

Solar Energy

Sunčeva energija







Solar Energy

The Solar Potential

There is more than enough solar radiation available around the world to satisfy a vastly increased demand for energy. The total amount of energy irradiated from the sun to the earth's surface is enough to provide for annual global energy consumption 10,000 times over. About 37% of the world energy demand is used to generate electricity (roughly 16,000 TWh in 2001). If all this electricity were to be generated by means of PV systems with a modest average electricity output of 100 kWh (electrical) per square metre per year, a total solar capture area of 150 x 150 km² would be required. A large part of this capture area could be situated on roofs and walls of buildings, and would not therefore occupy extra land area.

Energy from the sunlight alone is enough to produce an average 1,700 kWh of power annually on each square meter of land. The greater the available solar resource at a given location the larger the quantity of electricity generated. Tropical regions offer a better resource than more temperate latitudes (Figure 1). The average irradiation in Europe is about 1,000 kWh per square metre, for example, compared with 1,800 kWh in the Middle East.

Figure 2. Global variations in irradiation

Utilizing only 1% of available Sun Energy provides enough power for all of mankind's 21st century energy needs.

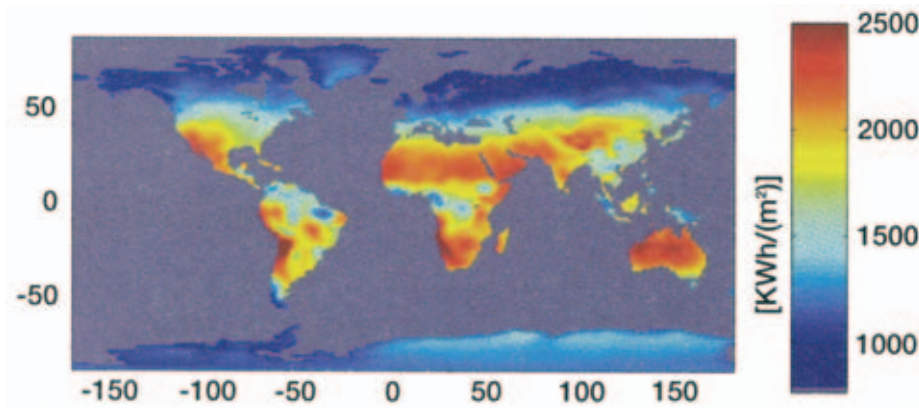
Sunčeva energija

Potencijal Sunčeve energije

Energija sunčeve radijacije više je nego dovoljna da zadovolji sve veće energetske zahteve u svetu. U toku jedne godine, sunčeva energija koja dospeva na zemlju 10.000 puta je veća od energije neophodne da zadovolji potrebe celokupne populacije naše planete. Oko 37% svetske energetske potražnje zadovoljava se proizvodnjom električne energije (približno oko 16.000 TWh u 2001. godini). Ako bi se ova energija generisala fotonaponskim sistemima skromne godišnje izlazne snage od 100 kWh po kvadratnom metru, neophodna bi bila površina od 150 x 150 km² za akumulaciju sunčeve energije. Veliki deo ove absorpcione površine mogao bi se smestiti na krovovima i zidovima zgrada, pa ne bi zahtevao dodatne površine na zemlji.

Energija sunčeve radijacije dovoljna je da proizvede prosečno 1,700 kWh električne energije godišnje na svakom kvadratnom metru tla, a što je radijacija veća na nekoj lokaciji, veća je i generisana energija. Tropski regioni su u tom pogledu povoljniji od ostalih regiona sa umerenijom klimom. Srednja ozračenost u Evropi iznosi oko 1.000 kWh po kvadratnom metru, dok poređenja radi, ona iznosi 1.800 kWh na Bliskom istoku.

Upotrebom samo 1% od dostupne energije Sunca zadovoljile bi se sve energetske potrebe Zemlje u 21-om veku



Slika 2. Globalne varijacije ozračenosti

As in the case of other countries in Europe, solar irradiation levels in Serbia are amongst the highest. The most favorable areas record a large number of hours, the annual ratio of actual irradiation to the total possible irradiation reaching approximately 50% (Table 1).

Table 1. Average daily solar irradiance on the horizontal surface in kWh/m², for certain towns in Serbia

Mesto City	M e s e c												Ukupno godišnje Total/yr	Srednje godišnje Aver/yr
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
Beograd	1,40	2,20	3,35	4,85	6,00	6,45	6,75	6,00	4,65	3,05	1,60	1,15	1446,80	3,96
Vršac	1,00	2,00	3,35	4,40	6,00	6,40	6,55	6,85	4,60	3,00	1,55	1,00	1424,75	3,90
Palić	1,30	2,10	3,45	5,00	6,15	6,25	6,35	5,85	4,30	2,85	1,40	1,15	1407,40	3,80
Novi Sad	1,45	2,35	3,20	4,65	5,80	6,20	6,35	5,75	4,40	2,90	1,45	1,20	1392,64	3,82
Niš	1,75	2,60	3,45	5,00	6,10	6,35	6,70	6,15	5,35	3,45	1,85	1,50	1531,40	4,20
Kuršumljija	2,15	3,00	3,60	5,05	5,85	6,05	6,55	6,10	5,30	3,50	2,00	1,75	1550,50	4,25
Peć	1,85	2,95	3,70	4,85	5,95	6,15	6,75	6,15	4,90	3,65	2,25	1,60	1546,25	4,24
Priština	1,85	2,90	3,70	5,25	6,30	6,60	6,95	6,30	5,10	3,35	1,90	1,60	1578,25	4,32
Vranje	1,70	2,70	3,65	5,15	6,15	6,40	6,50	6,35	5,25	3,45	1,85	1,50	1543,40	4,23
Loznica	1,50	2,30	3,05	4,35	5,30	5,75	6,15	5,60	4,30	2,80	1,45	1,20	1333,50	3,65
Kragujev.	1,50	2,40	3,35	4,80	5,85	6,10	6,45	5,90	4,85	3,30	1,70	1,30	1447,85	3,97
Negotin	1,35	2,05	3,25	4,85	6,05	6,60	6,95	6,25	4,75	2,90	1,45	1,20	1453,35	3,98
Zlatibor	1,50	2,30	3,10	4,35	5,10	5,65	5,90	5,35	4,30	2,75	1,60	1,30	1316,40	3,61

Photovoltaics (PV)

Every day, the sun delivers energy to the earth free of charge. People can use this free energy thanks to a technology called photovoltaics, which converts the sun's energy into electricity. Photovoltaics is potentially unlimited electrical energy from the Sun.

The direct conversion of sunlight into electricity, the photovoltaic effect, was first observed almost two centuries ago by the French scientist, Edmond Becquerel. However, it took the development of the quantum theory in the early 20th century before the phenomenon could be explained and practical photovoltaic devices manufactured. The first practical solar cell was developed at the Bell Laboratories in 1954. With the advent of the space program, photovoltaic cells made from semiconductor-grade silicon quickly became the power source of choice for use on satellites. The systems were very reliable, and their cost was of little concern. In the early 1970s, the disruption of oil supplies to the industrialized world led to a serious consideration of photovoltaics as a terrestrial power source. This application focused research attention on improving performance, lowering costs and increasing reliability.

Photovoltaics is a high-technology approach to directly converting sunlight into electrical energy. The term "photovoltaics", commonly referred to as PV, is derived from a combination of "photo", the Greek word for light, and "volta", the name of the Italian physicist, Alessandro Volta, meaning electricity. So photovoltaic technology, the scientific term used to describe solar energy, involves the generation of electricity from light.

Intenzitet sunčeve radijacije u Srbiji je među najvećima u Evropi. Najpovoljnije oblasti kod nas beleže veliki broj sunčanih sati, a godišnji odnos stvarne ozračenosti i ukupne moguće ozračenosti je približno 50% (Tabela 1).

Tabela 1: Srednje dnevne sume energije globalnog Sunčevog zračenja na horizontalnu površinu u kWh/m², za neka mesta u Srbiji

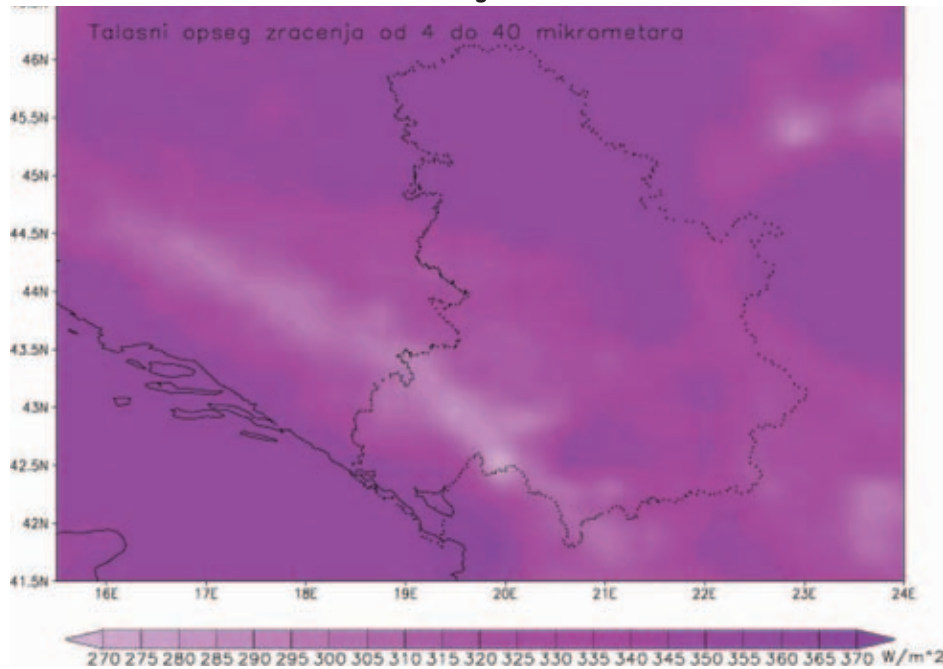
Fotonaponska konverzija sunčeve energije

Svakog dana sunčeva energija, koja nam besplatno stiže na Zemlju, može slobodno da se koristi zahvaljujući tehnologiji fotonaponske konverzije sunčeve energije u električnu. Direktna konverzija sunčeve energije u električnu, tzv. fotonaponski efekat, prvi je pre skoro dva veka uočio francuski naučnik Edmond Bekerele (Edmond Becquerel). Međutim tek je razvojem kvantne teorije početkom 20-og veka ovaj efekat objašnjen, čime je omogućena izrada fotonaponskih uređaja. Prva solarna ćelija izrađena je u Bel laboratorijama (Bell Laboratories) 1954 godine. Fotonaponske ćelije izrađene od poluprovodnog silicijuma ubrzo su, sa razvojem istraživanja svemira, postale osnovni izvori električne energije na satelitima primarno zbog svoje pouzdanosti, dok je cena bila od manjeg značaja. Značaj njihove zemaljske upotrebe postao je aktuelan u toku svetske energetske krize ranih 70-ih godina, kada se počelo razmišljati o poboljšanju njihovih radnih karakteristika, povećanju efikasnosti, većoj pouzdanosti i nižoj proizvodnoj ceni. Danas fotonaponska konverzija podrazumeva visoku tehnologiju proizvodnje električne energije iz sunčeve energije.

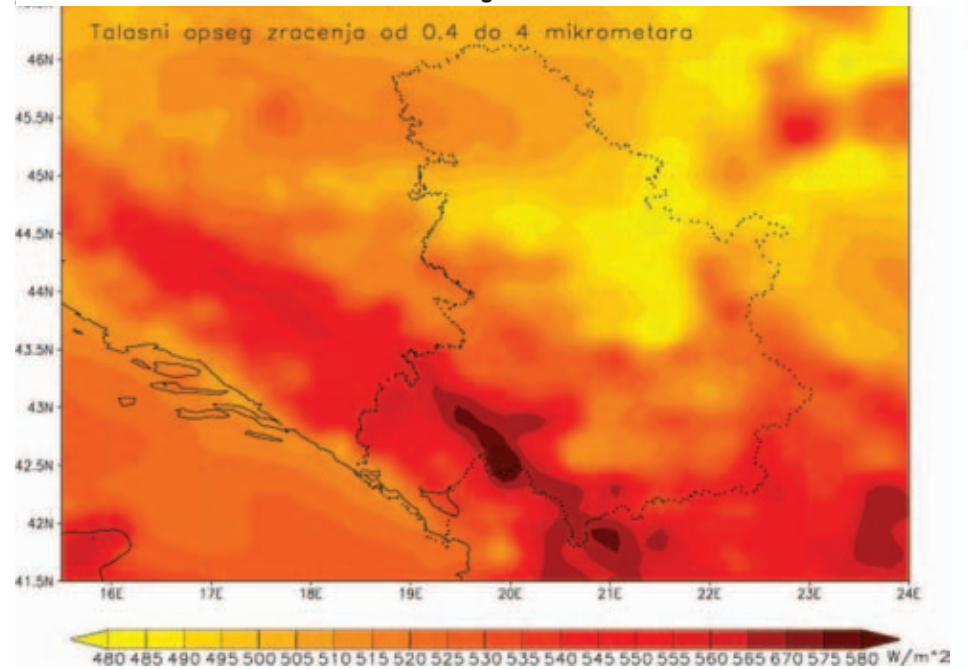
Konceptualno, fotonaponski uređaj u svom najjednostavnijem obliku predstavlja potrošač isključivo sunčeve energije, koji nema pokretnih delova, čiji rad zadovoljava najviše ekološke standarde i ukoliko je dobro zaštićen od uticaja okoline nema delova koji mogu da se pohabaju. Fotonaponski sistemi su modularni tako da se njihova snaga može pro-



Reflected long wavelength radiation
Dugotalasno zračenje atmosfere W/m²
Jun Jul Avgust 2002



Global short wavelength radiation
Dolazno kratkotalasno zračenje W/m²
Jun Jul Avgust 2002



Conceptually, in its simplest form a photovoltaic device is a solar-powered apparatus, whose only consumable is the light that fuels it. There are no moving parts; its operation is environmentally benign; and if the device is correctly protected from the environment, there is nothing to wear out. Photovoltaic systems are modular, and their electrical power output can therefore be engineered for virtually any application. Moreover, incremental power additions are easily accommodated in photovoltaic systems, unlike more conventional approaches such as the fossil or nuclear fuel, which require multi-megawatt plants to be economically feasible.

PV Technology

In order to understand the many facets of photovoltaic power, one must understand the fundamentals of how the devices work. Although photovoltaic cells come in a variety of

jektovati za praktično bilo koju primenu. Štaviše, dodatni delovi kojima se povećava izlazna snaga lako se prilagođavaju postojećim fotonaponskim sistemima, što nije slučaj sa konvencionalnim izvorima električne energije, kao što su termoelektrane i nuklearne elektrane, čija ekonomska isplativost i izvodljivost zahteva multi-megavatne instalacije.

Fotonaponska tehnologija

U cilju razumevanja različitih aspekata fotonaponski generisane struje, potrebno je poznavanje osnovnih principa rada fotonaponskih uređaja. Fotonaponske ćelije, koje inače postoje u raznim oblicima, najčešće se formiraju kada se od poluprovodnog materijala naprave specijalne diode veće površine. Izdvajanje električne struje generisane u poluprovodniku vrši se pomoću kontakata na prednjoj i zadnjoj strani ćelije. Gornja kontaktna struktura mora da dozvoljava prolaz svetlosti, a ćelija je takođe pokrivena tankim

forms, the most common structure is a semiconductor material into which a large-area diode, or p-n junction, has been introduced. The fabrication processes tend to be traditional semiconductor approaches involving diffusion, ion implantation and other steps. Electrical current is taken from the device through a grid contact structure on the front that allows sunlight to enter the solar cell, a contact on the back that completes the circuit, and an antireflection coating that minimizes the amount of sunlight reflected from the device (Figure 3).

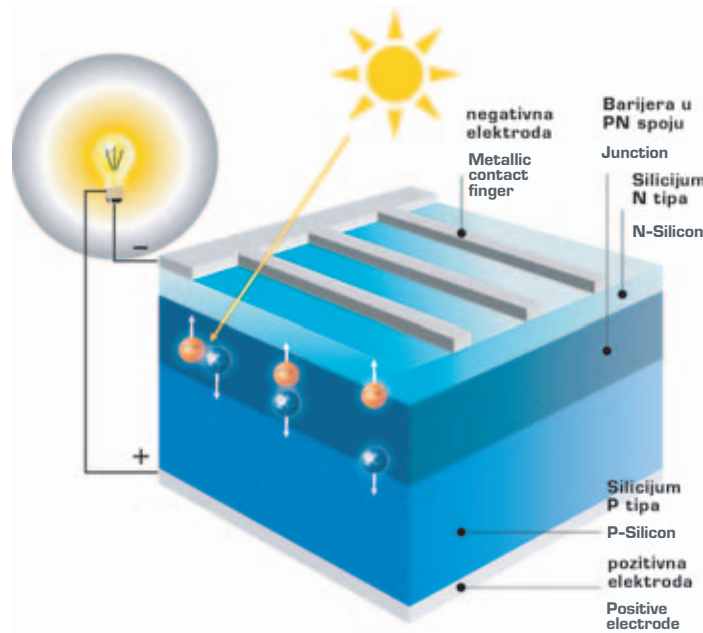
PV cells are normally manufactured using special semiconductor materials that allow electrons, which are energized when the material is exposed to sunlight, to be freed from their atoms. Once freed, they can move through the material and carry an electric current. The current flows in one direction (like a battery), and thus the generated electricity is called direct current (DC).

Because the amount of power produced by a single cell is relatively small, designers cluster the solar cells together to form electrical modules that supply a more useful level of voltage, current and power. Modules are the basic building blocks of a photovoltaic system. Modules contain a number of PV cells connected serially or parallel in order to obtain desired voltage and current and are encapsulated to protect them from the environment. PV cells are embedded in a laminate (usually with a tempered glass front plate) and a soft pliable covering or glass to seal the back. PV panels contain one or more modules. These panels can be used individually or in clusters, along with support structures, foundations, and other necessary components, to form arrays. Arrays can be permanently installed at a specific angle facing the sun (fixed arrays), or mechanical devices may be used to continually orient modules perpendicular to the sun's rays (tracking arrays). PV arrays are classified either by their intended use (terrestrial or space) or design (flat-plate or concentrating) and by their configuration (tracking or fixed). Solar modules are designed in a wide power range of 1W to 170W and, for example, dimensions of the 170 W modules are 790 x 1600 mm.

During 2002, 135 MW photovoltaic systems have been installed in Europe, 250 MW in Japan and 120 MW in the U.S.A.

Figure 3. Silicon solar cell

Slika 3: Silicijumska solarna ćelija



slojem dielektričnog materijala - antirefleksivnog sloja kako bi se minimiziralo odbijanje svetlosti od gornje površine (slika 3).

Specijalni poluprovodni materijal od koga se prave fotonaponske ćelije, omogućava elektronima koji apsorbiraju svetlosnu energiju da se oslobode od svojih atoma, i da se potom slobodno kreću kroz materijal prenoseći električnu energiju. Tako generisana struja je, pošto se kreće samo u jednom smeru (kao kod baterija), jednosmerna.

Pošto je izlazna snaga jedne solarne ćelije relativno mala, u cilju povećanja izlaznog napona, struje i snage, solarne ćelije se grupišu u module, tako da moduli postaju osnovni sastavni delovi fotonaponskih sistema. Moduli sadrže određen broj redno ili paralelno povezanih fotonaponskih ćelija kako bi se dobili željeni napon, odnosno struja, a enkapsulirani su kako bi se zaštitili od neželjenih uticaja sredine i u cilju produženja radnog veka.

U tipičnom solarnom modulu ćelije su uronjene u laminat čiji je prednji sloj od temperovanog stakla, a zadnja strana je zatvorena mekanim i fleksibilnim plastičnim slojem ili staklom. Fotonaponski paneli sadrže jedan ili više modula koji se mogu koristiti pojedinačno ili u grupama u cilju formiranja modularnih sistema, zajedno sa potpornim nosećim strukturama i drugim neophodnim pratećim komponentama... Sistemi se mogu fiksirati u određenom položaju prema suncu ili se mehaničkim putem njihov položaj kontinualno može prilagođavati pravcu sunčevih zraka (sistemi sa praćenjem sunca). Fotonaponski sistemi se klasifikuju ili po njihovoj predviđenoj upotrebi (zemaljski ili svemirski), ili po konstrukciji (ravni ili koncentratori), kao i po njihovoj konfiguraciji (fiksni ili pokretni). Solarni moduli proizvode se u širokom opsegu snaga od 1 W do 170 W. Na primer, modul snage 170 W ima dimenzije od 790 x 1600 mm.

U Evropi je u toku 2002. godine instalirano 135 MW fotonaponskih sistema, u Japanu je instalirano 250 MW, a u Americi 120 MW.



Solar PV Cell Technologies

There are three main silica-based technologies used in manufacture of photovoltaic cells and modules, amorphous, poly- or multi-crystalline and single or mono-crystalline. Beside silica-based solar cells, there are other technologies available, including CIS, CdTe, GaAs, InP, etc. Each type has different efficiency levels, can respond to the different parts of the spectrum and is suitable for different applications. The efficiency of solar cells is given as a percentage of electrical power resulting from a given amount of light (photons) and the area of the cell. Efficiencies of commercially available PV modules depending on the PV technology are shown in Table 2.

Single-crystalline silica (c-Si) is the pioneer of solar cell technology. Single-crystal silica has been the material of choice for high-performance, highly reliable solar cells since the successful deployment of silicon photovoltaic systems for space power. Most of the terrestrial photovoltaic power systems today are also crystalline silica.

Polycrystalline silicon solar cells are a lower cost alternative to single-crystal silica. Although devices made of polycrystalline silica are general-



Tehnologija solarnih fotonaponskih ćelija i modula

Tehnologije proizvodnje fotonaponskih ćelija i modula mogu se, na osnovu tipa silicijumskog materijala, klasifikovati kao jedno (mono) kristalne, polikristalne i amorfne. Osim tehnologija koje se baziraju na silicijumu postoje i druge tehnologije bazirane na CIS, CdTe, GaAs, InP, itd. Svaki tip ima različitu efikasnost, reaguje na različite delove sunčevog spektra i pogodan je za različite primene. Efikasnost solarne ćelije određene površine data je kao procentualni deo energije generisane od date količine upadne svetlosti (fotona). Efikasnosti komercijalno raspoloživih fotonaponskih modula različitih tehnologija prikazane su u tabeli 2.

Monokristalni silicijum (c-Si) je najpopularniji osnovni materijal solarne tehnologije, a ćelije i moduli napravljeni od ovog materijala su tradicionalno najzastupljeniji. Ćelije od monokristalnog silicijuma su veoma stabilne i pokazuju visoku efikasnost u konverziji energije.

Polikristalne silicijumske solarne ćelije predstavljaju jeftiniju alternativu monokristalnim ćelijama ali imaju određene prednosti jer zahtevaju

Table 2: Solar PV module efficiencies

Solar PV technology type	Typical PV Module Efficiency (%)	Max. Recorded Efficiency (%)	Max. Recorded Laboratory PV Cell Module Efficiency (%)
Single crystalline silica (c-Si)	12 - 15	22.7	24.7
Poly crystalline silica (m-Si)	11 - 14	15.3	19.8
Amorphous silica (a-Si)	5 - 7	10.1	12.7
Cadmium telluride (CdTe)	6 - 8	10.5	16.0
Copper indium diselenide (CIS)	6 - 8	12.1	18.2

Tabela 2: Efikasnosti solarnih fotonaponskih modula

Tip solarne tehnologije	Tipična efikasnost fotonaponskih modula (%)	Maksimalna efikasnost modula (%)	Maksimalna efikasnost mod. u labor. uslovima (%)
Monokristalni silicijum (c-Si)	12 - 15	22.7	24.7
Polikristalni silicijum (m-Si)	11 - 14	15.3	19.8
Amorfni silicijum (a-Si)	5 - 7	10.1	12.7
Kadmium telurid (CdTe)	6 - 8	10.5	16.0
Bakar indium diselenid (CIS)	6 - 8	12.1	18.2

ly less efficient than single-crystal silica, the polycrystalline material has certain advantages. It requires a less pure material and can be adapted to automated mass-production techniques because of the way that the starting material can be prepared.

The lowest-cost approach would be to minimize the required amount of semiconductor material. Thin films have been developed that are only a few micrometers thick. Such films are produced by a number of vapour-deposition approaches carried out with in-line, highly automated systems. The techniques are adaptable to a number of semiconductor materials that are optimized for solar cell operation. Thin films are cheaper than crystalline structures, but typically have lower efficiencies. Ultimately, however, thin films will be necessary for producing low-cost electricity, since the bottom line is that the cost per watt is more important than efficiency. The thin film material that is widely in use today is amorphous silica, while other materials such as CIS and CdTe have been entering the market.

PV System Components

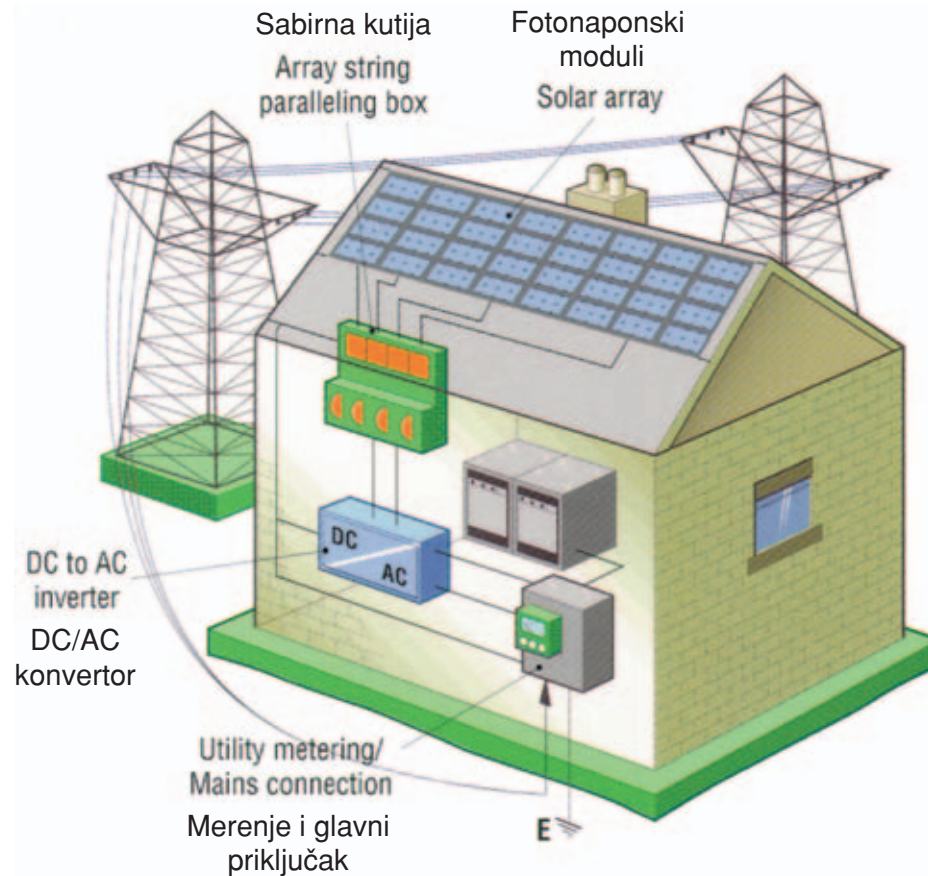
The standard components of photovoltaic systems are PV modules, charge controllers, deep cycle batteries, cable and mounting, and usually a DC to AC converters. The PV modules produce the DC electricity when exposed to sunlight and it is carried down the cable, to the controller. The controller's prime function is to protect the

manje čistog materijala i mogu se prilagoditi automatizovanoj masovnoj proizvodnji zbog načina na koji se priprema polazni materijal.

Tankoslojni materijali (filmovi), čija je debljina svega nekoliko mikrona, usled uštede materijala smanjuju cenu dobijene električne energije iz sunca. Tanki fotonaponski filmovi, koji iako imaju nešto nižu efikasnost, imaju sa druge strane i nižu cenu koja ima važnu ulogu u određivanju profitabilnosti fotonaponske tehnologije. Najpopularniji materijal za izradu tankih filmova je amorfni silicijum, dok se danas koriste i polikristalni materijali kao CIS i CdTe.

Figure 4. PV System components

Slika 4: Komponente fotonaponskih sistema



Komponente fotonaponskih sistema

Standardne komponente fotonaponskih sistema su fotonaponski moduli, kontroleri punjenja baterija, akumulatori, provodnici i noseći sistemi, a često se kod savremenih sistema koriste invertori koji omogućavaju fleksibilnost pretvaranja jednosmerne u naizmjeničnu struju, kao i mogućnost povezivanja sa elektro-distributivnom mrežom. Jednosmerna struja proizvedena u solarnoj ćeliji putem provodnika odvodi se do kontrolera punjenja. Osnovna funkcija kontrolera je da spreči prekomerno punjenje akumulatora, ali ima i neke druge uloge u zavisnosti od specifičnih primena. Ukoliko akumulator nije potpuno napunjen, postoji struja do akumulatora, gde se energija skladišti za kasniju upotrebu. Ako sistem treba da pokreće uređaje koji rade na naizmjeničnu struju, deo fotonaponskog sistema će biti i invertori koji pretvaraju jednosmernu u naizmjeničnu struju. Višak energije koji se generiše u autonomnim fotonaponskim sistemima u toku sunčanih perioda sakuplja se ili u akumulatorima, ili kod fotonaponskih sistema za pumpanje vode, voda se tokom dana direktno



batteries from overcharging. Controllers often have several other features, depending on the specific application. If the batteries are not fully charged, the electrical current is then allowed to travel through the cable to the batteries. The deep cycle batteries store this power for later use when electrical loads. If the system has AC loads to be run, a DC to AC power converter will be included in the system. The energy generated by PV modules can be used immediately or stored in batteries for later use. Normally, the excess energy generated in autonomous PV systems during sunny periods is stored in batteries. Some autonomous applications, such as water pumping, often have no need for batteries. Water is pumped when the sun shines and is stored directly in a reservoir or a tank that is installed at a higher level for later use by the gravity feed. Other PV systems convert electricity into alternating current and feed excess electricity into the grid to draw it out at night, or when solar radiation is low. These systems are referred to as grid-connected systems. The three typical configurations of PV power systems are autonomous, hybrid and grid-connected. Autonomous and hybrid power systems are used in stand-alone applications. They are not connected to the main utility grid and are often used in remote areas. Grid-connected PV power systems are part of the movement toward a decentralized electrical network. Power is generated closer to where it is needed - not solely by the central power stations and major hydro stations. Over time, such systems will reduce the need for an increase in the capacity of transportation and distribution lines.

PV applications

Photovoltaic systems are very versatile. They can be smaller than a coin or larger than a football pitch, powering anything from a watch to an entire town and the only fuel source required is light. These factors, combined with their simplicity of operation, have made them especially attractive as power supplies for a range of applications. The recent introduction of mass-produced photovoltaic cells at reasonable prices has opened up a number of markets and extensive variety of applications. Applications in lighting, telecommunication, refrigeration, water pumping, as well as village power, usually in remote areas, are proving attractive and cost competitive with existing technologies. However, a relatively new approach is showing amazing potential for photovoltaics - building integrated photovoltaics (BIPV).

Building Integrated Photovoltaics (BIPV)

Good products should not only satisfy the end-users' needs, but also be advantageous to the environment, which is where the product will be used. Electricity is no exception to

skladišti u rezervoarima koji se nalaze na višem nivou, za kasnije ispušavanje vode putem gravitacije. Drugi fotonaponski sistemi pretvaraju jednosmernu u naizmjeničnu struju, a višak električne struje ubrizgavaju u distributivnu električnu mrežu. Tri tipične konfiguracije fotonaponskih sistema su: autonomni sistemi, sistemi povezani za distributivnu mrežu i hibridni. Autonomni i hibridni sistemi se upotrebljavaju samostalno, dakle nisu povezani na elektro-distributivnu mrežu i najčešće se koriste u udaljenim oblastima. Fotonaponski sistemi povezani sa elektro-distributivnom mrežom predstavljaju jedan od načina da se izvrši decentralizacija električne mreže. Električna energija se ovim sistemima generiše bliže lokacijama na kojima postoji potražnja. Tokom vremena ovi sistemi će smanjiti potrebu za povećanjem kapaciteta novih elektrana, kao i prenosnih i distributivnih vodova.

Primene fotonaponskih sistema

Fotonaponski sistemi su veoma raznovrsni: mogu biti manji od novčića i veći od fudbalskog igrališta i mogu da obezbeđuju energiju za bilo koji uređaj, od časovnika do čitavih naselja, i uz sve to jedini izvor energije koji koriste je sunčeva svetlost. Uz jednostavnost rukovanja, navedeni faktori ih čine posebno privlačnim za širok spektar primena. Nedavni porast proizvodnje fotonaponskih ćelija uz smanjenje njihove cene, otvorio je veliki broj novih tržišta uz veliki broj različitih primena. Primene kao što su osvetljavanje, telekomunikacije, rashladni sistemi, pumpanje vode, kao i obezbeđivanje električne energije za čitava naselja (naročito u udaljenim oblastima), pokazale su se kao konkurentne i profitabilne u odnosu na već postojeće tehnologije. Uz to pojavila se relativno nova primena ovih sistema sa neverovatno velikim potencijalom - fotonaponski sistemi koji zamenjuju fasadne i krovne građevinske elemente objekata.

Fasadni i krovni fotonaponski sistemi

Kao i svi dobri proizvodi, i električna energija ne samo da treba da zadovolji potrebe potrošača, već treba da bude od koristi prirodnoj sredini u kojoj se proizvod koristi. Solarna električna energija može da doprinese energetskej ponudi uz istovremenu pomoć u sprečavanju globalne promene klimatskih uslova. Približno 75% energije koja se koristi u razvijenom svetu troši se u gradovima, od čega se oko 40% troši u zgradama.

Fotonaponski sistemi mogu da se ugrade u skoro svaku građevinsku strukturu, od autobuskih stanica do velikih poslovnih zgrada, pa čak i u bašte, parkove itd. Iako tačna prognoza fotonaponskog učinka u zgradama zahteva pažljivu analizu faktora kao što su količi-

this rule. Photovoltaics can make a contribution to world energy supplies, while simultaneously helping us slow down the global climate change. Approximately 75% of the energy used in the developed world is consumed in cities and up to 40% of that energy is used in buildings.

Photovoltaics can be integrated into virtually any conceivable structure, from bus shelters to high-rise office buildings or even turned into landscaping elements. Although an exact analysis of the potential of PV in buildings calls for careful assessment of several factors including solar availability on building surfaces, institutional restrictions and electric grid stability, it is easy to become convinced of the large potential of this technology. Even in climates of only moderate solar radiation, the rooftop of a single family dwelling can readily accommodate a PV array large enough for electric self-sufficiency on an annual basis.

Traditionally, PV modules or PV arrays have been mounted on special support structures. However, they can also be mounted on buildings, or become an integral part of the buildings, or even be made an integrated part of the building envelope thus creating a natural, on-site link between the supply and demand of electricity. Through the use of photovoltaics, consumption of power plant based electricity may be significantly reduced. The buildings may even be turned into small distributed net electricity producers and, as such, offer increasing benefits to all. From

an architectural, technical and financial point of view, PV in buildings today:

- do not require any extra land area and can also be utilized in densely populated areas,
- do not require any additional infrastructure installations,
- can provide electricity during peak times and thus reduce the utility's peak delivery requirements,
- may reduce transmission and distribution losses,
- may cover all or a significant part of the electricity

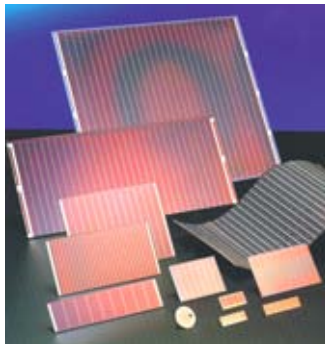
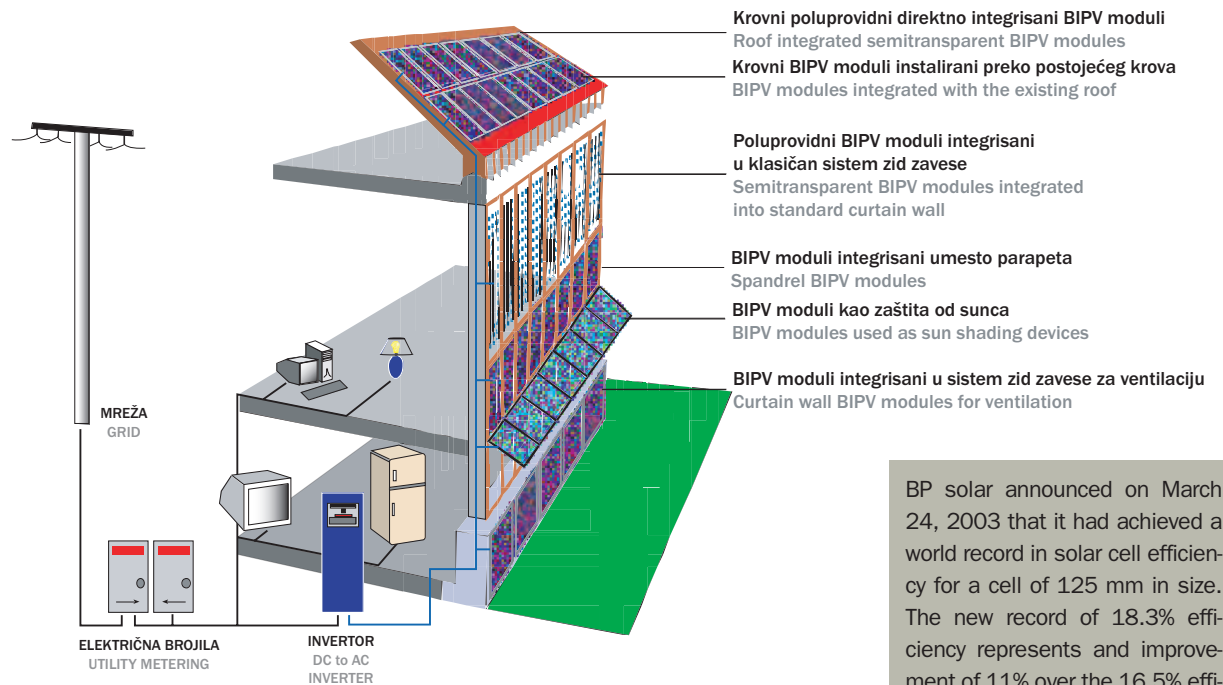


Figure 5. PV System components in a building

Slika 5: Komponente fotonaponskih sistema u zgradi



BP solar announced on March 24, 2003 that it had achieved a world record in solar cell efficiency for a cell of 125 mm in size. The new record of 18.3% efficiency represents an improvement of 11% over the 16.5% efficiency currently available.

na sunčevog zračenja koje pada na zgradu, električne stabilnosti elektro-distributivne mreže itd., lako je shvatiti da ovakva tehnologija ima velike mogućnosti. Čak i u klimatskim uslovima koji se karakterišu osrednjom solarnom ozračenosti, krov zgrade jednog domaćinstva dovoljan je za postavljanje fotonaponskog sistema koji objektu može obezbediti dovoljno električne energije u toku cele godine.

Fotonaponski moduli i generatori tradicionalno se postavljaju na specijalne potporne strukture, ali mogu se postaviti i na građevine, ili mogu da postanu integralni delovi zgrada obrazujući prirodan lokalni spoj ponude i potražnje električne energije. Upotreba fotonaponskih sistema može značajno da smanji potrošnju električne energije iz elektrana.



consumption of the corresponding building,

- may replace conventional building materials and thus serve a dual role which endorses the pay back consideration,
- can provide an improved aesthetic appearance in an innovative way,
- can be integrated with the maintenance, control and operation of the other installations and systems in the building,
- can reduce planning costs.

In building-integrated solar power applications, the cost per unit area of the solar power elements is of great importance, since these materials can act as a substitute for other building materials. The effective additional cost per unit area of the building-integrated solar power elements is the difference between the price of solar modules and the material they could replace. Cost of a solar PV grid-connected system is almost the same per square metre as the cost of prestige facade materials, such as marble or other dressed stone. In suitable cases, when costs of the two material are roughly the same, the added bonus of BIPV is that the solar electricity is free of charge.

PV Potentials

Solar photovoltaics was once a marginal and exotic technology, used mainly for outer space applications or in very remote areas. In the past several years, it became a key

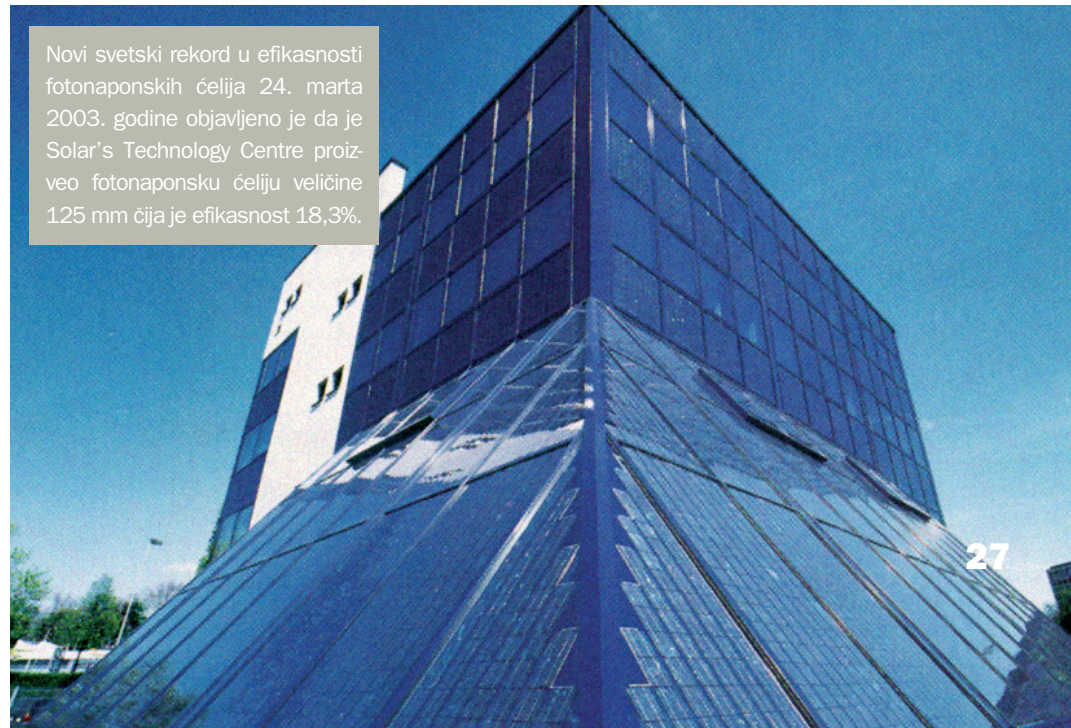
Zgrade mogu čak da se pretvore u male proizvođače i distributere električne energije, što može da bude od opšte koristi. Sa arhitektonskog, tehničkog i finansijskog aspekta, fotonaponski sistemi integrisani u građevinske elemente imaju sledeće karakteristike:

- ne zahtevaju dodatno zemljište i mogu se koristiti u gusto naseljenim urbanim sredinama,
- ne zahtevaju dodatne infrastrukturne instalacije,
- obezbeđuju električnu energiju u toku najveće potražnje (pikovi) i na taj način smanjuju opterećenje električne mreže,
- mogu da smanje gubitke tokom prenosa i distribucije električne energije,
- mogu u potpunosti ili delimično da obezbede električnu energiju za odgovarajuću zgradu,
- mogu da zamene konvencionalne građevinske materijale i na taj način obezbede dvostruku ulogu koja može višestruko da se isplati,
- pružaju nove estetske mogućnosti na inovativan način,
- mogu se povezati sa održavanjem, kontrolom i funkcionisanjem drugih instalacija i sistema u zgradi,
- mogu da obezbede smanjenje planiranih troškova.

Pošto fasadni fotonaponski moduli mogu da zamenjuju klasične građevinske materijale, razlika u ceni između solarnih elemenata po jedinici površine i materijala koje mogu da zamene, je od posebnog značaja. Tako je cena po jedinici površine fasadnog fotonaponskog sistema, povezanog na distributivnu mrežu, skoro ista kao i cena najkvalitetnijih fasadnih materijala kao što su mermer ili ukrasni kamen, tako da su praktično dodatne koristi od proizvodnje struje ovakvih fotonaponskih sistema besplatna korist.

Potencijali fotonaponskih uređaja

Solarna fotonaponska tehnologija koja se ranije koristila uglavnom u svemirskim programima ili na udaljenim lokacijama, pa samim tim marginalna i egzotična u početku, u poslednjih nekoliko godina postaje osnovna tehnologija za proizvodnju i distribuciju električne energije u urbanim sredinama sa potencijalom da po ceni postane podjednako konkurentna cenama energije dobijene i distribuirane konvencionalnim tehnologijama. Od 1990 godine industrija fotonaponske konverzije pokazuje konstantan godišnji privredni rast od preko 20%, a počevši od 1997 i preko 33% godišnje. U 2000 godini, ukupni instalirani kapaciteti u svetu



Worldwide production of photovoltaic systems in 2002 reached a record increase of 43.8% with respect to 2001.

technology for generating distributed power in the built environment, and it has the prospect of cost break-even, with costs near the level of those for conventional grid power for residential consumers within a few decades. From 1990 the PV capacity manufactured annually grew by more than 20%, and since 1997 over 33% per year. In 2000, the total installed PV capacity in the world crossed the 1000 MWp mark, and in developing countries, more than half a million households now benefit from electric lighting in the evening, powered by their PV system.

A growing number of organizations and companies have become actively involved in the promotion, development or manufacture of PV systems. Energy companies are joining hands with manufacturers, municipalities and funding agencies to realize larger and larger projects - thereby gaining vital experience, mobilizing public awareness and lowering prices. The PV market is now worth more than US\$2 billion/year, and the PV industry expects this figure to grow to more than \$10 billion/year by 2010. (The industry players include some of the world's largest companies - BP Amoco, Shell, Kyocera, Mitsubishi, Sanyo and Sharp.) The total cumulative PV capacity installed worldwide by the end of 2002 may already close to 3 GW.

A decade ago, it was believed that the most promising applications for PV would be in two sectors: in large, megawatt-sized grid-feeding plants installed by power companies in OECD countries, and in the form of tens of millions of solar home systems in developing countries. Today, the picture is quite different, and the market is dominated by grid-connected residential PV systems. This is illustrated by the overview of the world market segments in 2002 presented in Figure 6.

Bank Sarasin predicts that in the period until 2010, grid-connected residential systems will remain the main market segment for the PV industry, but the Bank also predicts the fastest relative growth (50% per year) for the on-grid central power systems in the period 2000-2005. Furthermore, the EPIA-

premašili su 1000 MW, a u zemljama u razvoju više od milion domaćinstava koristi električnu energiju proizvedenu pomoću fotonaponskih sistema.

Sve veći broj kompanija i organizacija aktivno učestvuje u promociji, razvoju i proizvodnji fotonaponskih uređaja i sistema. Kompanije koje proizvode i distribuiraju električnu energiju u saradnji sa proizvođačima solarnih uređaja, gradskim vlastima i fondovima planiraju i realizuju sve veće projekte stičući neophodno iskustvo, mobilisuju pažnju javnosti, a pri tom snižavajući cenu električne energije. Tržišna vrednost fotonaponske industrije trenutno iznosi više od US \$ 2 milijarde godišnje, a očekuje se porast od preko \$ 10 milijardi godišnje do 2010 godine. Najnoviji predstavnici fotonaponske solarne industrije su i neke od vodećih svetskih naftnih i drugih hi-tek kompanija - BP Amoco, Shell, Kyocera, Mitsubishi, Sanyo i Sharp). Očekuje se da će krajem 2002 godine ukupni instalirani fotonaponski kapaciteti širom sveta biti blizu 3 GW.

Figure 6. The hybrid system of the wind turbine (400W) and PV modules (360W)

Slika 6. Hibridni sistem vetrogeneratora (400W) i fotonaponskih ćelija (360W)



Pre desetak godina očekivalo se da će dve najperspektivnije primene fotonaponskih sistema biti u sektoru velikih elektrana snage nekoliko megavata, povezanih sa distributivnom mrežom, ili u formi primene u desetak miliona kućnih solarnih sistema u zemljama u razvoju. Međutim slika je danas sasvim drugačija i tržištem dominiraju urbani (rezidencijalni) fotonaponski sistemi povezani sa elektro-distributivnom mrežom. Ilustracija ovog trenda u svetu tokom 2002 godine prikazana je na slici.

Predviđa se da će rezidencijalni sistemi povezani na elektro-distributivne mreže ostati glavni deo tržišta do 2010 godine, a u periodu od 2000 do 2005 godine očekuje se najveći relativni porast od 50% godišnje u broju umreženih solarnih elektrana. Štaviše, studije Evropske fotonaponske industrijske asocijacije (EPIA) i organizacije Greenpeace predviđaju da će polovina od 207 GW kapaciteta u 2020, biti sistemi povezani za elektro-distributivnu mrežu, od kojih će 80% biti



Greenpeace study predicts that half of the 207 GW capacity in 2020 will be in the grid-connected market, of which 80% will be installed on residential buildings.

PV has established itself firmly in the national energy policy of a growing number of countries. Japan's Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) aims to install almost 5 GWp of PV by 2020 and is expected to grow to 82.8 GWp in 2030. In the same period, the price of a 3 kWp system is expected to decrease from \$3/Wp to \$1.5/Wp.

Germany has provided an example in its far-reaching Renewable Energy Act. Since 1 January 2000, the owners of grid-connected PV systems have been reimbursed at a rate of EUR 0.51 (originally 99 Pfennig) per kWh generated, throughout the lifetime of the PV installation. The reimbursement will be gradually reduced each year and support will be maintained until a total installed capacity of 1000 MWp is reached (this target was increased in mid-2002 from the original target of 350 MWp). This was proven shown to be a powerful incentive for boosting PV installation in the country.

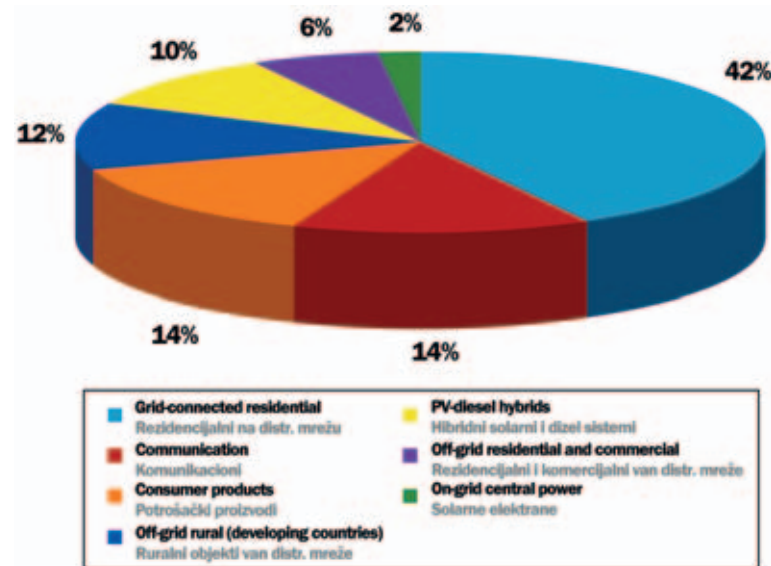
The EU goal is to have 3 GW of PV systems installed by the year 2010. EPIA, the European PV Industry Association, confirms that this goal can be reached provided module prices decrease to under EUR 2/W, which would lead to turnkey system priced between EUR 2.75 - 3/Wp in 2010.

Since 1995 the US PV industry has been growing at an average annual rate of 30%. In terms of installations PV has reached the level of 350 MW. An important boost to the PV market came in 1997 when President Clinton announced the "Million Solar Roof Initiative" aimed at reducing country's reliance on fossil fuels and installing a million solar systems by 2010.

Large multinational companies have established separate business divisions for solar PV (BP, Shell, etc.). Meanwhile, environmental groups such as Greenpeace are energetical-

Figure 7: Usage and locations of PV systems

Slika 7: Primena i lokacija fotonaponskih sistema



instalirani u rezidencijalnim zgradama.

Fotonaponska industrija je sve prisutnija u nacionalnim energetske strategijama sve većeg broja zemalja. Japansko Ministarstvo za ekonomiju, trgovinu i industriju (METI), planira da instalira fotonaponske sisteme snage skoro 5 GW do 2020 godine, a predviđa se da do 2030 ovi kapaciteti porastu na 82.8 GW. Očekuje se da se u toku istog perioda cena sistema snage 3 kW smanji sa \$3/W na \$1.5/W.

Nemačka pruža ilustrativni primer usvajanjem dalekosežnog zakona o obnovljivoj energiji po kome se počevši od 1 januara 2000 godine vlasnicima umreženih fotonaponskih sistema isplaćuje nadoknada od E 0.51 (originalno 99 pfeninga) po svakom kilovat-času generisane energije, u toku celog veka trajanja fotonaponske instalacije. Svake godine, u toku eksploatacije solarne opreme, cena nadoknade će se postepeno smanjivati sve dok ukupni kapaciteti ne dostignu vrednost od 1000 MW (ova vrednost je povećana sa 350 MW sredinom

2002 godine). Pokazalo se da je ovakav prilaz imao snažan podsticaj za povećanje broja instaliranih fotonaponskih sistema širom Nemačke.

Cilj Evropske unije je da do 2010 godine ukupni kapacitet instaliranih fotonaponskih sistema dostigne 3 GW, a EPIA potvrđuje da se ovaj cilj može ostvariti pod uslovom da se cene modula smanje ispod E 2/W, što bi uslovalo da cene gotovih sistema budu između E 2.75 i 3/W do kraja istog perioda.

Od 1995 godine američka industrija fotonaponskih sistema pokazuje godišnji rast od 30% a ukupni instalirani kapaciteti dostižu 350 MW. Važan podsticaj za fotonaponsko tržište učinjen je 1997 godine kada je tadašnji predsednik Bil Clinton objavio „Inicijativu za milion solarnih krovova“, čiji je cilj smanjenje upotrebe fosilnih goriva instaliranjem milion solarnih sistema do 2010.

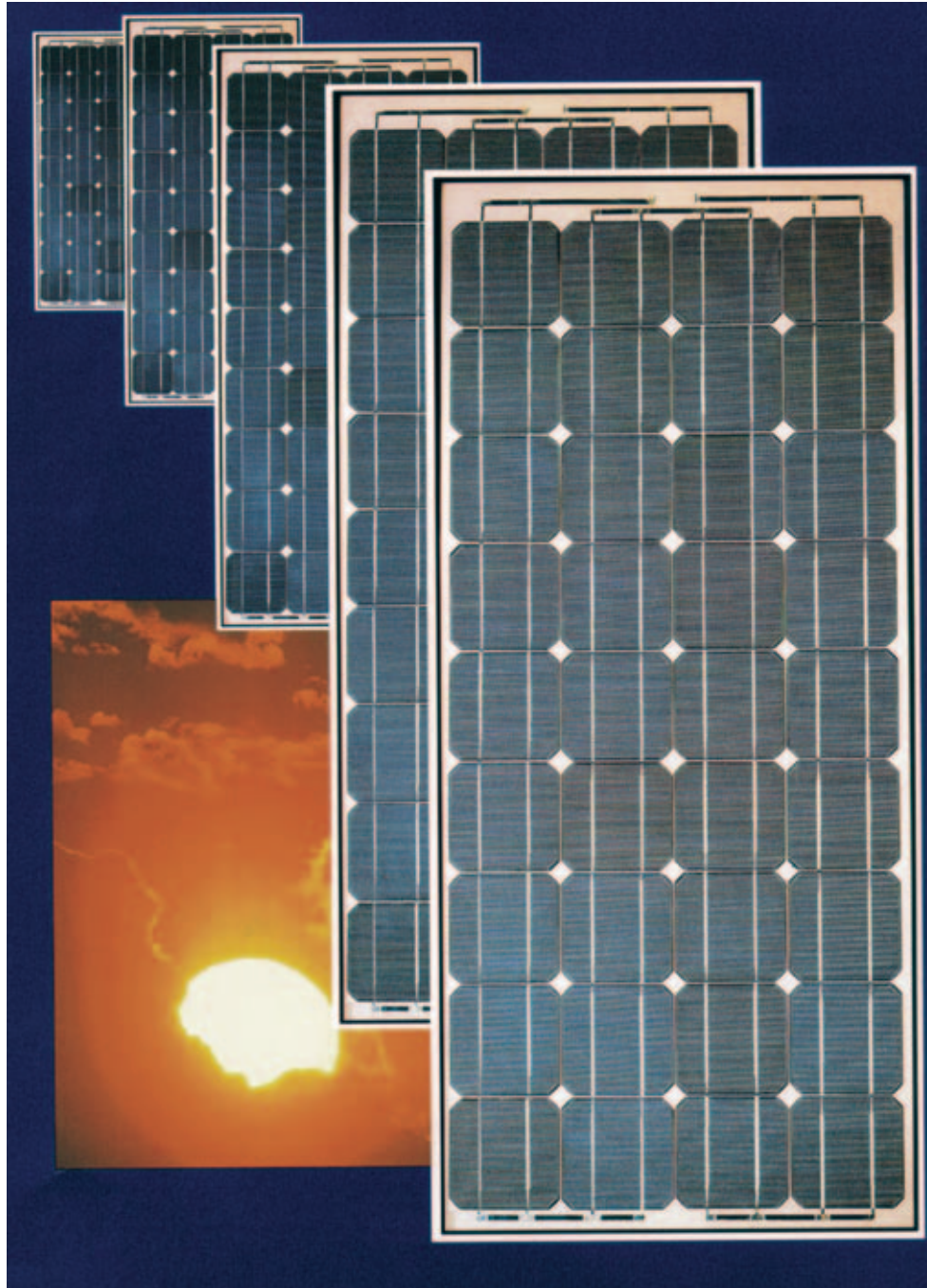
Svetska proizvodnja fotonaponskih sistema je u 2002. godini postigla rekord uz porast od 43,8% u odnosu na prethodnu godinu.

ly promoting PV systems for applications in the built environment, in an effort to break the trend of high costs and low demand.

At present, module prices are in the range EUR 4-5/Wp, and complete systems are installed for prices in the range of EUR 4-8/Wp, depending on their size and type. With typical annual output between 750 kWh and 1500 kWh per kWp installed, this translates into a price range of Eurocents 20-40/kWh. The steady increase in manufacturing capacity, and the continuing worldwide R&D efforts, enable fairly reliable predictions of EUR 2-3/Wp for 2010. Ultimate 'floor-level' system prices are expected to be about EUR 1/Wp, leading to the PV produced electricity price of less than 10 cents per kilowatt hour.

PV Potentials in Serbia and Montenegro

In the 21st century, Serbia will have to implement a clever mix of innovative energy efficiency measures, rapid increases in the supply of a variety of renewable energy sources and a much cleaner use of fossil fuels in order to help solve the climate and environmental problem. PV will - despite its massive long-term potential - play just a small role in this at first. But its contribution will grow steadily through various niche markets, providing a range



Velike multinacionalne kompanije organizuju posebne poslovne ogranke za solarne fotonaponske sisteme (BP, Shell, itd). Sa druge strane grupe koje se bore za očuvanje prirodne sredine, kao što je Greenpeace, aktivno promovišu primenu fotonaponskih sistema u cilju povećanja potražnje, a smanjenja cena.

Trenutno se cene solarnih modula kreću od oko E4 do 5/W, a kompletni sistemi se instaliraju po ceni od E4-8/W, u zavisnosti od tipa i veličine sistema. Uz tipičnu godišnju proizvodnu snagu između 750 kWh i 1500 kWh po instaliranom kW, dobija se cena od 20 do 40 eurocenti po kilovat-času. Konstantan porast proizvodnih kapaciteta uz stalan napredak istraživanja i razvoja omogućuje pouzdano predviđanje cene od E2-3/W do 2010 godine. Očekuje se da cena fotonaponskih sistema padne na oko E1/W, što bi značilo da je cena fotonaponski generisane struje manja od 10 centi po kilovatčasu.

Potencijali fotonaponske tehnologije u SiCG

U toku 21-og veka Srbija i Crna Gora će morati da primeni mudru energetska strategiju koja će obuhvatati nekoliko inovativnih mera efikasnog korišćenja energije, brz porast korišćenja obnovljivih energetska kapaciteta i korišćenje fosilnih goriva uz pridržavanje visokih ekoloških normi u cilju očuvanja prirodne sredine i klimatskih uslova. Uprkos velikog dugoročnog potencijala, fotonaponska tehnologija će u početku igrati sporednu ulogu, ali će njen doprinos konstantno rasti kako u urbanim tako i najudaljenijim mestima u Srbiji. Procena ukazuje da instalacioni



of energy services, in cities as well as in the most remote places in Serbia. Author's estimate is that there is potential to install at least 20 MW of PV systems by 2010.

The rapid increase in worldwide shipments of PV, the steep growth in manufacturing capacity and the positive political climate in countries such as Japan, Germany and Spain, offer good prospects for the future of PV in Serbia too. However, the PV industry needs a stable political climate in Serbia for continuous and sustainable growth. Rapid changes in either subsidy levels and conditions, or in political attitudes, could seriously inhibit this growth. Adding PV's present, important local role to its significant long-term potential, and recognizing the time that it takes before a major new energy technology matures, the governmental support for programmes to develop and demonstrate PV technologies is fully justified. PV can also actively contribute to job creation, mainly in small and medium-sized enterprises.

Prospects for Solar Thermal Energy Use

Putting into service 5m² of solar collectors in just 300 000 homes in Serbia and Montenegro for purposes of heating air or domestic sanitary water, would lead to an annual reduction of 1500 GWh in energy consumption, which corresponds to approximately 400 MW of installed energy producing capacities.

Although the global solar irradiance reaching the Earth's surface can be as high as 1000 W/m², the available irradiance is extremely variable and usually considerably less than this maximum value because of the rotation of the earth and adverse weather conditions. In addition to the regular daily and annual variations due to the apparent motion of the sun, irregular variations are caused by the climatic conditions (cloud cover), as well as by the general composition of the atmosphere. Moreover, the available irradiance depends on the orientation of the surface of the absorber, its construction and technical characteristics.

Solar thermal systems convert sunlight into heat at the absorber of the solar thermal collector with efficiency that varies between 35 and 55%.



Figure 8. SANYIO PV plant with the power of 630kW

Slika 8. SANYIO fotonaponska centrala od 630kW

potencijali za fotonaponske sisteme do 2010 godine iznose oko 20 MW.

Brz porast fotonaponske industrije u svetu uz porast proizvodnih kapaciteta i pozitivnu političku klimu u zemljama kao što su Japan, Nemačka i Španija, obećavaju dobru perspektivu fotonaponskim tehnologijama i u Srbiji. Međutim, fotonaponska industrija zahteva pogodne i stabilne političke uslove u Srbiji za konstantan i održiv razvoj. Brze ili nagle promene u uslovima i iznosima subvencija te političkim stavovima mogu da dovedu u

pitanje pozitivan razvojni trend. Uzimajući u obzir današnji značaj fotonaponske tehnologije, njihove dugoročne potencijale i vreme potrebno da se ovakve tehnologije razvijaju, razvoj i primene ovih tehnologija potpuno opravdavaju i ohrabruju državnu podršku i subvencije. Dodajmo pri tome da fotonaponska industrija može znatno da doprinese privredi zemlje otvaranjem novih radnih mesta, kao i malih i srednjih preduzeća.

Mogućnosti korišćenja sunčeve toplotne energije

Kada bi samo 300.000 domaćinstava u Srbiji i Crnoj Gori imalo bar 5 m² solarnih kolektora za grejanje sanitarne potrošne vode ili vazduha uštedelo bi se 1.500 GWh godišnje, što odgovara instalisanom proizvodnom kapacitetu od oko 400 MW. Takva investicija bi se isplatila za dve godine bez ikakve potrošnje energenata.

Sunčevo zračenje na Zemlju dostiže energiju od 1000 W/m² pri čemu korisno dozračena energija na jedinicu površine zavisi od orijentacije i nagiba površine, od konstrukcije i energetskih karakteristika prijemnika sunčeve energije, doba dana, doba godine, vremena insolacije, atmosferskih uslova i dr.

Najčešće primenjivana tehnologija za korišćenje sunčevog zračenja bazirana je na principu toplotnog dejstva sunčevog zračenja, pri čemu se energija sunčevog zračenja transformiše u toplotu na apsorberu prijemnika sunčeve energije (toplotni kolektori). Kod ovih tipova kolektora ostvaruje se stepen efikasnosti transformacije dozračene sunčeve energije u korisno odvedenu toplotu od 35 do 55%.

Solar Thermal Energy Production

Solar collectors (panels) can be classified into two major categories based on the working fluid used to cool them. These two are liquid and air. Each of these two categories can then be sub-classified according to average temperature range over which they are intended to be used and based on the construction aspect. These sub-categories are:

- Flat low-temperature collectors
- Medium-temperature (concentrated) collectors
- High-temperature (concentrated) collectors

Low-temperature collectors are technically the least complicated and provide low grade heat, up to 100°C (up to 180°C in the absence of convective heat losses), through either metallic or nonmetallic absorbers for applications such as swimming pool heating and low-grade water and space heating. The solar collector is usually mounted on the roof and is connected to a circuit containing water with propylene glycol anti-freeze added, if necessary. The heated liquid flows around the circuit, either under the action of a pump to warm the main hot water tank, or by a thermo-syphoning action to warm a solar water storage tank, which then feeds the hot water tank.

Passive solar heating is the absorption of solar energy in a building to reduce the energy required to warm the habitable areas (i.e. to contribute to space heating).

Medium-temperature collectors provide medium to high-grade heat (greater than 100°C usually 140°C to 180°C), through concentrator collectors that concentrate the heat on higher levels. They are most commonly used for residential hot water heating.

High-temperature collectors are parabolic dishes or through collectors primarily used by independent power producers to generate electricity for the electric grid.

Flat low-temperature collectors of solar energy

The main parts of the flat collector assembly are the following

- collector covers (glazes)
- absorber
- thermal insulation
- case

Toplotna konverzija sunčeve energije

Sunčani kolektori mogu se podeliti na dve glavne grupe po tipu fluida koji prenosi sunčevu energiju. To su kolektori sa tečnim fluidom i sa vazduhom. Svaka od ovih grupa deli se na tri podgrupe određene po temperaturnom opsegu rada.

- Ravni niskotemperaturni
- Srednje temperaturni - sa koncentrisanjem sunčevog zračenja
- Visoko temperaturni - sa koncentrisanjem sunčevog zračenja

Ravni niskotemperaturni prijemnici su tehnički najjednostavniji sa aspekta izrade, a u njima se ostvaruju radne temperature do 100°C (u praznom hodu i do 180°C). Apsorber toplote je metalni ili plastični. Toplota se odvodi vazduhom, vodom ili nekom drugom tečnošću na bazi „antifriz“ i predaje potrošaču direktno ili preko razmenjivača toplote i grejnih tela. Kolektori se najčešće montiraju na krovu kuće i cevima su spojeni sa vodenim rezervoarom. Radi boljeg prenosa toplote koristi se pumpa za pokretanje fluida.



Solarni kolektori bazirani na ovom principu koriste se najviše za pripremu tople sanitarne ili tehnološke vode, u procesima sušenja raznih poljoprivrednih proizvoda, za grejanje prostora i u drugim toplotnim procesima u kojima se radne temperature kreću do 100°C.

Ravni niskotemperaturni prijemnici sunčeve energije

Ovaj tip solarnog kolektora sastoji se iz sledećih elemenata:

- transparenta
- apsorbera
- termičke izolacije
- kućišta

Transparent (prozirna pokrivka) ima zadatak da zatvori prostor ispred apsorbujuće ploče čime smanjuje toplotne gubitke, a da pri tome obezbedi što bolji prodor sunčevih zraka



Solar thermal collector with vacuum tubes

Solarni kolektor sa vakuumskim staklenim cevima

The transparent covers serve to admit solar radiation to the absorber while reducing convection and radiation heat losses from the collector. The covers also protect the absorber from dirt, rain, and other environmental contaminants. The materials used as covers include glass or plastic sheets. Glass (usually of 4 mm thickness) is most commonly used because of its superior optical properties and durability, as well as reinforced glass (usually iron tempered) of 5 mm thickness. Of the various grades of tempered plate glass, low-iron glass has the highest transmission and lowest reflection of sunlight. Standard plate glass reflects about 8

percent and absorbs about 6 percent of normal incident solar radiation, resulting in a transmissivity of about 86 percent. Flat-plate collectors with single glaze are most suitable for low-temperature applications, such as domestic water and space heating during transitional and summer periods when external temperatures are relatively high. Double glaze is usually used during colder periods in order to reduce the losses at the front of the collector. Correspondingly, the efficiency of collectors with double glaze is considerably higher during winter months in comparison with the collectors with single cover (glaze) while this difference is not so distinct during summer. As an illustration, we consider a situation where the temperature of the working fluid at the collectors entrance is 60°C (during winter months when the outdoor temperature is 10°C and the solar irradiance 600 W/m^2), the efficiency of the single-glaze collector is equal to zero (meaning that the working fluid will not be additionally heated) while the efficiency of the double glaze collector is 0.4. During summer, the corresponding efficiencies are 0.68 and 0.7 respectively.

The absorber plate represents the key factor determining the efficiency of solar energy absorption, heat losses and the efficiency of heat transfer to the working fluid that cools the absorber. Absorber plates are usually painted with selective coatings that absorb and retain heat better than ordinary black paint. They are normally made of metal, typically copper or aluminium, because it is a good conductor of heat. Copper is more expensive, but it is a better conductor and is less prone to corrosion than aluminium. The sides and bottom of the collector are usually insulated to minimise heat losses.

Thermal insulation which reduces heat losses at the bottom and sides of the collector is

do apsorbujuće površine. U praksi se najčešće koristi obično prozorsko staklo debljine 4 mm, kao i kaljeno staklo debljine 5 mm, a mogu se koristiti i providni plastični materijali debljine do 2 mm kao i specijalne ultravioleto stabilne plastične folije. U zavisnosti od otpornosti materijala na degradaciona dejstva iz okoline, posebno na dejstvo sunčevog ultravioleto zračenja, može se proceniti koliko će se smanjivati svetlosna propustljivost tokom vremena eksploatacije.

Solarni kolektori sa jednostrukom prozornom pokrivkom obično se koriste u instalacijama grejanja sanitarne ili tehničke vode u prelaznim ili letnjim periodima kada su spoljne temperature više.

Dvostruka transparentna pokrivka obično se primenjuje kod kolektora predviđenih za upotrebu pri nižim spoljašnjim temperaturama da bi se smanjili gubici sa prednje strane kolektora.

Efikasnost kolektora sa jednostrukim zastakljenjem je zimi znatno niža od efikasnosti sa dvostrukim zastakljenjem. Leti je razlika u efikasnosti između ova dva tipa kolektora znatno manja. Tako na primer pri temperaturi radne tečnosti na ulazu u kolektor od 60°C (zimi kada je temperatura okolnog vazduha 10°C i snaga sunčevog zračenja oko 600 W/m^2) efikasnost posmatranog kolektora sa jednostrukim zastakljenjem je ravna nuli (neće se dogrevati radna tečnost) dok će kolektor sa dvostrukim zastakljenjem imati efikasnost od 0,4. U letnjem periodu ovi koeficijenti su 0,68 i 0,7.

Apsorber ima zadatak da transformiše sunčevo zračenje u toplotu i predstavlja ključni element od koga najviše zavisi efikasnost apsorpcije sunčevog zračenja, emisija toplote u okolinu (toplotni gubitak) i efikasnost prenosa toplote sa apsorbujuće površine na radni medijum koji hladi apsorber. Kvalitetni apsorberi se izrađuju od bakra, aluminijuma i nerđajućih čelika. Apsorberi od plastičnih masa spadaju u manje kvalitetne. Selektivni apsorbujući slojevi koji se nanose hemijskim tretmanom na apsorber obezbeđuju znatno bolje radne



usually made of expanded polyurethane material which has stable mechanical and thermal properties. Moreover, this material stabilizes the collector case and it does not absorb moisture which is an advantage in comparison with glass and mineral wool, sometimes also used for the same purpose. In locations with average available solar energy, flat plate collectors are sized at approximately 1.2 to 2 square meters both for water and air types. The thickness of the water-type collector is slightly smaller than the air-type and is usually sized in the range 60-100 mm.



The weight of the collector is in the range of 25-50 kg per square meter of the absorbing area.

Thermal solar elements may be building-integrated such that they are parts of the building materials. Building integrated flat collectors (usually of air-type), offer better thermal characteristics of building elements such as walls and roofs, lowering the price of construction at the same time as well as providing the projected amounts of energy.

Solar installations

Liquid heating systems

Liquid heating systems use either water or an antifreeze mixture, or various hydrocarbon and silica heat transfer oils as the collector medium. The heated liquid flows around the circuit, either under the action of a pump to warm the main hot water tank, or by a thermo-syphoning action to warm a solar water storage tank which then feeds the hot water tank. Heat transfer oils used in liquid systems offer freeze protection and some corrosion protection, but they also require heat exchangers for heating household hot water, as do antifreeze-water mixtures. Heat exchangers, in which household or techno-

karakteristike (nizak koeficijent emisije zračenja), bolju energetske efikasnosti i trajne apsorpcione karakteristike u odnosu na upotrebu crne boje za apsorpcioni sloj.

Radni medijum ili nosilac toplote u solarnom kolektoru može da bude vazduh, voda ili tečnost na bazi „antifriz“. Termička izolacija je vrlo bitan element koji smanjuje toplotne gubitke sa zadnje i sa bočnih strana kolektora. Kao materijal najviše se koristi ekspandirana poliuretanska pena, jer ima stabilne mehaničke i termičke osobine. Pored termoizolacionih karakteristika ovaj materijal i ukružuje kućište kolektora, a ne upija vlagu. Staklena i mineralna vuna su dosta nepođodne za rukovanje i mogu da prime značajne količine vlage čime se smanjuje trajnost i efikasnost kolektora.

Kućište kolektora objedinjuje sve njegove elemente u jednu funkcionalnu celinu. Izrađuje se najčešće od metala (eloksirani aluminijum), a ređe od plastičnih materijala. Upotreba raznih gumenih ili silikonskih zaptivki je neophodna radi smanjenja prodora hladnog vazduha i vlage u kućište.

Kolektori imaju površinu obično od 1,2 do 2 m² bez obzira da li im je radni fluid voda ili vazduh. Debljina kolektora sa vodom je nešto manja od onih sa vazduhom i kreće se od 60 do 100 mm. Masa kolektora se kreće u granicama od 25 do 50 kg po jednom kvadratnom metru prijemne površine.

Integralni prijemnici sunčeve energije nastali su iz težnje da se dobiju jednostavniji i jeftiniji solarni kolektori sa istim efektima kao i klasični tipovi. To je ostvareno integrisanjem funkcije prijemnika solarne energije i dela građevinskog objekta (fasade ili krova), tako što se vrši direktno integrisanje kolektora u funkcionalnu celinu sa objektom. Efekti ovakve konstrukcije su obično dvostruki: poboljšava se termička karakteristika zida ili krova i obezbeđuje projektovana količina energije. U tom slučaju obično je cena izrade fasade ili krova niža jer kolektor čini spoljnu oblogu objekta. Ovaj tip gradnje obično koristi vazduh kao radni medijum.

Solarne instalacije

Instalacije sa tečnim radnim medijumom

Kod instalacija sa tečnim radnim medijumom, nosilac toplote može da bude voda, voda pomešana sa antifrizom ili tečnost na bazi antifriz koja je specijalno razvijena za primenu u solarnim instalacijama. U ovakvoj instalaciji tečnost koja se zagrejala potiskuje se centrifugalnom pumpom ka razmenjivaču toplote. U njemu se greje potrošna sanitar-



logical water is heated, may contain larger quantities of water so that accumulation and heat exchange could take place at the same time. Heat exchangers and heat thermal storage units are usually kept separated.

Compact solar boilers

Solar collector in combination with thermally insulated boiler, whose volume may be in the range from 100-200 liters, forms a compact water heating unit. Boiler usually has an electric heater installed in order to provide more stable and reliable supply of warm water. The solar collector and the boiler share the same mounting stand so that inexpensive and reliable system also requires a simple installation procedure. This type of installation is most frequently used in areas experiencing mild winters, so that water freezing does not occur.

Air heating systems

In installations of this kind heated air is transferred from the collector to the heated area (room) using a fan. If the air quality does not deteriorate in the heated area, where it also cools off, it is circulated back to the solar collector for reheating. In the opposite case, when the air is polluted in the closed heated area, it is released in the atmosphere without reuse. More complex systems may contain heat exchangers of the air-air type, which also increase their cost.

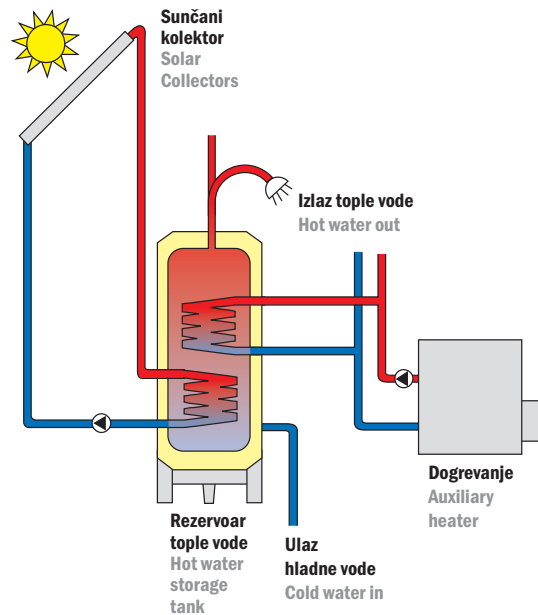
Heat thermal storage units are usually placed under the earth's surface (most often under the heated object) and are kept thermally insulated from the surrounding area with the use of grind stones or even water filled bottles.

na ili tehnološka voda. Izmenjivač se može napraviti i sa većom količinom vode tako da se u njemu istovremeno vrši razmena i akumulacija toplote. Kod većih instalacija izmenjivač i skladište toplote su obično razdvojeni.

Kompaktni solarni bojleri

Solarni kolektor u kombinaciji sa termoizolovanim rezervoarom - bojlerom zapremine oko 100 do 200 litara čini kompaktnu jedinicu za grejanje vode. U boiler se ugrađuje i električni grejač čime se dobija stabilnije snabdevanje toplom vodom. Solarni kolektor i boiler se nalaze na zajedničkom postolju tako da se uz minimum instalacija dobija jeftin i pouzdan sistem. Ovakav način grejanja vode primenjuje se najčešće u predelima gde su zime blaže da ne bi došlo do zamrzavanja vode.

Domestic hot water solar thermal system Sistem za grejanje sanitarne vode



Sistem za grejanje sanitarne vode
Domestic hot water solar thermal system

Instalacije sa vazduhom kao radnim medijumom

Kod solarnih instalacija sa vazduhom kao nosiocem toplote, obično se zagrejan vazduh iz kolektora dejstvom ventilatora potiskuje kroz kanalski razvod do grejane prostorije. Ukoliko se u prostorijama vazduh ne zagađuje onda se tako rashlađeni vazduh ponovo potiskuje u solarni kolektor na dogrevanje.

Kada je u pitanju instalacija kod koje postoji mogućnost da se promeni kvalitet vazduha (čestice prašine ili vlaga u slučaju sušara) potrebno je primeniti otvoreni sistem. U njemu vazduh iz spoljašnje sredine ulazi u sunčani kolektor, a iz grejane prostorije se odvodi napolje u atmosferu zajedno sa značajnom količinom toplote. Kod složenijih sistema energetske efekti se mogu povećati ugradnjom razmenjivača toplote tipa vazduh - vazduh uz znatno povećanje cene tako izgrađenog sistema.

Skladište toplote obično se formira ispod površine zemlje (najčešće ispod grejanog objekta) u termoizolovanom prostoru popunjenom nekim čvrstim materijalom sa što boljom toplotnom kapacitivnošću. Najčešće se primenjuje lomljeni kamen, a mogu se koristiti i staklene boce napunjene vodom.

Solar thermal space heating

In areas where the annual solar irradiation is higher than average, as in Serbia and Montenegro, solar radiation even during winter months is sufficient for efficient exploitation. Commercial types of solar collectors, for example, may annually yield 1.2 - 3 kWh of energy per day per square metre, depending on the period of the year and the location of the consumer. Consequently, one square meter collector of solar energy may transfer to the consumer heat energy from 36 to 90 kWh during one month of operation.

Since the temperature of the transfer fluid in the solar heating system during winter period is between 40°C and 60°C, it is clear that these temperatures are not adequate for central heating. However during periods for which the average daily temperature is around 0°C this type of heating becomes efficient, since boiler installations operate at approximately 60°C.

If space heating is achieved through floor heating, which operates at lower temperatures, the effects are even better. The best effects are achieved using air-heating system.

Solar thermal space heating may be advantageous in off-grid buildings, or in cases where the grid electricity supply is unreliable. Also, it may be efficient in heating of sports arenas, large halls, as well as family homes in reducing energy demand.

Thermal insulation is one of the most important factors in reducing energy consumption and in increasing efficient energy consumption. Also, it represents the easiest and the least expensive aspect of the heating production-consumption system that may be improved with adequate and timely initiative. This particularly applies to the case of Serbia and Montenegro where the electric energy consumption for heating purposes is utilized and even stimulated, which certainly represents the most inefficient and the least rational method of heating from the aspect of global state economy.

Solar thermal collectors covering the area of 1.19 mil m² have been installed in Europe during 2002, so that the total area installed in Europe is 13 mil m².

Investing in home thermal solar installations

Low-grade (sanitary) water heating

Initial investment: 15-25 EUR/m², or 900-1500 EUR/family home.

Grejanje prostorija

U našem podneblju ukupno energetska dejstva sunčevog zračenja zimi je manje od letnjeg, ali je još uvek dovoljno efikasno za korišćenje. Tako na primer iz komercijalnih tipova solarnih kolektora može se u grejnoj sezoni dobiti - po jednom kvadratnom metru u jednom danu - energija koja se kreće (u zavisnosti od meseca u godini i lokacije potrošača) od 1,2 do 3 kWh. To znači da prijemnik sunčeve energije može u toku jednog meseca da preda nekom potrošaču toplotu od 36 do 90 kWh sa jednog kvadratnog metra kolektora.

Pošto se temperatura radnog fluida pri preporučenim brzinama strujanja u toku zimskog perioda kreće od 40 do 60°C, jasno je da ove temperature nisu dovoljne za centralno toplovodno grejanje. Međutim, u prelaznim periodima sa spoljnim temperaturama oko 0°C ovaj način grejanja postaje efikasan, jer tada kotlovske instalacije rade sa temperaturama od oko 60°C.

Ukoliko se u sistemu toplovodnog grejanja primenjuje podno grejanje, koje radi sa nižim temperaturama efekti su još bolji. Najbolji efekti se ostvarju primenom vazdušnog sistema grejanja.

Energetski efekti solarnih sistema pri grejanju kuća ili stanova zavise od više faktora, među kojima ispravno i optimalno projektovanje ima prvorazrednu ulogu. Termičke karakteristike grejanog objekta direktno utiču na veličinu toplotnih gubitaka, a time i na potrebe za toplotnom energijom. Na taj način se dolazi do toga da je dobra toplotna izolacija ključni element u uštedi energije i da je to najbolji i najekonomičniji način za jednu siromašnu zemlju da popravi svoju energetska situaciju. Pogotovo ako se uzme u obzir da je kod nas normalna, a cenom i stimulisana, pojava grejanja električnom energijom. To je jedan od najneracionalnijih načina grejanja gledano sa aspekta cele države.

Nivo potrebnih ulaganja u solarne instalacije za domaćinstva

Grejanje sanitarne vode

Potrebna ulaganja: 15 - 25 EUR/m², odnosno 900 do 1.500 EUR/domaćinstvu

Napomena: Manje vrednosti se odnose na jeftinije solarne kolektore i jednostavnije instalacije. Veće vrednosti se

U Evropi je tokom 2002. instalirano 1,19 miliona m² solarnih termičkih kolektora tako da je ukupna procena da ih u Evropi sada ima oko 13 miliona m².



Remark: *Lower investment corresponds to the less expensive solar collectors and simpler instalations. Higher investment relates to the higher quality systems or more complex systems comprising heat exchangers, forced circulation systems and instruments for controlled operation.*

Effects: Heating of low-grade (sanitary) water during the period between april and october covers 80% of energy requirements. During the period between october and april the coverage is about 30 %.

Space heating

The absorption of solar energy in a building to reduce the energy required to warm the habitable areas (i.e. to contribute to space heating) is most economically and efficiently introduced during the construction of the building, while adaptation of already existing facilities requires higher investments.

Investment amount: 50-100 EUR/m², or 3000-6000 EUR/family home.

Remark: *Lower amount corresponds to homes and buildings with better quality thermal insulation and smaller energy losses as well as to better oriented collecting facilities.*

Effects: Assuming optimal instalation quality using standard solar equipment, an average of 50-60% of the annual energy consumption is maintained.



odnose na skuplje sisteme sa složenijim instalacijama sa razmenjivačem toplote, sistemom za prinudnu cirkulaciju i automatikom za regulaciju rada.

Efeki: Grejanje potrošne sanitarne vode u periodu od aprila do oktobra pokriva 80% potreba za energijom. U periodu od oktobra do aprila ova pokrivenost je oko 30%.

Grejanje prostora

Uslovi za obezbeđivanje grejanja stambenog prostora su složeniji, a investiciona ulaganja veća. Ukoliko se pravi nov objekat u kome je predviđeno solarno grejanje prostora efekti su najbolji uz minimalnu cenu. Adaptacija već izgrađenih objekata je složeniji postupak sa većim troškovima.

Potrebna ulaganja: 50 - 100

EUR/m², odnosno oko 3.000 do 6.000 EUR/domaćinstvu

Napomena: Manje vrednosti se odnose na stanove i kuće sa boljim termičkim karakteristikama zidova i manjim toplotnim gubicima kroz procepe; boljim mogućnostima aplikacije integralnih solarnih kolektora; boljim rasporedom prostorija i prozira na objektu kao i boljom orijentacijom prijemne površine objekta.

Efeki: Optimalnom instalacijom i veličinom solarnih kolektora omogućuje se kod standardno izgrađenih objekata pokrivenost potreba grejanja od 50 do 60% tokom cele godine.

Potential of Serbia and Montenegro in Solar Thermal Heating

Solar energy potential on the whole territory of Serbia satisfies all standards for efficient use of thermal solar energy. In the past this aspect of energy consumption was not adequately made use of due to the lack of stimulation and advertising of its beneficial economic and environmental effects. With the awareness of energy shortage present in the whole world, and with the increase of domestic electric energy price in order to level off with the prices in the European Union, a simple economic analysis will lead to the use of this most rational source of energy. Even in comparison with the photovoltaic electrical energy or with the electric energy obtained from the wind-powered generators use of solar collectors is at present the most economical and offers the possibility of its widest use.

Economic and environmental reasons lead to invest-



Potencijal Srbije i Crne Gore u primeni toplotnih kolektora

Energetski potencijal je zadovoljavajući na celoj teritoriji Srbije i moguće je efikasno korišćenje termičkog dejstva sunčevog zračenja. U prethodnom dugom periodu ovaj prirodni, ekološki i ekonomski najpovoljniji vid korišćenja energije nije mogao da se primenjuje jer nije postojala nikakva stimulacija stanovništva. Sada kada se nedostatak energije u čitavom svetu drastično oseća i kada cena struje u Srbiji raste kako bi dostigla cene u Evropskoj Uniji čista ekonomska računica će dovesti do upotrebe najracionalnijih izvora energije. Stimulacija države u obliku poreskih olakšica za instaliranu opremu sigurno bi se višestruko isplatila u poređenju sa novim investicijama u elektroprivredu koje nas očekuju. Takođe u poređenju sa dobijanjem ener-



ments in research and development whose final aim is the manufacture of equipment for energy exploitation and production. It is certainly unreasonable that poor or developing nations import energy resources and equipment for energy production and, at the same time, not put an effort to initiate their own research and production of the most convenient and most available energy source. However, this fact primarily mirrors the attitude of the government administrations towards their own country, the country's energy resources and planning and foreseeing the future.

gije iz fotonaponskih ćelija ili vetrogeneratora upotreba solarnih kolektora je najekonomičnija u sadašnjem trenutku i može se primenjivati od individualnih korisnika do većih sistema.

Ekonomski i ekološki razlozi dovode do ulaganja u istraživačke i razvojne projekte koji svojim rezultatima pokreću investicije u proizvodnji opreme za eksploataciju energije.

Apsurdno je da siromašne zemlje koje skupo plaćaju uvozne energente i opremu za proizvodnju energije ne učine napor da na bazi ekonomskih računica krenu u razvoj i proizvodnju onoga što je najpogodnije. To ukazuje na odnos vlasti prema svojoj zemlji, energetske resursima i planiranju.