

# THE ROLE OF GEODESY IN ENERGY EFFICIENCY PROJECTS

## ULOGA GEODEZIJE U PROJEKTIMA ENERGETSKE EFIKASNOSTI

Marina Davidović<sup>1</sup>

Toša Ninkov<sup>2</sup>

Milan Trifković<sup>3</sup>

Tatjana Kuzmić<sup>4</sup>

UDK: 620.9:502.131]:528

DOI: 10.14415/zbornikGFS34.09

CC-BY-SA 4.0 license

**Summary:** Energy is, according to its nature, the cause and trigger of many changes. Adequately used, it is a very important factor in the rise of man and his progress. Today, there is a worldwide trend in the growth of the implementation of renewable energy, especially the sun light. The aim of this paper is to explore the role of geodesy in energy efficiency projects, in the example of mounted solar panels on flat roofs of one specified area. The paper focuses on the positioning of that panels and the amount of energy they produce, taking into account their location, orientation, inclination, surface and sun radiation period.

**Keywords:** geodesy, solar panel, urban area, energy

**Резиме:** Energija je po svojoj prirodi uzrok i pokretač mnogih promena. Adekvatno upotrebljena, veoma je važan činilac uspona čoveka i njegovog progresa. Danas, širom sveta postoji trend rasta implementacije obnovljive energije, a posebno sunčeve svetlosti. Cilj ovog rada je da istraži ulogu geodezije u projektima energetske efikasnosti, a na primeru montiranih solarnih panela na ravne krovove jednog određenog područja. U radu je akcenat na pozicioniranju datih panela, te proračunu energije koju oni daju, uzevši u obzir njihovu lokaciju, orijentaciju, nagib, površinu i period sunčevog zračenja.

**Кључне речи:** геодезија, соларни панели, урбано подручје, енергија

### 1. INTRODUCTION

Energy needs in a certain way reflect the position of man and society in general, so the human energy needs has progress parallel with the development of society. Natural types of energy are those whose potentials were created in nature. They can be divided into two basic groups: natural non-renewable species - non-renewable energy sources and renewable energy sources. In this paper,

### 1. УВОД

Потребе за енергијом на одређен начин одражавају положај човека и друштва у целини, те човекове потребе за енергијом ишле су паралелно са развојем друштва. Природне врсте енергије су оне чији се потенцијали стварају у природи. Могу се поделити на две основне групе: природне врсте које се не обнављају - необновљиви извори енергије и

<sup>1</sup> Marina Davidović, master inž. geod., e-mail: [marina.davidovic@uns.ac.rs](mailto:marina.davidovic@uns.ac.rs)

<sup>2</sup> Prof. dr Toša Ninkov, dipl inž geod., Fakultet Tehničkih Nauka Novi Sad, e-mail: [ninkov.tosa@gmail.com](mailto:ninkov.tosa@gmail.com)

<sup>3</sup> Prof. dr Milan Trifković, dipl inž geod., Građevinski fakultet Subotica, e-mail: [milantri@eunet.rs](mailto:milantri@eunet.rs)

<sup>4</sup> Tatjana Kuzmić, master inž. geod., e-mail: [tatjana.kuzmic@uns.ac.rs](mailto:tatjana.kuzmic@uns.ac.rs)

the emphasis is on renewable energy sources, i.e. solar energy. This type of energy and photovoltaic systems, as one of its products, are described in more detail, then the mathematical model for the calculation of solar energy is presented, applied in case of installation of solar panels on all flat roofs of the Belgrade settlement – Rospi Ćuprija.

## 2. RENEWABLE ENERGY RESOURCES

The word energy is derived from the word *Energos*, which in Greek means activity [1]. Energy is the ability of a body to perform some work, and also it can be said that work and energy are equivalent terms, although the scope and content of these two words are not exactly identical. In essence, the energy change is equal to the work that is done, and therefore is expressed by the same measurement unit - joule [J] in honor of english physicist James Prescott Joule. Work that is done can be manifested in many ways: as a change in position, speed, temperature, and so on.

There are differences between renewable and non-renewable energy sources in the consistency, the possibilities of storage and transport, but also from the aspect of the necessary investments for the construction of the facilities for their use, as well as the costs for their working and maintenance. For the practical use of natural energy potential, the technical possibility and economic justification of their exploitation is very important [2].

Renewable energy sources are energy sources that are found in nature and are renewed in whole or in part, in particular the energy of watercourses, winds, non-accumulated solar energy, biomass, geothermal energy, biofuels, biogas, synthetic gas, landfill gas, gas from the facilities for sewage treatment water and wastewater from the food and wood processing industry that do not contain hazardous substances [3]. These are natural resources which, as such, are

природне врсте које се обнављају - обновљиви извори енергије. У овом раду акценат је на обновљивим изворима енергије, односно соларној енергији. Детаљно је описан овај вид енергије, те фотонапонских системи, као један њен продукт, потом је представљен математички модел за прорачун приноса сунчеве енергије, примењен у случају монтирања соларних панела на свим равним крововима београдског насеља - Роспи Ђуприја.

## 2. ОБНОВЉИВИ ИЗВОРИ ЕНЕРГИЈЕ

Реч енергија је иначе настала од речи Енергос што на грчком значи активност [1]. Енергија је способност неког тела да обави неки рад, а исто се тако може рећи да су рад и енергија еквивалентни појмови, иако опсег и садржај тих двају речи није потпуно идентичан. У суштини, промена енергије једнака је извршеном раду, па се стога и изражавају истом мерном јединицом - џул [J] у част енглеског физичара - Џејмса Прескота Џула. Вршење рада се може манифестовати на много начина: као промена положаја, брзине, температуре и слично.

Између обновљивих и необновљивих извора енергије постоје разлике у константности, могућности ускладиштења и транспорта, али и са гледишта потребних улагања за градњу постројења за њихово коришћење, те трошкова за њихов рад и одржавање. За практично коришћење природних потенцијала енергије веома је битна техничка могућност и економска оправданост њиховог коришћења [2]. Обновљиви извори енергије јесу извори енергије који се налазе у природи и обнављају се у целости или делимично, посебно енергија водотокова, ветра, неакумулирана сунчева енергија, биомаса, геотермална енергија, биогорива, биогас, синтетички гас, депонијски гас, гас из постројења

regeneratively inexhaustible and considerably more favorable for the environment. Regarding the fact that their application has a positive economic impact on the development of underdeveloped areas, and because of the fact that their more significant use is an environmentally friendly solution, renewable energy sources can be defined as the main energy sources of the future [4].

Renewable energy technology does not produce only energy, heat and fuel for transportation, but it also offers the possibility of living that leads to reasonable future development. In Europe and other industrialized areas, the main reason for the development of renewable energy sources is the environment, particularly concern about global climate change and the need for improvement of the security and diversification of energy supply [5].

## 2.1. SOLAR ENERGY

Sun energy is one of the best forms of renewable energy, which has the least negative impact on the environment [6]. Sunlight, with previously explained renewable energy sources, is considered as the most available renewable energy source on Earth. However, a very small amount of energy is used from the one that is actually available to us. The sun light is a resource that can be used by every country, in certain quantities, with ecologically pure energy whose energy technology does not pollute the environment in the process of converting from original form into a form suitable for the use [7].

If we imagine (Figure 1) the volume of the cube and we bring it in analogy to the Sun's energy reaching Earth for one year (cube 1), comparing it with reserves of primary energy sources and the total annual world energy consumption (cube 7) is: all coal reserves (cube 4), natural gas (cube 3), oil (cube 5) and uranium (cube 6) together, and the amount of

за третман канализационих вода и отпадних вода из прехранбене и дрвно-прерађивачке индустрије који не садрже опасне материје [3]. Ради се о природним ресурсима који су, као такви, регенеративно неисцрпни и знатно повољнијег утицаја на околину. С обзиром на чињеницу да њихова примена има позитивни економски утицај на развој неразвијених подручја, као и због чињенице да њихова значајнија употреба представља еколошки прихватљивије решење, обновљиве изворе енергије можемо дефинисати и као основне енергенте будућности [4].

Технологија обновљивих извора енергије не производи само енергију, топлоту и гориво за транспортна средства, већ такође нуди могућност живота који води разумном будућем развоју. У Европи и другим индустријализованим подручјима, главни разлог за развој обновљивих извора енергије је околина, посебно забринутост у вези с глобалним климатским променама и потребом за побољшањем сигурности и разноликости опскрбе енергијом [5].

## 2.1. СОЛАРНА ЕНЕРГИЈА

Енергија сунца је један од најбољих видова обновљиве енергије, која има најмањи негативни утицај на околину [6]. Сунчева светлост, уз претходно појашњене обновљиве изворе енергије, сматра се најчешћим доступним обновљивим извором енергије на Земљи. Међутим, употребљава се веома мали део енергије од оне која нам је реално доступна. Сунчева светлост представља ресурс којим може свака земља, у одређеним количинама да располаже, а при томе је еколошки чиста енергија чија енергетска технологија не загађује животну средину у процесу претварања из изворног облика у облик погодан за коришћење [7].

currently used solar energy shows the smallest cube (cube number 2) [8].

From the shown above, it is noticeable that solar energy is insufficiently explored and underutilized, and that more research should be undertaken on this subject, which also this paper deals with. The photovoltaic system, as a very serious product using solar energy, is described in the next chapter.

### 3. PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

Significant number of research and development of the technology of thermal photovoltaic systems has been done since the 1970s [9]. Photovoltaic solar system is a system by which solar radiation turns into electricity and supplies consumers with direct and / or alternating current. The photovoltaic solar system can operate independently of the electricity distribution network or be connected to it.

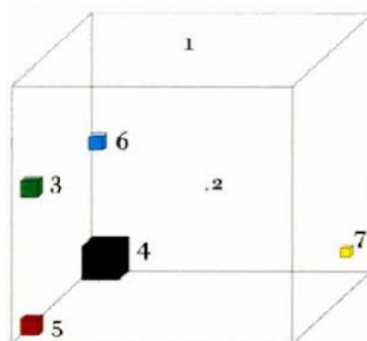
Depending on the components of which it consists, a photovoltaic solar system that is not connected to the electricity distribution network can provide consumers with direct or alternating current. The example of such system is shown in Figure 2.

Ако замислимо (Слика 1) запремину коцке и доведемо је у аналогију са енергијом Сунца која доспе на Земљу у току једне године (коцка 1), поређење са резервама примарних извора енергије и укупном годишњом светском потрошњом енергије (коцка 7) гласи: све резерве угља (коцка 4), природног гаса (коцка 3), нафте (коцка 5) и урана (коцка 6) заједно, а износ тренутно коришћене Сунчеве енергије приказује најситнија коцка (коцка број 2) [8].

Из приложеног, уочљиво је да је соларна енергија недовољно истражена, те недовољно искоришћена, и да би се требало више истраживати на ту тему, чиме се бави и овај рад. Фотонапонски систем, као веома озбиљан производ који користи соларну енергију, описан је у наредном поглављу.

### 3. ФОТОНАПОНСКИ СИСТЕМИ

Значајан број истраживања и развоја технологије термалних фотонапонских система је учињен од 1970-их [9]. Под фотонапонским соларним системом подразумева се систем помоћу кога се сунчево зрачење претвара у електричну енергију и врши снабдевање потрошача једносмерном и/или наизменичном струјом.



Слика 1- Поређење разних извора енергије на Земљи [8]  
Figure 1- Comparison of various energy sources on Earth [8]

### 3.1. COMPONENTS OF PHOTOVOLTAIC SOLAR SYSTEM

The basic elements of the photovoltaic solar system are solar cells, battery charging regulator, battery, inverter and consumers. while optional components are electrical counter, network exclusion equipment, monitoring and management of the system itself [10].

Фотонапонски соларни систем може да ради независно од електродистрибутивне мреже или да буде прикључен на њу. У зависности од компонената од којих се састоји, фотонапонски соларни систем који није прикључен за електродистрибутивну мрежу потрошачима може да даје једносмерну или наизменичну струју. Један овакав систем приказује Слика број 2.



Слика 2-Фотонапонски систем монтиран на објекат  
Figure 2- Photovoltaic system mounted on the building

The battery is an electrochemical source of energy whose work is based on a reversible electrochemical process of converting electrical energy into a chemical, and vice versa. The battery consists of galvanic elements that have two electrodes (anode and cathode) that are in the electrolyte. By serial connection of galvanic elements, a rechargeable battery of rated voltage is obtained which corresponds to the number of galvanic elements multiplied by the voltage of one element. The battery charging regulator automatically regulates the charging and discharging of the battery. The battery can be damaged if it is too charged or empty. When the battery is charged, the regulator interrupts its further charging, and when the battery is discharged to a

### 3.1. КОМПОНЕНТЕ ФОТОНАПОНСКОГ СОЛАРНОГ СИСТЕМА

Основни елементи фотонапонског соларног система су соларне ћелије, регулатор пуњења акумулатора, акумулатор, инвертор и потрошачи. док су опциони електрично бројило, опрема за мрежно искључење, наџор и управљање самим системом [10]. Акумулатор је електрохемијски извор енергије чији се рад заснива на реверзибилном елетрохемијском процесу конверзије електричне енергије у хемијску, и обрнуто. Акумулатор се састоји од галванских елемената који имају по две електроде (аноду и катоду) које се налазе у електролиту. Серијским повезивањем галванских

certain limit, the regulator switches off the consumer from the battery. Inverter is a device that converts direct current of 12 V or 24 V DC to voltage of 220 V. The inverters, used in the photovoltaic system for supplying consumers with alternating current, use unipolar transistors, whose output power is from 100 W to 32 kW. The choice of a suitable inverter for use in photovoltaic solar systems depends on the waveform of the output voltage, requires of the system's loading, its efficiency, etc. Network-connected systems do not require that the extra energy is stored in batteries - basically the network is used as a battery. During the day, solar energy is automatically used, and when more energy is produced than necessary, surplus can be sold. The standard electric counter is replaced by a network-connected counter that shows two digits - one is the purchased power, while the other is the sold-out power [10].

Network disconnection is a power switch for system shut-off that is required for network-connected systems. As energy in a network-connected system can be returned to the power network, network disconnection allows the electrical company to shut down the energy flow in order to protect electricians and allow them to work in safe conditions during repairs. Once a solar energy system is set up, it is convenient to have a way to monitor how much energy is produced. Most inverters display this information, but many companies offer a wireless monitor that can be placed in a more accessible and more visible location. These data can also be sent over the Internet, where they can be displayed on a personalized page that displays daily electricity production, as well as the historical performance of the system. Solar energy systems usually require a little maintenance and last up to 25 or 30 years. Occasionally washing solar panels in order to remove dirt is the maximum degree of maintenance required for these systems [11].

елемената добија се акумулаторска батерија називног напона који одговара броју галванских елемената помноженим с напонам једног елемента. Регулатор пуњења акумулатора аутоматски регулише пуњење и пражњење акумулатора. Акумулатор може да се оштети уколико се превише напуни или испразни. Када је акумулатор напуњен, регулатор прекида његово даље пуњење, а када је акумулатор испражњен до одређене границе, регулатор искључује потрошач са акумулатора. Инвертор је уређај које претвара једносмерни напон од 12 V или 24 V у назменични напон од 220V. Инвертори, који се користе код фотонапонског система за снабдевање потрошача наизменичном струјом, користе униполарне транзисторе, чија је излазна снага од 100 W до 32 kW. Избор одговарајућег инвертора за примену код фотонапонских соларних система зависи од таласног облика излазног напона, захтева оптерећења система, његове ефикасности, итд. Мрежно повезани системи не захтевају да вишак енергије буде сачуван у батеријама - у суштини се користи мрежа као батерија. Током дана аутоматски се користи соларна енергија, а када се произведе више енергије него што је потребно, вишак се може продати. Стандардно електрично бројило се замењује са мрежно повезаним бројилом који показује две цифре - једна је купљена снага, док је друга продата снага [10].

Мрежно искључење је прекидач за искључивање система који је неопходан за мрежно повезане системе. Због тога што енергија у мрежно повезаном систему може да се врати назад у електричну мрежу, мрежно искључење омогућава електричној компанији да угаси проток енергије како би заштитила електричаре и дозволила им да раде у безбедним условима приликом поправки. Једном када се соларни енергетски систем постави, згодно је имати начин да се

#### 4. МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ ЗА ПРОРАЧУН РАСПОРЕДА ФОТОНАПОНСКИХ СИСТЕМА И ПРИНОС СУНЧЕВЕ ЕНЕРГИЈЕ

According to [12], the simplest mathematical approach to calculate array spacing for a rack mounted PV array uses equations (1) - (3), where parameters are: **S** -array spacing (hereinafter, PV module), **VSA** - the vertical shading angle between the sun and the array, **H** -the height of the tilted module, **Wp**-the array row width,  $\gamma_s$  -the azimuth,  $\alpha_s$ -altitude angle,  $\beta_a$ -the tilt angle of the array relative to the roof surface and  $\gamma_a$ - the orientation of the array (calculating od 0-360° from North).

надзире колико се енергије производи. Већина инвертора приказује ту информацију, али многе компаније нуде бежични монитор који може бити постављен на приступачнијој и видљивијој локацији. Ови подаци могу бити послати и путем интернета, где се могу приказивати на персонализованој страници која приказује дневну производњу струје, као и историјски учинак система. Системи соларне енергије обично захтевају врло мало одржавања и трају око 25 до 30 година. Повремено прање соларних панела како би се уклонила прљавштина је максимални степен одржавања који је потребан за ове системе [11].

#### 4. МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ ЗА ПРОРАЧУН РАСПОРЕДА ФОТОНАПОНСКИХ СИСТЕМА И ПРИНОС СУНЧЕВЕ ЕНЕРГИЈЕ

Према [12], математички приступ за израчунавање распореда фотонапонских низова користи једначине (1)-(3):

$$S = H / \tan(VSA) \quad (1)$$

$$\tan(VSA) = \frac{\sin(\gamma_s - \gamma_a)}{\cos(\alpha_s - \beta_a)} \quad (2)$$

$$H = Wp \cdot \sin \beta_a \quad (3)$$

The equations can also be used to calculate the distance between the PV modules for avoiding self-shading at any given time of the year and any sun position. Eq. (2) represents the modification of the basic equation in order to allow the calculation of the PV module arrangement of any orientation mounted on the horizontal surface. The vector analysis methodology presented in this paper enables the calculation of array spacing for photovoltaic arrays mounted on non-horizontal surfaces (i.e., roof structures) and non-ideal array orientations. The modified relations for **H** and **tan(VSA)** are given in Eqs. (4) i (5) [12], where S is calculated by using Eq. (1) and where are:  $\beta_a'$  -the tilt angle of the array relative to the roof surface,  $\alpha_s'$  -

где су параметри: **S** - размак између низова фотонапонских система (у даљем тексту, ПВ модула); **VSA** - вертикални угао прављења хлада између Сунца и ПВ модула; **H** - висина нагнутог модула; **Wp** - ширина ПВ модула;  $\gamma_s$  - азимут;  $\alpha_s$  - алтитудни угао сунца;  $\beta_a$  - угао нагиба ПВ модула у односу на хоризонтални референтни оквир;  $\gamma_a$  - оријентација ПВ модула (рачунајући од 0-360° од правца севера). Једначине могу бити искоришћене и за израчунавање размака између ПВ модула за избегавање самосенчења (формирања хлада) у било ком одређеном тренутку у години и било ком положају сунца. Јед. (2) представља модификацију основне

the tilt angle of the array relative to the roof surface,  $\gamma'_s$  the azimuth relative to the roof surface and  $\gamma'_a$  the orientation angle of the sun and the PV array.

Eq. (5), which calculates the vertical shading angle, is dependent on the altitude and azimuth angle of the sun's position in addition to the array orientation. All three of these angles are spatially referenced to the underlying surface which the PV array is mounted upon (typically a roof surface).

$$H = W_P \sin \beta'_a \quad (4)$$

$$\tan(\text{VSA}) = \tan \alpha'_s / \cos(\gamma'_s - \gamma'_a) \quad (5)$$

This surface can be of any tilt and orientation. The equations for  $\alpha'_s$ ,  $\gamma'_s$ ,  $\beta'_a$  and  $\gamma'_a$  are given in Eq. (6–9) and were derived using vector analysis [12]. The angles  $\beta_r$  i  $\gamma_r$  are the inclination and orientation (0-360 ° from the north) of the substrate, ie, roof surfaces, and other parameters have been previously clarified. After calculation of array spacing for photovoltaic arrays, the size of the photovoltaic system can be calculated, or how much power the pre-defined system collects.

једначине, како би се омогућило за израчунавање распореда ПВ модула било које оријентације, монтираног на хоризонталну површину. Методологија векторске анализе омогућава прорачун распореда ПВ модула монтираних на не-хоризонталним површинама (нпр. кровна конструкција) и не-идеалне оријентације. Модификовани односи за **H** и **tan(VSA)** дати су у једначинама (4) и (5) [12]:

Где се распоред модула - S обрачунава по јед. (1) и где је:  $\beta'_a$  - угао нагиба ПВ модула у односу на површину крова;  $\alpha'_s$  - алтитудни угао Сунца у односу на површину крова;  $\gamma'_s$  - азимут у односу на површину крова;  $\gamma'_a$  - оријентација ПВ модула у односу на површину крова.

Јед. (5), која израчунава вертикални угао прављења хлада, зависи од алтитудног угла, азимута и оријентације модула. Сва три ова угла су просторно упућена на подлогу на коју је ПВ низ постављен (обично површина крова). Ова површина може бити било ког нагиба и оријентације. Једначине за  $\alpha'_s$ ,  $\gamma'_s$ ,  $\beta'_a$  и  $\gamma'_a$  су изведене помоћу векторске анализе, а дате су једначинама. (6) - (9) [12]:

$$\alpha'_s = \sin^{-1}(\cos \alpha_s \sin \gamma_s \sin \gamma_r \sin \beta_r + \cos \alpha_s \cos \gamma_s \cos \gamma_r \sin \beta_r + \sin \alpha_s \cos \beta_r) \quad (6)$$

$$\gamma'_s = \cos^{-1}((\cos \alpha_s \sin \gamma_s \sin \gamma_r \cos \beta_r + \cos \alpha_s \cos \gamma_s \cos \gamma_r \sin \beta_r + \sin \alpha_s \cos \beta_r) / \cos \alpha'_s) \quad (7)$$

$$\beta'_a = \cos^{-1}(\sin \beta_a \sin \gamma_a \sin \beta_r \sin \gamma_r + \sin \beta_a \cos \gamma_a \sin \beta_r \cos \gamma_r + \cos \beta_a \cos \beta_r) \quad (8)$$

$$\gamma'_a = \cos^{-1}((\sin \beta_a \sin \gamma_a \cos \beta_r \sin \gamma_r + \sin \beta_a \cos \gamma_a \cos \beta_r \cos \gamma_r - \cos \beta_a \sin \beta_r) / \sin \beta'_a) \quad (9)$$



The calculation, according to [12], is given by the equations (10) and (11), where are  $P_m$ - rated power of the module (manufacturer specification),  $L_m$ - length of the chosen photovoltaic module,  $W_m$  - width of the chosen photovoltaic module,  $DC_{faktor}$ - PV array power density factor,  $A_k$  -roof surface and  $DC_{SIST}$ - PV array system size.

$$DC_{SIST}=(A_k \cdot DC_{faktor})/1000 \quad (10)$$

$$DC_{faktor} = P_m / (L_m \cdot (S + W_m \cdot \cos \beta')) \quad (11)$$

## 5. THE ESTIMATION OF THE INCOME OF SOLAR ENERGY USING PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN THE AREA OF INTEREST

For the practical part of the paper, point cloud of the municipality of Rospi Ćuprija was used. The point cloud was obtained by advanced geodetic measurement technology-laser scanning, which has been used in many areas of human activity for the purpose of efficient and, above all, timely and spatially reliable resolution of the problems [13].

Additionally, the .dwg file with 2D polygons of all objects and area elements was used as the input data, and then all the objects with flat roofs were selected.

For the calculation of energy yield through photovoltaic cells, equations (1, 4-11) were used. The estimation is as following: when on the all objects of the selected area solar panels are mounted in the optimum position (regarding inclination and orientation), with the defined altitude angle and the azimuth for that location in a certain period, and the panel type that will be used is defined, according to the data about the roof surfaces, orientation and their inclination, the total power is obtained.

Углови  $\beta_r$  и  $\gamma_r$  и су нагиб и оријентација (0-360° од правца севера) подлоге тј. кровне површине, а остали параметри су претходно појашњени. Након прорачуна распореда фотонапонских модула, може се израчунати величина фотонапонског система, односно колико снаге предефинисани систем прикупља. Прорачун, према [12], дат је једначинама (10) и (11):

где је:  $P_m$ - дефинисана снага коришћеног ПВ модула, у стандардним условима (спецификација произвођача),  $L_m$ -дужина одабраног ПВ модула,  $W_m$  - ширина одабраног ПВ модула,

$DC_{faktor}$ - фактор снаге ПВ модула,  $A_k$ - површина крова,  $DC_{SIST}$ - величина ПВ система.

## 5. ПРОРАЧУН ПРИНОСА СУНЧЕВЕ ЕНЕРГИЈЕ ПОМОЋУ ФОТОНАПОНСКИХ СИСТЕМА У ОБЛАСТИ ОД ИНТЕРЕСА

За практични део рада, коришћен је облак тачака општине Роспи Ћуприје. Облак тачака добијен је напредном геодетском мерном технологијом - ласерским скенирањем, које има значајну примену у многим подручјима људске делатности у сврху учинковитог и пре свега временски и просторно поузданог решавања насталих проблема [13].

Поред тога, као улазни податак коришћен је .dwg фајл са исцртаним 2Д полигонима свих објеката и елемената подручја, а потом су издвојени сви објекти са равним крововима.

Using the software packages, the base areas with a buffer zone of 35 cm are calculated, resulting in an approximate surface of the roof, and orientations of the roofs are added to those data (angle relative to the north direction) [14].

From the input data, it was necessary to choose one model of the solar panel that would be used. According to [15], a SN polycrystalline PV module, 265 W, 1650 x 990 x 30 mm, and an efficiency of 16% was selected. Parameters that also figure in the above explained calculation are the altitude angle of the sun, and azimuth. These two angles change depending on the time of day and year. Simple online applications allow quick calculation of these angles for any location (it is all right to enter the latitude and longitude, hour, day, month, and year). As a result, azimuth and the altitude angle were obtained for every hour for the day of the year, when the insolation of the Sun is the greatest, i.e. the summer solstice (June 21, 2017). The average parameter values of that day were used: azimuth 156°, and the altitude angle 67°. In this way, the gained power that panel produces will represent the maximum in 2017.

It was necessary to define the inclination of panels that are being placed. To make the radiation on the surface of the photovoltaic panel the greatest, it is necessary for the panel surface to be perpendicular in relation to the sun's radiation. In this respect, the best tilting angle of the photovoltaic panel is a tilting angle equal to the angle of the latitude of the place where this panel is located (latitude angle), whereby the greatest average radiation is achieved. For the inhabitants of the Northern Hemisphere, this means the directing of the photovoltaic panel towards the south, i.e. toward the Equator. For Belgrade, whose latitude is 44° 48' 56", the optimal angle for flat roofs is exactly 45° (approximation made up to the degree level), and the orientation of the panels is toward the south, or 180° [14].

За прорачун приноса енергије преко фотонапонских ћелија, коришћене су формуле (1, 4-11). Процена се своди на следеће: када се на објекте изабраног подручја поставе соларни панели у оптималном положају (нагиб и оријентација), уз дефинисани алтитудни угао и азимут сунца за ту локацију у одређеном временском тренутку, одреди тип и врста панела који ће се користити, и помоћу података о површини и оријентацији кровова, добија се укупна снага коју ти панели производе. Помоћу коришћених софтверских пакета су израчунате површине основица са буфер зоном од 35 cm, чиме се долази до апроксималне површине крова, те тим подацима придружене оријентације кровова (угао у односу на правац севера) [14].

Од улазних података, неопходно је било изабрати и један модел соларног панела који ће се користити. Према [15], изабран је SN поликристални ПВ модул, јачине 265 W, димензија 1650 x 990 x 30 mm, и ефикасности 16%. Параметри који такође фигуришу у горе појашњеном прорачуну су алтитудни угао сунца и азимут. Ова два угла се мењају с обзиром на период дана и године. Једноставне онлајн апликације омогућавају брзи прорачун тих углова за било коју локацију (довољно је унети географску ширину и дужину, сат, дан, месец и годину). Као резултат, добијени су азимут и алтитудни угао сунца сваког сата за дан у години, када је највећа инсолација Сунца, односно на летњи солстициј (21.06.2017). Коришћене су просечне вредности параметара тог дана, односно: азимут 156°, те алтитудни угао 67°. На тај начин, добијена снага коју панел производи представљаће максималну снагу 2017. године.

Неопходно је било дефинисати нагибе панела који се постављају. Да би ирадијација на површини фотонапонског панела била највећа,

After calculating and defining the necessary data, a distance between the PV modules (S) is obtained. Then, by using the spacing and dimensions of the selected panel, as well as the roof surface, the power produced by the panel is obtained, as shown in Table 1. From the Table number 1, it can be seen that the total power of the fixed panels on selected flat roofs is 3999.5954 kW. The surface that these panels occupy is the sum of all roofs, or 24839.16 m<sup>2</sup>

потребно је да површ панела буде нормална на упадно Сунчево зрачење. У том погледу, најбољи нагибни угао фотонапонског панела је нагибни угао једнак углу географске ширине места на коме се налази тај панел (латитудни угао) при чему се остварује највећа просечна ирадијација.

Tabela broj 1: Snaga koju panel proizvodi na ravnim krovovima date opštine  
Table 1: Power produced by panel on flat roofs in selected municipality

<i>Ordinary number of flat roofs</i>	<i>The average power the panel produces [kW]</i>	<i>Ordinary number of flat roofs</i>	<i>The average power the panel produces [kW]</i>
1	4.2181	18	232.2745
2	21.3131	19	35.6767
3	4.5511	20	260.6278
4	5.7866	21	11.5781
5	2.6396	22	510.3348
6	1589.9465	23	131.4843
7	40.3413	24	3.8211
8	11.5124	25	58.4237
9	6.4886	26	60.7166
10	5.4314	27	7.1124
11	1.6969	28	59.4904
12	9.3477	29	119.6116
13	6.1261	30	59.5888
14	6.0000	31	24.4626
15	42.6312	32	27.6302
16	32.3073	33	566.4961
17	39.5234	<b>SUM:</b>	<b>3999.1908</b>

## 6. CONCLUSION

In order to effectively manage spatial and other information related to urban infrastructure, cities need up-to-date 3D spatial information and 3D GIS systems. The role of such systems is to support decision-making in the construction, use and management of urban infrastructure, as well as the further development of sustainable energy. Spatial information has become necessary for numerous aspects of urban develop-

За становнике Северне хемисфере то значи усмеравање фотонапонског панела према југу, односно према Екватору. За Београд, који има географску ширину 44° 48' 56", оптималан угао код равних кровова је управо 45° (узета је апроксимација до на степен), а оријентација панела ка југу, односно 180° [14].

Након израчунатих и дефинисаних неопходних података, добијен је размак између ПВ модула (S). Потом, преко размака и димензија одабраног

ment, planning and management [16], and this paper presents their great role in maximizing the use of renewable energy sources.

The analyses in this paper were performed by using realistic measurement data about solar radiation and ambient temperature for the settlement of Rospi Ćuprija. In the estimation, it was taken that the photovoltaic panels are south oriented and fixed at the flat roofs. It was found that the total power produced by all photovoltaic panels installed on those selected roofs is 3999.5954 kW. The obtained figures indicate the necessity for the installation of photovoltaic panels from the aspect of energy, ecology, and finance.

What could lead to even better results in the future is the installation of mobile instead of fixed photovoltaic panels. South-oriented panels have maximum power production at midday, those oriented south-eastern have maximum power production in the morning hours, while those oriented south-west produce maximum power in the after noon. With rotating panels, according to the Sun, the usability would be maximum, not only for a certain period, but throughout the day. Being encouraged with investments, the technology of solar cells has been increasing. Investments are mainly focused on increasing the solar cells efficiency, which could become an even more important renewable energy source. Namely, this is good, not only from the ecological, but also from the energy point of view, because fossil fuels are not only ecologically unacceptable, but also limited. That is why there is a need for new technologies, which would be acceptable from the aspect of both energy and environment [14].

панела, као и површине крова, долази се до снаге коју производи панел, што приказује Табела број 1.

Из Табеле број 1 се види да укупна снага коју фиксирани панели на датим равним крововима производе износи: 3999.5954kW. Површина коју ти панели заузимају је сумарна површина свих кровова, односно 24839.16m<sup>2</sup>.

## 6. ЗАКЉУЧАК

У сврху учинковитог управљања просторним и осталим информацијама повезаним са урбаном инфраструктуром, градовима су потребне ажурне 3Д просторне информације и 3Д ГИС системи. Улога таквих система је подршка у доношењу одлука при изградњи, употреби и управљању урбаном инфраструктуром, као и даљем развоју одрживе енергије. Просторне информације постале су нужно неопходне за бројне аспекте урбаног развоја, планирање и управљање [16], а у овом раду приказана је њихова велика улога када је реч о максималном искоришћавању обновљивих извора енергије.

Анализе у овом раду обављене су коришћењем реалних мерних података о соларном зрачењу и температури околине за насеље Роспи Ћуприја. У прорачуну, коришћено је да су фотонапонски панели јужно оријентисани и фиксирани на равним крововима. Утврђено је да је укупна снага свих фотонапонских панела инсталираних на одабраним крововима 3999.5954 kW. Добијени подаци указују на неопходност инсталације фотонапонских панела са аспекта енергије, екологије и финансија.

Оно што би у будућности могло довести до још бољих резултата, је постављање покретних, уместо фиксних фотонапонских панела. Јужно оријентисани панели имају максималну производњу у соларно подне, они који су оријентисани југо-источно максималну снагу производње остварују

у преподневним часовима, док они који су оријентисани југо-западно имају максималну снагу производње послеподне. Са ротирајућим панелима, складно путањи Сунца, искористивост би била максимална, не само у одређеном периоду, већ током целог дана. Технологије соларних ћелија су, подстакнуте инвестицијама, у великом порасту. Инвестиције су углавном оријентисане на повећање ефикасности соларних ћелија, које би могле постати још важнији обновљиви извор енергије. Наиме, ово је добро, не само са еколошке тачке гледишта, већ и у енергетском погледу, јер фосилна горива не да су само еколошки неприхватљива, него су и ограничена. Управо због тога су потребне нове технологије, које су прихватљиве и са енергетског и са еколошког аспекта [14].

## REFERENCES

- [1] Дуновић, М.: Енергетско питање у Европској унији – Геополитика ЕУ у контексту енергетских извора и енергетске учинковитости, Сплит: Наклада Протуђер, п.п. 1-162, **2011**
- [2] Радоњић, Б., Вујошевић И.: Економски аспекти производње електричне енергије, Матица црногорска, **2013/2014**, № 56/57, п.п.365-402
- [3] Уредба о подстицајним мерама за производњу електричне енергије из обновљивих извора и из високоефикасне комбиноване производње електричне и топлотне енергије, Службени гласник РС, № 56, п.п. 1-15, **2016**
- [4] Амижић Јеловчић, П., Приморац, Ж., Шкурла, И.: Енергетска перспектива Републике Хрватске с посебним освртом на заштиту Јадранског мора, Зборник радова Правног факултета у Сплиту, № 50, 4/2013, п.п. 823.-8533, **2013**
- [5] Ошлај, М., Муршец, Б.: Биоплин као обновљиви извор енергије, Технички вјесник, №.1, вол 17, п.п.109-114, **2010**
- [6] Solangi, K. H., Islam, M. R., Saidur, R., Rahim, N. A., Fayaz, H.: A review on global solar energy policy, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, №. 15(4), p.p. 2149-2163, **2011**
- [7] Кендришић, В.: Фотонапонски соларни системи и соларне електране, Дипломски рад, Факултет Техничких Наука, Нови Сад, **2015**
- [8] Шимић, З.: Енергија сунца, предавања, Факултет електротехнике и рачунарства, Загреб, **2010**
- [9] Chow, T.T.: A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology, *Applied Energy*, №.87, p.p. 365–379, **2010**
- [10] Ламбић М.: Студија о процени укупног соларног потенцијала – Соларни атлас и могућности "производње" и коришћења соларне енергије на територији АП Војводине, Покрајински секретаријат за енергетику и минералне сировине, Нови Сад, **2011**
- [11] <http://www.buildmagazin.com/eindex2.aspx?fld=tekstovi&ime=bm2217.htm> download 22.09.2018
- [12] Copper, J.K., Sproul, A.B., Bruce, A.G.: A method to calculate array spacing and potential system size of photovoltaic arrays in the urban environment using vector analysis, *Applied Energy*, №. 161, pp.11-23, **2016**

- [13] Мулахусић, А., Гајски, Д., Туно, Н., Топољак, Ј., Зец, Е., Бојић, М., Примјена ласерског скенирања при анализирању штете на возилима након прометних несрећа, Геодетски лист, № 2, вол. 69 (92), **2015**
- [14] Давидовић, М., Нинков, Т., Трифковић, М., Кузмић, Т., Примена метода инжењерске геодезије код 3Д моделовања простора и објеката у пројектима енергетске ефикасности, Изградња, № 1-3, п.п.47-57, **2018**
- [15] Torabi, R., Šahović, N., Rodrigues, S., Mata-Lima, H., Morgado-Dias, F.: Cost-effectiveness Analysis of Roof-top PV Systems in Montenegro and Serbia, Environment Friendly Energies and Applications (EFEA), 4th International Symposium, Belgrade, **2016**
- [16] Potsiou, C., Doytsher, Y., Kelly, P., Khouri, R., McLaren, R., Mueller, H.: Rapid Urbanization and Mega Cities: The Need for Spatial Information Management. International Federation of Sureyors (FIG) Publication, № 48, p.p.1-25, **2010**