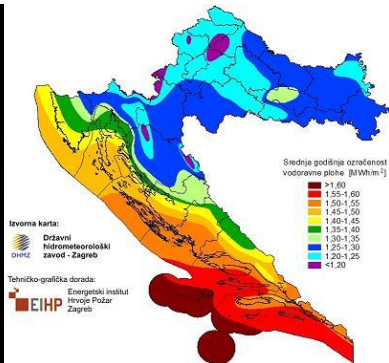
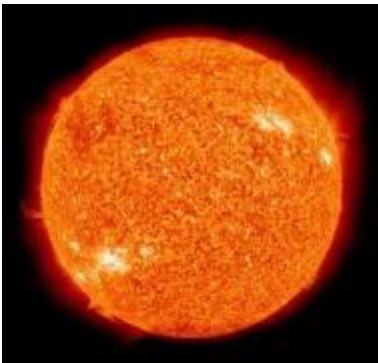


Osnove Sunčevog zračenja, fotonaponski efekt i tehnologije pretvorbe energije

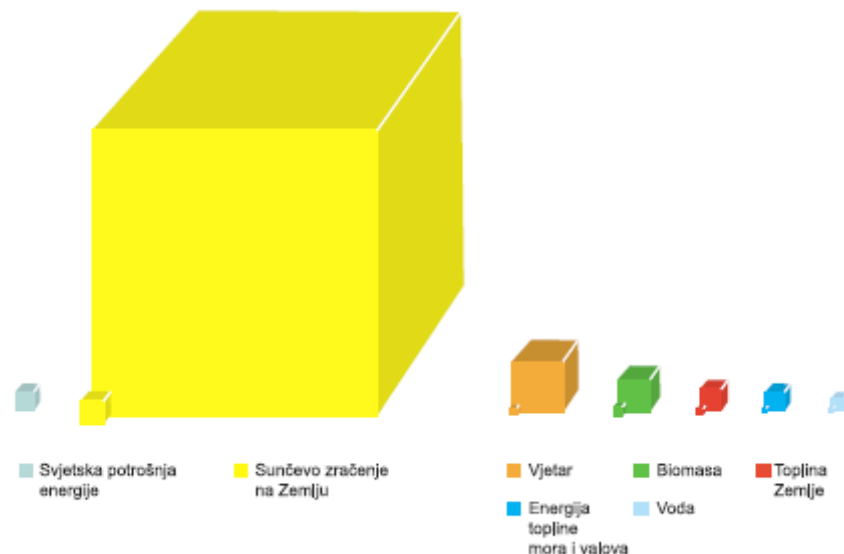


Sadržaj

- **Sunčevo zračenje**
 - Prostorna distribucija u Republici Hrvatskoj
 - Vremenska distribucija u Republici Hrvatskoj
- **Fotonaponski efekt**
- **Tehnologije izrade sunčanih ćelija**
- **Komponente fotonaponskih sustava**
- **Fotonaponski sustavi i primjena**
 - Mrežno vezani sustavi
- **Razvoj i buduća očekivanja**

Uvod – Sunce kao izvor energije

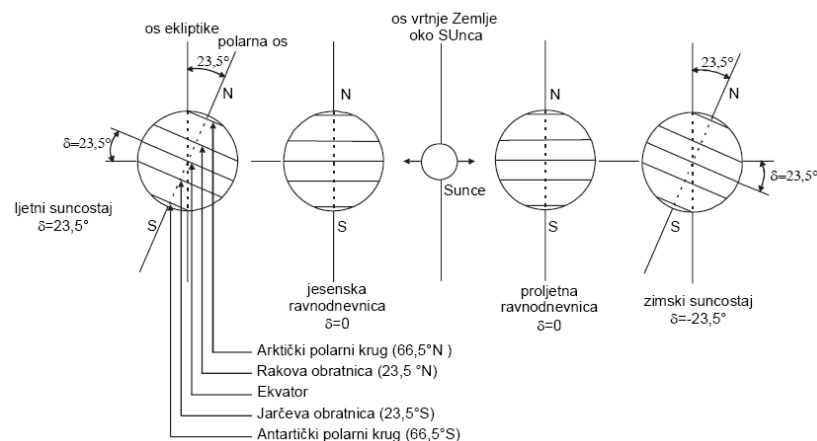
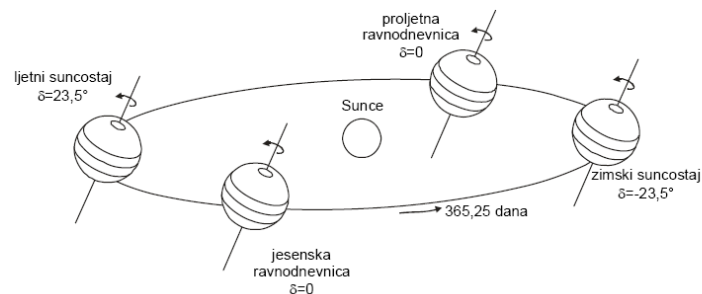
- Sunce – izvor života na planetu Zemlji
- Energija Sunčevog zračenje – izvor većine energetske oblika na Zemlji – vjetar, energija vodotoka, biomasa, fosilna goriva...



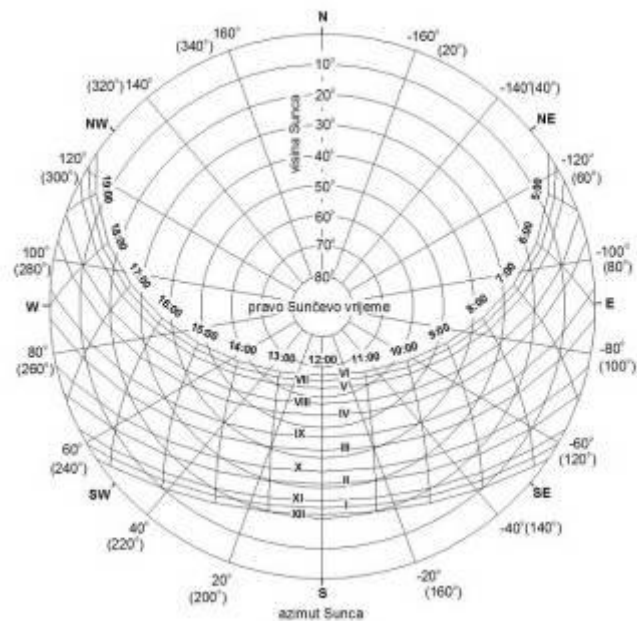
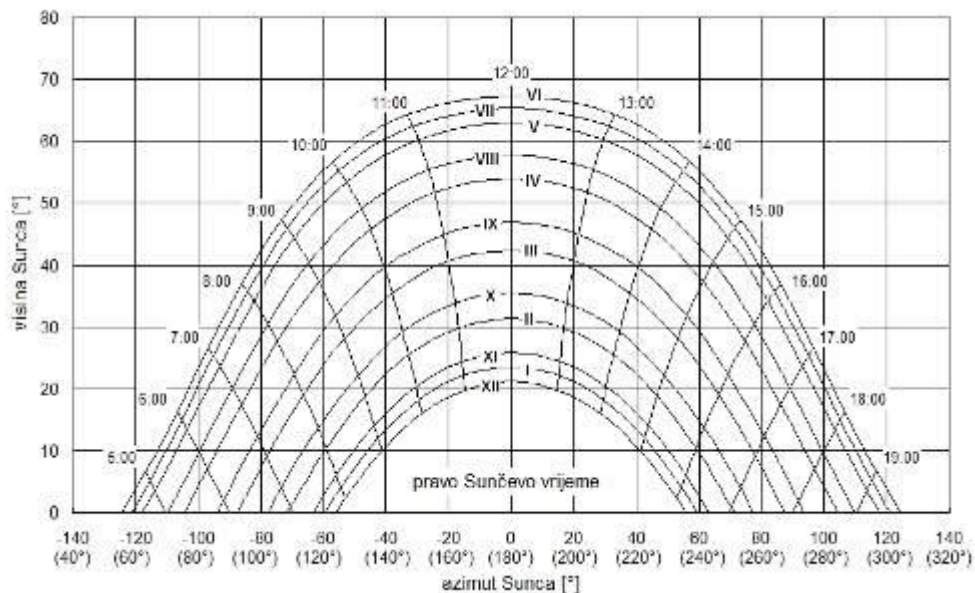
Sunce u 20 minuta dozrači dovoljno energije za pokrivanje svih godišnjih potreba za energijom!

Odnos Sunca i Zemlje

- Revolucija – kruženje Zemlje oko Sunca
 - Promjena deklinacije – promjena kuta upada Sunčevih zraka
 - Uzrokuje godišnja doba i utječe na trajanje dana
- Rotacija – kruženje Zemlje oko vlastite osi
 - Pojava dana i noći
- Zemlja – sfera – neravnomjerno zračenje po površini

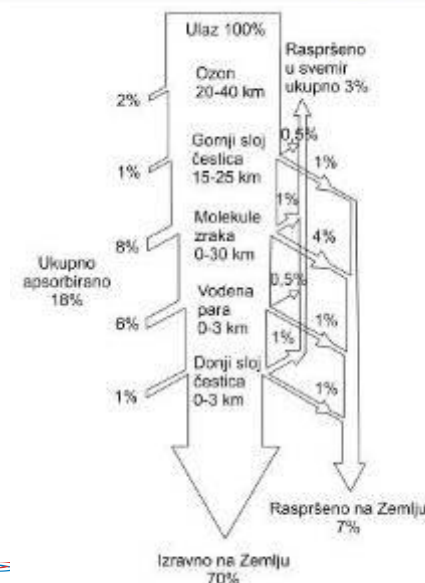
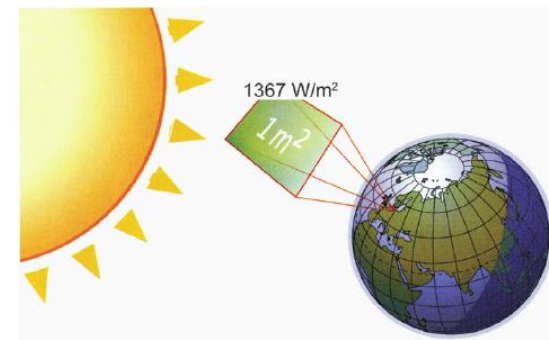


Prividno gibanje Sunca po nebu: Sunčev dijagram



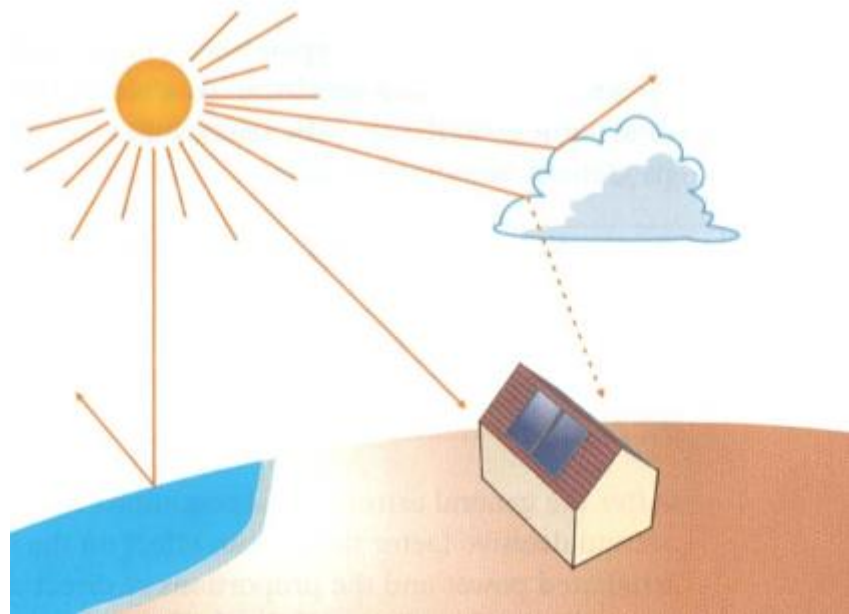
Sunčevo zračenje na granici atmosfere i prolaz kroz atmosferu

- Sunčevo zračenje na gornjoj granici atmosfere
 - Sunčeva konstanta $I = 1367 \text{ W/m}^2$
- Prolazak Sunčevog zračenje kroz atmosferu
 - Apsorpcija
 - Raspršenje



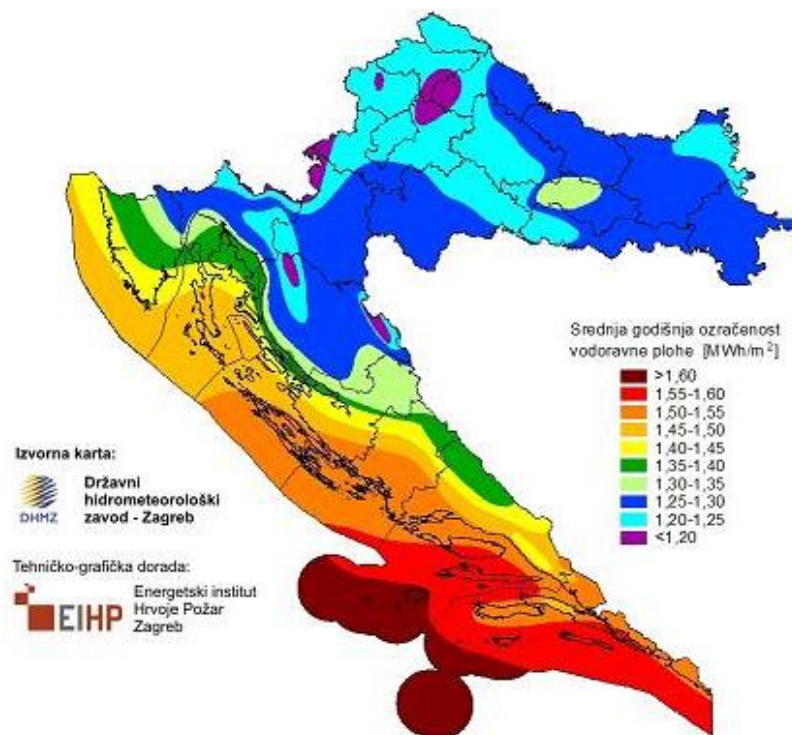
Komponente Sunčevog zračenja (ili: “*Zašto izgorimo u hladu?*”)

- Izravno zračenje – iz prividnog smjera Sunca
- Raspršeno zračenje – raspršenje zračenja u atmosferi, iz svih smjerova neba
- Odbijeno zračenje – odbijeno od tla i vodenih površina
 - Albedo
- Ukupno zračenje – suma svih komponenti



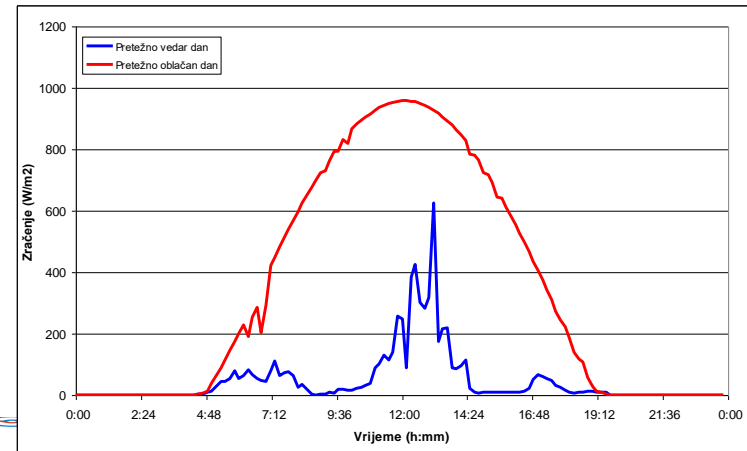
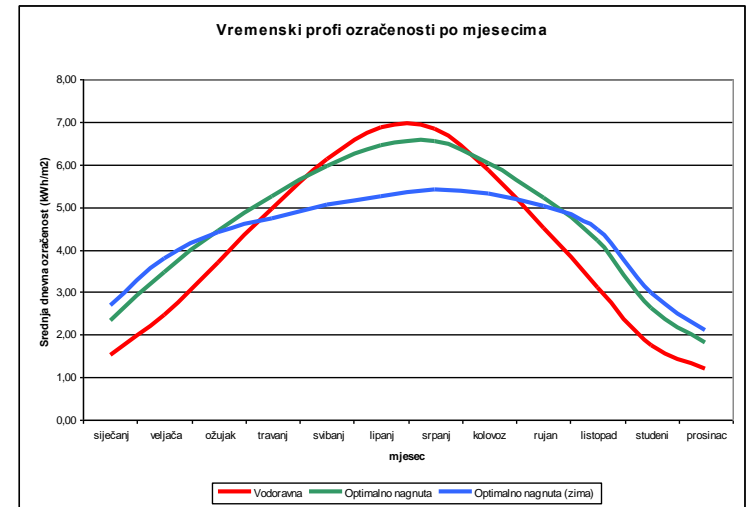
Sunčevo zračenje na području Republike Hrvatske – prostorna distribucija

- Povećanje u smjeru sjever-jug
- Utjecaj linije obale
 - Distribucija modulirana u smjeru SI-JZ
 - Unutrašnjost – relativno uniformna distribucija
- Od 1,55 do 1,20 MWh/m²



Sunčevo zračenje – vremenska distribucija

- Vremenski profil ozračenosti ovisi o nagibu i orijentaciji plohe
- Posljedica prividnog gibanja Sunca
- Profili
 - Godišnji
 - Dnevni

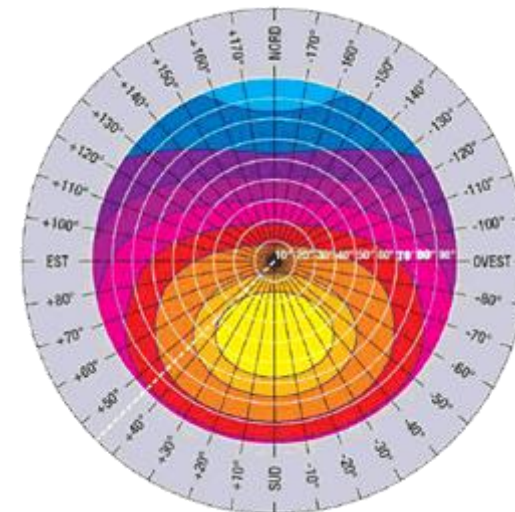


Optimalni nagib plohe

- **Optimalni kut nagiba** – maksimiziranje energetskeg prinosa u određenom razdoblju
- Godišnji – najveći prinos tijekom godine
 - Za područje RH: 25° – 30°
- Sezonski – najveći prinos tijekom sezone
 - Zimski – npr. autonomni FN sustavi, sunčani topl. kolektori
 - Za područje RH: 55° - 60°
 - Ljetni – npr. sunčani toplinski sustavi koji se koriste tijekom ljeta
- **Optimalna orijentacija - jug**

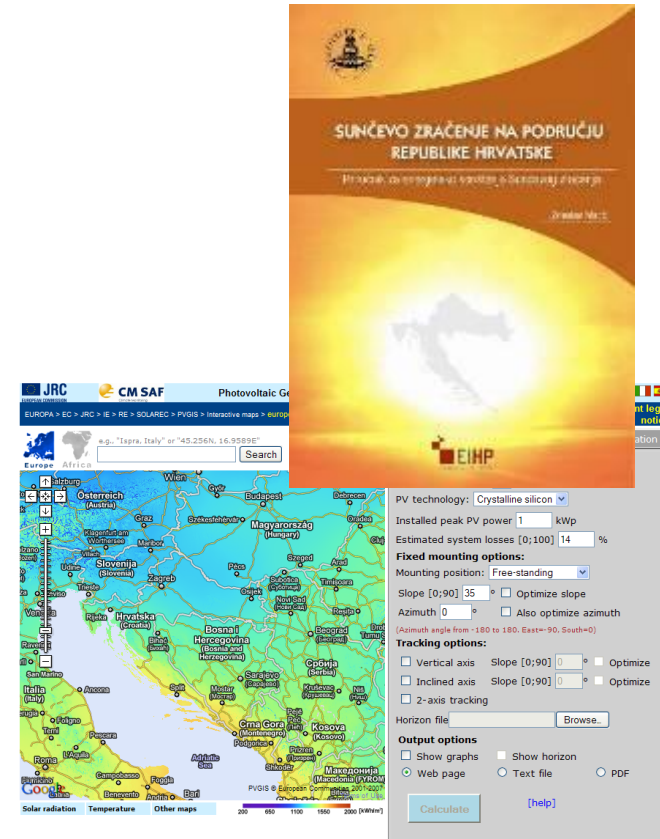
Utjecaj nagiba i orijentacije plohe

- Odstupanjem od optimalne orijentacija smanjuje se energetske prinos
 - Koliko?
- Osjetljivost – cca 5% u području od 10°



Sunčevo zračenje – izvori podataka

- Priručnik za energetska korištenje Sunčevog zračenja
 - Osnova za procjenu potencijala Sunčevog zračenja
 - Procjena komponenta Sunčevog zračenja modelima
 - Podaci za 43 lokacije
 - Godišnje i mjesečne karte ozračenosti
- Europski atlas Sunčevo zračenja
- On-line alati
 - PVGIS: jednostavno sučelje, općeniti podaci
 - <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>



SUNČEVO ZRAČENJE NA PODRUČJU REPUBLIKE HRVATSKE
Priručnik za energetska korištenje Sunčevog zračenja

JRC CM SAF Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)

EUROPA > EO > JRC > IE > RE > SOLARED > PVGIS > Interactive map > Europe

e.g. "Ispra, Italy" or "45.256N, 16.9589E" Search

Europe Africa

Installed peak PV power 1 kWp
Estimated system losses [0;100] 14 %

Fixed mounting options:
Mounting position: Free-standing
Slope [0;90] 35 ° Optimize slope
Azimuth 0 ° Also optimize azimuth
(Azimuth angle from -180 to 180, East=+90, South=0)

Tracking options:
 Vertical axis Slope [0;90] ° Optimize
 Inclined axis Slope [0;90] ° Optimize
 2-axis tracking

Horizon file Browse...

Output options
 Show graphs Show horizon
 Web page Text file PDF

Calculate [help]

Načini energetskeg korištenja Sunčevog zračenja

- Pasivno korištenje – arhitektura
- Toplinska energija – sunčani toplinski sustavi
 - Priprema potrošne tople vode
 - Podrška grijanju
 - Zagrijavanje bazenske vode
- Proizvodnja električne energije
 - Fotonaponski sustavi
 - Elektrane s koncentriranjem Sunčevog zračenja
- Hlađenje pomoću Sunčevog zračenja



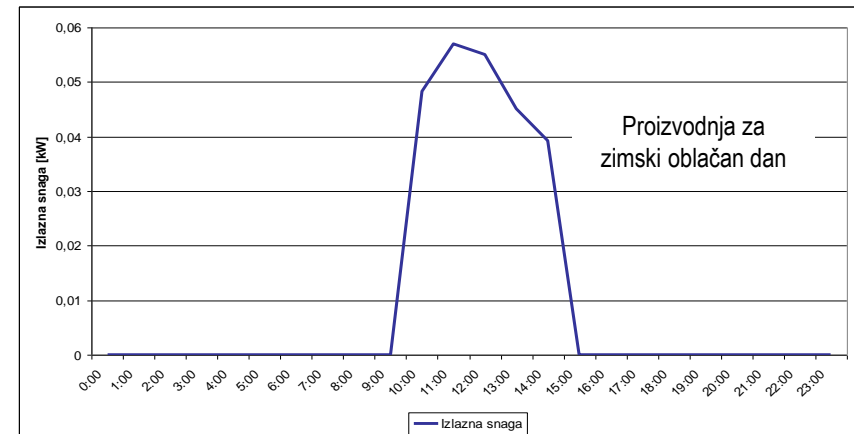
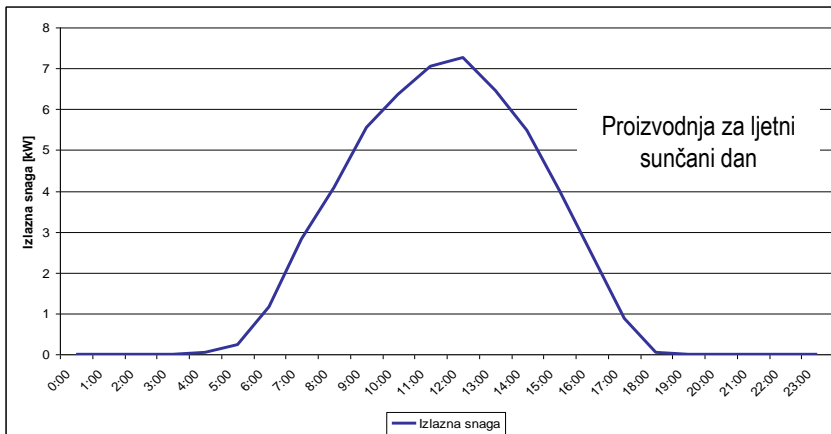
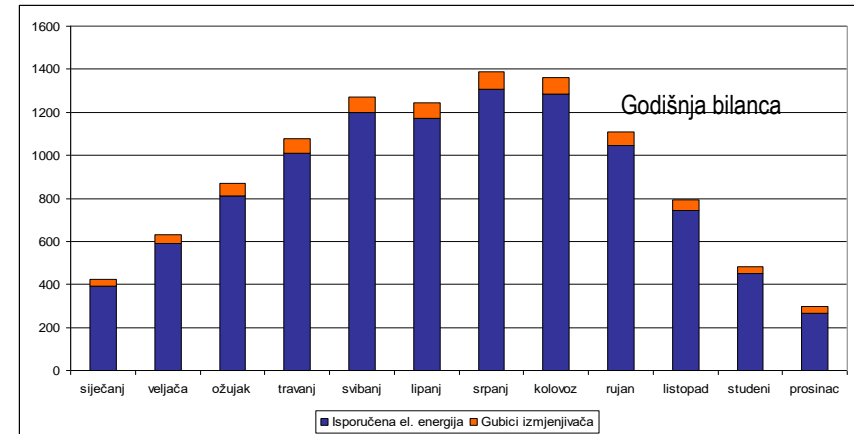
Utjecajni faktori na proizvodnju el. energije

- Lokacija
- Nagib i orijentacija
- Zasjenjenja
- Temperatura
- Tehnologija modula
- Konfiguracija sustava



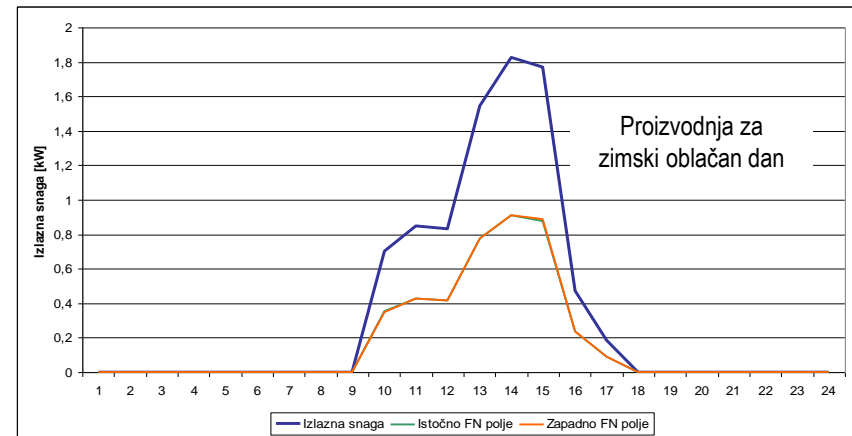
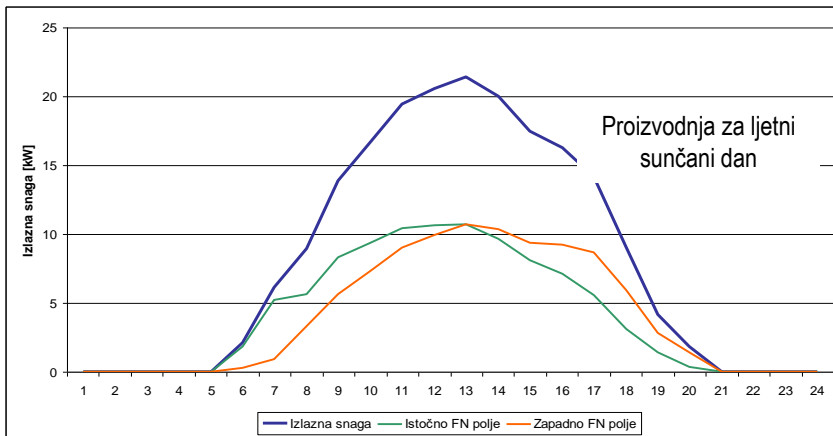
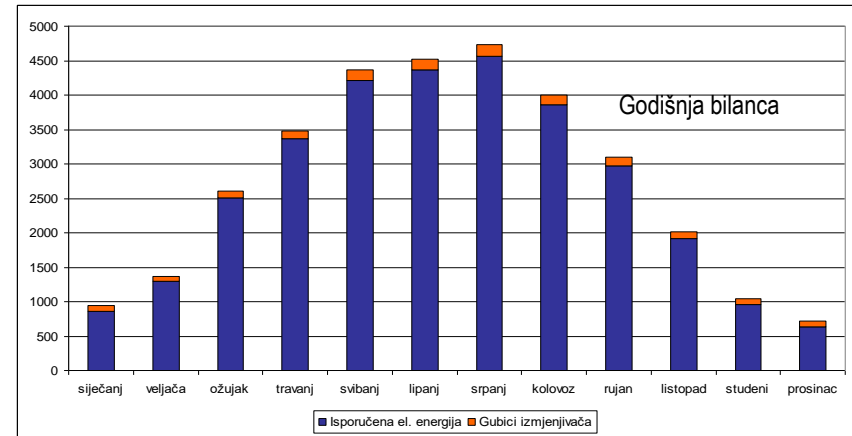
Primjer proizvodnje el. energije: Zagreb, 30°, Jug, 9,9 kW

Snaga FN polja	9,9 kW
Snaga izmjenj.	10 kW
Proizvodnja	10268 kWh
Proizvodnost	1037 kWh/kW



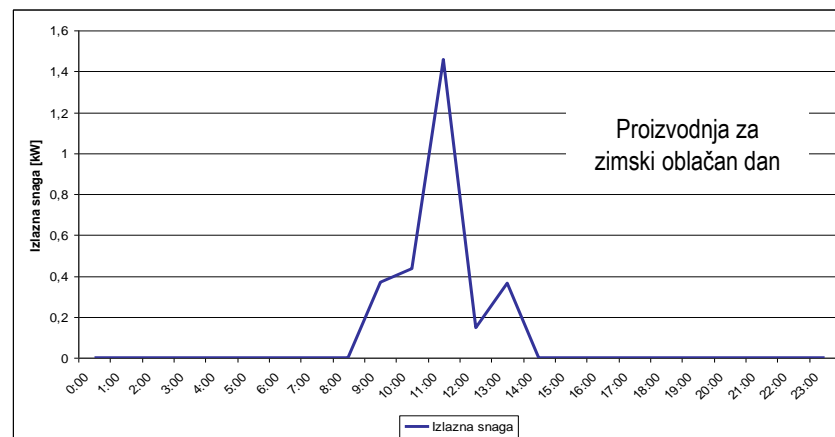
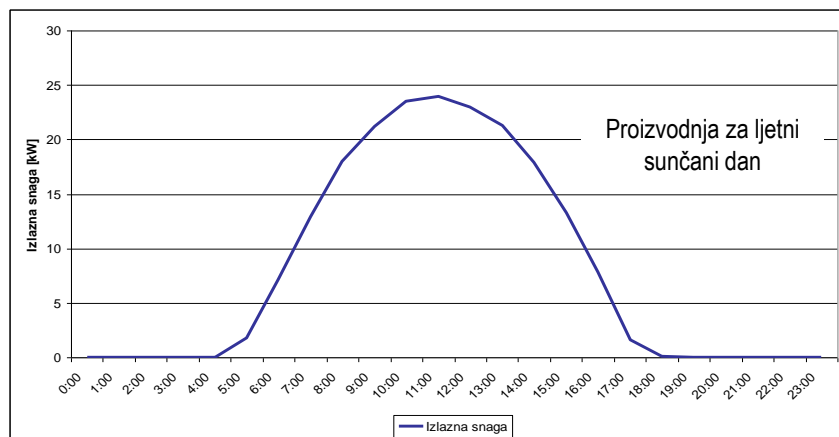
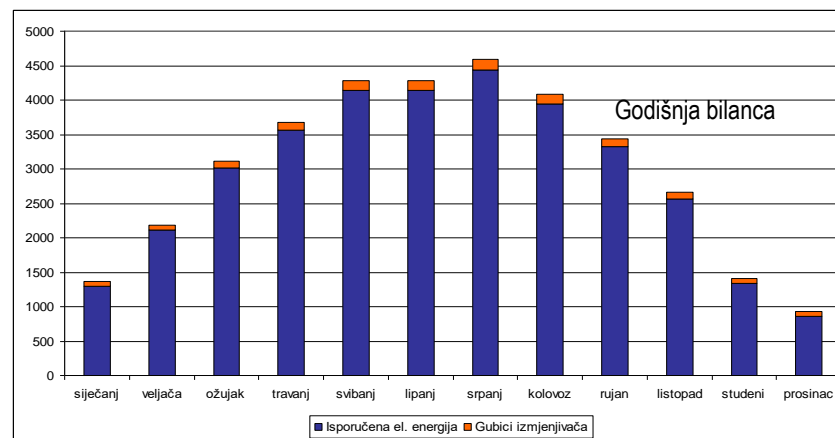
Primjer proizvodnje el. energije: Zagreb, 9°, Istok i zapad, 30 kW

Snaga FN polja	33,12 kW
Snaga izmjenj.	30 kW
Proizvodnja	31518 kWh
Proizvodnost	951 kWh/kW



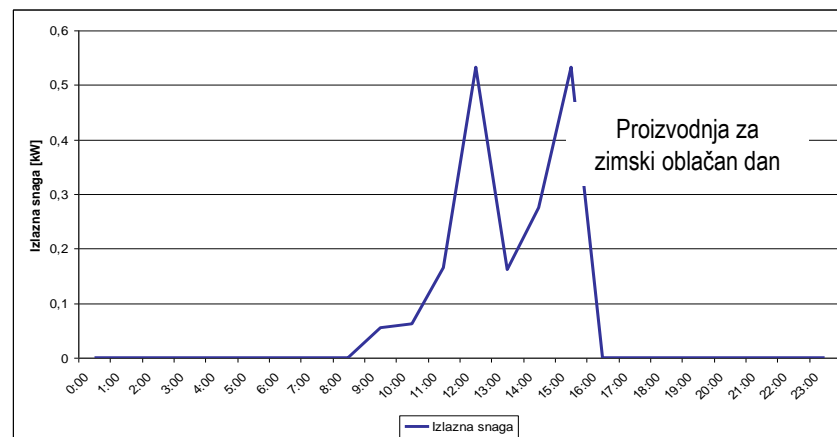
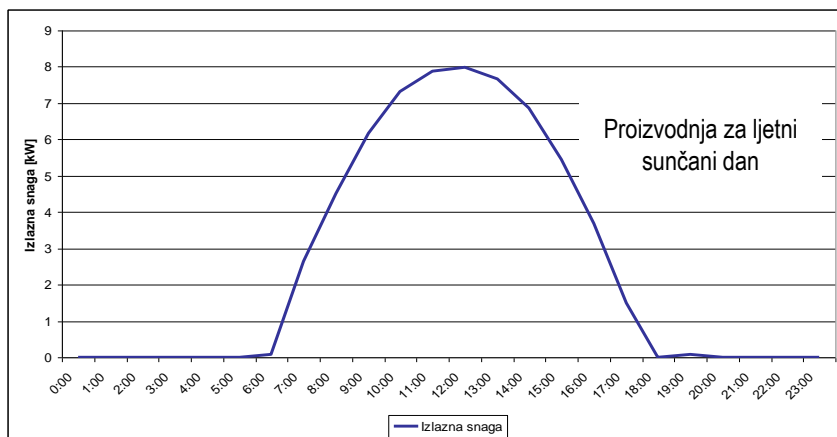
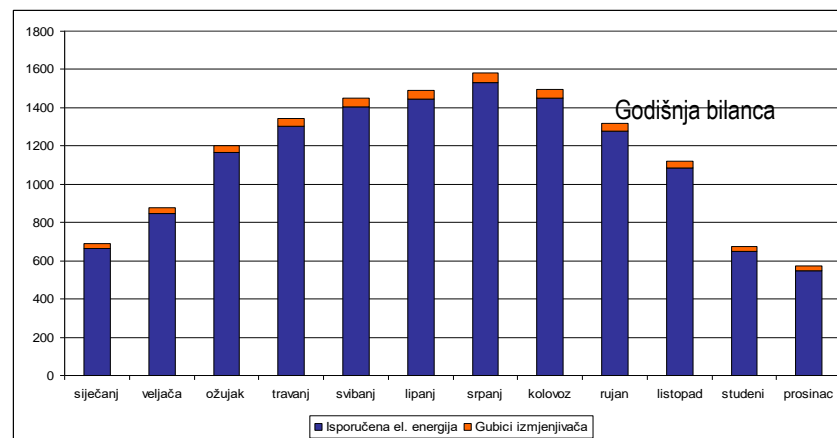
Primjer proizvodnje el. energije: Krk, 25°, Jug, 29,6 kW

Snaga FN polja	29,6 kW
Snaga izmjenj.	30 kW
Proizvodnja	34746 kWh
Proizvodnost	1173 kWh/kW



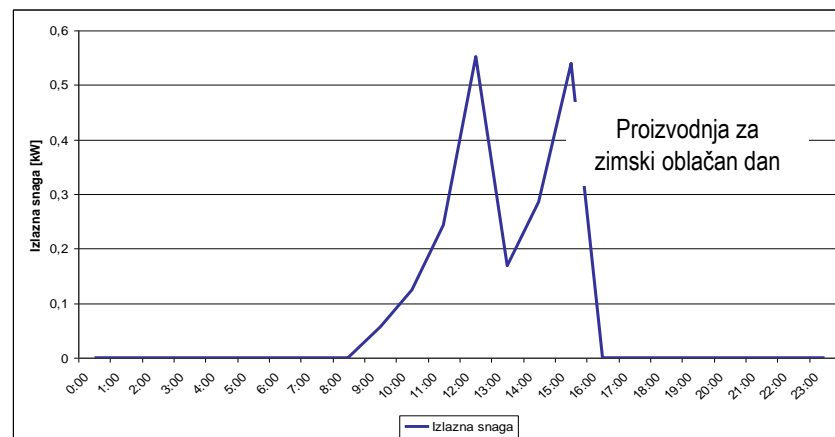
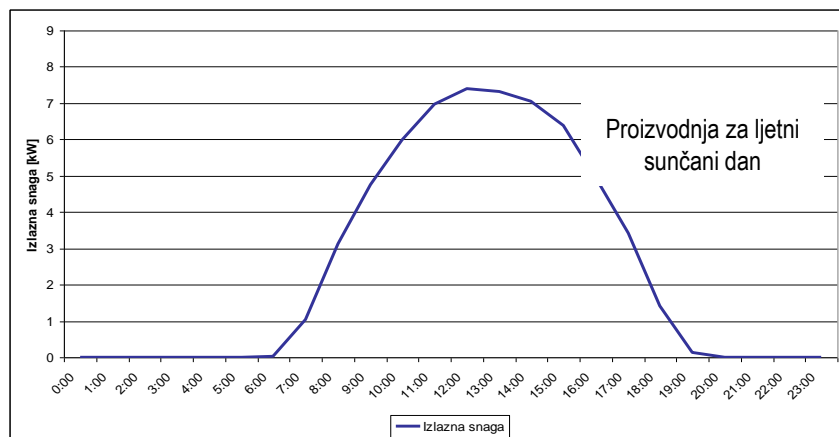
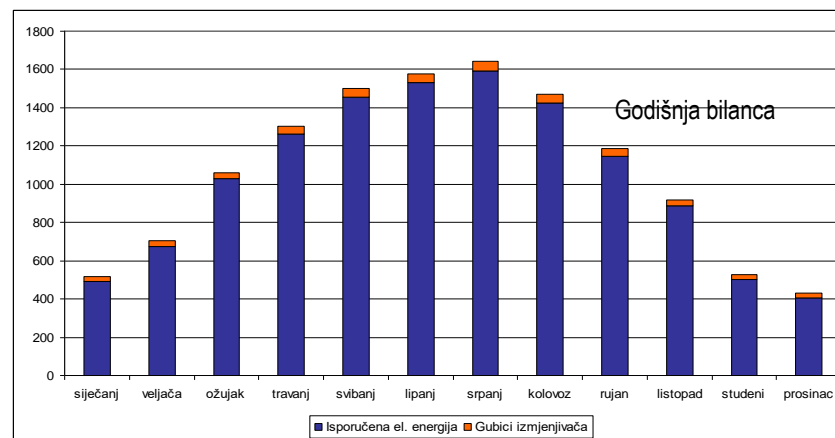
Primjer proizvodnje el. energije: Dubrovnik, 30°, Jug, 9,88 kW

Snaga FN polja	9,88 kW
Snaga izmjenj.	10 kW
Proizvodnja	13375 kWh
Proizvodnost	1353 kWh/kW



Primjer proizvodnje el. energije: Dubrovnik, 20°, Jugozapad, 10 kW

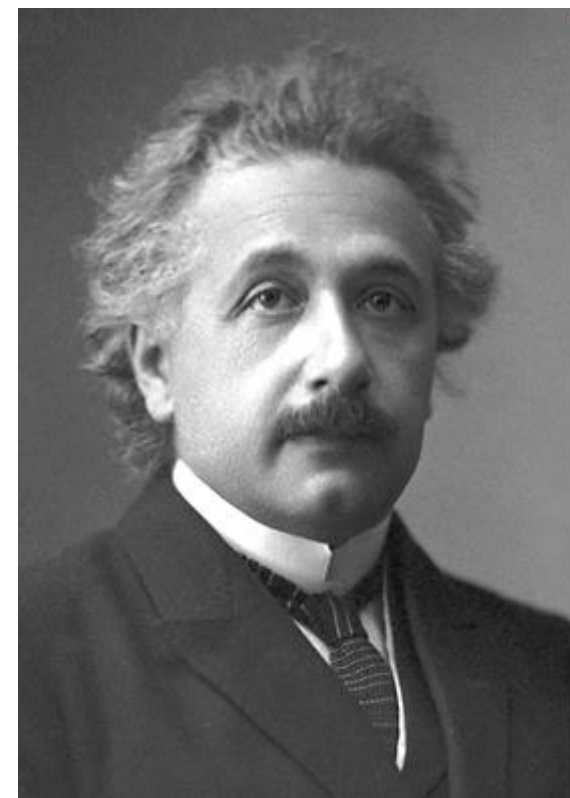
Snaga FN polja	9,88 kW
Snaga izmjenj.	10 kW
Proizvodnja	12402 kWh
Proizvodnost	1255 kWh/kW



Mala provjera naših znanja ...

Vjerojatno najpoznatiji i najpopularniji znanstvenik dvadesetog stoljeća, Albert Einstein, 1922. godine dobio je Nobelovu nagradu za fiziku, koja mu je dodijeljena za:

1. Postavljanje opće teorije relativnosti
2. Objašnjenje fotoelektričkog efekta
3. Postavljanje Bose-Einsteinove statistike



Fotonaponski efekt

- Generiranje nosioca električnog naboja (elektrona) u poluvodičkom materijalu pod djelovanjem svjetla (fotona)
- Foton je kvant energije:

$$E = h \cdot f$$

- Elektron će se generirati ako je energija fotona veća od energije vezanja od energije tzv. zabranjenog pojasa
- Samo dio energije fotona se predaje elektronu
 - Fotoni valne duljine manje od granične ne mogu generirati elektron

Sunčana ćelija

- Osnovni i najmanji element FN sustava
 - Poluvodički materijal – p-n spoj
- Najčešći materijal: silicij
- Tipične veličine:
 - Napon: ~ 0,5 V
 - Struja: ~ 6 A
 - Površina: 6 x 6 inča (~ 15 x 15 cm)
- “*Busbar*” – rešetka za “sakupljanje” elektrona na površini ćelije



Tehnologije sunčanih ćelija

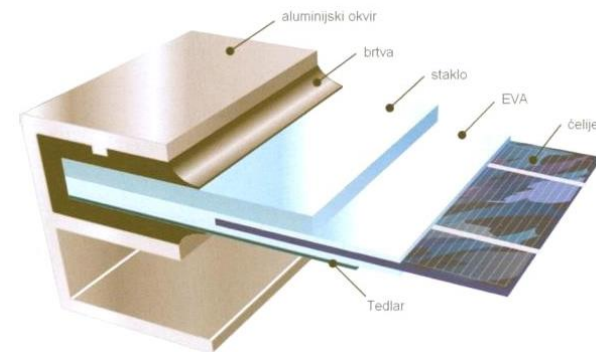
Commercial Module Efficiency

Technology	First generation: Crystalline Silicon		Second generation: Thin Film				Third generation PV	
	Mono	Multi	a-Si	CdTe	Cl(G)S	a-Si/μc-Si	CPV	DSSC/OPV
								
Cell efficiency	16-22%	14-18%	5.4-7.7%	9-11.1%	7.3-12.7%	7.5-9.8%	30-38%	2-4%
Module efficiency	13-19.7%	11-15%					~25%	
Area Needed per KW (for modules)	~7m ²	~8m ²	~ 15 m ²	~ 10m ²	~ 10m ²	~12m ²		

Source: Strategic Research Agenda (2011), Photon international (February 2011), EPIA analysis
Efficiency based on Standard Test Conditions (STC).

Fotonaponski moduli

- Serijsko (i paralelno) povezivanje sunčanih ćelija u gotov (iskoristiv) uređaj
- Serijski spoj ćelija – 36, 48, 72 ćelije...
- Snage: 100 – 300 W
- Kaljeno staklo posebnih svojstava
 - Visoka propusnost svjetla
 - Nizak stupanj refleksije
- Aluminijski okvir
- Enkapsulacijska plastika – EVA
- Zaštitna plastika
- Priključna kutija sa zaštitnim diodama



Fotonaponski moduli: certificiranje i primjenjenje norme

- FN moduli na tržištu moraju biti ispitani prema sljedećim normama:
- Kvaliteta FN modula
 - IEC 61215:2005 za module bazirane na sunčanim ćelijama iz kristaličnog silicija
 - IEC 61646:2007 za tankoslojne module
- Sigurnost pri rukovanju s modulom EN IEC 61730:2007
- EN 50380:2003 – učinkovitost modula

Fotonaponski moduli – učinkovitost & proizvodnja

- Učinkovitost – definirana pri Standardnim uvjetima ispitivanja deklariranom **snagom** FN modula
 - Do 20% na razini modula, ovisni o tehnologiji
 - Definirana stupanj pretvorbe **energije Sunčevog zračenja u električnu energiju**
 - Definira konačne **dimenzije** FN modula, odnosno omjer W/m^2
- Proizvodnja električne energije (gledano po jedinici snage, vatu) **ne ovisi** o učinkovitosti modula
- Cijene modula se izražavaju po jedinici snage (€/W)
- Izbor modula: odnos očekivane proizvodnje i cijene

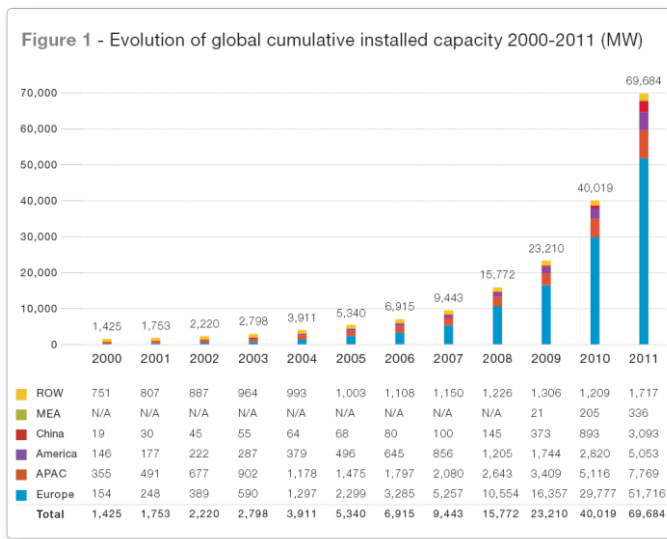
Fotonaponski sustavi

- **Proizvodnja električne energije**
- **Autonomni sustavi**
 - Vlastite potrebe – u kombinaciji s ostalim izvorima (mali vjetroagregat)
 - do 10-ak kW
- **Mrežno vezani sustavi**
 - Isporuka **ukupno proizvedene električne energije** u mrežu
 - Par kW – 10 MW
 - Poticaji za proizvodnju električne energije



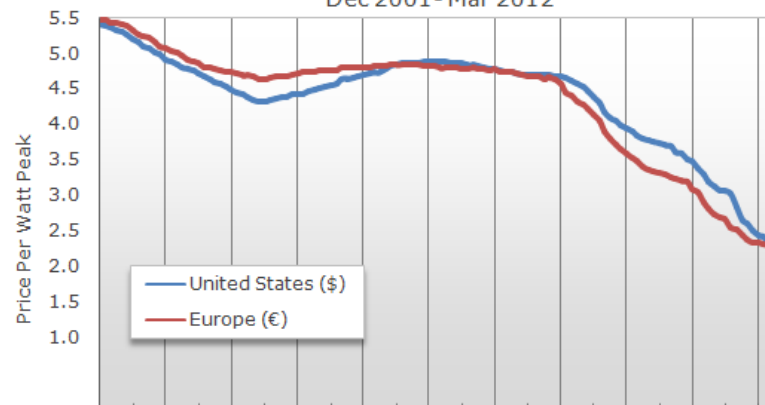
Stanje tržišta

- Tržište fotonapona jedno od tržišta s najvećim stopama rasta
- Ukupno instalirani 2011: 70 GW
 - Od toga: 30 GW u 2011.
 - 51 GW u Europi
 - 22 GW instalirano u 2011.
 - **Od toga u HR?**
- Krivulja učenja → pad cijena



Izvor: EPIA

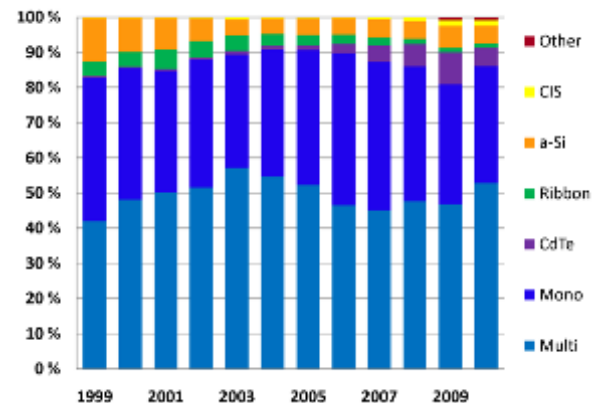
NPD Solarbuzz Retail Module Price Index
Dec 2001 - Mar 2012



Izvor: SolarBuzz

Stanje tržišta - tehnologije

- Povijesno dominantna tehnologija
 - kristalični silicij
- Razvoj tankoslojnih modula
 - Manja količina materijala
 - Mogućnosti izrade fleksibilnih FN modula
 - Integracija u građevine
- Treća generacija
 - Organske sunčane ćelije
 - Sunčane ćelije sintentizirane u premazu



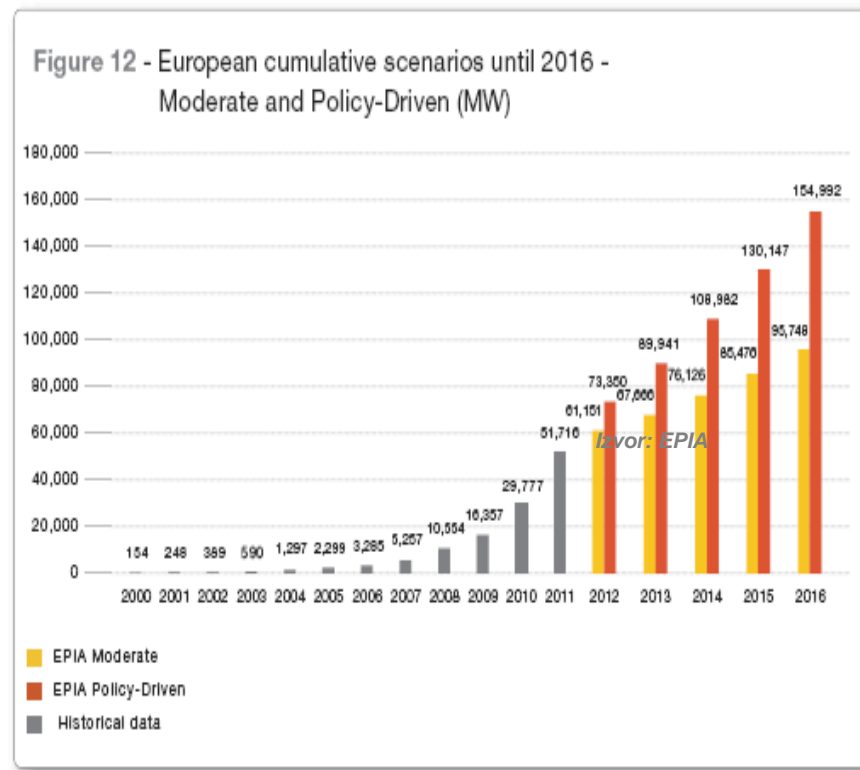
Izvor: Wikipedia



Izvor: NREL

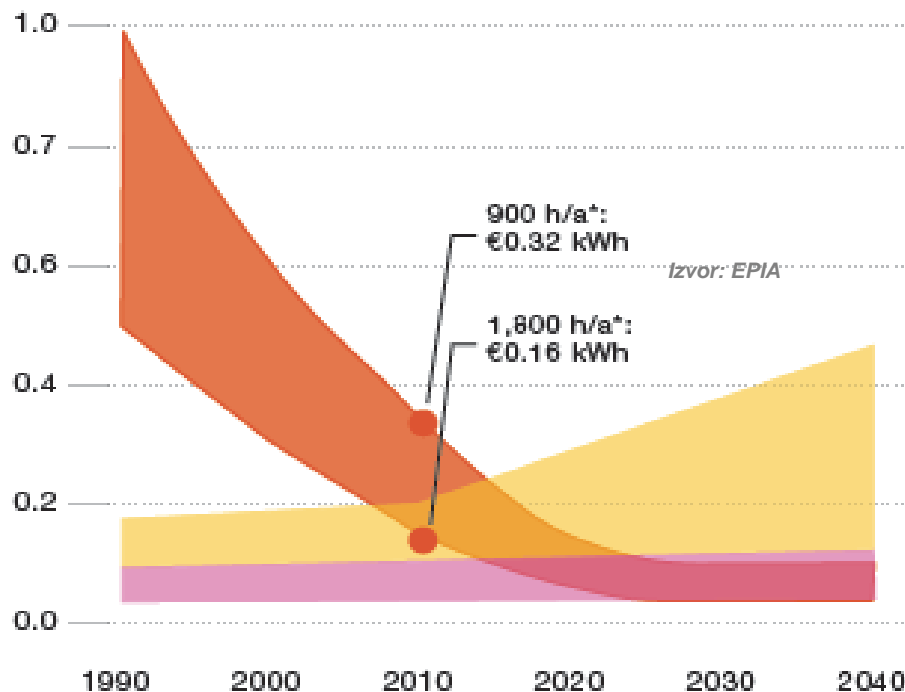
Očekivana kretanja tržišta

- Predviđanja EPIA
 - Cca. 100 GW in Europe until 2016
 - **25%** el.energije u 2030?
- Očekivani razvoj tehnologije
 - Smanjivanje proizvodne cijene modula
 - Korištenje novih materijala



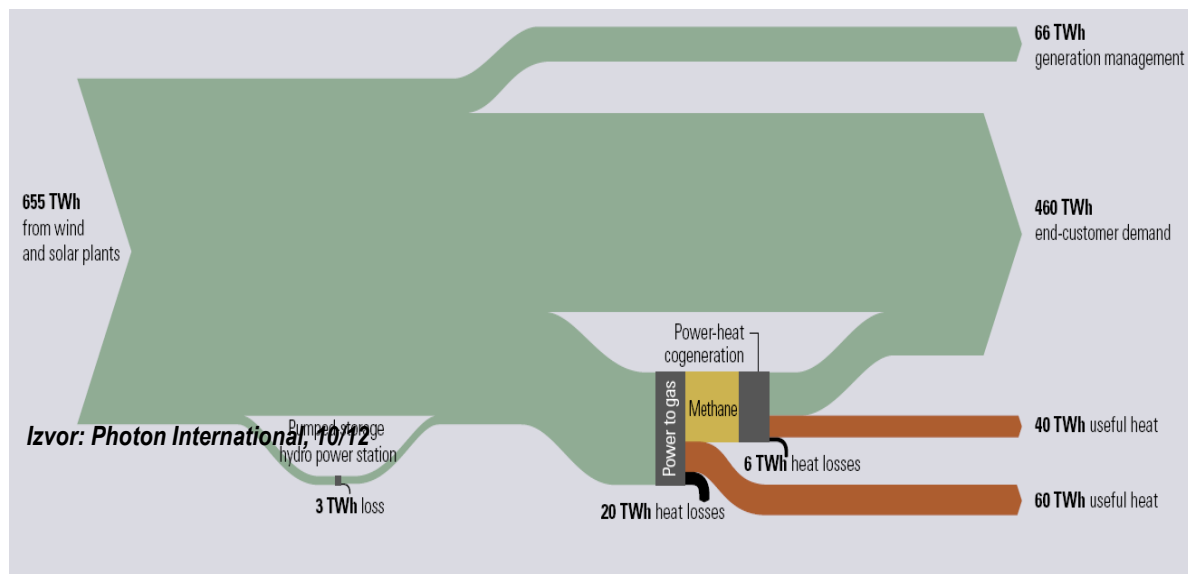
Zaključak

- Smanjenje cijene → smanjenje potrebe za poticajima
 - Na cijenu FN modula utječu i cijene sirovina (silicij, srebro) i energije koje su u stalnom porastu
- Rast cijene el. energije – *grid parity* u bližoj budućnosti
- Razvoj elektroenergetskog sustava – **smart grids**
- **Je li je društvo s “0” emisije stakleničkih plinova moguće?**



Njemačka – case study

EES samo s obnovljivim izvorima energije?



- Studija provedena od strane Photon International-a
- Dvostupanjska pohrana
 - Mali udio reverzibilnih hidroelektrana
 - “Power-to-gas” pohrana energije

Osvrt na stanje u Hrvatskoj

- Potrebno je postaviti **konkretne ciljeve!**
 - Definirati koliko i koji tipovi sustava će se poticati
- Nužno jasno i transparentno definiranje procedure, koraka, dokumentacije i aktivnosti
- Potrebno usvojiti certifikacijsku shemu za instalatere
- Promocija i obrazovanje ciljanih grupa



Hvala na pozornosti!



Kontakt:

Andro Bačan

Energetski institut Hrvoje Požar

Tel: + 385 1 6326 158

E-mail: abacan@eihp.hr

Web: www.eihp.hr