањих димензија рефлектора лакше би било одржавање његове површине. Приликом пројектовања поменуте конструкције треба имати у виду и трошкове њене израде. Охрабрајуће је то да су трошкови израде експерименталног ПРС-а, пројектованог према првој опцији, били за 39 % већи од трошкова израде система КП-а. Према грубом прорачуну, када би трошкови израде ПРС-а били и 70 % већи од трошкова израде система КП-а, период повраћаја инвестиција био би приближно исти. У ситуацији када потребе захтевају велике димензије ПРС-а било би погодније размотрити могућност коришћења више независних ПРС-а. Притом, треба обратити пажњу да растојање између ових система буде толико да нико од њих не прави сенку на онима који су у његовој близини.

## 9 Литература

- [1] Iordanou, G., Flat-plate solar collectors for water heating with improved heat transfer for application in climatic conditions of the mediterranean region. Ph. D. thesis, Durham University, Durham, UK, 2009.
- [2] Kang, M. C., Kang, Y. H., Lim, S. H., Chun, W., Numerical analysis on the thermal performance of a roof-integrated flat-plate solar collector assembly, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 33, 2006, pp. 976-984.
- [3] Vejen, N. K., Furbo, S., Shah, L. J., Development of 12.5 m<sup>2</sup> solar collector panel for solar heating plants, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 84, 2004, pp. 205-223.
- [4] Khoukhi, M., Maruyama, S., Theoretical approach of a flat-plate solar collector with clear and low-iron glass covers taking into account the spectral absorption and emission within glass covers layer, *Renewable Energy*, Vol. 30, 2005, pp. 1177-1194.
- [5] Khoukhi, M., Maruyama, S., Theoretical approach of a flat-plate solar collector taking into account the absorption and emission within glass cover layer, *Solar Energy*, Vol. 80, 2006, pp. 787-794.
- [6] Groenhout, N. K., Behnia, M., Morrison, G. L., Experimental measurement of heat loss in an advanced solar collector, *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 26, 2002, pp. 131-137.
- [7] Goetzberger, A., Dengler, J., Rommel, M., Wittwer, V., The bifacial absorber collector: a new highly efficient flat plate collector, *International Solar Energy Society, USA*, 1991, pp. 1212-1217.
- [8] McDaniels, D.K., Lowndes, D.H., Mathew, H., Reynolds, J., Gray, R., Enhanced solar energy collection using reflector-solar thermal collector combinations, *Solar Energy*, Vol. 17, 1975, pp. 277-283.
- [9] Larson, D. C., Optimization of flat-plate collector-flat mirror systems, *Solar Energy*, Vol. 24, 1979, pp. 203-207.
- [10] Hussein, H. M. S., Ahmad, G. E., Mohamad, M. A., Optimization of operational and design parameters of plane reflector-tilted flat plate solar collector systems, *Energy*, Vol. 25, 1999, pp. 529-542.
- [11] Taha, I. S., Eldighidy, S. M., Effect of off-south orientation on optimum conditions for maximum solar energy absorbed by flat plate collector augmented by plane reflector, *Solar Energy*, Vol. 25, 1980, pp. 373-379.
- [12] Tanaka, H., Solar thermal collector augmented by flat plate booster reflector: Optimum inclination of collector and reflector, *Applied Energy*, Vol. 88, 2011, pp. 1395-1404.
- [13] Ekechukwu, O.V., Ugwuoke, N.T., Design and measured performance of a plane reflector augmented box-type solar-energy cooker, *Renewable Energy*, Vol 28, 2003, pp. 1935-1952.
- [14] Grassie, S. L., Sheridan, N. R., The use of planar reflectors for increasing the energy yield of flat-plate collectors, *Solar Energy*, Vol. 19, 1977, pp. 663-668.
- [15] Larson, D. C., Concentration ratios for flat-plate solar collectors with adjustable flat mirrors, *J. Energy*, Vol. 4, 1980, pp. 170-175.
- [16] Bollentin, J. W., Wilk, R. D., Modeling the solar irradiation on flat plate collectors augmented with planar reflectors, *Solar Energy*, Vol. 55, 1995, pp. 343-354.
- [17] Hellstrom, B., Adsten, M., Nostell, P., Karlsson, B., Wackelgard, E., The impact of optical and thermal properties on the performance of flat plate solar collectors, *Renewable Energy*, Vol. 28, 2003, pp. 331-344.
- [18] Kostic, Lj. T., Pavlovic, Z. T., Optimal position of flat plate reflectors of solar thermal collector, *Energy and Buildings*, Vol 45, 2012, pp. 161-168.

- [19] Kumar, R., Kaushik, S. C., Garg, H. P., Analytical study of collector solar-gain enhancement by multiple reflectors, *Energy*, Vol. 20, 1995, pp. 511-522.
- [20] Souka, A. F., Double exposure flat-plate collector, *Solar Energy*, Vol. 9, 1965, pp. 117-118.
- [21] Souka, A. F., Safwat, H. H., Determination of the optimum orientation for the double exposure flat-plate collector and its reflectors, *Solar Energy*, Vol. 10, 1966, pp. 170-174.
- [22] Souka, A. F., Safwat, H. H., Theoretical evaluation of the performance of a double exposure flat-plate collector using a single reflector, *Solar Energy*, Vol. 12, 1968, pp. 347-352.
- [23] Larson, D. C., Mirror enclosures for double-exposure solar collectors, *Solar Energy*, Vol. 23, 1979, pp. 517-524.
- [24] Wong, L. T., Chow, W. K., Solar radiation model, *Applied Energy*, Vol. 69, 2001, pp. 191-224.
- [25] Klein, S. A., Calculation of the monthly average transmittance-absorptance product. *Solar Energy*, Vol. 23, 1979, pp. 547-551.
- [26] Nikolić, N., Lukić, N., Mathematical model of absorbed solar radiation of a double insolated, flat, water solar collector, *Proceedings of the 41<sup>st</sup> International congress on heating, refrigerating and air-conditioning*, December 1-3, 2010, Belgrade, Serbia, pp. 460-71.
- [27] Nikolić, N., Lukić, N., Mathematical model for determining the irradiated area of the lower absorber surface of the double exposure flat-plate water solar collector, *Proceedings of the 24<sup>th</sup> International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems (ECOS 2011)*, July 4-7, 2011, Novi Sad, Serbia, pp. 3401-3413.
- [28] Nikolić, N., Lukić, N., A mathematical model for determining the optimal reflector position of a double exposure flat-plate solar collector, *Renewable Energy*, Vol. 51, 2013, pp. 292-301.
- [29] Nikolić, N., Lukić, N., Taranović, D., Optimal reflector position of a double exposure flat-plate solar collector, *Proceedings of the 11<sup>th</sup> DEMI International Conference*, May 30-June 1, 2013, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina, pp. 737-742.
- [30] Nikolić, N., Lukić, N., Bojić M., Impact of the lateral collector edges on the irradiated area of the lower absorber surface of the bifacial solar collector, *Proceedings of the 22<sup>nd</sup> International conference: Installations for buildings and ambiental comfort*, April 11-12, 2013, Timisoara, Romania, pp. 420-431.
- [31] Ehlert, J. R., Smith, T. F., View factors for perpendicular and parallel rectangular plates, *J. Thermophysics*, Vol. 7, No. 1, 1992, pp. 173-175.
- [32] Gross, U., Spindler, K., Hahne, E., Shape factor equations for radiation heat transfer between plane rectangular surfaces of arbitrary position and size with parallel boundaries, *Letters in Heat and Mass Transfer*, Vol. 8, No. 3, 1981, pp. 219-227.
- [33] Duffie, J. A., Beckmann, W. A., *Solar Engineering of Thermal Processes*, 3<sup>rd</sup> ed., John Wiley & Sons, Inc, 2006.
- [34] Nikolić, N., Lukić, N., Taranović, D., Measurement chain for the bifacial and the conventional flat-plate water solar collectors, *Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Quality Conference*, May 24<sup>th</sup>, 2013, Kragujevac, Serbia, pp. 285-290.
- [35] Skerlić, J., Bojić, M., Optimization of solar collector performance by using EnergyPlus and Hooke-Jeeves algorithm, *Proceedings of the 41<sup>st</sup> International congress on heating, refrigerating and air - conditioning*, December 1-3, 2010, Belgrade, Serbia, pp. 472-479.
- [36] Lukić, N., Babić, M., *Solarna energija*, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 2008 (ISBN 86-86663-20-7).
- [37] Nikolić, N., Lukić, N., Taranović, D., Skerlić, J., Verification of the model for determining the irradiated area of the lower absorber surface of the double exposure flat-plate solar collector, *Proceedings of the 43<sup>rd</sup> International congress on heating, refrigerating and air-conditioning*, December 5-7, 2012, Belgrade, Serbia, pp. 163-170.

- [38] Crawley, Drury B., Linda K. Lawrie, Frederick C. Winkelmann, Curtis O. Pedersen. 2001. EnergyPlus: New capabilities in a whole-building energy simulation program, Proceedings of Building Simulation 2001, August, 2001, Rio de Janeiro, Brazil, pp. 51-58. IBPSA.
- [39] Crawley, Drury B., Linda K. Lawrie, Frederick C. Winkelmann, Curtis O. Pedersen. 2001. EnergyPlus: A new-generation building energy simulation program, Proceedings of Forum 2001: Solar Energy: The Power to Choose, April 21-25, 2001, Washington, DC. Boulder, Colorado: ASES.
- [40] Bojić, M., Nikolić, N., Nikolić, D., Skerlić, J., Miletić, I., Simulation of solar energy use for building heating by a vapor compression heat pump, 3<sup>rd</sup> IASTED African International Conference on Modelling and Simulation (AfricaMS 2010), September 6-8, 2010, Gaborone, Botswana, pp. 179-186.
- [41] Bojić, M., Nikolić, N., Nikolić, D., Skerlić, J., Miletić, I., A simulation appraisal of performance of different HVAC systems in an office building, Energy and Buildings, Vol. 43, No. 6, 2011, pp. 1207-1215.
- [42] Bojić, M., Nikolić, N., Nikolić, D., Skerlić, J., Miletić, I., Toward a positive-net-energy residential building in Serbian conditions, Applied Energy, Vol. 88, No. 7, 2011, pp. 2407-2419.
- [43] Bojić, M., Cvetković, D., Nikolić, N., Comparison of panel-heating systems and radiator-heating systems regarding energy consumption and economy, Proceedings of the 20<sup>th</sup> International conference: Building services and ambiental comfort, April 7-8, 2011, Timisoara, Romania, pp. 393-407.
- [44] Skerlić, J., Nikolić, D., Cvetković, D., Miletić, M., Nikolić, N., Modeling of natural ventilation systems in buildings using Energyplus software, Proceedings of the 42<sup>nd</sup> International congress on heating, refrigerating and air-conditioning, November 30-December 2, 2011, Belgrade, Serbia, pp. 418-426.

# 10 Номенклатура

## ОЗНАКЕ

- $A$  - Површина ( $m^2$ )  
 $A_g$  - Површина горњег дела апсорбера ( $m^2$ )  
 $A_d$  - Површина доњег дела апсорбера ( $m^2$ )  
 $a_p$  - Дужина озрачености у равни пријемно-рефлектујућег система (m)  
 $a_{vg}$  - Температурска проводност ваздуха између апсорбера и горњег застакљења соларног пријемника ( $m^2/s$ )  
 $b_{kon}$  - Ширина споја соларног пријемника (m)  
 $b_p$  - Дужина сенке пријемника на рефлектору у пројектованој равни (m)  
 $brd$  - Редни број дана у години (почев од 01.01.) (-)  
 $brd_{21}$  - Број дана протеклих од пролећне равнодневице на северној хемисфери (-)  
 $c_p$  - Специфична топлота флуида соларног пријемника (J/kgK)  
 $D$  - Спољашњи пречник цеви соларног пријемника (m)  
 $D_u$  - Унутрашњи пречник цеви соларног пријемника (m)  
 $d$  - Растојање између равни пријемника и равни рефлектора (m)  
 $e_1$  - Дужина сабирне или разводне цеви пријемника у EWG $\alpha$  равни (m)  
 $e_2$  - Растојање између равни апсорбера и застакљења пријемника у EWG $\alpha$  равни (m)  
 $e_3$  - Ширина профила кућишта пријемника којима је застакљење причвршћено за кућиште у EWG $\alpha$  равни (m)  
 $F$  - Коефицијент ефикасности апсорбера соларног пријемника (-)  
 $F'$  - Фактор ефикасности соларног пријемника (-)  
 $F''$  - Фактор протока соларног пријемника (-)  
 $F_R$  - Фактор преноса топлоте соларног пријемника (-)  
 $F_{TP}$  - Фактор облика (-)  
 $f_1$  - Дужина сабирне или разводне цеви пријемника у NSG $\alpha$  равни (m)  
 $f_2$  - Растојање између равни апсорбера и застакљења пријемника у NSG $\alpha$  равни (m)  
 $f_3$  - Ширина профила кућишта пријемника којима је застакљење причвршћено за кућиште у NSG $\alpha$  равни (m)  
 $G$  - Угао нагиба соларног пријемника (rad)  
 $g$  - Убрзање Земљине теже ( $m/s^2$ )  
 $H'$  - Интензитет дозраченог, тренутног (часовног) соларног зрачења које доспева на хоризонталну површину Земље  
 $H_0'$  - Интензитет тренутног соларног зрачења на врху атмосфере ( $W/m^2$ )  
 $H'_G$  - Интензитет дозраченог соларног зрачења на нагнуту површину пријемника ( $W/m^2$ )  
 $H'_{Gg}$  - Дозрачено соларно зрачење на горњу површину апсорбера пријемника ( $W/m^2$ )  
 $H'_{Gd}$  - Дозрачено соларно зрачење на доњу површину апсорбера пријемника ( $W/m^2$ )  
 $h_{c-f}$  - Коефицијент прелаза топлоте са унутрашње површине цеви пријемника на флуид ( $W/m^2K$ )  
 $h_{k,a-dz}$  - Коефицијент прелаза топлоте конвекцијом са апсорбера на доње застакљење пријемника ( $W/m^2K$ )  
 $h_{k,a-gz}$  - Коефицијент прелаза топлоте конвекцијом са апсорбера на горње застакљење пријемника ( $W/m^2K$ )

$h_{k,b-o}$  - Коефицијент прелаза топлоте конвекцијом са бочних површина пријемника у околину ( $W/m^2K$ )  
 $h_{k,dz-o}$  - Коефицијент прелаза топлоте конвекцијом са доње површине пријемника у околину ( $W/m^2K$ )  
 $h_{k,gz-o}$  - Коефицијент прелаза топлоте конвекцијом са горњег застакљења пријемника у околину ( $W/m^2K$ )  
 $h_{z,a-gz}$  - Коефицијент прелаза топлоте зрачењем са апсорбера на горње застакљење пријемника ( $W/m^2K$ )  
 $h_{z,a-dz}$  - Коефицијент прелаза топлоте зрачењем са апсорбера на доње застакљење пријемника ( $W/m^2K$ )  
 $h_{z,b-o}$  - Коефицијент прелаза топлоте зрачењем са бочних површина пријемника у околину ( $W/m^2K$ )  
 $h_{z,dz-o}$  - Коефицијент прелаза топлоте зрачењем са доње површине пријемника у околину ( $W/m^2K$ )  
 $h_{z,gz-o}$  - Коефицијент прелаза топлоте зрачењем са горњег застакљења пријемника у околину ( $W/m^2K$ )  
 $I$  - Укупно апсорбовано соларно зрачење соларног пријемника ( $W/m^2$ )  
 $I_d$  - Укупно апсорбовано соларно зрачење доње површине апсорбера соларног пријемника ( $W/m^2$ )  
 $I_g$  - Укупно апсорбовано соларно зрачење горње површине апсорбера соларног пријемника ( $W/m^2$ )  
 $I_j$  - Укупно апсорбована соларна енергија соларног пријемника (J)  
 $I_m$  - Месечна укупно апсорбована соларна енергија соларног пријемника (J)  
 $I_n$  - Произвољни интензитет дозраченог соларног зрачења ( $W/m^2$ )  
 $I_s$  - Соларна константа ( $W/m^2$ )  
 $i$  - Упадни угао соларног зрака (rad)  
 $K_g$  - Коефицијент пролаза топлотних губитака соларног пријемника ( $W/m^2K$ )  
 $K_{gb}$  - Коефицијент пролаза топлотних губитака кроз бочне површине соларног пријемника ( $W/m^2K$ )  
 $K_{gd}$  - Коефицијент пролаза топлотних губитака кроз доњу површину соларног пријемника ( $W/m^2K$ )  
 $K_{gg}$  - Коефицијент пролаза топлотних губитака кроз горњу површину соларног пријемника ( $W/m^2K$ )  
 $k_d$  - Коефицијент односа дифузног и дозраченог тренутног соларног зрачења (-)  
 $k_{bi}$  - Коефицијент топлотне проводљивости изолације на бочним површинама соларног пријемника (m)  
 $k_i$  - Коефицијент топлотне проводљивости изолације соларног пријемника ( $W/mK$ )  
 $k_{kon}$  - Коефицијент топлотне проводљивости споја соларног пријемника ( $W/mK$ )  
 $k_t$  - Коефицијент односа зрачења  $H'$  и зрачења  $H_0'$  (-)  
 $k_{vg}$  - Топлотна проводљивост ваздуха између апсорбера и горњег застакљења соларног пријемника на датој температури ( $W/mK$ )  
 $L$  - Дужина (m)  
 $L_v$  - Дебљина ваздушног слоја између апсорбера и горњег застакљења соларног пријемника (m)  
 $l_{geo}$  - Географска дужина локације соларног пријемника ( $^{\circ}$ )  
 $l_{1ewd}$  - Смањење дужине  $\lambda$  услед присуства димензија  $e_{1d}$  и  $e_{2d}$  (m)  
 $l_{1ewl}$  - Смањење дужине  $\lambda$  услед присуства димензија  $e_{1l}$  и  $e_{2l}$  (m)  
 $l_{1nsd}$  - Смањење дужине  $\lambda$  услед присуства димензија  $f_{1d}$  и  $f_{2d}$  (m)  
 $l_{1nsl}$  - Смањење дужине  $\lambda$  услед присуства димензија  $f_{1l}$  и  $f_{2l}$  (m)  
 $l_{2ewd}$  - Смањење дужине  $\lambda$  услед присуства димензија  $e_{2d}$  и  $e_{3d}$  (m)

$l_{2ewl}$  - Смањење дужине  $\lambda$  услед присуства димензија  $e_{21}$  и  $e_{31}$  (m)  
 $l_{2nsd}$  - Смањење дужине  $\lambda$  услед присуства димензија  $f_{2d}$  и  $f_{3d}$  (m)  
 $l_{2nsl}$  - Смањење дужине  $\lambda$  услед присуства димензија  $f_{2l}$  и  $f_{3l}$  (m)  
 $m$  - Масени проток флуида кроз соларни пријемник (kg/s)  
 $n$  - Број цеви апсорбера соларног пријемника (m)  
 $Nu_g$  - Nusselt-ов број за дату размену топлоте у горњем делу соларног пријемника (-)  
 $O$  - Обим соларног пријемника (m)  
 $p$  - Растојање између места где соларни зрак погађа рефлектор и места где исти рефлектовани зрак погађа доњи део апсорбера двоструко-озраченог соларног пријемника (m)  
 $Q$  - Корисна топлотна снага соларног пријемника (W)  
 $Q_g$  - Топлотни губици соларног пријемника (W)  
 $Q_j$  - Корисна топлотна енергија соларног пријемника (J)  
 $Q_m$  - Месечна корисна топлотна енергија соларног пријемника (J)  
 $Q_{d,m}^*$  - Месечна корисна топлотна енергија двоструко-озраченог соларног пријемника за случај максимално могуће озрачености доњег дела апсорбера при утицају бочних страна пријемника (J)  
 $Q_{d,m}^{**}$  - Месечна корисна топлотна енергија двоструко-озраченог соларног пријемника за случај максимално могуће озрачености доњег дела апсорбера без утицаја бочних страна пријемника (J)  
 $Q_{d,m}^{***}$  - Месечна корисна топлотна енергија двоструко-озраченог соларног пријемника за случај да је озраченост доњег дела апсорбера једнака нули (J)  
 $Q_{kon}$  - Количина топлоте која у јединици времена кондукцијом уђе у елементарну запремину апсорбера соларног пријемника (W)  
 $q_{dao}$  - Флуks топлотних губитака са доње површине апсорбера соларног пријемника у околину ( $W/m^2$ )  
 $q_{gao}$  - Флуks топлотних губитака соларног пријемника са горње површине апсорбера у околину ( $W/m^2$ )  
 $q_{gaz}$  - Флуks топлотних губитака соларног пријемника са апсорбера ка горњем застакљењу ( $W/m^2$ )  
 $q_{gzo}$  - Флуks топлотних губитака соларног пријемника са горњег застакљења у околину ( $W/m^2$ )  
 $q_{ddo}$  - Флуks топлотних губитака који конвекцијом и зрачењем пређу са доње површине соларног пријемника у околину ( $W/m^2$ )  
 $q_{dko}$  - Флуks топлотних губитака који кондукцијом прођу кроз изолацију соларног пријемника ( $W/m^2$ )  
 $q_k$  - Корисна количина топлоте по јединици дужине цеви која у јединици времена кондукцијом улази у зону споја цеви и апсорбера соларног пријемника (W/m)  
 $q_{kon,a}$  - Количина топлоте по јединици дужине цеви која у јединици времена кондукцијом улази у зону споја цеви и апсорбера соларног пријемника (W/m)  
 $q_{kon,c}$  - Количина топлоте по јединици дужине цеви која у јединици времена кондукцијом пролази кроз део плоче апсорбера соларног пријемника непосредно изнад споја (W/m)  
 $q_{konv}$  - Количина топлоте по јединици дужине цеви која у јединици времена конвекцијом прелази са унутрашњег зида цеви на флуид (W/m)  
 $Ra_g$  - Rayleigh-ов број за дату размену топлоте у горњем делу соларног пријемника (-)  
 $s$  - Најкраће растојање између тежишта правоугаоних површина пријемника и рефлектора (m)  
 $T_a$  - Средња температура апсорбера соларног пријемника (K)  
 $T_{dz}$  - Средња температура доњег застакљења соларног пријемника (K)  
 $T_f$  - Температура флуида соларног пријемника (K)  
 $T_{fm}$  - Средња температура флуида соларног пријемника (K)

$T_{gz}$  - Средња температура горњег застакљења соларног пријемника (K)  
 $T_i$  - Температура флуида на излазу из соларног пријемника (K)  
 $T_{kd}$  - Температура доње површине кутије класичног соларног пријемника (K)  
 $T_{kon}$  - Температура споја цеви и апсорбера код соларног пријемника (K)  
 $T_o$  - Температура околине (K)  
 $T_s$  - Температура неба (K)  
 $T_u$  - Температура флуида на улазу у соларни пријемник (K)  
 $TZ$  - Временска зона географске локације пријемника (-)  
 $t$  - Право сунчано време (часовни угао) (rad)  
 $t_0$  - Светско (локално) време које се читава на часовнику (h)  
 $V_w$  - Брзина ветра (m/s)  
 $v$  - Растојање између осе рефлектора и спољашње ивице пријемника, мерено ка оси пријемника (m)  
 $W$  - Ширина (m)  
 $W_d$  - Осно растојање између цеви апсорбера двоструко-озраченог соларног пријемника (m)  
 $W_k$  - Осно растојање између цеви апсорбера класичног соларног пријемника (m)  
 $w$  - Растојање између осе рефлектора и спољашње ивице пријемника, мерено од пријемника (m)  
 $X$  - Растојање између оса рефлектора и пријемника у EWG $\alpha$  равни (m)  
 $Y$  - Растојање између оса рефлектора и пријемника у NSG $\alpha$  равни (m)  
 $y$  - Растојање између равни пријемника и равни рефлектора (m)  
 $Z$  - Растојање између равни рефлектора и пријемника (m)

## ГРЧКА СЛОВА

$\alpha$  - Орјентација соларног пријемника (rad)  
 $\alpha$  - Коефицијент апсорпције апсорбера (-)  
 $\alpha_n$  - Коефицијент апсорпције апсорбера за соларни зрак који нормално пада на пријемник (-)  
 $\beta$  - Алтитуда (rad)  
 $\beta_{ewG\alpha}$  - Пројекција угла соларне алтитуде ( $\beta$ ) на EWG $\alpha$  раван (rad)  
 $\beta_{nsG\alpha}$  - Пројекција угла соларне алтитуде ( $\beta$ ) на NSG $\alpha$  раван (rad)  
 $\beta_g$  - Коефицијент запреминског ширења ваздуха између апсорбера и горњег застакљења соларног пријемника (1/K)  
 $\gamma$  - Азимут (rad)  
 $\gamma_{G\alpha}$  - Пројекција угла соларног азимута ( $\gamma$ ) на PRS раван (rad)  
 $\Delta A$  - Месечна процентуална разлика површине озрачености доњег дела апсорбера двоструко-озраченог соларног пријемника између случаја максимално могуће озрачености при утицају бочних страна пријемника и случаја максимално могуће озрачености без утицаја бочних страна пријемника (%)  
 $\Delta I$  - Процентуална разлика укупно апсорбованог зрачења соларних пријемника (%)  
 $\Delta I_j$  - Процентуална разлика укупно апсорбованих енергија соларних пријемника (%)  
 $\Delta I_j (A_{max})$  - Процентуална разлика укупно апсорбованих енергија за случај максимално могуће озрачености доњег дела апсорбера двоструко-озраченог соларног пријемника (%)  
 $\Delta I_m$  - Месечна процентуална разлика укупно апсорбованих енергија соларних пријемника (%)  
 $\Delta I_y$  - Годишња процентуална разлика укупно апсорбованих енергија (%)  
 $\Delta Q$  - Процентуална разлика корисних топлотних снага соларних пријемника (%)  
 $\Delta Q_j$  - Процентуална разлика корисних топлотних енергија соларних пријемника (%)



$\Delta Q_j (A_{\max})$  - Процентуална разлика корисних топлотних енергија за случај максимално могуће озрачености доњег дела апсорбера двоструко-озраченог соларног пријемника (%)  
 $\Delta Q_m$  - Месечна процентуална разлика корисних топлотних енергија соларних пријемника (%)  
 $\Delta Q_d$  - Месечна процентуална разлика корисних топлотних енергија двоструко-озраченог соларног пријемника између случаја максимално могуће озрачености при утицају бочних страна пријемника и случаја максимално могуће озрачености без утицаја бочних страна пријемника (%)  
 $\Delta Q_y$  - Годишња процентуална разлика корисних топлотних енергија (%)  
 $\Delta T_g$  - Разлика средњих температура апсорбера и горњег застакљења соларног пријемника (К)  
 $\delta$  - Деклинација (rad)  
 $\delta_a$  - Дебљина апсорбера соларног пријемника (m)  
 $\delta_i$  - Дебљина изолације соларног пријемника (m)  
 $\delta_b$  - Висина соларног пријемника (m)  
 $\delta_{bi}$  - Дебљина изолације на бочним површинама класичног соларног пријемника (m)  
 $\varepsilon_a$  - Коефицијент емисије апсорбера соларног пријемника (-)  
 $\varepsilon_{gz}$  - Коефицијент емисије горњег застакљења соларног пријемника (-)  
 $\varepsilon_{dz}$  - Коефицијент емисије доњег застакљења соларног пријемника (-)  
 $\eta$  - Ефикасност соларног пријемника (-)  
 $\eta_j$  - Дневна ефикасност соларног пријемника (-)  
 $\eta_j (A_{\max})$  - Дневна ефикасност соларног пријемника за случај максимално могуће озрачености доњег дела апсорбера двоструко-озраченог соларног пријемника (-)  
 $\eta_m$  - Месечна ефикасност соларног пријемника (-)  
 $\eta_y$  - Годишња ефикасност соларног пријемника (-)  
 $\theta_1$  - Упадни угао зрака на површину рефлектора (°)  
 $\theta_2$  - Упадни угао зрака на површину пријемника (°)  
 $\kappa_{\text{kon}}$  - Средња дебљина споја соларног пријемника (m)  
 $\lambda$  - Дужина озрачености у EWGa равни (m)  
 $\nu_{vg}$  - Кинематска вискозност ваздуха између апсорбера и горњег застакљења соларног пријемника (m<sup>2</sup>/s)  
 $\zeta$  - Дужина озрачености у NSGa равни (m)  
 $\rho$  - Коефицијент рефлексије рефлектора (-)  
 $\sigma$  - Stefan-Boltzmann-ова константа (W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>)  
 $\tau$  - Коефицијент пропустљивости застакљења (-)  
 $\tau_n$  - Коефицијент пропустљивости застакљења за соларни зрак који нормално пада на пријемник (-)  
 $(\tau\alpha)$  - Оптичка ефикасност при соларном зрачењу (-)  
 $(\tau\alpha)_n$  - Оптичка ефикасност за соларни зрак који нормално пада на површину пријемника (-)  
 $\varphi$  - Географска ширина локације пријемника (rad)

## ИНДЕКСИ

1 - EWGa раван  
2 - NSGa раван  
d - Двоструко-озрачен соларни пријемник  
d - Десно  
dif - Дифузно соларно зрачење  
dir - Директно соларно зрачење  
e - Експериментално

$ewG\alpha$  -  $EWG\alpha$  раван

l - Лево

k - Класичан соларни пријемник

$nsG\alpha$  -  $NSG\alpha$  раван

ozr - Озраченост

r - Рефлектор

t - Теоријско

\* - Случај максимално могуће озрачености доњег дела апсорбера двоструко-озраченог соларног пријемника при утицају бочних страна пријемника

\*\* - Случај максимално могуће озрачености доњег дела апсорбера двоструко-озраченог соларног пријемника без утицаја бочних страна пријемника

\*\*\* - Случај када је озраченост доњег дела апсорбера двоструко-озраченог соларног пријемника једнака нули

## СКРАЋЕНИЦЕ

ДДА - Доњи део апсорбера

ДОП - Двоструко-озрачен соларни пријемник

ДО - Делимична озраченост (осенченост)

КП - Класични соларни пријемник

РОС - Потпуна осенченост

РОЗ - Потпуна озраченост

ПРС - Пријемно-рефлектујући систем

## 11 Прилог А - Експериментални резултати испитивања класичног и двоструко-озраченог соларног пријемника

Табела А.1 Експериментални резултати испитивања КП-а за 08. август 2012. године

Време (h)	$m_k$ (kg/s)	$c_{p,k}$ (J/kgK)	$T_{k,u}$ (°C)	$T_{k,i}$ (°C)	$T_o$ (°C)	$Q_k$ (W)	$H'$ (W/m <sup>2</sup> )	$V_{vetra}$ (m/s)
10:00	0.00654	4.1827	35	40.1	29.4	139.509	724	2.8
10:05	0.00654	4.1826	35.3	40.4		139.506	733	
10:10	0.00654	4.1825	35.9	40.6		128.562	742	
10:15	0.00654	4.1824	35.8	41.2	29.2	147.707	751	
10:20	0.00654	4.1824	35.8	41.6		158.646	759	
10:25	0.00654	4.1823	36.4	41.8		147.702	766	
10:30	0.00654	4.1823	36.1	42.2	29.3	166.848	774	
10:35	0.00654	4.1822	36.3	42.4		166.846	781	
10:40	0.00654	4.1822	36.3	42.6		172.315	788	
10:45	0.00654	4.1822	36.4	42.8	29.8	175.048	794	
10:50	0.00654	4.1821	36.3	43		183.253	800	
10:55	0.00654	4.1821	36.6	43.1		177.781	806	
11:00	0.00654	4.182	36.7	43.7	30.7	191.452	812	3.7
11:05	0.00654	4.182	36.7	43.8		194.187	817	
11:10	0.00654	4.182	36.5	44.1		207.861	822	
11:15	0.00647	4.1819	36.8	44.2	30.9	200.223	827	
11:20	0.00647	4.1819	37	44.5		202.925	831	
11:25	0.00647	4.1819	37	44.6		205.63	835	
11:30	0.00647	4.1818	37.1	44.6	30.6	202.924	838	
11:35	0.00647	4.1818	37.1	44.7		205.629	842	
11:40	0.00647	4.1818	37	44.8		211.041	845	
11:45	0.00647	4.1818	37	44.9	31.4	213.746	847	
11:50	0.00647	4.1817	37.4	45.1		208.331	849	
11:55	0.00647	4.1817	37.3	45.3		216.447	851	
12:00	0.00647	4.1817	37.3	45.4	31.7	219.152	853	2.5
12:05	0.00647	4.1817	37.4	45.4		216.445	855	
12:10	0.00647	4.1816	37.7	45.7		216.442	856	
12:15	0.00647	4.1816	37.7	46	31.8	224.556	856	
12:20	0.00647	4.1816	37.7	46		224.556	857	
12:25	0.00647	4.1816	37.8	45.9		219.145	857	
12:30	0.00647	4.1816	37.7	46	31.7	224.556	856	
12:35	0.00647	4.1816	37.6	46.1		229.967	856	
12:40	0.00647	4.1816	37.8	46.2		227.26	855	
12:45	0.00647	4.1815	38.1	46.1	32	216.436	854	
12:50	0.00647	4.1815	37.9	46.4		229.963	852	
12:55	0.00647	4.1815	38.2	46.5		224.549	850	
13:00	0.00647	4.1815	37.9	46.7	32.5	238.077	848	2
13:05	0.00647	4.1815	38.2	46.7		229.959	846	
13:10	0.00647	4.1815	38	46.6		232.666	843	
13:15	0.00647	4.1815	38.1	46.7	33.3	232.665	840	
13:20	0.00647	4.1814	38.5	46.6		219.136	836	
13:25	0.00647	4.1814	38.5	46.8		224.545	832	

13:30	0.00647	4.1814	38.4	46.8	32.8	227.251	828	
13:35	0.00651	4.1814	38.5	46.9		228.655	824	
13:40	0.00651	4.1814	38.4	47		234.099	819	
13:45	0.00651	4.1814	38.5	46.9	32.6	228.655	814	
13:50	0.00651	4.1814	38.4	46.8		228.656	809	
13:55	0.00651	4.1814	38.6	46.9		225.932	803	
14:00	0.00651	4.1813	38.8	47.1	33.6	225.93	797	3.2
14:05	0.00651	4.1814	38.6	47		228.654	791	
14:10	0.00651	4.1813	39.1	46.8		209.597	784	
14:15	0.00651	4.1813	39.3	46.9	32.6	206.873	777	
14:20	0.00651	4.1813	39.1	47.3		223.204	770	
14:25	0.00651	4.1812	39.6	47.3		209.591	762	
14:30	0.00651	4.1812	39.6	47.3	32.4	209.591	754	
14:35	0.00651	4.1812	39.6	47.1		204.148	746	
14:40	0.00651	4.1812	39.6	47.2		206.87	737	
14:45	0.00651	4.1812	39.7	47.3	32.9	206.869	728	
14:50	0.00651	4.1812	39.8	47.1		198.703	719	
14:55	0.00651	4.1812	39.6	47.2		206.87	709	
15:00	0.00651	4.1812	39.8	46.9	33.1	193.261	699	5
15:05	0.00651	4.1812	39.7	46.9		195.983	689	
15:10	0.00651	4.1812	39.8	46.8		190.539	679	
15:15	0.00651	4.1813	39.8	46.6	33.6	185.096	668	
15:20	0.00651	4.1813	39.8	46.7		187.818	657	
15:25	0.00651	4.1813	39.8	46.5		182.375	645	
15:30	0.00651	4.1813	39.8	46.5	33.1	182.375	633	
15:35	0.00651	4.1813	39.8	46.4		179.653	621	
15:40	0.00651	4.1813	39.8	46.4		179.653	609	
15:45	0.00653	4.1813	39.9	46.1	33.1	169.285	596	
15:50	0.00653	4.1813	39.9	46.1		169.285	583	
15:55	0.00653	4.1813	40	46.1		166.554	569	
16:00	0.00653	4.1813	40	46	33.1	163.824	556	5
16:05	0.00653	4.1813	40	45.9		161.094	542	
16:10	0.00653	4.1813	40	45.9		161.094	527	
16:15	0.00653	4.1813	40.3	45.8	32.6	150.171	513	
16:20	0.00653	4.1813	40.4	45.6		141.981	498	
16:25	0.00653	4.1813	40.3	45.6		144.712	482	
16:30	0.00653	4.1813	40.4	45.4	32.4	136.521	466	
16:35	0.00653	4.1813	40.9	45.2		117.407	451	
16:40	0.00653	4.1813	40.9	45.2		117.407	434	
16:45	0.00653	4.1814	40.8	44.7	32.2	106.487	418	
16:50	0.00653	4.1814	40.9	44.5		98.2961	401	
16:55	0.00653	4.1814	40.9	44.5		98.2961	383	
17:00	0.00653	4.1813	41.4	44.4	32	81.9124	366	3.1

**Табела А.2** Експериментални резултати испитивања ДОП-а за 08. август 2012. године

Време (h)	$m_d$ (kg/s)	$c_{p,d}$ (J/kgK)	$T_{d,u}$ (°C)	$T_{d,i}$ (°C)	$T_o$ (°C)	$Q_d$ (W)	$H'$ (W/m <sup>2</sup> )	$V_{vetra}$ (m/s)
10:00	0.00654	4.1823	35.2	42.9	29.4	210.612	724	2.8
10:05	0.00654	4.1822	35.5	43.2		210.608	733	
10:10	0.00654	4.1821	35.9	43.5		207.869	742	
10:15	0.00654	4.182	35.9	44.3	29.2	229.744	751	
10:20	0.00654	4.182	35.8	45		251.62	759	
10:25	0.00654	4.1819	36.4	45.1		237.94	766	
10:30	0.00654	4.1818	36.2	45.7	29.3	259.817	774	
10:35	0.00654	4.1818	36.3	46		265.283	781	
10:40	0.00654	4.1818	36.4	45.9		259.814	788	
10:45	0.00654	4.1817	36.4	46.4	29.8	273.484	794	
10:50	0.00654	4.1817	36.3	46.6		281.688	800	
10:55	0.00654	4.1816	36.6	47.2		289.884	806	
11:00	0.00654	4.1816	36.6	47.1	30.7	287.15	812	3.7
11:05	0.00654	4.1815	36.7	47.7		300.818	817	
11:10	0.00654	4.1815	36.6	48		311.755	822	
11:15	0.00647	4.1815	36.8	48.1	30.9	305.71	827	
11:20	0.00647	4.1814	37	48.6		313.82	831	
11:25	0.00647	4.1814	37	48.3		305.706	835	
11:30	0.00647	4.1814	37	48.1	30.6	300.297	838	
11:35	0.00647	4.1814	37	48.2		303.002	842	
11:40	0.00647	4.1815	36.9	48		300.299	845	
11:45	0.00647	4.1815	36.8	48.1	31.4	305.71	847	
11:50	0.00647	4.1814	37.3	48.1		292.179	849	
11:55	0.00647	4.1814	37.2	48.1		294.885	851	
12:00	0.00647	4.1814	37.3	47.9	31.7	286.77	853	2.5
12:05	0.00647	4.1814	37.3	48		289.474	855	
12:10	0.00647	4.1813	37.6	48.2		286.765	856	
12:15	0.00647	4.1814	37.6	48.1	31.8	284.06	856	
12:20	0.00647	4.1814	37.6	47.9		278.651	857	
12:25	0.00647	4.1814	37.6	47.7		273.242	857	
12:30	0.00647	4.1814	37.6	47.5	31.7	267.833	856	
12:35	0.00647	4.1814	37.5	47.7		275.948	856	
12:40	0.00647	4.1814	37.7	47.5		265.127	855	
12:45	0.00647	4.1814	38	47.4	32	254.304	854	
12:50	0.00647	4.1814	37.8	47.6		265.125	852	
12:55	0.00647	4.1814	38.1	47.5		254.302	850	
13:00	0.00647	4.1814	37.8	47.3	32.5	257.011	848	2
13:05	0.00647	4.1814	38.1	47.4		251.598	846	
13:10	0.00647	4.1814	38	47.5		257.008	843	
13:15	0.00647	4.1814	38	47.6	33.3	259.713	840	
13:20	0.00647	4.1814	38.3	47.4		246.185	836	
13:25	0.00647	4.1814	38.3	47.3		243.481	832	
13:30	0.00647	4.1814	38.3	47.2	32.8	240.776	828	
13:35	0.00652	4.1814	38.3	47.3		245.362	824	
13:40	0.00652	4.1813	38.3	47.6		253.539	819	
13:45	0.00652	4.1813	38.4	47.7	32.6	253.537	814	

13:50	0.00652	4.1813	38.2	47.7		258.991	809	
13:55	0.00652	4.1813	38.4	47.9		258.988	803	
14:00	0.00652	4.1812	38.6	48.3	33.6	264.436	797	3.2
14:05	0.00652	4.1812	38.4	48.4		272.615	791	
14:10	0.00652	4.1812	38.9	48.1		250.805	784	
14:15	0.00652	4.1811	39	48.5	32.6	258.979	777	
14:20	0.00652	4.1811	38.7	49		280.786	770	
14:25	0.00652	4.181	39.3	49		264.425	762	
14:30	0.00652	4.181	39.2	49.2	32.4	272.602	754	
14:35	0.00652	4.181	39.3	49.4		275.326	746	
14:40	0.00652	4.181	39.3	49.4		275.326	737	
14:45	0.00652	4.181	39.3	49.6	32.9	280.776	728	
14:50	0.00652	4.1809	39.5	49.6		275.323	719	
14:55	0.00652	4.1809	39.3	49.7		283.501	709	
15:00	0.00652	4.1809	39.5	49.8	33.1	280.773	699	5
15:05	0.00652	4.1809	39.4	49.7		280.774	689	
15:10	0.00652	4.1809	39.5	49.9		283.498	679	
15:15	0.00652	4.1809	39.5	50	33.6	286.223	668	
15:20	0.00652	4.1809	39.6	49.8		278.046	657	
15:25	0.00652	4.1809	39.6	50		283.496	645	
15:30	0.00652	4.1809	39.5	50	33.1	286.223	633	
15:35	0.00652	4.1809	39.5	49.9		283.498	621	
15:40	0.00652	4.1809	39.6	49.8		278.046	609	
15:45	0.00653	4.1809	39.6	49.4	33.1	267.555	596	
15:50	0.00653	4.181	39.6	49.3		264.826	583	
15:55	0.00653	4.181	39.7	49.2		259.365	569	
16:00	0.00653	4.1809	39.7	49.5	33.1	267.554	556	5
16:05	0.00653	4.1809	39.8	49.5		264.823	542	
16:10	0.00653	4.1809	39.8	49.3		259.364	527	
16:15	0.00653	4.1809	40	49.1	32.6	248.443	513	
16:20	0.00653	4.181	40.1	48.8		237.524	498	
16:25	0.00653	4.181	39.9	48.6		237.527	482	
16:30	0.00653	4.181	40.3	48.1	32.4	212.956	466	
16:35	0.00653	4.1811	40.4	47.7		199.307	451	
16:40	0.00653	4.1811	40.5	47.2		182.927	434	
16:45	0.00653	4.1811	40.4	47.1	32.2	182.929	418	
16:50	0.00653	4.1812	40.4	46.9		177.469	401	
16:55	0.00653	4.1812	40.5	46.7		169.279	383	
17:00	0.00653	4.1811	40.9	46.6	32	155.626	366	3.1

**Табела А.3** Експериментални резултати испитивања КП-а за 20. август 2012. године

Време (h)	$m_k$ (kg/s)	$c_{p,k}$ (J/kgK)	$T_{k,u}$ (°C)	$T_{k,i}$ (°C)	$T_o$ (°C)	$Q_k$ (W)	$H'$ (W/m <sup>2</sup> )	$V_{vetra}$ (m/s)
10:00	0.00531	4.1828	34.1	40.2	28.4	135.484	698	0.9
10:05	0.00531	4.1827	34.4	40.5		135.482	707	
10:10	0.00531	4.1826	34.3	41		148.806	717	
10:15	0.00531	4.1827	33.9	40.9	28.7	155.471	726	
10:20	0.00531	4.1826	34.4	41.1		148.805	734	
10:25	0.00531	4.1825	34.6	41.5		153.244	743	
10:30	0.00531	4.1825	34.6	42	29.6	164.346	751	
10:35	0.00531	4.1824	34.8	42.2		164.345	758	
10:40	0.00531	4.1824	34.8	42.7		175.446	765	
10:45	0.00531	4.1823	34.8	42.9	30.1	179.887	772	
10:50	0.00531	4.1823	34.8	43.2		186.548	779	
10:55	0.00531	4.1823	35	43.3		184.325	785	
11:00	0.00531	4.1822	34.9	43.7	30.6	195.427	791	1.3
11:05	0.00531	4.1822	35	43.9		197.646	797	
11:10	0.00531	4.1821	35.1	44.2		202.086	802	
11:15	0.00531	4.1821	35.1	44.5	30.8	208.746	807	
11:20	0.00531	4.1821	35.2	44.7		210.965	812	
11:25	0.00531	4.182	35.3	44.9		213.183	816	
11:30	0.00531	4.1821	35.1	44.9	31.8	217.626	820	
11:35	0.00531	4.182	35.4	45		213.182	823	
11:40	0.00531	4.182	35.5	44.9		208.741	827	
11:45	0.00531	4.182	35.4	45.2	31.1	217.622	829	
11:50	0.00531	4.1819	35.9	45.3		208.736	832	
11:55	0.00531	4.1818	35.7	46		228.718	834	
12:00	0.00531	4.1818	35.8	45.9	31.5	224.277	836	1.6
12:05	0.00531	4.1818	36.1	46.2		224.273	838	
12:10	0.00531	4.1818	36	46.3		228.714	839	
12:15	0.00531	4.1817	36.1	46.7	32	235.372	840	
12:20	0.00531	4.1817	36.2	46.5		228.711	840	
12:25	0.00531	4.1817	36.3	46.8		233.149	841	
12:30	0.00531	4.1817	36.5	46.6	31.6	224.267	840	
12:35	0.00531	4.1817	36.6	46.5		219.826	840	
12:40	0.00531	4.1816	36.7	46.8		224.265	839	
12:45	0.00531	4.1816	36.9	46.7	32.2	217.603	838	
12:50	0.00531	4.1815	37.3	47.1		217.598	837	
12:55	0.00531	4.1815	37.2	47.3		224.258	835	
13:00	0.00531	4.1815	37.3	47.3	32.5	222.037	833	1.9
13:05	0.00531	4.1815	37.3	47.5		226.476	830	
13:10	0.00531	4.1814	37.5	48		233.133	827	
13:15	0.00531	4.1813	37.9	48	33.7	224.249	824	
13:20	0.00531	4.1813	38.1	48.3		226.466	821	
13:25	0.00531	4.1813	38	48.2		226.467	817	
13:30	0.00531	4.1813	38.2	48.1	32.6	219.806	813	
13:35	0.00531	4.1812	38.3	48.4		224.243	808	
13:40	0.00531	4.1812	38.4	48.4		222.023	803	
13:45	0.00531	4.1812	38.6	48.6	33.1	222.02	798	

13:50	0.00531	4.1811	39.1	48.6		210.916	793	
13:55	0.00531	4.1811	39	48.5		210.917	787	
14:00	0.00531	4.1811	38.9	48.7	32.6	217.577	781	2.3
14:05	0.00531	4.181	39.5	49.3		217.569	774	
14:10	0.00531	4.1809	39.9	49.6		215.345	767	
14:15	0.00554	4.1809	40.1	49.3	33.6	213.092	760	
14:20	0.00554	4.1809	40.1	49.4		215.407	752	
14:25	0.00554	4.1809	40.1	49.4		215.407	745	
14:30	0.00554	4.1808	40	49.8	33.6	226.986	736	
14:35	0.00554	4.1809	40	49.4		217.724	728	
14:40	0.00554	4.1808	40.7	49.4		201.506	719	
14:45	0.00554	4.1808	40.7	49.7	33.6	208.453	710	
14:50	0.00554	4.1807	40.7	49.9		213.084	700	
14:55	0.00554	4.1807	40.9	49.8		206.135	690	
15:00	0.00554	4.1808	40.9	49.5	33.2	199.189	680	2.4
15:05	0.00554	4.1808	40.8	49.7		206.136	669	
15:10	0.00554	4.1808	41.1	49.4		192.239	659	
15:15	0.00554	4.1808	41.3	49.2	33.9	182.975	647	
15:20	0.00554	4.1808	41.1	49.2		187.608	636	
15:25	0.00554	4.1807	41.4	49.3		182.974	624	
15:30	0.00554	4.1807	41.4	49.3	33.9	182.974	612	
15:35	0.00554	4.1808	41.3	49.1		180.659	599	
15:40	0.00554	4.1808	41.5	49		173.71	586	
15:45	0.00554	4.1808	41.5	48.9	33.4	171.395	573	
15:50	0.00554	4.1808	41.5	48.7		166.763	559	
15:55	0.00554	4.1808	41.4	48.4		162.133	545	
16:00	0.00554	4.1808	41.5	48.9	33.4	171.395	531	2.4
16:05	0.00554	4.1808	41.6	48.2		152.868	516	
16:10	0.00554	4.1809	41.7	47.4		132.025	502	
16:15	0.00554	4.1809	41.7	47.5	33.9	134.341	486	
16:20	0.00554	4.1809	41.8	47.3		127.393	471	
16:25	0.00554	4.1809	42	47.3		122.76	455	
16:30	0.00554	4.1809	42.2	47.3	33.6	118.127	438	
16:35	0.00554	4.1809	42.4	47.1		108.862	422	
16:40	0.00609	4.1809	42.5	47.2		119.669	405	
16:45	0.00609	4.1809	42.5	47.1	33.5	117.123	387	
16:50	0.00609	4.1809	42.5	46.8		109.485	370	
16:55	0.00609	4.1809	42.7	46.7		101.847	352	
17:00	0.00609	4.1808	43.1	46.7	33.2	91.6608	334	2.2



**Табела А.4** Експериментални резултати испитивања ДОП-а за 20. август 2012. године

Време (h)	$m_d$ (kg/s)	$c_{p,d}$ (J/kgK)	$T_{d,u}$ (°C)	$T_{d,i}$ (°C)	$T_o$ (°C)	$Q_d$ (W)	$H'$ (W/m <sup>2</sup> )	$V_{vetra}$ (m/s)
10:00	0.00531	4.1824	34.2	43	28.4	195.436	698	0.9
10:05	0.00531	4.1822	34.2	44.3		224.298	707	
10:10	0.00531	4.1821	34.4	44.9		233.176	717	
10:15	0.00531	4.1822	33.9	45.2	28.7	250.943	726	
10:20	0.00531	4.1821	34.4	45.3		242.056	734	
10:25	0.00531	4.182	34.5	46		255.374	743	
10:30	0.00531	4.1819	34.6	46.6	29.6	266.471	751	
10:35	0.00531	4.1818	34.8	47		270.908	758	
10:40	0.00531	4.1818	34.8	47.4		279.787	765	
10:45	0.00531	4.1818	34.8	47.5	30.1	282.006	772	
10:50	0.00531	4.1817	34.7	47.9		293.106	779	
10:55	0.00531	4.1817	35	48		288.662	785	
11:00	0.00531	4.1817	35	48.2	30.6	293.101	791	1.3
11:05	0.00531	4.1816	35	48.9		308.638	797	
11:10	0.00531	4.1815	35.1	49.1		310.856	802	
11:15	0.00531	4.1815	35.2	49.3	30.8	313.073	807	
11:20	0.00531	4.1815	35.2	49.3		313.073	812	
11:25	0.00531	4.1815	35.3	49.5		315.291	816	
11:30	0.00531	4.1815	35.2	49.3	31.8	313.073	820	
11:35	0.00531	4.1815	35.4	49.4		310.85	823	
11:40	0.00531	4.1815	35.5	49.2		304.19	827	
11:45	0.00531	4.1815	35.3	48.9	31.1	301.974	829	
11:50	0.00531	4.1815	35.8	48.4		279.77	832	
11:55	0.00531	4.1816	35.6	48.3		281.993	834	
12:00	0.00531	4.1815	35.8	48.6	31.5	284.209	836	1.6
12:05	0.00531	4.1815	36.1	48.7		279.765	838	
12:10	0.00531	4.1815	35.9	48.8		286.427	839	
12:15	0.00531	4.1815	36	48.3	32	273.108	840	
12:20	0.00531	4.1815	36.1	48.3		270.887	840	
12:25	0.00531	4.1815	36.1	48.1		266.448	841	
12:30	0.00531	4.1815	36.4	47.8	31.6	253.125	840	
12:35	0.00531	4.1815	36.5	47.8		250.904	840	
12:40	0.00531	4.1815	36.5	48		255.343	839	
12:45	0.00531	4.1815	36.7	47.8	32.2	246.462	838	
12:50	0.00531	4.1814	37	48		244.238	837	
12:55	0.00531	4.1814	37	48		244.238	835	
13:00	0.00531	4.1815	37.1	47.8	32.5	237.578	833	1.9
13:05	0.00531	4.1814	37.2	48.1		242.015	830	
13:10	0.00531	4.1814	37.3	48.3		244.233	827	
13:15	0.00531	4.1813	37.6	48.4	33.7	239.79	824	
13:20	0.00531	4.1813	37.8	48.3		233.128	821	
13:25	0.00531	4.1813	37.7	48.4		237.569	817	
13:30	0.00531	4.1813	37.9	48.6	32.6	237.566	813	
13:35	0.00531	4.1812	38	49.2		248.662	808	
13:40	0.00531	4.1811	38.1	49.3		248.661	803	
13:45	0.00531	4.1811	38.3	49.2	33.1	242	798	

13:50	0.00531	4.181	38.7	49.6		241.994	793	
13:55	0.00531	4.181	38.7	49.5		239.774	787	
14:00	0.00531	4.181	38.6	49.7	32.6	246.434	781	2.3
14:05	0.00531	4.1809	39.1	50.6		255.304	774	
14:10	0.00531	4.1806	39.5	52.1		279.708	767	
14:15	0.00554	4.1805	39.6	52.6	33.6	301.083	760	
14:20	0.00554	4.1805	39.6	53		310.343	752	
14:25	0.00554	4.1804	39.7	53.3		314.971	745	
14:30	0.00554	4.1804	39.9	53.7	33.6	319.598	736	
14:35	0.00554	4.1804	39.6	53.9		331.178	728	
14:40	0.00554	4.1803	40.2	53.7		312.647	719	
14:45	0.00554	4.1803	40.2	54.1	33.6	321.907	710	
14:50	0.00554	4.1802	40.2	54.5		331.166	700	
14:55	0.00554	4.1802	40.3	54.6		331.164	690	
15:00	0.00554	4.1802	40.4	54.4	33.2	324.218	680	2.4
15:05	0.00554	4.1802	40.3	54.5		328.85	669	
15:10	0.00554	4.1802	40.6	54.5		321.899	659	
15:15	0.00554	4.1802	40.7	54.2	33.9	312.638	647	
15:20	0.00554	4.1802	40.6	54.3		317.269	636	
15:25	0.00554	4.1802	40.9	54.4		312.634	624	
15:30	0.00554	4.1802	40.8	54	33.9	305.691	612	
15:35	0.00554	4.1803	40.7	53.6		298.748	599	
15:40	0.00554	4.1802	41	53.7		294.113	586	
15:45	0.00554	4.1803	41	53.5	33.4	289.483	573	
15:50	0.00554	4.1803	40.9	53.3		287.17	559	
15:55	0.00554	4.1803	41.5	53		266.324	545	
16:00	0.00554	4.1804	41.3	51.8	33.4	243.176	531	2.4
16:05	0.00554	4.1805	41.2	51.1		229.285	516	
16:10	0.00554	4.1805	41.1	51.3		236.233	502	
16:15	0.00554	4.1805	41	51.5	33.9	243.18	486	
16:20	0.00554	4.1806	41.2	50.9		224.655	471	
16:25	0.00554	4.1805	41.4	50.8		217.706	455	
16:30	0.00554	4.1805	41.5	50.7	33.6	213.074	438	
16:35	0.00554	4.1806	41.6	50.4		203.811	422	
16:40	0.00609	4.1806	41.9	50.2		211.315	405	
16:45	0.00609	4.1806	41.8	49.8	33.5	203.68	387	
16:50	0.00609	4.1807	41.7	49.6		201.136	370	
16:55	0.00609	4.1807	42	49.1		180.768	352	
17:00	0.00609	4.1806	42.5	49.2	33.2	170.581	334	2.2

**Табела А.5** Експериментални резултати испитивања КП-а за 04. септембар 2012. године

Време (h)	$m_k$ (kg/s)	$c_{p,k}$ (J/kgK)	$T_{k,u}$ (°C)	$T_{k,i}$ (°C)	$T_o$ (°C)	$Q_k$ (W)	$H'$ (W/m <sup>2</sup> )	$V_{vetra}$ (m/s)
10:00	0.00616	4.1829	34.3	38.8	26.8	115.95	608	1.9
10:05	0.00616	4.1829	34.3	39.2		126.256	617	
10:10	0.00616	4.1828	34.4	39.4		128.831	626	
10:15	0.00616	4.1827	34.5	40	27.3	141.711	635	
10:20	0.00616	4.1827	34.5	40		141.711	643	
10:25	0.00616	4.1827	34.4	40.3		152.017	651	
10:30	0.00616	4.1827	34.7	40.5	27.1	149.438	659	
10:35	0.00616	4.1826	35	40.6		144.283	666	
10:40	0.00616	4.1826	34.9	41		157.164	673	
10:45	0.00616	4.1825	35	41.1	27.8	157.163	680	
10:50	0.00616	4.1825	35	41.3		162.315	686	
10:55	0.00616	4.1825	35.2	41.2		154.585	692	
11:00	0.00616	4.1824	35.2	42	28.3	175.193	698	2
11:05	0.00616	4.1824	35.2	42.2		180.344	703	
11:10	0.00616	4.1824	35.3	42.3		180.343	708	
11:15	0.00582	4.1823	35.4	42.5	28.8	172.822	713	
11:20	0.00582	4.1822	35.6	42.9		177.687	717	
11:25	0.00582	4.1822	35.6	42.9		177.687	721	
11:30	0.00582	4.1822	35.6	42.9	29	177.687	725	
11:35	0.00582	4.1822	35.6	43		180.12	728	
11:40	0.00582	4.1822	35.6	43.2		184.987	731	
11:45	0.00582	4.1821	35.8	44.1	29.9	202.019	734	
11:50	0.00582	4.1821	35.8	44		199.586	736	
11:55	0.00582	4.1821	35.9	43.9		194.718	738	
12:00	0.00582	4.182	35.9	44.4	30.2	206.885	739	2
12:05	0.00582	4.182	36.1	44.7		209.315	741	
12:10	0.00582	4.1819	36.3	44.7		204.446	741	
12:15	0.00582	4.1819	36.4	44.6	30.6	199.579	742	
12:20	0.00582	4.1818	36.6	45.2		209.309	742	
12:25	0.00582	4.1818	36.7	45.5		214.174	742	
12:30	0.00582	4.1818	36.6	45.8	31.2	223.908	742	
12:35	0.00582	4.1817	37	45.9		216.604	741	
12:40	0.00582	4.1817	36.9	45.9		219.038	740	
12:45	0.00582	4.1817	37.1	46	31	216.602	738	
12:50	0.00582	4.1817	37.1	46		216.602	736	
12:55	0.00582	4.1816	37.2	46.2		219.034	734	
13:00	0.00582	4.1816	37.2	46.3	31.4	221.467	732	2.2
13:05	0.00582	4.1816	37.1	46.3		223.902	729	
13:10	0.00582	4.1816	37.2	46.5		226.333	726	
13:15	0.00582	4.1816	37.3	46.3	32	219.033	722	
13:20	0.00582	4.1816	37.6	46.5		216.596	719	
13:25	0.00582	4.1815	37.6	47		228.761	714	
13:30	0.00582	4.1815	37.6	47	32.2	228.761	710	
13:35	0.00582	4.1815	37.7	47		226.327	705	
13:40	0.00582	4.1815	37.6	46.9		226.328	700	
13:45	0.00569	4.1815	37.5	46.7	32.1	218.895	694	

13:50	0.00569	4.1815	37.8	46.6		209.377	688	
13:55	0.00569	4.1815	37.7	46.8		216.514	682	
14:00	0.00569	4.1815	37.6	46.9	32.8	221.272	676	2.4
14:05	0.00569	4.1815	37.9	46.8		211.754	669	
14:10	0.00569	4.1815	37.9	46.8		211.754	662	
14:15	0.00569	4.1815	38	46.9	33	211.753	654	
14:20	0.00569	4.1815	38.1	46.7		204.616	646	
14:25	0.00569	4.1814	38.2	47		209.372	638	
14:30	0.00569	4.1814	38.2	46.9	33.3	206.993	629	
14:35	0.00569	4.1815	38.2	46.6		199.857	620	
14:40	0.00569	4.1815	38.3	46.4		192.72	611	
14:45	0.00569	4.1815	38.2	46.5	33.4	197.479	601	
14:50	0.00569	4.1815	38.4	46.3		187.962	592	
14:55	0.00569	4.1815	38.2	46.5		197.479	581	
15:00	0.00569	4.1814	38.7	46.5	32.7	185.58	571	2.6
15:05	0.00569	4.1814	38.9	46.4		178.441	560	
15:10	0.00569	4.1814	39.1	46.6		178.439	548	
15:15	0.00569	4.1814	39.1	46.5	33.3	176.061	537	
15:20	0.00569	4.1814	39.1	46.5		176.061	525	
15:25	0.00569	4.1814	39.4	46.3		164.164	512	
15:30	0.00569	4.1813	39.4	46.5	32.8	168.921	500	
15:35	0.00569	4.1813	39.4	46.6		171.3	487	
15:40	0.00569	4.1814	39.5	46.2		159.406	474	
15:45	0.00569	4.1813	39.6	46.4	33.2	161.783	460	
15:50	0.00569	4.1813	39.6	46.4		161.783	446	
15:55	0.00569	4.1813	39.6	46.5		164.162	432	
16:00	0.00569	4.1814	39.9	45.6	32.9	135.615	417	2.7
16:05	0.00569	4.1814	40	45.6		133.235	402	
16:10	0.00569	4.1813	40.4	46		133.232	386	
16:15	0.0055	4.1813	40.3	45.8	33.2	126.484	371	
16:20	0.0055	4.1813	40.4	45.4		114.987	355	
16:25	0.0055	4.1813	40.7	45.3		105.787	338	
16:30	0.0055	4.1814	40.7	45	32.8	98.889	322	
16:35	0.0055	4.1814	40.7	44.8		94.29	305	
16:40	0.0055	4.1814	41	44.7		85.0905	287	
16:45	0.0055	4.1814	41	44.6	32.9	82.791	269	
16:50	0.0055	4.1814	41	44.5		80.4915	251	
16:55	0.0055	4.1814	41.2	44.4		73.592	233	
17:00	0.0055	4.1814	41.5	44	32.1	57.4939	214	2.1

**Табела А.6** Експериментални резултати испитивања ДОП-а за 04. септембар 2012. године

Време (h)	$m_d$ (kg/s)	$c_{p,d}$ (J/kgK)	$T_{d,u}$ (°C)	$T_{d,i}$ (°C)	$T_o$ (°C)	$Q_d$ (W)	$H'$ (W/m <sup>2</sup> )	$V_{vetra}$ (m/s)
10:00	0.00616	4.1826	34.1	41.3	26.8	185.508	608	1.9
10:05	0.00616	4.1825	34.1	42		203.539	617	
10:10	0.00616	4.1825	34.2	42.6		216.417	626	
10:15	0.00616	4.1825	34.3	42.2	27.3	203.537	635	
10:20	0.00616	4.1824	34.3	42.6		213.84	643	
10:25	0.00616	4.1824	34.2	43.2		231.871	651	
10:30	0.00616	4.1823	34.4	43.3	27.1	229.293	659	
10:35	0.00616	4.1822	34.7	43.8		234.44	666	
10:40	0.00616	4.1822	34.6	44.2		247.319	673	
10:45	0.00616	4.1822	34.7	44.2	27.8	244.742	680	
10:50	0.00616	4.1821	34.7	44.6		255.044	686	
10:55	0.00616	4.1821	34.9	44.5		247.315	692	
11:00	0.00616	4.1821	34.9	44.8	28.3	255.041	698	2
11:05	0.00616	4.1821	34.9	44.4		244.739	703	
11:10	0.00616	4.1821	35	44.6		247.313	708	
11:15	0.00581	4.182	35.2	45.3	28.8	245.404	713	
11:20	0.00581	4.182	35.3	45.3		242.973	717	
11:25	0.00581	4.182	35.3	45.4		245.402	721	
11:30	0.00581	4.182	35.3	45.4	29	245.402	725	
11:35	0.00581	4.182	35.3	45.3		242.973	728	
11:40	0.00581	4.182	35.2	45.6		252.691	731	
11:45	0.00581	4.1819	35.5	45.7	29.9	247.828	734	
11:50	0.00581	4.1819	35.5	46.1		257.544	736	
11:55	0.00581	4.1818	35.6	46.2		257.543	738	
12:00	0.00581	4.1818	35.7	46.6	30.2	264.828	739	2
12:05	0.00581	4.1818	35.8	46.3		255.111	741	
12:10	0.00581	4.1818	36	46.1		245.392	741	
12:15	0.00581	4.1818	36.1	46.1	30.6	242.962	742	
12:20	0.00581	4.1817	36.2	46.3		245.389	742	
12:25	0.00581	4.1818	36.3	46.1		238.101	742	
12:30	0.00581	4.1817	36.3	46.8	31.2	255.103	742	
12:35	0.00581	4.1816	36.6	47.2		257.527	741	
12:40	0.00581	4.1816	36.6	47.3		259.956	740	
12:45	0.00581	4.1816	36.8	47	31	247.809	738	
12:50	0.00581	4.1816	36.7	47.4		259.954	736	
12:55	0.00581	4.1816	36.8	47.3		255.095	734	
13:00	0.00581	4.1816	36.9	47.2	31.4	250.237	732	2.2
13:05	0.00581	4.1816	36.8	47.2		252.667	729	
13:10	0.00581	4.1815	36.9	47.4		255.094	726	
13:15	0.00581	4.1815	37	47.6	32	257.521	722	
13:20	0.00581	4.1814	37.3	47.9		257.517	719	
13:25	0.00581	4.1814	37.2	48.4		272.09	714	
13:30	0.00581	4.1813	37.3	48.5	32.2	272.088	710	
13:35	0.00581	4.1812	37.3	49.7		301.23	705	
13:40	0.00581	4.1812	37.2	50		310.945	700	
13:45	0.00564	4.1812	37.2	50	32.1	301.847	694	

13:50	0.00564	4.1811	37.4	50.1		299.486	688	
13:55	0.00564	4.1811	37.4	50.1		299.486	682	
14:00	0.00564	4.1811	37.2	50.6	32.8	315.99	676	2.4
14:05	0.00564	4.181	37.5	50.7		311.27	669	
14:10	0.00564	4.181	37.6	50.7		308.911	662	
14:15	0.00564	4.181	37.6	50.8	33	311.268	654	
14:20	0.00564	4.181	37.7	50.7		306.552	646	
14:25	0.00564	4.181	37.8	50.8		306.55	638	
14:30	0.00564	4.1809	37.8	51.4	33.3	320.693	629	
14:35	0.00564	4.1809	37.8	51.5		323.05	620	
14:40	0.00564	4.1809	38	51.3		313.618	611	
14:45	0.00564	4.1809	38	51	33.4	306.547	601	
14:50	0.00564	4.1809	38	51.1		308.904	592	
14:55	0.00564	4.1809	37.9	51.2		313.62	581	
15:00	0.00564	4.1809	38.4	50.9	32.7	294.754	571	2.6
15:05	0.00564	4.1809	38.5	50.9		292.395	560	
15:10	0.00564	4.1809	38.6	51.1		294.75	548	
15:15	0.00564	4.1808	38.6	51.4	33.3	301.822	537	
15:20	0.00564	4.1808	38.7	51.7		306.534	525	
15:25	0.00564	4.1808	38.9	50.9		282.959	512	
15:30	0.00564	4.1808	39	51.1	32.8	285.315	500	
15:35	0.00564	4.1808	38.9	51.1		287.674	487	
15:40	0.00564	4.1808	39.1	51.2		285.313	474	
15:45	0.00564	4.1809	39.1	50.3	33.2	264.099	460	
15:50	0.00564	4.1809	39.1	50.3		264.099	446	
15:55	0.00564	4.1809	39.1	50.2		261.741	432	
16:00	0.00564	4.1809	39.4	49.6	32.9	240.521	417	2.7
16:05	0.00564	4.181	39.6	49		221.659	402	
16:10	0.00564	4.1809	39.8	49.6		231.086	386	
16:15	0.00549	4.1809	39.7	49.4	33.2	222.647	371	
16:20	0.00549	4.181	39.8	48.8		206.583	355	
16:25	0.00549	4.1809	40.1	48.9		201.99	338	
16:30	0.00549	4.1811	40.1	47.7	32.8	174.452	322	
16:35	0.00549	4.1812	40.1	47.2		162.977	305	
16:40	0.00549	4.1811	40.3	47.1		156.09	287	
16:45	0.00549	4.1812	40.3	46.9	32.9	151.5	269	
16:50	0.00549	4.1812	40.4	46.7		144.614	251	
16:55	0.00549	4.1812	40.6	46.3		130.842	233	
17:00	0.00549	4.1813	40.8	45.7	32.1	112.48	214	2.1

**Табела А.7** Експериментални резултати испитивања КП-а за 09. септембар 2012. године

Време (h)	$m_k$ (kg/s)	$c_{p,k}$ (J/kgK)	$T_{k,u}$ (°C)	$T_{k,i}$ (°C)	$T_o$ (°C)	$Q_k$ (W)	$H'$ (W/m <sup>2</sup> )	$V_{vetra}$ (m/s)
10:00	0.00497	4.1831	32.3	39.1	26	141.373	639	1
10:05	0.00497	4.1831	32.3	39.3		145.53	649	
10:10	0.00497	4.1831	32.5	39.5		145.528	658	
10:15	0.00497	4.183	32.6	39.8	26.3	149.685	666	
10:20	0.00497	4.183	32.7	40.1		153.841	675	
10:25	0.00497	4.1828	33.2	41		162.15	683	
10:30	0.00497	4.1827	33.3	41.2	27	164.227	691	
10:35	0.00497	4.1826	33.7	41.6		164.223	698	
10:40	0.00497	4.1826	33.5	41.9		174.617	705	
10:45	0.00497	4.1826	33.6	41.7	27.8	168.381	712	
10:50	0.00497	4.1826	33.5	41.9		174.617	718	
10:55	0.00497	4.1825	34.2	42.3		168.375	724	
11:00	0.00497	4.1824	34.2	42.9	28	180.844	730	2
11:05	0.00497	4.1824	34.4	43.2		182.92	735	
11:10	0.00497	4.1822	34.5	44		197.465	740	
11:15	0.00497	4.1822	34.4	44.1	27.6	201.622	744	
11:20	0.00497	4.1822	34.8	44		191.227	749	
11:25	0.00497	4.1821	34.8	44.5		201.617	752	
11:30	0.00497	4.1821	34.9	45.1	29.2	212.005	756	
11:35	0.00497	4.1822	34.8	44.1		193.305	759	
11:40	0.00497	4.1821	35.1	44.5		195.38	762	
11:45	0.00497	4.182	35	45.1	28.6	209.926	765	
11:50	0.00497	4.182	35	45.4		216.16	767	
11:55	0.00472	4.182	35	45.8		213.18	769	
12:00	0.00472	4.1819	35	46.2	29.2	221.073	770	2.9
12:05	0.00472	4.1819	35.3	46.1		213.176	771	
12:10	0.00472	4.182	35.3	45.4		199.363	772	
12:15	0.00472	4.1819	35.3	46.1	29.8	213.176	772	
12:20	0.00472	4.1819	35.5	45.9		205.28	772	
12:25	0.00472	4.1819	35.4	46		209.228	772	
12:30	0.00472	4.1819	35.6	45.5	29.6	195.413	771	
12:35	0.00472	4.1819	35.5	46		207.254	770	
12:40	0.00472	4.1818	35.8	46.1		203.304	769	
12:45	0.00472	4.1818	35.7	46.5	29.6	213.171	767	
12:50	0.00472	4.1817	35.8	46.8		217.116	765	
12:55	0.00472	4.1817	35.8	46.9		219.089	763	
13:00	0.00472	4.1817	36.1	46.9	29.8	213.166	760	3.2
13:05	0.00472	4.1817	36.2	46.9		211.191	757	
13:10	0.00472	4.1816	36	47.8		232.898	754	
13:15	0.00472	4.1816	36.3	47.3	30.1	217.109	750	
13:20	0.00472	4.1815	36.7	47.5		213.158	746	
13:25	0.00472	4.1815	36.6	48		224.998	742	
13:30	0.00472	4.1815	36.9	47.9	30.8	217.102	737	
13:35	0.00472	4.1815	36.8	48		221.049	732	
13:40	0.00472	4.1814	36.8	48.2		224.995	726	
13:45	0.00472	4.1814	36.8	48.4	30.2	228.941	720	

13:50	0.00472	4.1815	36.7	47.6		215.131	714	
13:55	0.00472	4.1815	36.9	47.6		211.183	708	
14:00	0.00472	4.1815	36.8	47.7	30.8	215.13	701	3.4
14:05	0.00472	4.1814	37.5	47.9		205.256	694	
14:10	0.00472	4.1814	37.5	47.5		197.364	686	
14:15	0.00472	4.1814	37.4	47.7	30.5	203.284	678	
14:20	0.00472	4.1814	37.9	47.8		195.386	670	
14:25	0.00472	4.1813	37.9	48		199.332	661	
14:30	0.00472	4.1813	38	47.9	31.2	195.385	652	
14:35	0.00472	4.1814	38	47.5		187.493	643	
14:40	0.00472	4.1814	38	47.6		189.466	633	
14:45	0.00472	4.1813	38.2	47.8	31.2	189.464	623	
14:50	0.00453	4.1814	38.1	47.1		170.476	613	
14:55	0.00453	4.1814	38.1	47.2		172.37	602	
15:00	0.00453	4.1814	38.1	47.2	31.3	172.37	591	3.5
15:05	0.00453	4.1814	38.2	47.2		170.475	580	
15:10	0.00453	4.1814	38.5	47		161.004	568	
15:15	0.00453	4.1814	38.5	47.1	30.2	162.898	556	
15:20	0.00453	4.1813	38.9	47.1		155.319	544	
15:25	0.00453	4.1814	38.9	46.8		149.638	531	
15:30	0.00453	4.1813	38.9	47.1	30	155.319	518	
15:35	0.00453	4.1813	39	47.2		155.318	504	
15:40	0.00453	4.1814	39	46.4		140.169	490	
15:45	0.00453	4.1814	39.2	46.3	30.2	134.486	476	
15:50	0.00453	4.1814	39.3	46.1		128.804	462	
15:55	0.00453	4.1813	39.6	46.3		126.907	447	
16:00	0.00453	4.1812	40.2	46.4	30.4	117.434	432	3.5
16:05	0.00453	4.1812	40.1	46.7		125.01	416	
16:10	0.00453	4.1812	40.1	46.5		121.223	400	
16:15	0.00453	4.1813	40	45.9	29.8	111.754	384	
16:20	0.00453	4.1814	40	45.5		104.179	367	
16:25	0.00453	4.1814	40	45.4		102.285	350	
16:30	0.00453	4.1814	39.9	45.3	30.1	102.286	333	
16:35	0.00453	4.1814	40.3	45.2		92.814	315	
16:40	0.00453	4.1814	40.3	45.1		90.9201	297	
16:45	0.00453	4.1814	40.4	45	29.8	87.1318	279	
16:50	0.00453	4.1815	40.2	44.7		85.2389	260	
16:55	0.00453	4.1815	40.4	44.2		71.9801	241	
17:00	0.00453	4.1815	40.5	43.8	29.3	62.5096	222	2.6



**Табела А.8** Експериментални резултати испитивања ДОП-а за 09. септембар 2012. године

Време (h)	$m_d$ (kg/s)	$c_{p,d}$ (J/kgK)	$T_{d,u}$ (°C)	$T_{d,i}$ (°C)	$T_o$ (°C)	$Q_d$ (W)	$H'$ (W/m <sup>2</sup> )	$V_{vetra}$ (m/s)
10:00	0.00504	4.1828	32.2	41.6	26	198.166	639	1
10:05	0.00504	4.1827	32.2	42.5		217.133	649	
10:10	0.00504	4.1826	32.4	43.1		225.56	658	
10:15	0.00504	4.1825	32.4	43.8	26.3	240.312	666	
10:20	0.00504	4.1824	32.6	44.4		248.738	675	
10:25	0.00504	4.1823	33	45.1		255.053	683	
10:30	0.00504	4.1822	33.1	45.9	27	269.801	691	
10:35	0.00504	4.1821	33.4	46.4		274.01	698	
10:40	0.00504	4.1821	33.4	46.5		276.117	705	
10:45	0.00504	4.1821	33.4	46.3	27.8	271.903	712	
10:50	0.00504	4.1821	33.3	46.1		269.798	718	
10:55	0.00504	4.182	33.9	46.3		261.36	724	
11:00	0.00504	4.182	33.9	46.6	28	267.681	730	2
11:05	0.00504	4.1819	34.1	47		271.892	735	
11:10	0.00504	4.1818	34.2	47.8		286.638	740	
11:15	0.00504	4.1818	34.2	48.1	27.6	292.958	744	
11:20	0.00504	4.1817	34.5	48		284.526	749	
11:25	0.00504	4.1817	34.4	48.3		292.955	752	
11:30	0.00504	4.1817	34.6	48.1	29.2	284.525	756	
11:35	0.00504	4.1818	34.5	47.7		278.206	759	
11:40	0.00504	4.1817	34.9	47.9		273.986	762	
11:45	0.00504	4.1817	34.7	48.2	28.6	284.523	765	
11:50	0.00504	4.1816	34.7	49.1		303.483	767	
11:55	0.00472	4.1816	34.7	49.2		286.187	769	
12:00	0.00472	4.1816	34.8	49	29.2	280.267	770	2.9
12:05	0.00472	4.1816	35	49		276.318	771	
12:10	0.00472	4.1817	35.1	47.7		248.695	772	
12:15	0.00472	4.1817	35.1	48	29.8	254.614	772	
12:20	0.00472	4.1817	35.2	47.9		250.666	772	
12:25	0.00472	4.1816	35.1	48.9		272.37	772	
12:30	0.00472	4.1818	35.3	46.8	29.6	226.988	771	
12:35	0.00472	4.1817	35.3	47.8		246.719	770	
12:40	0.00472	4.1816	35.5	48.2		250.662	769	
12:45	0.00472	4.1816	35.4	48.4	29.6	256.582	767	
12:50	0.00472	4.1815	35.5	48.8		262.499	765	
12:55	0.00472	4.1815	35.5	48.9		264.472	763	
13:00	0.00472	4.1814	35.8	49.4	29.8	268.413	760	3.2
13:05	0.00472	4.1814	35.8	49.5		270.386	757	
13:10	0.00472	4.1813	35.6	50.2		288.144	754	
13:15	0.00472	4.1813	36	50.5	30.1	286.165	750	
13:20	0.00472	4.1812	36.3	50.7		284.187	746	
13:25	0.00472	4.1812	36.2	50.9		290.107	742	
13:30	0.00472	4.1811	36.5	51.3	30.8	292.074	737	
13:35	0.00472	4.1811	36.4	51.4		296.021	732	
13:40	0.00472	4.1811	36.4	51.6		299.966	726	
13:45	0.00472	4.181	36.4	51.9	30.2	305.884	720	

13:50	0.00472	4.181	36.4	51.8		303.912	714	
13:55	0.00472	4.181	36.5	51.8		301.937	708	
14:00	0.00472	4.181	36.4	51.8	30.8	303.912	701	3.4
14:05	0.00472	4.1809	37	52.3		301.928	694	
14:10	0.00472	4.1809	37.1	52.4		301.926	686	
14:15	0.00472	4.1809	37	52.2	30.5	299.956	678	
14:20	0.00472	4.1808	37.3	52.7		303.895	670	
14:25	0.00472	4.1807	37.4	53.3		313.755	661	
14:30	0.00472	4.1807	37.5	53.3	31.2	311.781	652	
14:35	0.00472	4.1808	37.5	52.7		299.947	643	
14:40	0.00472	4.1808	37.5	52.8		301.919	633	
14:45	0.00472	4.1807	37.7	52.9	31.2	299.943	623	
14:50	0.00453	4.1808	37.5	53		293.552	613	
14:55	0.00453	4.1807	37.6	53		291.657	602	
15:00	0.00453	4.1808	37.6	52.5	31.3	282.192	591	3.5
15:05	0.00453	4.1808	37.7	52.6		282.19	580	
15:10	0.00453	4.1807	37.8	53.2		291.654	568	
15:15	0.00453	4.1807	37.9	52.8	30.2	282.187	556	
15:20	0.00453	4.1807	38.3	52.7		272.715	544	
15:25	0.00453	4.1807	38.3	52.6		270.822	531	
15:30	0.00453	4.1807	38.2	52.8	30	276.503	518	
15:35	0.00453	4.1807	38.3	52.7		272.715	504	
15:40	0.00453	4.1808	38.3	51.9		257.57	490	
15:45	0.00453	4.1808	38.5	51.3	30.2	242.422	476	
15:50	0.00453	4.1809	38.6	50.8		231.061	462	
15:55	0.00453	4.1808	38.8	51		231.058	447	
16:00	0.00453	4.1808	39.4	50.9	30.4	217.798	432	3.5
16:05	0.00453	4.1808	39.4	51.1		221.584	416	
16:10	0.00453	4.1808	39.3	51.2		225.372	400	
16:15	0.00453	4.1808	39.3	50.5	29.8	212.119	384	
16:20	0.00453	4.181	39.2	49.6		196.974	367	
16:25	0.00453	4.181	39.2	49.3		191.293	350	
16:30	0.00453	4.1811	39.1	48.9	30.1	185.614	333	
16:35	0.00453	4.1811	39.5	48.5		170.462	315	
16:40	0.00453	4.1811	39.5	48.1		162.888	297	
16:45	0.00453	4.1812	39.6	47.6	29.8	151.525	279	
16:50	0.00453	4.1813	39.4	47.1		145.846	260	
16:55	0.00453	4.1813	39.6	46.9		138.27	241	
17:00	0.00453	4.1814	39.6	45.6	29.3	113.651	222	2.6

**Табела А.9** Експериментални резултати испитивања КП-а за 04. октобар 2012. године

Време (h)	$m_k$ (kg/s)	$c_{p,k}$ (J/kgK)	$T_{k,u}$ (°C)	$T_{k,i}$ (°C)	$T_o$ (°C)	$Q_k$ (W)	$H'$ (W/m <sup>2</sup> )	$V_{vetra}$ (m/s)
10:00	0.00622	4.1836	31.8	36	19.4	109.292	522	1.6
10:05	0.00622	4.1836	31.8	36.2		114.495	535	
10:10	0.00622	4.1836	31.8	36.2		114.495	547	
10:15	0.00622	4.1835	31.8	36.5	20.3	122.301	558	
10:20	0.00622	4.1835	31.8	36.9		132.708	569	
10:25	0.00622	4.1834	31.7	37.5		150.92	579	
10:30	0.00622	4.1834	31.7	37.3	20.8	145.717	589	
10:35	0.00622	4.1834	31.7	37.8		158.725	599	
10:40	0.00622	4.1834	31.6	38		166.531	608	
10:45	0.00622	4.1833	31.7	38.2	21.5	169.131	616	
10:50	0.00622	4.1831	32.9	38.4		143.105	624	
10:55	0.00622	4.1831	32.9	38.5		145.707	632	
11:00	0.00622	4.1829	33.6	39.7	22.1	158.707	639	1.9
11:05	0.00622	4.1829	33.6	39.7		158.707	646	
11:10	0.00622	4.1829	33.6	39.8		161.309	652	
11:15	0.00622	4.1828	33.6	40.2	22.4	171.714	657	
11:20	0.00622	4.1828	33.8	40.6		176.914	663	
11:25	0.00622	4.1827	33.9	40.6		174.312	667	
11:30	0.00622	4.1827	33.8	40.7	22.9	179.515	672	
11:35	0.00622	4.1827	33.9	40.7		176.913	676	
11:40	0.00586	4.1827	34	41		171.574	679	
11:45	0.00586	4.1826	34	41.8	22.8	191.177	682	
11:50	0.00586	4.1827	34	41.2		176.475	684	
11:55	0.00586	4.1827	34.1	41.1		171.573	686	
12:00	0.00586	4.1826	34.1	41.2	23.3	174.023	688	1.9
12:05	0.00586	4.1826	34.3	41.5		176.471	688	
12:10	0.00586	4.1826	34.4	41.4		171.57	689	
12:15	0.00586	4.1825	34.4	42	23.5	186.272	689	
12:20	0.00586	4.1825	34.4	42		186.272	689	
12:25	0.00586	4.1825	34.4	42.1		188.723	688	
12:30	0.00586	4.1825	34.6	42.1	23.8	183.82	686	
12:35	0.00586	4.1824	35.1	42.5		181.364	684	
12:40	0.00586	4.1823	35.2	42.5		178.912	682	
12:45	0.00586	4.1823	35.2	42.8	23.6	186.263	679	
12:50	0.00586	4.1822	35.5	43		183.81	676	
12:55	0.00586	4.1822	35.5	43.2		188.71	672	
13:00	0.00586	4.1822	35.5	43.3	24.8	191.16	668	2
13:05	0.00586	4.1822	35.6	43.4		191.159	663	
13:10	0.00586	4.1822	35.5	43.4		193.611	658	
13:15	0.00586	4.1822	35.6	43.6	23.8	196.06	653	
13:20	0.00586	4.1821	35.9	43.6		188.706	647	
13:25	0.00586	4.1821	36.1	43.9		191.154	640	
13:30	0.00586	4.182	36.1	44.1	24.5	196.054	633	
13:35	0.00586	4.182	36.3	44		188.701	625	
13:40	0.00586	4.182	36.4	44.1		188.7	617	
13:45	0.00586	4.182	36.4	44.2	25.2	191.15	609	

13:50	0.00586	4.1819	36.7	44.3		186.247	600	
13:55	0.00586	4.1819	36.7	44.3		186.247	591	
14:00	0.00586	4.1819	37	44.3	25.2	178.893	581	2
14:05	0.00586	4.1818	37.3	44.7		181.34	570	
14:10	0.00586	4.1818	37.5	44.5		171.538	560	
14:15	0.00569	4.1818	37.4	44.6	25.3	171.32	548	
14:20	0.00569	4.1818	37.7	44.6		164.181	537	
14:25	0.00569	4.1818	37.9	44.5		157.042	524	
14:30	0.00569	4.1817	37.9	44.8	25.9	164.179	512	
14:35	0.00569	4.1817	38.1	44.8		159.419	499	
14:40	0.00569	4.1817	38.2	44.7		154.66	485	
14:45	0.00569	4.1817	38.2	44.9	24.9	159.418	471	
14:50	0.00569	4.1817	38.3	44.5		147.522	456	
14:55	0.00569	4.1817	38.5	44.3		138.005	441	
15:00	0.00569	4.1817	38.6	44.4	25.8	138.004	426	1.8

**Табела А.10** Експериментални резултати испитивања ДОП-а за 04. октобар 2012. године

Време (h)	$m_d$ (kg/s)	$c_{p,d}$ (J/kgK)	$T_{d,u}$ (°C)	$T_{d,i}$ (°C)	$T_o$ (°C)	$Q_d$ (W)	$H'$ (W/m <sup>2</sup> )	$V_{vetra}$ (m/s)
10:00	0.00622	4.1833	31.4	38.3	19.4	179.541	522	1.6
10:05	0.00622	4.1833	31.2	39		202.956	535	
10:10	0.00622	4.1833	31.1	39.1		208.16	547	
10:15	0.00622	4.1832	31.3	39.6	20.3	215.961	558	
10:20	0.00622	4.1831	31.4	40.5		236.77	569	
10:25	0.00622	4.1831	31.3	40.7		244.575	579	
10:30	0.00622	4.1831	31.3	40.7	20.8	244.575	589	
10:35	0.00622	4.183	31.4	41		249.776	599	
10:40	0.00622	4.183	31.3	41.4		262.782	608	
10:45	0.00622	4.1829	31.3	41.6	21.5	267.984	616	
10:50	0.00622	4.1828	32.4	41.9		247.16	624	
10:55	0.00622	4.1827	32.4	42.1		252.362	632	
11:00	0.00622	4.1825	33.1	43	22.1	257.553	639	1.9
11:05	0.00622	4.1825	33.1	43		257.553	646	
11:10	0.00622	4.1825	33.1	43.2		262.754	652	
11:15	0.00622	4.1825	33	43.2	22.4	265.357	657	
11:20	0.00622	4.1824	33.2	44		280.957	663	
11:25	0.00622	4.1824	33.3	44.1		280.956	667	
11:30	0.00622	4.1824	33.3	44.3	22.9	286.157	672	
11:35	0.00622	4.1823	33.4	44.3		283.555	676	
11:40	0.00586	4.1823	33.4	44.6		274.493	679	
11:45	0.00586	4.1823	33.4	45	22.8	284.293	682	
11:50	0.00586	4.1823	33.4	45		284.293	684	
11:55	0.00586	4.1823	33.5	44.8		276.942	686	
12:00	0.00586	4.1822	33.6	45.1	23.3	281.84	688	1.9
12:05	0.00586	4.1823	33.6	44.5		267.14	688	
12:10	0.00586	4.1823	33.7	44.6		267.138	689	
12:15	0.00586	4.1821	33.8	46	23.5	298.986	689	
12:20	0.00586	4.182	33.9	46.3		303.883	689	
12:25	0.00586	4.182	33.9	46.2		301.434	688	
12:30	0.00586	4.182	34	46.1	23.8	296.532	686	
12:35	0.00586	4.1819	34.4	46.6		298.975	684	
12:40	0.00586	4.1819	34.5	46.6		296.523	682	
12:45	0.00586	4.1819	34.6	46.8	23.6	298.971	679	
12:50	0.00586	4.1819	34.9	46.6		286.718	676	
12:55	0.00586	4.1818	34.8	47.1		301.418	672	
13:00	0.00586	4.1818	34.8	47.2	24.8	303.867	668	2
13:05	0.00586	4.1818	35	47.4		303.864	663	
13:10	0.00586	4.1818	34.8	47.4		308.766	658	
13:15	0.00586	4.1817	35.1	47.7	23.8	308.761	653	
13:20	0.00586	4.1816	35.3	48.3		318.555	647	
13:25	0.00586	4.1815	35.4	48.8		328.351	640	
13:30	0.00586	4.1815	35.4	48.9	24.5	330.801	633	
13:35	0.00586	4.1815	35.6	49.2		333.246	625	
13:40	0.00586	4.1815	35.6	49.3		335.695	617	
13:45	0.00586	4.1814	35.6	49.4	25.2	338.145	609	

13:50	0.00586	4.1814	36	49.5		330.789	600	
13:55	0.00586	4.1814	36	49.5		330.789	591	
14:00	0.00586	4.1814	36.3	49	25.2	311.188	581	2
14:05	0.00586	4.1813	36.5	49.5		318.533	570	
14:10	0.00586	4.1813	36.7	49.7		318.529	560	
14:15	0.00569	4.1813	36.6	49.4	25.3	304.533	548	
14:20	0.00569	4.1812	37	49.6		299.77	537	
14:25	0.00569	4.1812	37.1	49.8		302.146	524	
14:30	0.00569	4.1812	37	49.8	25.9	304.526	512	
14:35	0.00569	4.1812	37.2	49.7		297.388	499	
14:40	0.00569	4.1813	37.3	49.2		283.117	485	
14:45	0.00569	4.1813	37.3	48.8	24.9	273.604	471	
14:50	0.00569	4.1813	37.4	48.8		271.224	456	
14:55	0.00569	4.1813	37.6	48.7		264.085	441	
15:00	0.00569	4.1813	37.7	48.6	25.8	259.327	426	1.8

## 12 Прилог Б - Теоријски резултати испитивања класичног и двоструко-озраченог соларног пријемника

Табела Б.1 Теоријски резултати симулирања математичког модела КП-а за 08. август 2012. године и одступања експерименталних резултата од теоријских

Време (h)	$F_{R,k}$ (-)	$I_k$ (W/m <sup>2</sup> )	$K_{kg}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$Q_{k,t}$ (W)	$Q_{k,e}$ (W)	Рел. грешка (%)
10:00	0.8739	477.364	7.8777	146.297	139.509	4.64
10:15	0.865	514.420	8.5276	153.122	147.707	3.54
10:30	0.86	556.105	8.8946	164.700	166.848	1.30
10:45	0.8597	587.920	8.9258	175.723	175.048	0.38
11:00	0.8609	615.182	8.8423	186.987	191.452	2.39
11:15	0.8594	640.749	8.9112	195.317	200.223	2.51
11:30	0.8561	664.632	9.1585	200.166	202.924	1.38
11:45	0.8609	687.484	8.8085	212.280	213.746	0.69
12:00	0.8618	710.475	8.7438	220.291	219.152	0.52
12:15	0.8587	731.688	8.9778	225.202	224.556	0.29
12:30	0.8584	745.344	9.0031	229.296	224.556	2.07
12:45	0.857	756.147	9.11	231.989	216.436	6.70
13:00	0.8624	765.007	8.7128	239.244	238.077	0.49
13:15	0.866	769.674	8.4549	243.964	232.665	4.63
13:30	0.858	772.057	9.0405	239.174	227.251	4.99
13:45	0.8568	768.330	9.1566	236.471	228.655	3.31
14:00	0.8596	755.449	8.9458	235.484	225.93	4.06
14:15	0.8503	745.399	9.6463	223.666	206.873	7.51
14:30	0.845	733.575	10.0453	215.911	209.591	2.93
14:45	0.8481	720.236	9.8125	214.161	206.869	3.41
15:00	0.8473	702.368	9.8757	208.283	193.261	7.21
15:15	0.8515	679.094	9.5558	203.943	185.096	9.24
15:30	0.8501	643.095	9.6563	189.997	182.375	4.01
15:45	0.8515	605.151	9.5646	177.707	169.285	4.74
16:00	0.8528	565.228	9.4666	164.727	163.824	0.55
16:15	0.8494	526.612	9.7181	148.285	150.171	1.27
16:30	0.8522	476.313	9.506	131.807	136.521	3.58
16:45	0.8509	419.693	9.6072	110.822	106.487	3.91
17:00	0.8511	361.159	9.5893	89.1334	81.9124	8.10

**Табела Б.2** Теоријски резултати симулирања математичког модела КП-а за 20. август 2012. године и одступања експерименталних резултата од теоријских

Време (h)	$F_{R,k}$ (-)	$I_k$ (W/m <sup>2</sup> )	$K_{kg}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$Q_{k,t}$ (W)	$Q_{k,e}$ (W)	Рел. грешка (%)
10:00	0.8677	472.759	7.57	144.043	135.484	5.94
10:15	0.8689	512.228	7.4942	158.893	155.471	2.15
10:30	0.8658	557.117	7.7066	173.488	164.346	5.27
10:45	0.8657	591.060	7.716	185.584	179.887	3.07
11:00	0.8655	621.282	7.7316	196.659	195.427	0.63
11:15	0.8638	647.860	7.8502	204.963	208.746	1.85
11:30	0.8684	673.787	7.5487	217.726	217.626	0.05
11:45	0.8594	698.775	8.144	220.424	217.622	1.27
12:00	0.8568	724.723	8.3253	228.083	224.277	1.67
12:15	0.8568	746.014	8.3301	235.674	235.372	0.13
12:30	0.8492	761.515	8.8474	235.661	224.267	4.83
12:45	0.8495	774.025	8.8311	240.460	217.603	9.51
13:00	0.8475	782.328	8.9752	242.086	222.037	8.28
13:15	0.851	788.284	8.743	247.131	224.249	9.26
13:30	0.8404	789.676	9.4731	239.219	219.806	8.12
13:45	0.8411	787.649	9.4295	239.140	222.02	7.16
14:00	0.8357	774.630	9.8119	230.180	217.577	5.48
14:15	0.839	764.411	9.7847	227.188	213.092	6.20
14:30	0.8405	753.552	9.6764	224.607	226.986	1.06
14:45	0.8364	739.308	9.9753	216.037	208.453	3.51
15:00	0.833	722.569	10.222	207.234	199.189	3.88
15:15	0.8359	699.220	10.0113	201.919	182.975	9.38
15:30	0.8375	661.404	9.8968	190.013	182.974	3.70
15:45	0.8357	624.030	10.0238	175.288	171.395	2.22
16:00	0.8381	583.513	9.8486	163.127	171.395	5.07
16:15	0.8419	544.021	9.5736	152.686	134.341	12.01
16:30	0.8399	491.821	9.7173	132.495	118.127	10.84
16:45	0.845	490.543	9.7735	131.44	117.123	10.89
17:00	0.8455	373.098	9.7344	90.4023	91.6608	1.39



**Табела Б.3** Теоријски резултати симулирања математичког модела КП-а за 04. септембар 2012. године и одступања експерименталних резултата од теоријских

Време (h)	$F_{R,k}$ (-)	$I_k$ (W/m <sup>2</sup> )	$K_{kg}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$Q_{k,t}$ (W)	$Q_{k,e}$ (W)	Рел. грешка (%)
10:00	0.8635	422.626	8.3913	120.014	115.95	3.39
10:15	0.8637	458.614	8.3837	132.906	141.711	6.63
10:30	0.8586	501.674	8.7488	144.378	149.438	3.50
10:45	0.8595	534.287	8.6931	156.648	157.163	0.33
11:00	0.8595	563.192	8.6935	167.122	175.193	4.83
11:15	0.8554	589.385	8.7689	175.675	172.822	1.62
11:30	0.854	613.860	8.8681	183.256	177.687	3.04
11:45	0.8575	637.282	8.6265	194.296	202.019	3.97
12:00	0.8576	658.508	8.6212	201.937	206.885	2.45
12:15	0.8553	682.594	8.791	208.740	199.579	4.39
12:30	0.8568	697.973	8.6887	215.543	223.908	3.88
12:45	0.8513	709.402	9.0864	215.108	216.602	0.69
13:00	0.8522	719.415	9.0189	219.678	221.467	0.81
13:15	0.8551	725.193	8.8141	224.189	219.033	2.30
13:30	0.8538	729.276	8.9115	224.721	228.761	1.80
13:45	0.8521	722.762	8.9427	222.058	218.895	1.42
14:00	0.856	716.324	8.6656	223.178	221.272	0.85
14:15	0.855	706.963	8.7396	219.126	211.753	3.36
14:30	0.8559	695.263	8.6816	215.857	206.993	4.11
14:45	0.8574	680.270	8.5765	211.722	197.479	6.73
15:00	0.8497	661.891	9.1145	199.364	185.58	6.91
15:15	0.8523	636.603	8.9326	192.596	176.061	8.59
15:30	0.8492	596.569	9.151	175.941	168.921	3.99
15:45	0.8526	560.289	8.9131	165.791	161.783	2.42
16:00	0.8504	518.240	9.0703	149.421	135.615	9.24
16:15	0.8492	477.440	9.0139	135.656	126.484	6.76
16:30	0.8479	423.478	9.0988	115.198	98.889	14.16
16:45	0.8501	362.907	8.9451	95.4084	82.791	13.22
17:00	0.8463	297.808	9.2131	69.0639	57.4939	16.75

**Табела Б.4** Теоријски резултати симулирања математичког модела КП-а за 09. септембар 2012. године и одступања експерименталних резултата од теоријских

Време (h)	$F_{R,k}$ (-)	$I_k$ (W/m <sup>2</sup> )	$K_{kg}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$Q_{k,t}$ (W)	$Q_{k,e}$ (W)	Рел. грешка (%)
10:00	0.8589	459.269	7.8865	135.926	141.373	4.01
10:15	0.8559	498.726	8.0805	148.110	149.685	1.06
10:30	0.8495	545.074	8.5079	161.335	164.227	1.79
10:45	0.8503	582.320	8.4624	175.205	168.381	3.89
11:00	0.8428	613.761	8.9678	181.775	180.844	0.51
11:15	0.837	641.853	9.3629	186.997	201.622	7.82
11:30	0.8406	667.939	9.127	200.057	212.005	5.97
11:45	0.8342	691.533	9.5637	203.179	209.926	3.32
12:00	0.8295	713.697	9.6439	210.823	221.073	4.86
12:15	0.8294	739.051	9.6558	219.831	213.179	3.03
12:30	0.8244	755.431	9.9962	221.543	195.413	11.79
12:45	0.8227	767.169	10.1155	224.265	213.171	4.95
13:00	0.8201	775.739	10.2968	225.276	213.166	5.38
13:15	0.8204	780.920	10.2806	227.352	217.109	4.51
13:30	0.8208	781.456	10.26	227.996	217.102	4.78
13:45	0.8185	771.960	10.4161	222.405	228.941	2.94
14:00	0.8221	763.485	10.171	223.133	215.129	3.59
14:15	0.8165	754.340	10.559	215.008	203.284	5.45
14:30	0.8177	742.297	10.4854	211.995	195.385	7.83
14:45	0.8172	727.507	10.5142	206.493	189.464	8.25
15:00	0.8152	708.360	10.4393	200.758	172.369	14.14
15:15	0.8071	681.760	10.9956	184.152	162.898	11.54
15:30	0.8056	640.260	11.0994	168.553	155.319	7.85
15:45	0.8075	604.985	10.9689	157.958	134.486	14.86
16:00	0.8048	563.189	11.1616	141.122	117.434	16.78
16:15	0.8049	520.977	11.1501	126.654	111.754	11.76
16:30	0.8128	466.234	10.5967	113.810	102.286	10.13
16:45	0.8116	406.264	10.6774	91.9102	87.1318	5.19
17:00	0.8139	339.165	10.5153	69.6238	62.5096	10.22

**Табела Б.5** Теоријски резултати симулирања математичког модела КП-а за 04. октобар 2012. године и одступања експерименталних резултата од теоријских

Време (h)	$F_{R,k}$ (-)	$I_k$ (W/m <sup>2</sup> )	$K_{kg}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$Q_{k,t}$ (W)	$Q_{k,e}$ (W)	Рел. грешка (%)
10:00	0.8349	406.035	10.4881	89.0327	109.292	22.75
10:15	0.8383	457.668	10.2337	110.131	122.3	11.05
10:30	0.8393	505.311	10.1678	127.926	145.717	13.91
10:45	0.8411	559.304	10.0325	148.522	169.131	13.88
11:00	0.8298	604.136	10.9155	153.453	158.707	3.42
11:15	0.83	639.738	10.9031	166.003	171.713	3.44
11:30	0.8303	671.474	10.8862	177.351	179.515	1.22
11:45	0.8219	697.876	11.2311	181.694	191.177	5.22
12:00	0.823	720.333	11.1577	190.742	174.023	8.77
12:15	0.8215	737.775	11.2718	195.197	186.272	4.57
12:30	0.8213	751.306	11.2893	199.746	183.819	7.97
12:45	0.816	760.722	11.7048	197.052	186.263	5.48
13:00	0.8206	765.725	11.356	204.277	191.16	6.42
13:15	0.8142	766.151	11.8518	197.035	196.059	0.49
13:30	0.8155	760.737	11.7566	196.742	196.053	0.35
13:45	0.8182	751.207	11.5527	196.587	191.15	2.77
14:00	0.8151	737.483	11.7986	188.421	178.893	5.06
14:15	0.8113	718.020	11.9322	179.835	171.32	4.73
14:30	0.8133	694.915	11.7841	173.948	164.178	5.62
14:45	0.8073	663.521	12.2514	156.142	159.418	2.10
15:00	0.8123	623.855	11.8667	148.130	138.004	6.84

**Табела Б.6** Теоријски резултати симулирања математичког модела ДОП-а за 08. август 2012. године и одступања експерименталних резултата од теоријских

Време (h)	$F_{R,d}$ (-)	$I_d$ (W/m <sup>2</sup> )	$K_{dg}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$Q_{d,t}$ (W)	$Q_{d,e}$ (W)	Рел. грешка (%)
10:00	0.8244	731.898	11.6178	211.678	210.612	0.50
10:15	0.8161	805.955	12.2983	228.169	229.744	0.69
10:30	0.8099	868.347	12.8166	244.064	259.817	6.45
10:45	0.8097	906.589	12.8407	257.119	273.484	6.36
11:00	0.8079	973.421	12.9953	279.947	287.15	2.57
11:15	0.8055	1003.600	13.1372	288.256	305.71	6.06
11:30	0.8061	1001.013	13.0915	285.702	300.297	5.11
11:45	0.8123	976.890	12.5824	285.278	305.71	7.16
12:00	0.8143	978.484	12.4212	285.998	286.77	0.27
12:15	0.8152	930.077	12.3462	270.427	284.06	5.04
12:30	0.8187	875.836	12.06	254.567	267.833	5.21
12:45	0.8197	833.940	11.9812	241.376	254.304	5.36
13:00	0.8261	817.802	11.4726	241.629	257.011	6.37
13:15	0.8304	790.440	11.1344	236.828	259.713	9.66
13:30	0.8215	792.196	11.8384	230.805	240.776	4.32
13:45	0.8181	851.188	12.1628	246.764	253.537	2.74
14:00	0.8167	954.551	12.2896	281.825	264.436	6.17
14:15	0.8055	983.826	13.2193	279.865	258.979	7.46
14:30	0.7977	1017.451	13.8783	284.523	272.602	4.19
14:45	0.7989	1033.819	13.7814	291.903	280.776	3.81
15:00	0.7942	1063.322	14.1864	298.450	280.773	5.92
15:15	0.7968	1050.966	13.9628	298.219	286.223	4.02
15:30	0.7966	999.776	13.9725	280.225	286.223	2.14
15:45	0.7995	918.768	13.7329	256.254	267.555	4.41
16:00	0.7977	949.286	13.8878	264.354	267.554	1.21
16:15	0.7986	830.057	13.8058	224.612	248.443	10.61
16:30	0.8049	703.660	13.2667	186.253	212.956	14.34
16:45	0.8084	575.155	12.9686	146.436	182.929	24.92
17:00	0.8096	571.497	12.874	142.934	155.626	8.88

**Табела Б.7** Теоријски резултати симулирања математичког модела ДОП-а за 20. август 2012. године и одступања експерименталних резултата од теоријских

Време (h)	$F_{R,d}$ (-)	$I_d$ ( $W/m^2$ )	$K_{dg}$ ( $W/m^2K$ )	$Q_{d,t}$ (W)	$Q_{d,e}$ (W)	Рел. грешка (%)
10:00	0.8173	791.099	11.0865	229.529	195.435	14.85
10:15	0.8167	871.782	11.1324	256.853	250.942	2.30
10:30	0.8118	934.108	11.5114	274.955	266.471	3.09
10:45	0.8123	953.572	11.4758	282.384	282.006	0.13
11:00	0.8092	1002.185	11.7199	297.221	293.101	1.39
11:15	0.8091	1004.297	11.7238	297.867	313.073	5.10
11:30	0.8141	986.433	11.3562	298.143	313.073	5.01
11:45	0.8116	950.873	11.5348	283.011	301.973	6.70
12:00	0.8106	926.030	11.6158	274.399	284.209	3.57
12:15	0.8146	879.887	11.3168	262.704	273.107	3.96
12:30	0.8119	819.478	11.5122	239.762	253.125	5.57
12:45	0.8147	794.872	11.3093	234.205	246.461	5.23
13:00	0.812	803.650	11.5153	235.531	237.577	0.87
13:15	0.8143	822.75	11.3504	244.957	239.79	2.11
13:30	0.8057	810.296	11.9971	232.473	237.566	2.19
13:45	0.8034	856.507	12.1828	246.221	241.999	1.71
14:00	0.7873	1064.748	13.4569	299.338	246.434	17.67
14:15	0.7889	1117.715	13.6193	315.791	301.082	4.66
14:30	0.7853	1162.031	13.9188	325.986	319.597	1.96
14:45	0.7829	1177.222	14.1149	327.957	321.906	1.85
15:00	0.7792	1181.073	14.4264	324.318	324.217	0.03
15:15	0.7817	1165.960	14.2183	322.990	312.637	3.21
15:30	0.7846	1089.926	13.9808	301.174	305.691	1.50
15:45	0.7855	997.574	13.9	270.706	289.482	6.94
16:00	0.7832	1009.264	14.0895	271.750	243.176	10.51
16:15	0.7927	891.002	13.3052	243.987	243.18	0.33
16:30	0.7961	749.001	13.0328	198.719	213.073	7.22
16:45	0.8093	606.424	12.5224	157.134	203.679	29.62
17:00	0.8028	647.956	13.0557	163.343	170.581	4.43

**Табела Б.8** Теоријски резултати симулирања математичког модела ДОП-а за 04. септембар 2012. године и одступања експерименталних резултата од теоријских

Време (h)	$F_{R,d}$ (-)	$I_d$ (W/m <sup>2</sup> )	$K_{dg}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$Q_{d,t}$ (W)	$Q_{d,e}$ (W)	Рел. грешка (%)
10:00	0.8204	678.629	11.6067	188.272	185.508	1.47
10:15	0.8192	737.226	11.7106	207.409	203.537	1.87
10:30	0.8156	782.114	11.9952	218.893	229.293	4.75
10:45	0.8164	802.090	11.9421	227.026	244.742	7.80
11:00	0.8143	868.901	12.118	248.220	255.041	2.75
11:15	0.8097	858.702	12.1662	244.285	245.404	0.46
11:30	0.8111	838.609	12.0519	239.035	245.402	2.66
11:45	0.8161	810.111	11.6661	234.863	247.828	5.52
12:00	0.8154	827.848	11.7228	240.527	264.828	10.10
12:15	0.8161	812.376	11.678	235.911	242.962	2.99
12:30	0.8185	785.214	11.4931	229.796	255.103	11.01
12:45	0.8154	763.713	11.7311	219.196	247.809	13.05
13:00	0.8127	839.445	11.9522	242.959	250.237	2.99
13:15	0.8129	885.776	11.9402	259.478	257.521	0.75
13:30	0.8083	951.181	12.3114	277.464	272.088	1.94
13:45	0.8029	999.888	12.5692	290.312	301.847	3.97
14:00	0.8042	1031.693	12.4659	303.565	315.99	4.09
14:15	0.8018	1054.133	12.6692	308.513	311.268	0.89
14:30	0.8009	1066.594	12.7412	312.328	320.693	2.68
14:45	0.8001	1066.942	12.8077	311.633	306.547	1.63
15:00	0.7902	1147.109	13.6087	326.572	294.754	9.74
15:15	0.7932	1120.936	13.3657	321.862	301.822	6.23
15:30	0.7922	1035.927	13.4466	291.581	285.315	2.15
15:45	0.7987	929.258	12.9141	263.286	264.099	0.31
16:00	0.7988	892.968	12.9084	249.727	240.521	3.69
16:15	0.7994	773.368	12.693	213.406	222.647	4.33
16:30	0.8037	639.119	12.3499	170.488	174.452	2.33
16:45	0.8101	505.030	11.8497	130.641	151.5	15.97
17:00	0.8051	497.958	12.2368	121.796	112.48	7.65

**Табела Б.9** Теоријски резултати симулирања математичког модела ДОП-а за 09. септембар 2012. године и одступања експерименталних резултата од теоријских

Време (h)	$F_{R,d}$ (-)	$I_d$ (W/m <sup>2</sup> )	$K_{dg}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$Q_{d,t}$ (W)	$Q_{d,e}$ (W)	Рел. грешка (%)
10:00	0.8112	767.242	11.2278	218.673	198.166	9.38
10:15	0.8083	830.106	11.4463	237.460	240.312	1.20
10:30	0.8003	874.039	12.0507	247.544	269.801	8.99
10:45	0.802	893.780	11.9295	256.268	271.903	6.10
11:00	0.7917	965.585	12.7182	272.413	267.681	1.74
11:15	0.7888	948.189	12.939	262.963	292.958	11.41
11:30	0.7929	920.262	12.625	261.076	284.525	8.98
11:45	0.7913	881.981	12.7472	245.897	284.523	15.71
12:00	0.782	897.853	13.0421	249.219	280.267	12.46
12:15	0.7846	877.678	12.8428	245.463	254.614	3.73
12:30	0.7831	846.073	12.9553	233.678	226.988	2.86
12:45	0.784	821.189	12.8891	226.121	256.582	13.47
13:00	0.7774	903.492	13.3991	247.252	268.413	8.56
13:15	0.775	953.533	13.5933	261.520	286.165	9.42
13:30	0.7709	1020.136	13.9187	280.259	292.074	4.22
13:45	0.7661	1069.301	14.2999	290.288	305.884	5.37
14:00	0.7665	1100.874	14.2727	302.381	303.912	0.51
14:15	0.7607	1125.757	14.7397	302.739	299.956	0.92
14:30	0.7603	1139.499	14.7809	307.409	311.781	1.42
14:45	0.7594	1141.741	14.8551	306.692	299.943	2.20
15:00	0.7495	1228.883	15.3418	327.904	282.192	13.94
15:15	0.7443	1201.750	15.7637	310.694	282.187	9.18
15:30	0.7464	1113.060	15.5863	284.142	276.503	2.69
15:45	0.7515	1004.480	15.1703	255.101	242.422	4.97
16:00	0.7493	971.724	15.3465	241.367	217.798	9.77
16:15	0.7539	844.942	14.9679	204.711	212.119	3.62
16:30	0.767	704.429	13.9288	171.619	185.614	8.15
16:45	0.7704	565.874	13.6625	128.590	151.525	17.84
17:00	0.7705	568.343	13.6551	127.329	113.651	10.74

**Табела Б.10** Теоријски резултати симулирања математичког модела ДОП-а за 04. октобар 2012. године и одступања експерименталних резултата од теоријских

Време (h)	$F_{R,d}$ (-)	$I_d$ (W/m <sup>2</sup> )	$K_{dg}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$Q_{d,t}$ (W)	$Q_{d,e}$ (W)	Рел. грешка (%)
10:00	0.8006	682.127	13.2029	161.995	179.54	10.83
10:15	0.8016	786.669	13.1287	198.923	215.961	8.57
10:30	0.7995	869.948	13.3087	225.573	244.574	8.42
10:45	0.8009	913.067	13.1944	242.560	267.984	10.48
11:00	0.789	1016.386	14.2219	262.173	257.552	1.76
11:15	0.7894	1054.910	14.1939	275.871	265.356	3.81
11:30	0.789	1085.630	14.2307	285.866	286.156	0.10
11:45	0.7809	1099.99	14.533	285.435	284.293	0.40
12:00	0.783	1081.225	14.3603	282.377	281.839	0.19
12:15	0.7818	1109.600	14.4667	290.184	298.985	3.03
12:30	0.7819	1113.141	14.4662	291.712	296.532	1.65
12:45	0.7778	1117.720	14.8183	286.922	298.971	4.20
13:00	0.7791	1173.087	14.7152	308.861	303.867	1.62
13:15	0.771	1223.709	15.4194	312.634	308.76	1.24
13:30	0.7707	1271.059	15.4488	328.389	330.8	0.73
13:45	0.7724	1284.791	15.3155	335.894	338.144	0.67
14:00	0.77	1259.134	15.5289	323.327	311.188	3.75
14:15	0.769	1204.664	15.4006	306.253	304.533	0.561
14:30	0.7709	1156.188	15.2423	294.002	304.526	3.58
14:45	0.7681	1077.541	15.4747	262.859	273.603	4.09
15:00	0.7708	1073.051	15.2481	265.568	259.326	2.35



**Табела Б.11** Теоријске вредности површине озрачености ДДА ( $A_{\text{озр},t}$  ( $\text{m}^2$ )) ДОП-а за све анализиране датуме

Време (h)	08.08.	20.08.	04.09.	09.09.	04.10.
10:00	0.2817	0.3678	0.359	0.359	0.3713
10:15	0.2949	0.3735	0.3465	0.3465	0.3745
10:30	0.2863	0.3506	0.3065	0.3065	0.3635
10:45	0.2709	0.3116	0.2652	0.2652	0.3095
11:00	0.2907	0.303	0.2783	0.2783	0.3243
11:15	0.2787	0.2655	0.2266	0.2266	0.3046
11:30	0.2445	0.219	0.1748	0.1748	0.2867
11:45	0.1987	0.1665	0.123	0.123	0.2658
12:00	0.1731	0.1224	0.1118	0.1118	0.2277
12:15	0.1192	0.0729	0.0774	0.0774	0.2287
12:30	0.0714	0.0234	0.0449	0.0449	0.2178
12:45	0.0361	0	0.0214	0.0214	0.2117
13:00	0.02	0	0.0671	0.0671	0.2418
13:15	0	0.0089	0.0941	0.0941	0.2722
13:30	0	0	0.1343	0.1343	0.3064
13:45	0.0397	0.0302	0.1722	0.1722	0.3244
14:00	0.1149	0.1674	0.1995	0.1995	0.3228
14:15	0.142	0.2092	0.2232	0.2232	0.3189
14:30	0.1742	0.2481	0.2431	0.2431	0.3012
14:45	0.1973	0.2707	0.2589	0.2589	0.2821
15:00	0.2356	0.2923	0.3376	0.3376	0.3245
15:15	0.2515	0.3076	0.3501	0.3501	-
15:30	0.2547	0.2967	0.3381	0.3381	-
15:45	0.2371	0.2729	0.3009	0.3009	-
16:00	0.315	0.3374	0.3307	0.3307	-
16:15	0.2655	0.2935	0.2818	0.2818	-
16:30	0.2183	0.239	0.2298	0.2298	-
16:45	0.1675	0.1806	0.1749	0.1749	-
17:00	0.2696	0.3372	0.3044	0.3044	-

**Табела Б.12** Вредности производа параметара  $A_r$  и  $F_{rp}$  ( $A_r \cdot F_{rp}$ ) ДОП-а за све анализирани датуме

Време (h)	08.08.	20.08.	04.09.	09.09.	04.10.
10:00	0.08494	0.06505	0.06505	0.06505	0.05489
10:15	0.08494	0.06505	0.06505	0.06505	0.05489
10:30	0.08494	0.06505	0.06505	0.06505	0.05489
10:45	0.08494	0.06505	0.06505	0.06505	0.05489
11:00	0.07957	0.07957	0.07957	0.07957	0.08155
11:15	0.07957	0.07957	0.07957	0.07957	0.08155
11:30	0.07957	0.07957	0.07957	0.07957	0.08155
11:45	0.07957	0.07957	0.07957	0.07957	0.08155
12:00	0.09	0.09	0.09389	0.09389	0.09233
12:15	0.09	0.09	0.09389	0.09389	0.09233
12:30	0.09	0.09	0.09389	0.09389	0.09233
12:45	0.09	0.09	0.09389	0.09389	0.09233
13:00	0.09	0.09	0.09233	0.09233	0.08571
13:15	0.09	0.09	0.09233	0.09233	0.08571
13:30	0.09	0.09	0.09233	0.09233	0.08571
13:45	0.09	0.09	0.09233	0.09233	0.08571
14:00	0.08958	0.08811	0.08811	0.08811	0.08183
14:15	0.08958	0.08811	0.08811	0.08811	0.08183
14:30	0.08958	0.08811	0.08811	0.08811	0.08183
14:45	0.08958	0.08811	0.08811	0.08811	0.08183
15:00	0.0829	0.08155	0.07581	0.07581	0.09862
15:15	0.0829	0.08155	0.07581	0.07581	-
15:30	0.0829	0.08155	0.07581	0.07581	-
15:45	0.0829	0.08155	0.07581	0.07581	-
16:00	0.07326	0.06819	0.07387	0.07387	-
16:15	0.07326	0.06819	0.07387	0.07387	-
16:30	0.07326	0.06819	0.07387	0.07387	-
16:45	0.07326	0.06819	0.07387	0.07387	-
17:00	0.06224	0.061	0.065	0.065	-

Табела Б.13 Вредности разлика  $Q_k$  и  $Q_d$  у % за све анализиране датуме

Време (h)	08.08.	20.08.	04.09.	09.09.	04.10.
10:00	50.97	44.25	59.99	40.17	64.28
10:15	55.54	61.41	43.63	60.55	76.58
10:30	55.72	62.14	53.44	64.29	67.84
10:45	56.23	56.77	55.72	61.48	58.45
11:00	49.99	49.98	45.58	48.02	62.28
11:15	52.68	49.98	42	45.3	54.53
11:30	47.98	43.86	38.11	34.21	59.41
11:45	43.02	38.76	22.68	35.53	48.71
12:00	30.85	26.72	28.01	26.78	61.96
12:15	26.5	16.03	21.74	19.44	60.51
12:30	19.27	12.87	13.93	16.16	61.32
12:45	17.5	13.26	14.41	20.36	60.51
13:00	7.953	6.999	12.99	25.92	58.96
13:15	11.63	6.93	17.57	31.81	57.48
13:30	5.952	8.08	18.94	34.53	68.73
13:45	10.88	8.999	37.9	33.61	76.9
14:00	17.04	13.26	42.81	41.27	73.95
14:15	25.19	41.29	47	47.55	77.76
14:30	30.06	40.8	54.93	59.57	85.49
14:45	35.73	54.43	55.23	58.31	71.63
15:00	45.28	62.77	58.83	63.71	87.91
15:15	54.63	70.86	71.43	73.23	-
15:30	56.94	67.07	68.9	78.02	-
15:45	58.05	68.9	63.24	80.26	-
16:00	63.32	41.88	77.36	85.46	-
16:15	65.44	81.02	76.03	89.81	-
16:30	55.99	80.38	76.41	81.47	-
16:45	71.79	73.9	82.99	73.9	-
17:00	89.99	86.1	95.64	81.81	-

**Табела Б.14.** Вредности разлика  $I_k$  и  $I_d$  у % за све анализиране датуме

Време (h)	08.08.	20.08.	04.09.	09.09.	04.10.
10:00	53.32	67.34	60.57	67.06	68
10:15	56.67	70.19	60.75	66.45	71.89
10:30	56.15	67.67	55.9	60.35	72.16
10:45	54.2	61.33	50.12	53.49	63.25
11:00	58.23	61.31	54.28	57.32	68.24
11:15	56.63	55.02	45.69	47.73	64.9
11:30	50.61	46.4	36.61	37.78	61.68
11:45	42.1	36.08	27.12	27.54	57.62
12:00	37.72	27.78	25.72	25.8	50.1
12:15	27.11	17.95	19.01	18.76	50.4
12:30	17.51	7.612	12.5	12	48.16
12:45	10.29	2.693	7.656	7.041	46.93
13:00	6.901	2.726	16.68	16.47	53.2
13:15	2.698	4.372	22.14	22.1	59.72
13:30	2.608	2.611	30.43	30.54	67.08
13:45	10.78	8.742	38.34	38.52	71.03
14:00	26.36	37.45	44.03	44.19	70.73
14:15	31.99	46.22	49.11	49.24	67.78
14:30	38.7	54.21	53.41	53.51	66.38
14:45	43.54	59.23	56.84	56.94	62.4
15:00	51.39	63.45	73.31	73.48	72
15:15	54.76	66.75	76.08	76.27	-
15:30	55.46	64.79	73.65	73.84	-
15:45	51.82	59.86	65.85	66.03	-
16:00	67.95	72.96	72.31	72.54	-
16:15	57.62	63.78	61.98	62.18	-
16:30	47.73	52.29	50.92	51.09	-
16:45	37.04	23.62	39.16	39.29	-
17:00	58.24	73.67	67.21	67.57	-

**Табела Б.15** Вредности температура флуида  $T_{k,fin}$  (°C) за све анализиране датуме

Време (h)	08.08.	20.08.	04.09.	09.09.	04.10.
10:00	37.55	37.15	36.55	35.7	33.9
10:15	38.5	37.4	37.25	36.2	34.15
10:30	39.15	38.3	37.6	37.25	34.5
10:45	39.6	38.85	38.05	37.65	34.95
11:00	40.2	39.3	38.6	38.55	36.65
11:15	40.5	39.8	38.95	39.25	36.9
11:30	40.85	40	39.25	40	37.25
11:45	40.95	40.3	39.95	40.05	37.9
12:00	41.35	40.85	40.15	40.6	37.65
12:15	41.85	41.4	40.5	40.7	38.2
12:30	41.85	41.55	41.2	40.55	38.35
12:45	42.1	41.8	41.55	41.1	39
13:00	42.3	42.3	41.75	41.5	39.4
13:15	42.4	42.95	41.8	41.8	39.6
13:30	42.6	43.15	42.3	42.4	40.1
13:45	42.7	43.6	42.1	42.6	40.3
14:00	42.95	43.8	42.25	42.25	40.65
14:15	43.1	44.7	42.45	42.55	41
14:30	43.45	44.9	42.55	42.95	41.35
14:45	43.5	45.2	42.35	43	41.55
15:00	43.35	45.2	42.6	42.65	41.5
15:15	43.2	45.25	42.8	42.8	-
15:30	43.15	45.35	42.95	43	-
15:45	43	45.2	43	42.75	-
16:00	43	45.2	42.75	43.3	-
16:15	43.05	44.6	43.05	42.95	-
16:30	42.9	44.75	42.85	42.6	-
16:45	42.75	44.8	42.8	42.7	-
17:00	42.9	44.9	42.75	42.15	-

**Табела Б.16** Вредности температура флуида  $T_{d,fin}$  (°C) за све анализиране датуме

Време (h)	08.08.	20.08.	04.09.	09.09.	04.10.
10:00	39.05	38.6	37.7	36.9	34.85
10:15	40.1	39.55	38.25	38.1	35.45
10:30	40.95	40.6	38.85	39.5	36
10:45	41.4	41.15	39.45	39.85	36.45
11:00	41.85	41.6	39.85	40.25	38.05
11:15	42.45	42.25	40.25	41.15	38.1
11:30	42.55	42.25	40.35	41.35	38.8
11:45	42.45	42.1	40.6	41.45	39.2
12:00	42.6	42.2	41.15	41.9	39.35
12:15	42.85	42.15	41.1	41.55	39.9
12:30	42.55	42.1	41.55	41.05	40.05
12:45	42.7	42.25	41.9	41.9	40.7
13:00	42.55	42.45	42.05	42.6	41
13:15	42.8	43	42.3	43.25	41.4
13:30	42.75	43.25	42.9	43.9	42.15
13:45	43.05	43.75	43.6	44.15	42.5
14:00	43.45	44.15	43.9	44.1	42.65
14:15	43.75	46.1	44.2	44.6	43
14:30	44.2	46.8	44.6	45.4	43.4
14:45	44.45	47.15	44.5	45.3	43.05
15:00	44.65	47.4	44.65	45.05	43.15
15:15	44.75	47.45	45	45.35	-
15:30	44.75	47.4	45.05	45.5	-
15:45	44.5	47.25	44.7	44.9	-
16:00	44.6	46.55	44.5	45.15	-
16:15	44.55	46.25	44.55	44.9	-
16:30	44.2	46.1	43.9	44	-
16:45	43.75	45.8	43.6	43.6	-
17:00	43.75	45.85	43.25	42.6	-

Табела Б.17 Вредности разлика  $T_{k, fm}$  и  $T_{d, fm}$  у °C за све анализиране датуме

Време (h)	08.08.	20.08.	04.09.	09.09.	04.10.
10:00	1.5	1.45	1.15	1.2	0.95
10:15	1.6	2.15	1	1.9	1.3
10:30	1.8	2.3	1.25	2.25	1.5
10:45	1.8	2.3	1.4	2.2	1.5
11:00	1.65	2.3	1.25	1.7	1.4
11:15	1.95	2.45	1.3	1.9	1.2
11:30	1.7	2.25	1.1	1.35	1.55
11:45	1.5	1.8	0.65	1.4	1.3
12:00	1.25	1.35	1	1.3	1.7
12:15	1	0.75	0.6	0.85	1.7
12:30	0.7	0.55	0.35	0.5	1.7
12:45	0.6	0.45	0.35	0.8	1.7
13:00	0.25	0.15	0.3	1.1	1.6
13:15	0.4	0.05	0.5	1.45	1.8
13:30	0.15	0.1	0.6	1.5	2.05
13:45	0.35	0.15	1.5	1.55	2.2
14:00	0.5	0.35	1.65	1.85	2
14:15	0.65	1.4	1.75	2.05	2
14:30	0.75	1.9	2.05	2.45	2.05
14:45	0.95	1.95	2.15	2.3	1.5
15:00	1.3	2.2	2.05	2.4	1.65
15:15	1.55	2.2	2.2	2.55	-
15:30	1.6	2.05	2.1	2.5	-
15:45	1.5	2.05	1.7	2.15	-
16:00	1.6	1.35	1.75	1.85	-
16:15	1.5	1.65	1.5	1.95	-
16:30	1.3	1.35	1.05	1.4	-
16:45	1	1	0.8	0.9	-
17:00	0.85	0.95	0.5	0.45	-

**Табела Б.18** Добијене вредности укупно дозраченог зрачења КП-а  $H'_{\text{KG}}$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

Време (h)	08.08.	20.08.	04.09.	09.09.	04.10.
10:00	655.782	649.646	586.857	633.803	567.827
10:15	695.692	692.758	627.749	678.334	628.076
10:30	733.612	734.047	666.886	720.839	684.11
10:45	770.358	773.237	704.018	761.075	736.732
11:00	803.618	810.091	738.935	798.839	785.429
11:15	835.376	843.18	771.452	833.95	828.227
11:30	864.382	874.717	801.405	866.24	867.907
11:45	890.468	903.338	828.646	894.126	901.113
12:00	913.475	928.865	851.525	918.838	929.176
12:15	933.251	949.817	872.89	941.666	950.507
12:30	949.643	968.6	891.13	959.559	966.463
12:45	962.497	983.72	904.505	973.767	977.566
13:00	972.931	993.686	916.032	984.074	983.656
13:15	978.219	1000.82	922.348	990.233	984.558
13:30	980.713	1002.37	926.511	990.666	978.578
13:45	978.93	1001.43	925.091	988.748	967.007
14:00	971.485	995.341	921.116	981.62	949.636
14:15	961.458	985.274	911.16	971.997	924.519
14:30	947.299	972.483	896.624	956.991	894.647
14:45	930.262	954.281	877.297	937.95	856.139
15:00	907.728	933.268	854.72	914.821	810.059
15:15	880.873	906.654	826.501	885.952	-
15:30	850.946	875.704	793.81	854.425	-
15:45	815.183	840.333	756.496	818.632	-
16:00	776.187	801.952	714.364	776.709	-
16:15	732.489	757.476	667.139	730.184	-
16:30	683.936	708.235	614.409	678.883	-
16:45	630.336	740.243	553.429	622.532	-
17:00	571.425	594.662	486.8	560.624	-



**Табела Б.19** Добијене вредности укупно дозраченог зрачења ДОП-а  $H'_{dG}$  ( $W/m^2$ )

Време (h)	08.08.	20.08.	04.09.	09.09.	04.10.
10:00	1000.178	1078.97	934.7083	1052.095	948.0626
10:15	1083.847	1170.068	1000.904	1121.902	1072.937
10:30	1139.086	1221.693	1031.884	1149.212	1171.031
10:45	1181.706	1239.453	1049.968	1162.256	1196.917
11:00	1264.436	1299.549	1133.095	1250.888	1315.705
11:15	1301.793	1301.072	1118.947	1227.761	1360.523
11:30	1296.448	1276.195	1091.709	1190.881	1398.548
11:45	1261.474	1226.662	1052.117	1139.325	1416.205
12:00	1255.417	1186.095	1070.21	1155.686	1391.76
12:15	1185.561	1121.104	1039.864	1119.134	1426.567
12:30	1116.916	1044.912	1004.684	1076.543	1429.166
12:45	1063.739	1013.512	976.6716	1044.855	1433.72
13:00	1042.773	1023.969	1070.048	1147.183	1503.505
13:15	1007.894	1047.468	1126.846	1209.345	1568.496
13:30	1009.492	1031.702	1207.446	1292.315	1630.384
13:45	1086.33	1091.097	1277.892	1367.771	1649.054
14:00	1227.084	1366.204	1324.144	1412.912	1616.709
14:15	1267.866	1437.763	1355.749	1447.669	1567.718
14:30	1311.987	1495.901	1372.384	1465.845	1484.783
14:45	1332.896	1515.392	1372.679	1468.588	1387.303
15:00	1370.874	1520.877	1476.443	1582.039	1390.413
15:15	1359.818	1507.33	1450.764	1557.028	-
15:30	1319.888	1439.362	1374.739	1481.585	-
15:45	1235.285	1340.483	1251.977	1356.453	-
16:00	1300.525	1383.819	1228.514	1337.669	-
16:15	1152.622	1238.452	1079.217	1182.807	-
16:30	1009.45	1077.583	926.6901	1025.158	-
16:45	863.7158	915.0244	770.164	867.1269	-
17:00	904.7756	1033.579	814.6457	940.2456	-

**Табела Б.20** Експерименталне вредности термичке ефикасности КП-а  $\eta_{k,e}$  (-)

Време (h)	08.08.	20.08.	04.09.	09.09.	04.10.
10:00	0.551	0.54	0.511	0.577	0.498
10:15	0.549	0.581	0.584	0.571	0.504
10:30	0.589	0.579	0.58	0.59	0.551
10:45	0.588	0.602	0.578	0.573	0.594
11:00	0.617	0.624	0.614	0.586	0.523
11:15	0.62	0.641	0.58	0.626	0.537
11:30	0.608	0.644	0.574	0.633	0.535
11:45	0.621	0.623	0.631	0.608	0.549
12:00	0.621	0.625	0.629	0.623	0.485
12:15	0.623	0.641	0.592	0.586	0.507
12:30	0.612	0.599	0.65	0.527	0.492
12:45	0.582	0.572	0.62	0.567	0.493
13:00	0.633	0.578	0.626	0.561	0.503
13:15	0.616	0.58	0.615	0.567	0.515
13:30	0.6	0.568	0.639	0.567	0.518
13:45	0.604	0.574	0.612	0.599	0.512
14:00	0.602	0.566	0.622	0.567	0.488
14:15	0.557	0.56	0.601	0.541	0.48
14:30	0.573	0.604	0.597	0.528	0.475
14:45	0.576	0.565	0.583	0.523	0.482
15:00	0.551	0.552	0.562	0.488	0.441
15:15	0.544	0.522	0.551	0.476	-
15:30	0.555	0.541	0.551	0.47	-
15:45	0.537	0.528	0.553	0.425	-
16:00	0.546	0.553	0.491	0.391	-
16:15	0.531	0.459	0.491	0.396	-
16:30	0.517	0.432	0.417	0.39	-
16:45	0.437	0.409	0.387	0.362	-
17:00	0.371	0.399	0.306	0.289	-

**Табела Б.21** Експерименталне вредности термичке ефикасности ДОП-а  $\eta_{d,e}$  (-)

Време (h)	08.08.	20.08.	04.09.	09.09.	04.10.
10:00	0.545	0.469	0.514	0.487	0.49
10:15	0.549	0.555	0.526	0.554	0.521
10:30	0.59	0.564	0.575	0.608	0.541
10:45	0.599	0.589	0.603	0.605	0.579
11:00	0.588	0.584	0.583	0.554	0.507
11:15	0.608	0.623	0.568	0.618	0.505
11:30	0.599	0.635	0.582	0.618	0.53
11:45	0.627	0.637	0.61	0.646	0.52
12:00	0.591	0.62	0.64	0.628	0.524
12:15	0.62	0.63	0.605	0.589	0.542
12:30	0.621	0.627	0.657	0.546	0.537
12:45	0.619	0.629	0.657	0.636	0.54
13:00	0.638	0.6	0.605	0.606	0.523
13:15	0.667	0.592	0.591	0.612	0.509
13:30	0.617	0.596	0.583	0.585	0.525
13:45	0.604	0.574	0.611	0.579	0.531
14:00	0.558	0.467	0.618	0.557	0.498
14:15	0.529	0.542	0.594	0.536	0.503
14:30	0.538	0.553	0.605	0.55	0.531
14:45	0.545	0.55	0.578	0.529	0.51
15:00	0.53	0.552	0.517	0.462	0.483
15:15	0.545	0.537	0.538	0.469	
15:30	0.561	0.55	0.537	0.483	
15:45	0.561	0.559	0.546	0.463	
16:00	0.532	0.455	0.507	0.421	
16:15	0.558	0.508	0.534	0.464	
16:30	0.546	0.512	0.487	0.469	
16:45	0.548	0.576	0.509	0.452	
17:00	0.445	0.427	0.357	0.313	

**Табела Б.22** Месечна укупно апсорбована енергија  $I_{k,m}$  и  $I_{d,m}$  (MJ), месечна корисна топлотна енергија пријемника  $Q_{k,m}$  и  $Q_{d,m}$  (MJ) и средња месечна површина озрачености  $A_{ozr}$  (%)

Месец	$I_{k,m}$ (MJ)	$I_{d,m}$ (MJ)	$Q_{k,m}$ (MJ)	$Q_{d,m}$ (MJ)	$A_{ozr}$ (%)
1	51.729	82.179	28.723	49.369	92.91
2	68.701	108.449	39.574	65.890	94.636
3	102.505	148.873	61.657	90.888	88.093
4	123.46	174.948	77.638	110.028	81.375
5	142.53	212.245	90.277	134.741	93.841
6	145.303	226.082	92.976	144.968	95.784
7	162.401	254.3	105.02	163.798	95.717
8	160.201	241.275	104.17	154.873	85.259
9	133.623	199.898	85.733	127.903	83.73
10	103.548	165.324	63.484	103.681	95.211
11	54.957	84.949	30.352	49.524	93.574
12	43.365	67.947	23.496	40.025	93.376

**Табела Б.23** Месечна процентуална разлика укупно апсорбованих енергија  $\Delta I_m$  (%), месечна процентуална разлика корисних топлотних енергија  $\Delta Q_m$  (%), укупно дозрачена соларна енергија на површину застакљења пријемника  $H'_{kGm}$  и  $H'_{dGm}$  (MJ) и месечне термичке ефикасности  $\eta_{k,m}$  и  $\eta_{d,m}$  (-) за случај максималне озрачености ДДА

Месец	$\Delta I_m$ (%)	$\Delta Q_m$ (%)	$H'_{kGm}$ (MJ)	$H'_{dGm}$ (MJ)	$\eta_{k,m}$ (-)	$\eta_{d,m}$ (-)
1	58.864	71.881	74.076	117.065	0.388	0.422
2	57.855	66.497	97.703	153.153	0.405	0.43
3	45.235	47.408	142.202	204.861	0.434	0.444
4	41.704	41.719	169.173	237.599	0.459	0.463
5	48.913	49.254	197.246	289.757	0.458	0.465
6	55.593	55.919	201.104	308.324	0.462	0.47
7	56.588	55.971	223.699	345.546	0.469	0.474
8	50.608	48.673	218.6	326.692	0.477	0.474
9	49.598	49.188	181.802	270.143	0.472	0.473
10	59.659	63.317	142.266	224.807	0.446	0.461
11	54.576	63.164	76.638	117.759	0.396	0.421
12	56.688	70.347	59.679	92.666	0.394	0.432

**Табела Б.24** Вредности месечне корисне топлотне енергије пријемника ( $Q_{k,m}$ ,  $Q_{d,m}^*$ ,  $Q_{d,m}^{**}$  и  $Q_{d,m}^{***}$ ) (MJ) и средње месечне површине озрачености  $A_{ozr}$  ( $A_{ozr}^*$  и  $A_{ozr}^{**}$ ) (%) за три анализирана случаја озрачености ДДА

Месец	$Q_{k,m}$ (MJ)	$Q_{d,m}^*$ (MJ)	$Q_{d,m}^{**}$ (MJ)	$Q_{d,m}^{***}$ (MJ)	$A_{ozr}^*$ (%)	$A_{ozr}^{**}$ (%)
1	28.723	49.369	51.182	25.736	92.91	100
2	39.574	65.890	67.423	35.441	94.636	100
3	61.657	90.888	93.115	55.103	88.093	93.355
4	77.638	110.028	113.383	70.152	81.375	87.454
5	90.277	134.741	137.173	81.271	93.841	98.245
6	92.976	144.968	146.723	83.902	95.784	100
7	105.02	163.798	166.198	94.785	95.717	99.677
8	104.17	154.873	159.387	94.357	85.259	91.118
9	85.733	127.903	131.508	77.684	83.73	89.258
10	63.484	103.681	105.423	56.794	95.211	99.728
11	30.352	49.5236	50.959	26.46	93.574	100
12	23.496	40.025	41.396	20.722	93.376	100

**Табела Б.25** Вредности месечне процентуалне разлике корисне топлотне енергије за три анализирана случаја озрачености ДДА, месечне процентуалне разлике корисне топлотне енергије за случај I и II и средње месечне површине озрачености  $A_{ozr}$  за случај I и II (%)

Месец	$\Delta Q_m^*$ (%)	$\Delta Q_m^{**}$ (%)	$\Delta Q_m^{***}$ (%)	$\Delta Q_d$ (%)	$\Delta A$ (%)
1	71.881	78.193	-10.401	3.672	7.631
2	66.497	70.372	-10.443	2.327	5.668
3	47.408	51.021	-10.63	2.451	5.974
4	41.719	46.039	-9.643	3.049	7.47
5	49.254	51.948	-9.976	1.805	4.693
6	55.919	57.807	-9.760	1.211	4.402
7	55.971	58.256	-9.744	1.465	4.138
8	48.673	53.006	-9.421	2.914	6.872
9	49.188	53.393	-9.389	2.818	6.602
10	63.317	66.061	-10.538	1.68	4.745
11	63.164	67.893	-12.822	2.898	6.867
12	70.347	76.181	-11.809	3.425	7.094

**Табела Б.26** Вредности месечне термичке ефикасности за сва три анализирана случаја озрачености ДДА (-)

Месец	$\eta_{k,m}$ (-)	$\eta_{d,m}^*$ (-)	$\eta_{d,m}^{**}$ (-)	$\eta_{d,m}^{***}$ (-)
1	0.388	0.422	0.424	0.361
2	0.405	0.430	0.431	0.375
3	0.434	0.444	0.446	0.395
4	0.459	0.463	0.466	0.422
5	0.458	0.465	0.466	0.418
6	0.462	0.470	0.470	0.422
7	0.469	0.474	0.475	0.427
8	0.477	0.474	0.476	0.432
9	0.472	0.473	0.475	0.431
10	0.446	0.461	0.461	0.408
11	0.396	0.421	0.423	0.358
12	0.394	0.432	0.434	0.358