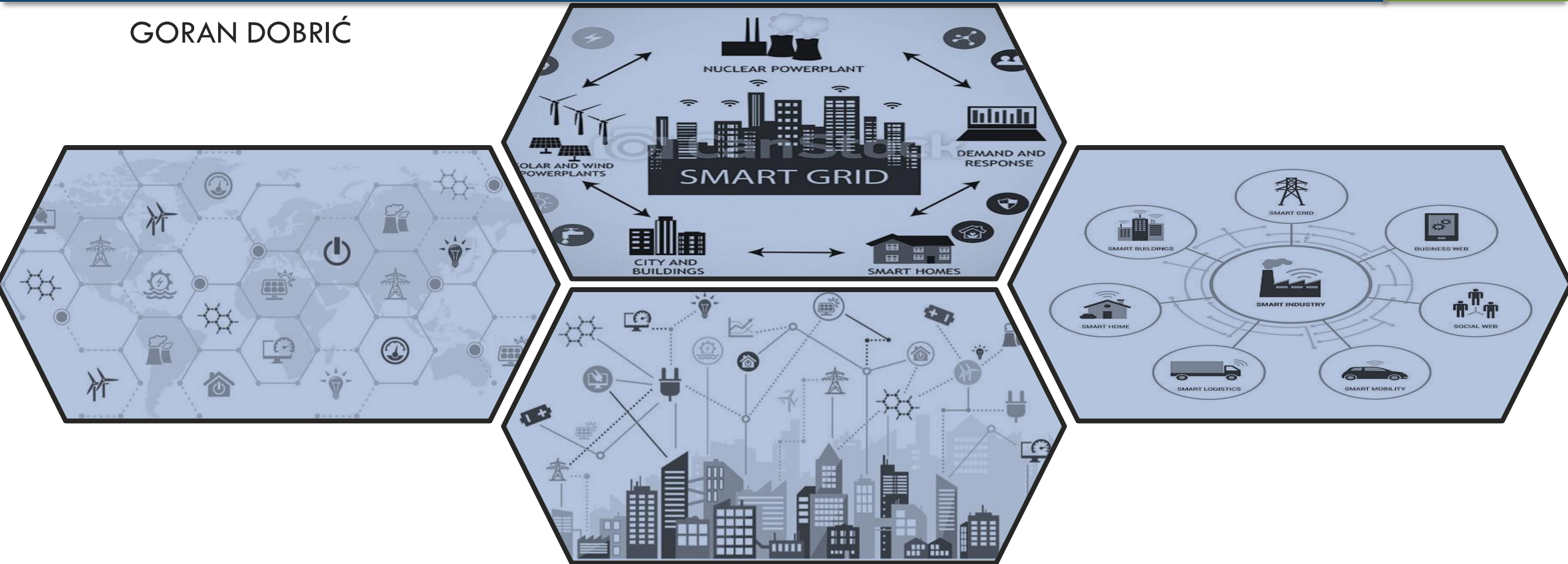


# INTELIGENTNE ELEKTROENERGETSKE MREŽE



ETF  
BEOGRAD

GORAN DOBRIĆ



# Sadržaj predmeta



- Inteligentne mreže (IEM) – Smart Grid (SG)

- Osnovni alati u IEM

- **Distribuirani resursi**

- Uloga potrošača u IEM

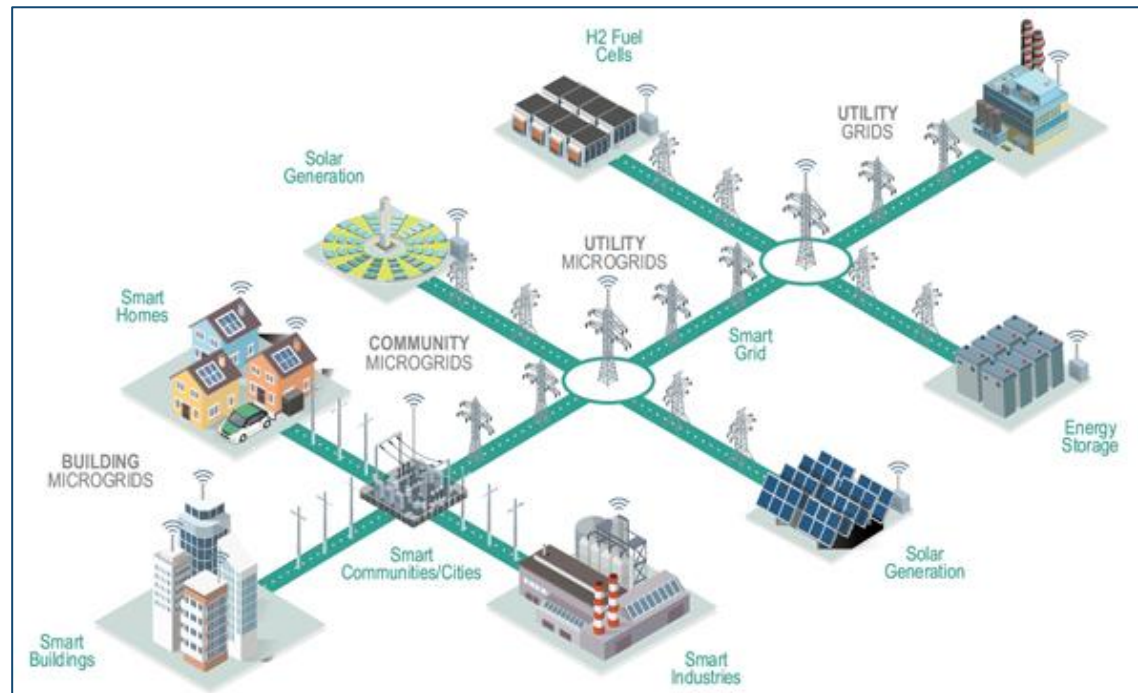
- Merne strukture u IEM

- Komunikacija u IEM

- Sigurnost i bezbednost IEM

- Ekonomija i tržište u IEM

- Inteligentne mikromreže



- **Obnovljivi izvori**

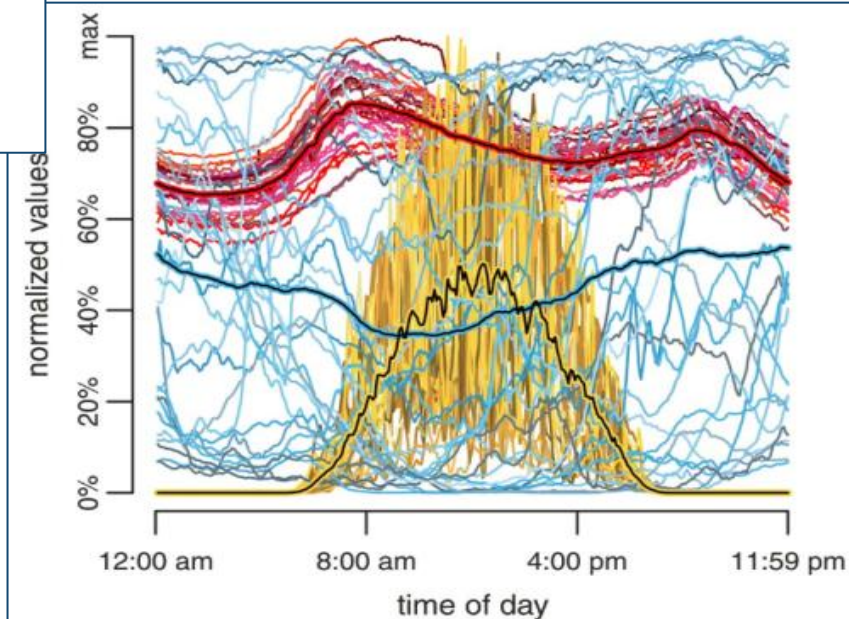
- **Skladištenje električne energije**

- **Prozumeri (Prosumers)**

- **Intermitentnost**

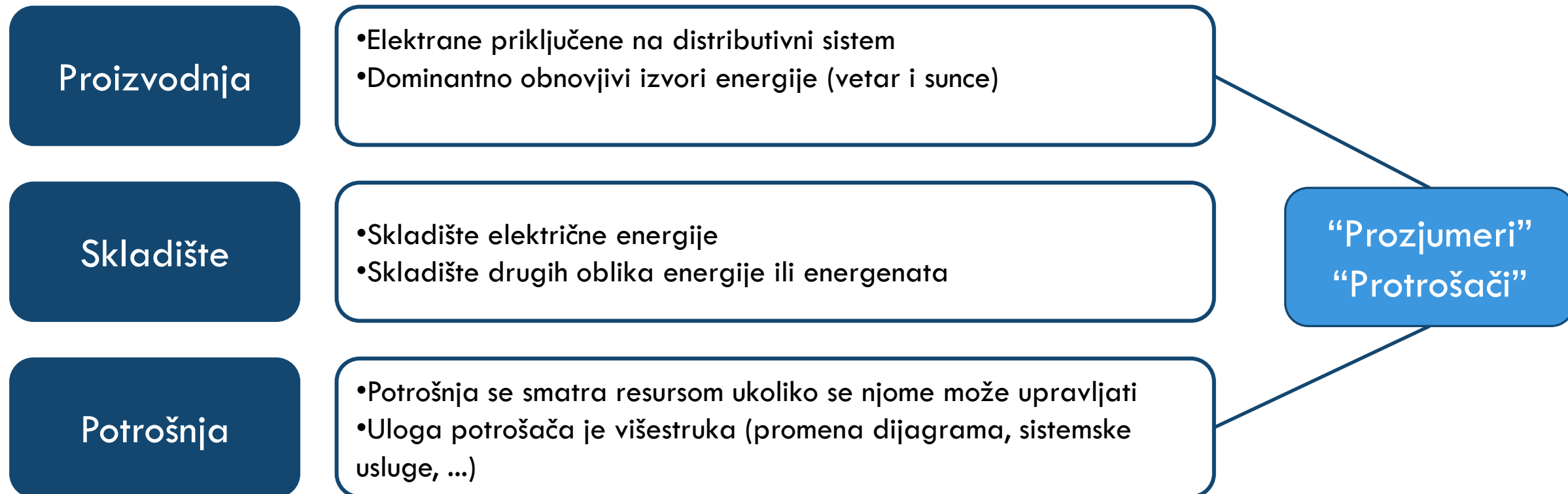
- **Mikromreže**

- **CO2**





## Tri su osnovne grupe distribuiranih resursa





## Podela prema nameni

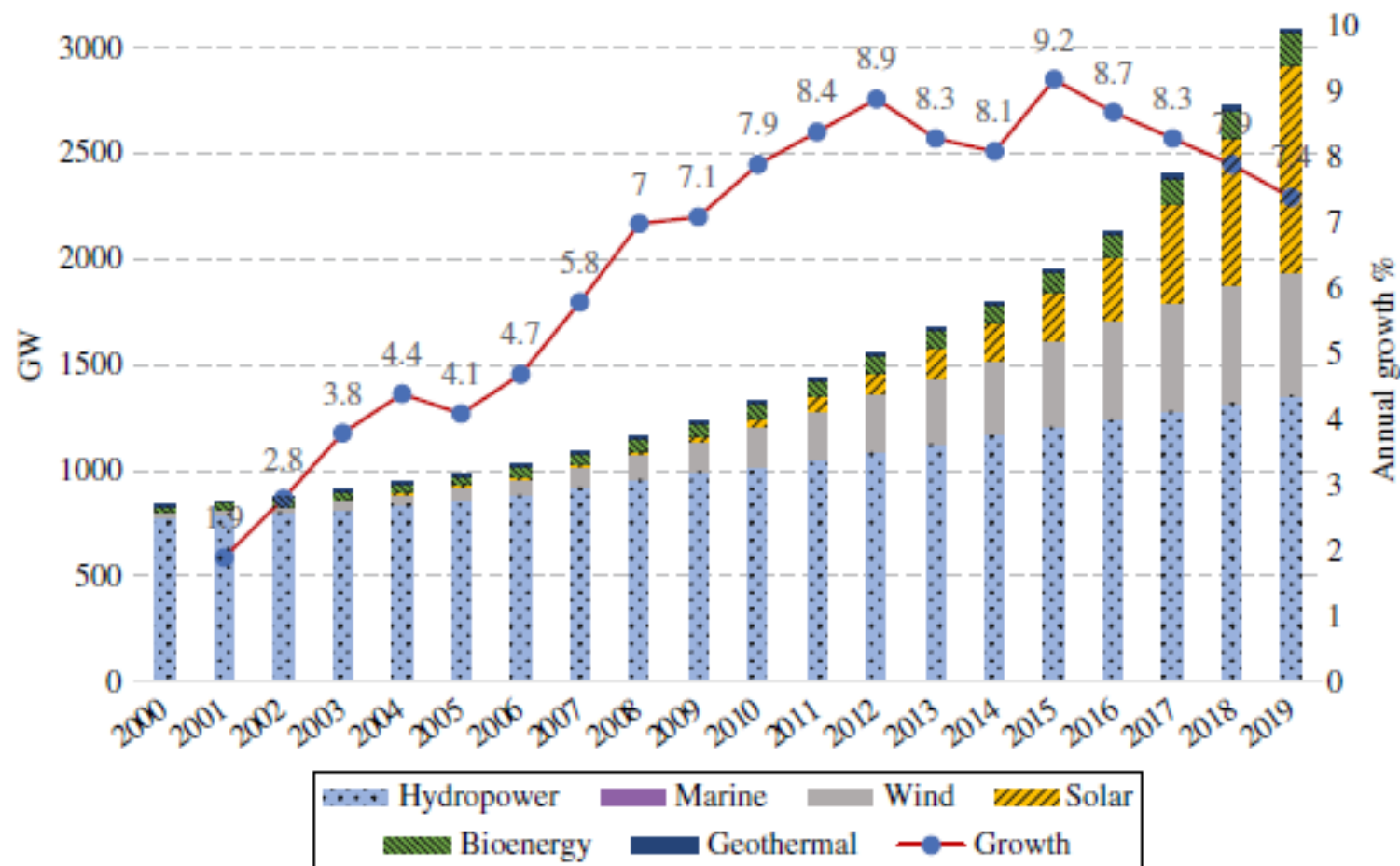
- Rezervno napajanje
- Autonomni izvori
- Napajanje udaljenih i ruralnih potrošača
- Kogeneracija (toplotna i električna energija) - CHP
- Pokrivanje vršnog opterećenja
- Pokrivanje baznog opterećenja

## Podela prema vrsti energenata

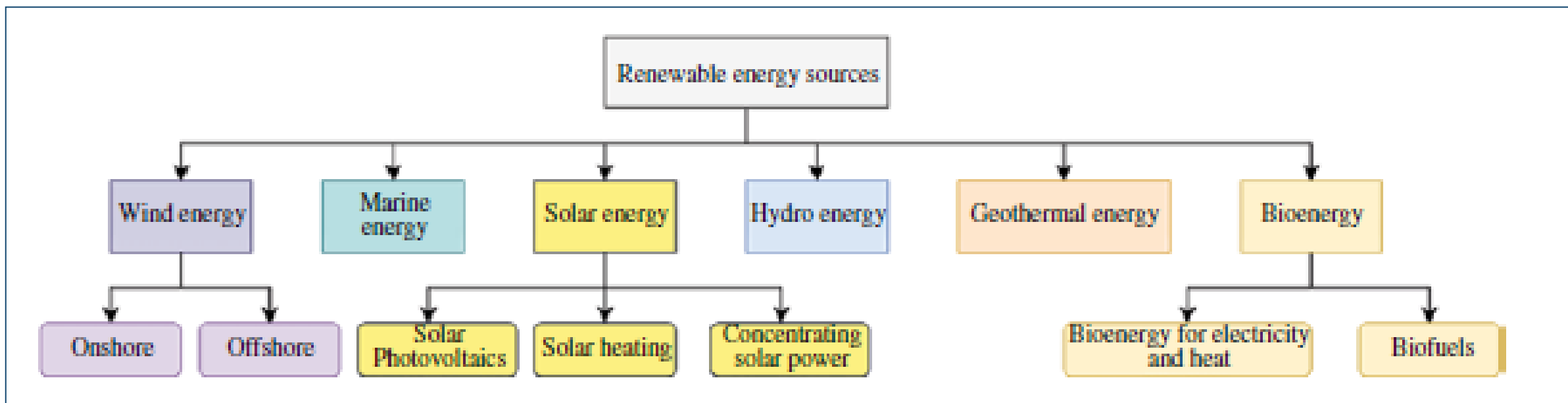
- Obnovljivi izvori:
  - Vetroelektrane
  - Solarne elektrane (PV, PV/T, CSP, CPV)
  - Male i mini hidroelektrane
  - Gorivne ćelije
  - Druge (plima i oseka, talasi, biogorivo,...)
- Neobnovljivi izvori:
  - Gasne elektrane
  - Dizel agregati



## Ukupni instalisani kapacitet obnovljivih izvora [GW]



Godinama unazad se smanjuje trend rasta obnovljivih izvora??!



## Najveći deo obnovljivih izvora energije vodi poreklo od Sunca

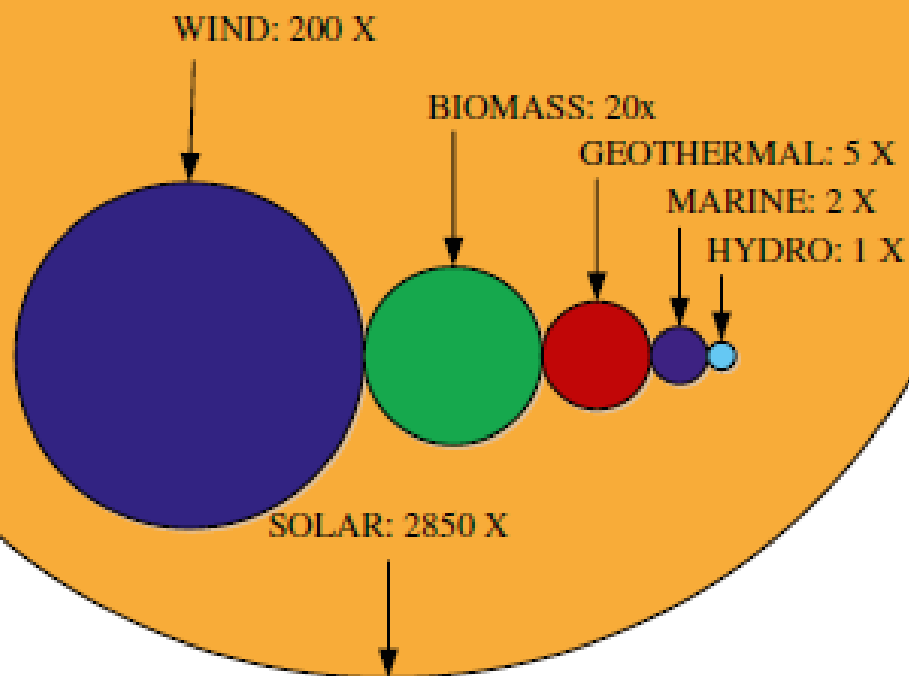
- Direktno od sunca (termalna, foto-hemijska, foto-naponska)
- Indirektno od sunca (vetar, hidro, bio-masa)





RENEWABLE ENERGY SOURCES HAVE THE POTENTIAL TO PROVIDE 3078 TIMES THE CURRENT GLOBAL ENERGY NEEDS

ENERGY RESOURCES OF THE WORLD



## 3000

Obnovljivi izvori imaju potencijal 3000 puta veći od potreba za energijom.

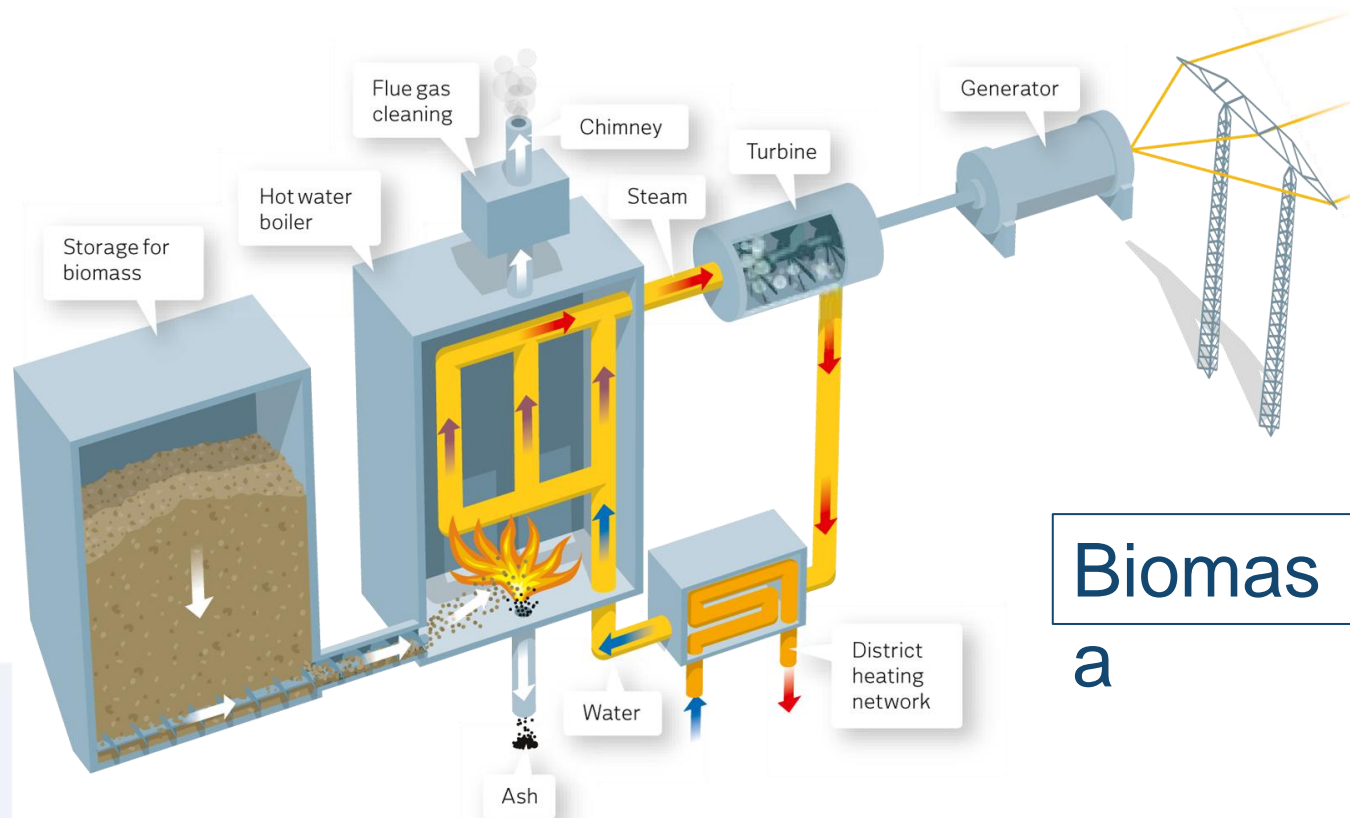
## 24 = 8

U toku dana energija koja stigne sa Sunca je dovoljna da pokrije potrebe za energijom za narednih 8 godina.

## Bio-gorivo

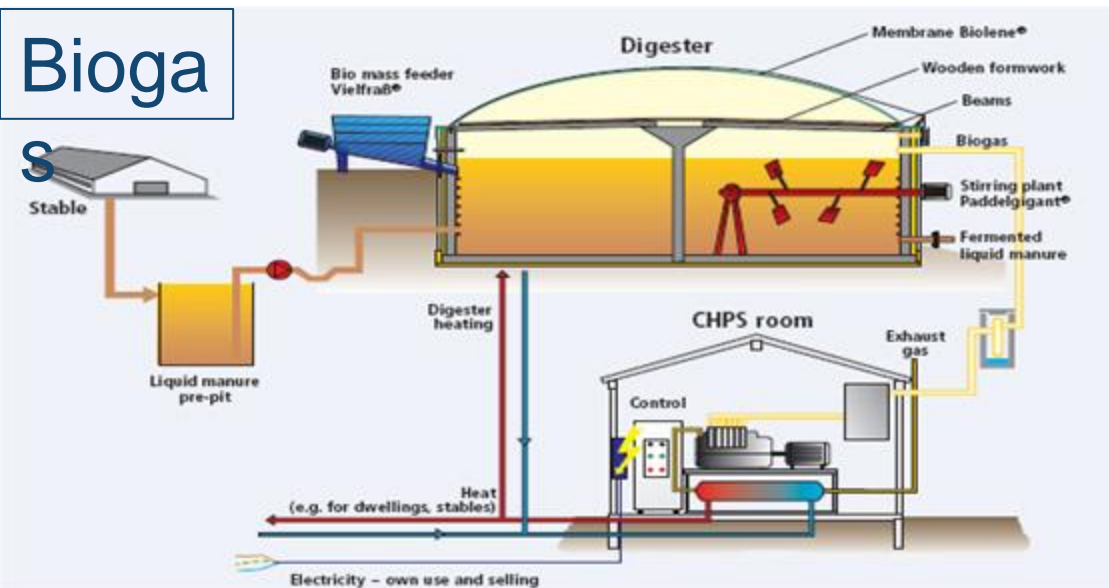
### Prednosti

- Smanjena emisija GHG
- Smanjena zavisnost od fosilnih goriva
- Povećanje energetske sigurnosti



Biomasa

### Bioga



### Mane

- Emisija CO2 sagorevanjem
- Uticaj na zemljište i okolinu





## Geotermalna energija

### Podela prema temperaturi

Visoke – preko 180°C

Srednje – od 100°C do 180°C

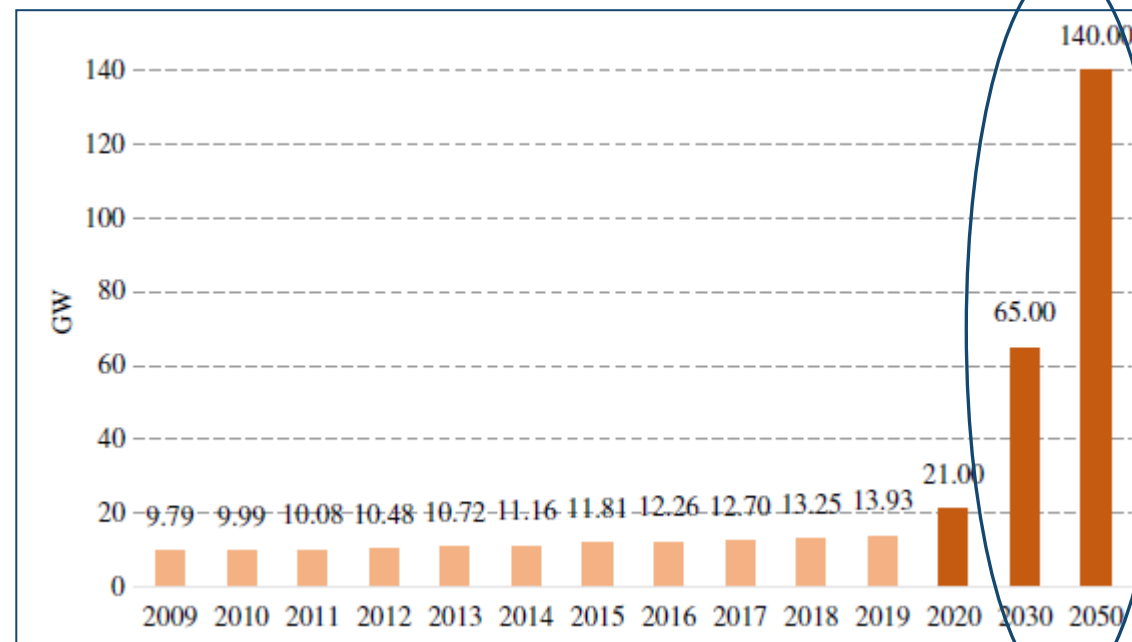
Niske – ispod 100°C

### Prednosti

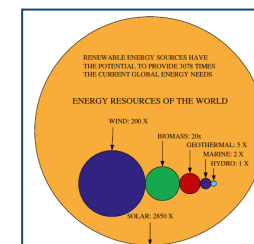
- Ekologija
- Ekonomija

### Mane

- Ograničeno lokacijom



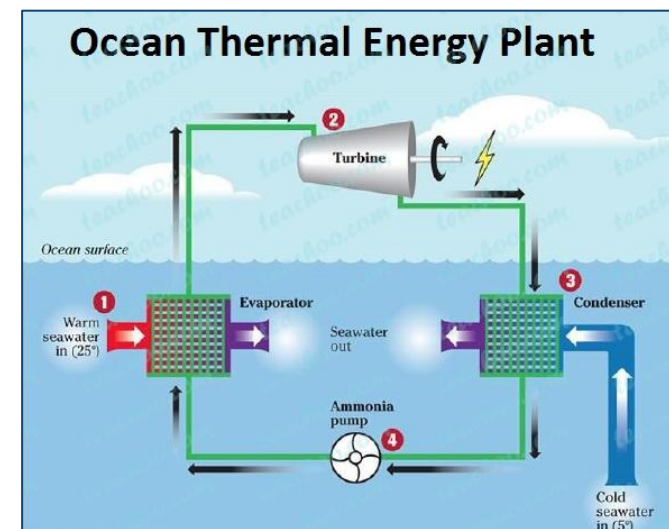
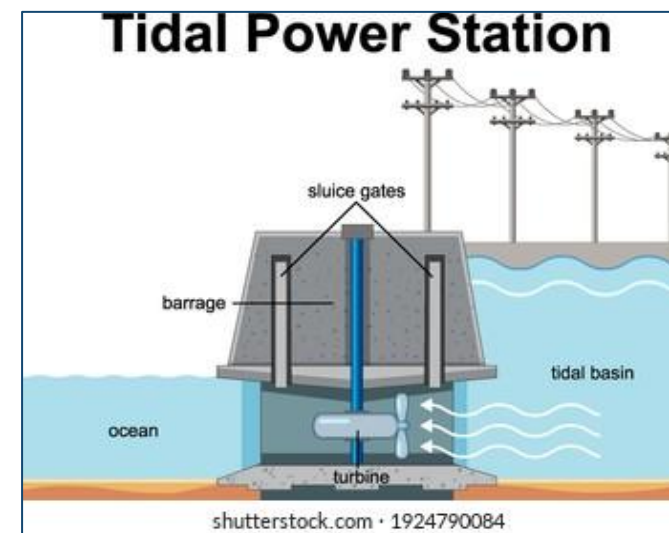
Globalni instalisani kapacitet



## Energija mora

- Morske struje
- Plima i oseka
- Talasi
- Konverzija termalne energije okeana (OTEC)
- Gradient saliniteta

Elektrane na energiju mora predstavljaju neograničen izvor energije, a velika većina ima visok stepen kontrolabilnosti i mogućnost skladištenja.



## Gorivne ćelije

Proizvodnja električne energije dovodom vodonika  
kiseonika

- Distribuirane elektrane
- Električna vozila (FCEV)
- Skladište energije (elektroliza)



**4 min**  
**500**  
**km**



**1**  
**MW**



## Solarna energija

### Fotonaponski sistemi – PV

- Direktno i difuziono zračenje
- Efikasnost oko 20% (33,7%)

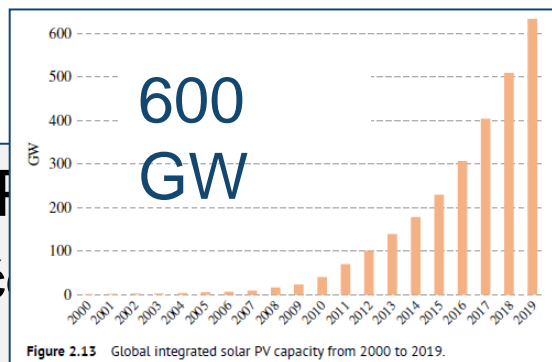
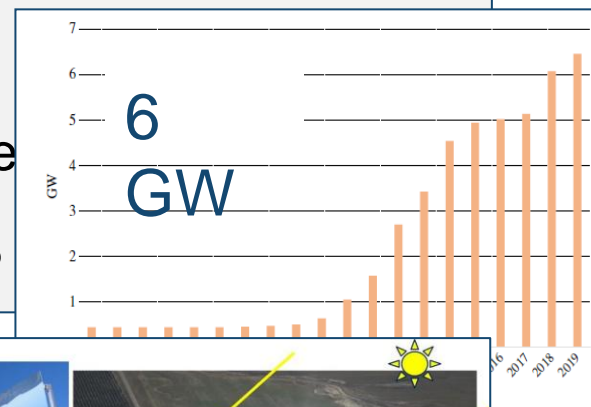


Figure 2.13 Global integrated solar PV capacity from 2000 to 2019.

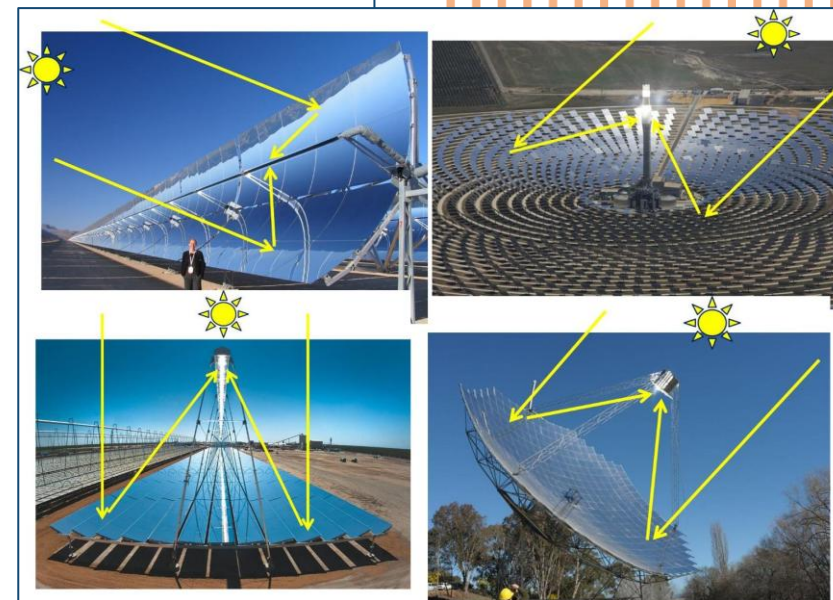
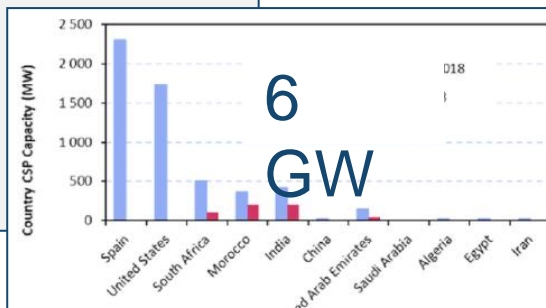
### Koncentratorski sistemi – CSP (pločasti, parabolični, Frenelovi, heliostati)

- Direktno zračenje
- Mogućnost skladištenja
- Efikasnost oko 30%



### Koncentratorski fotonaponski sistemi – CPV

- Direktno zračenje
- Efikasnost oko 35% (46%)

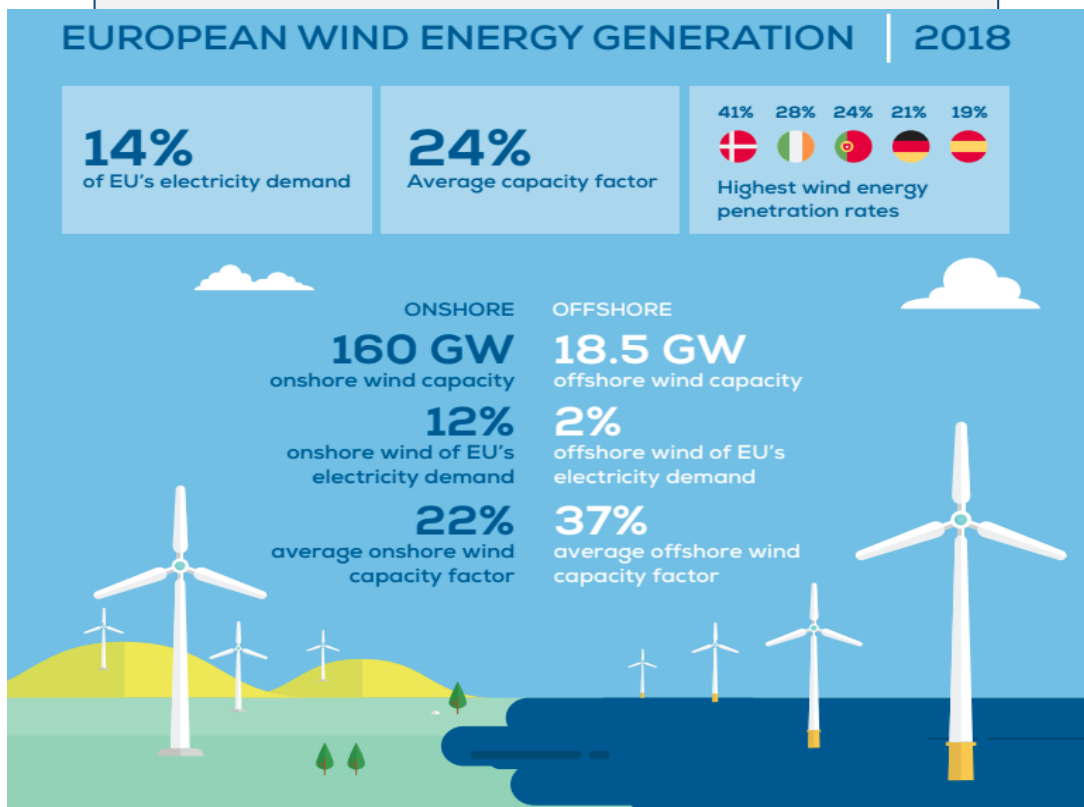
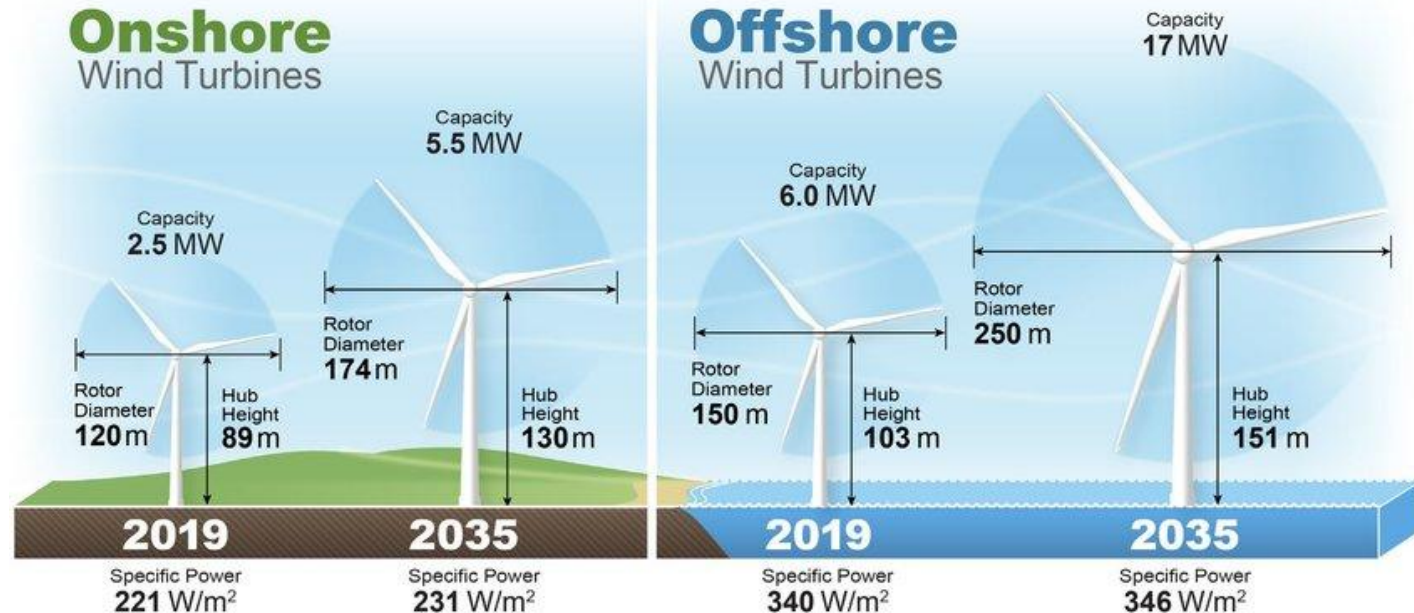






## Energija vetra

- Horizontalne turbine
  - On-shore
  - Off-shore
- Vertikalne turbine





## Potreba za skladištem električne energije

- Obnovljivi izvori – postaje nemoguće balansirati proizvodnju prema potrošnji
- Izolovani sistemi – odsustvo kontinualne raspoloživosti energenata
- Rezervno napajanje – u slučaju prekida osnovnog napajanja
- Transport – električna vozila





## Mehaničko / termomehaničko / gravitaciono

- Reverzibilne HE (PHES)
- Gravitaciono-kočioni sistemi (GBES)
- Skladište vazduha pod pritiskom (CAES)
- Zamajac (Flywheel - FWES)
- Gravitaciono-šinsko skladište (ARES)

## Hemijsko

- Prirodni ugalj, nafta, gas
- Skladište vodonika
- Reverzibilne endotermičke reakcije

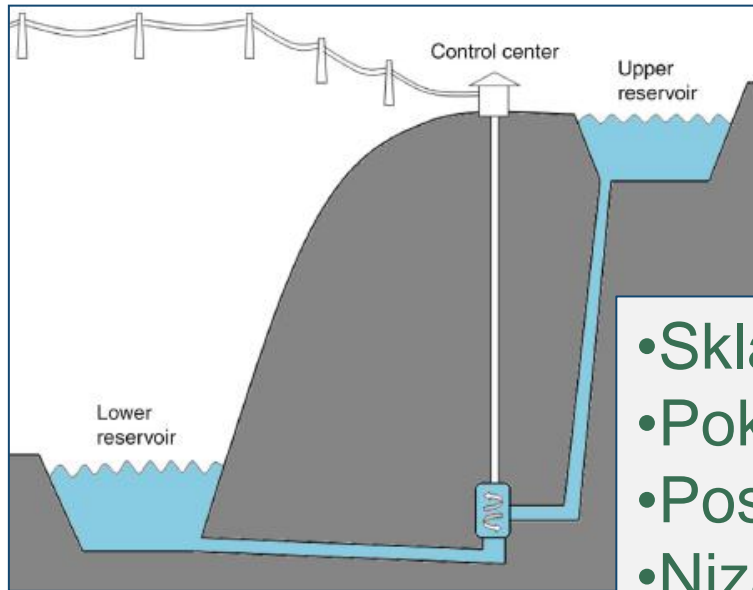
## Elektrohemijsko

- Punjive baterije (lead-acid, Li-Ion)
- “Tečne” baterije (Flow batteries)
- Superkondenzatori (10 000)

## Termalno skladište

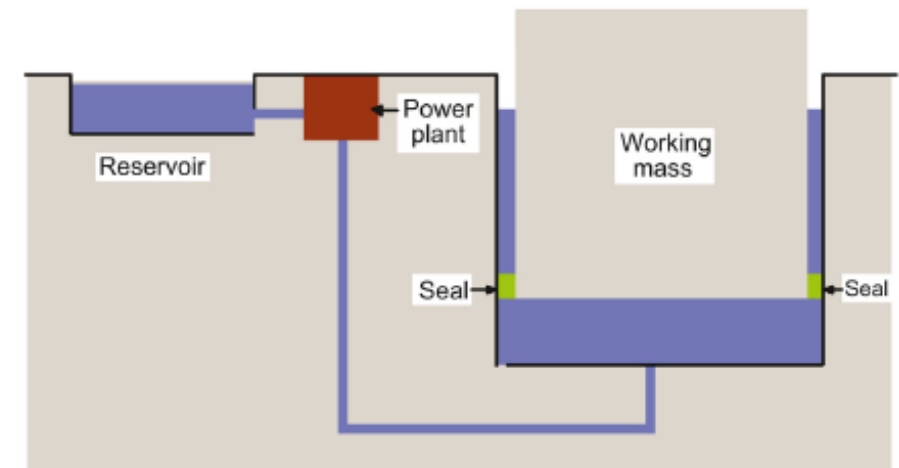
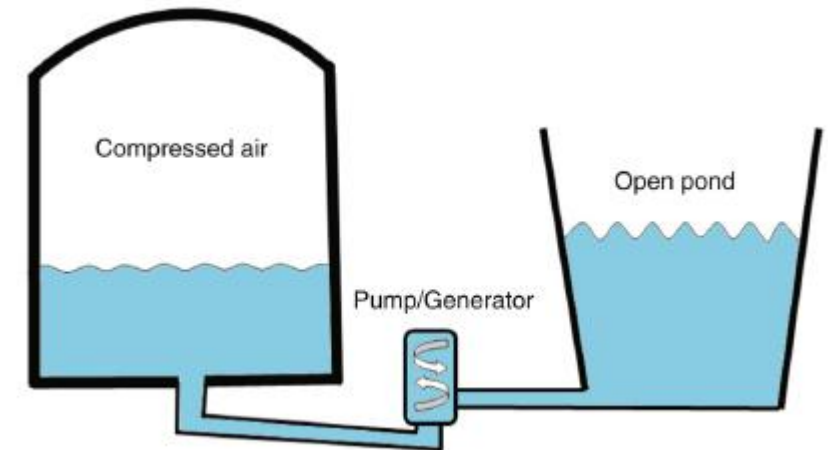
- Skladište toplotne energije za kasniju upotrebu

## RHE



- Skladišti jeftinu energiju
- Pokriva vrhove opterećenja
- Posедуje veliki kapacitet
- Nizak LCOE

- Vezano za specifične lokacije
- Mного vremena za izgradnju
- Velike kapitalne investicije
- Uticaj na životnu sredinu



## ARES

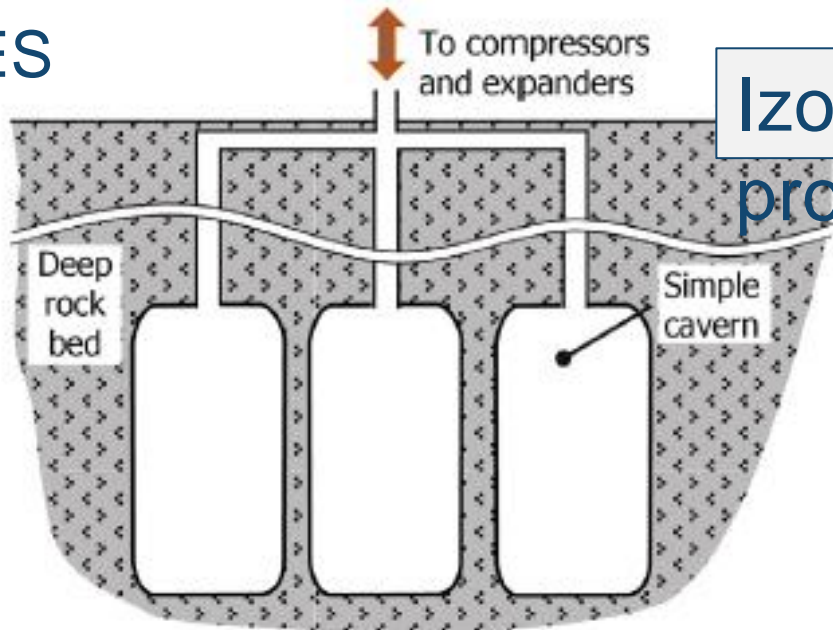


**TABLE 4.1 ARES Performance Statistics**

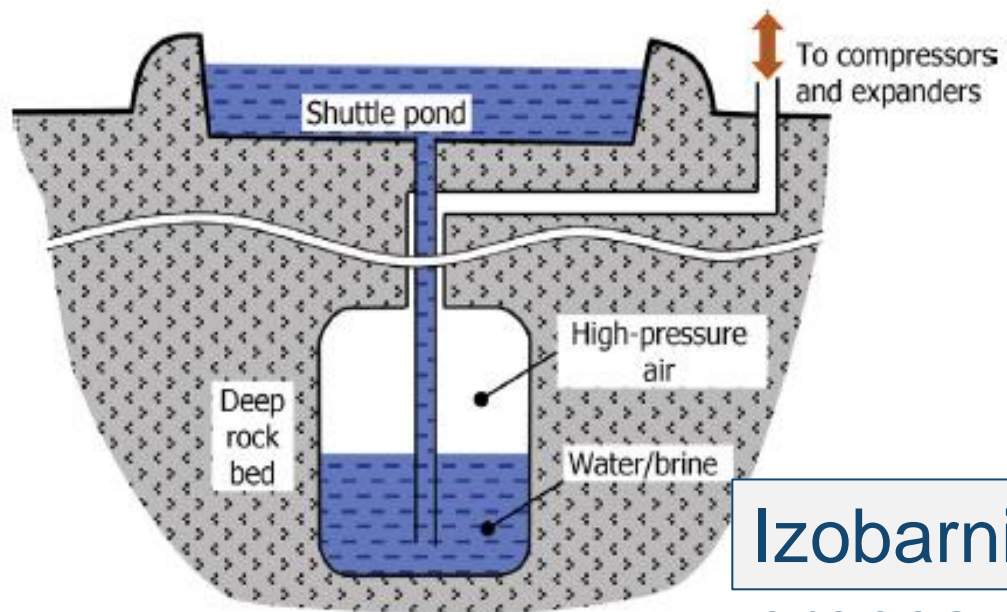
Scalability	(25–2000) MW
Storage duration	(0.25–24) h
Ramp rate (rate of power increase or decrease)	Up to 600 MW min <sup>-1</sup>
Cycle life (cycled at rated power between charge and discharge)	Unlimited
Roundtrip efficiency	(78–80)%
VAR support capacity (reactive power)	(25–100)% of rated power
Standby storage losses	None
System life	40+ years



## CAES



Izohorni proces

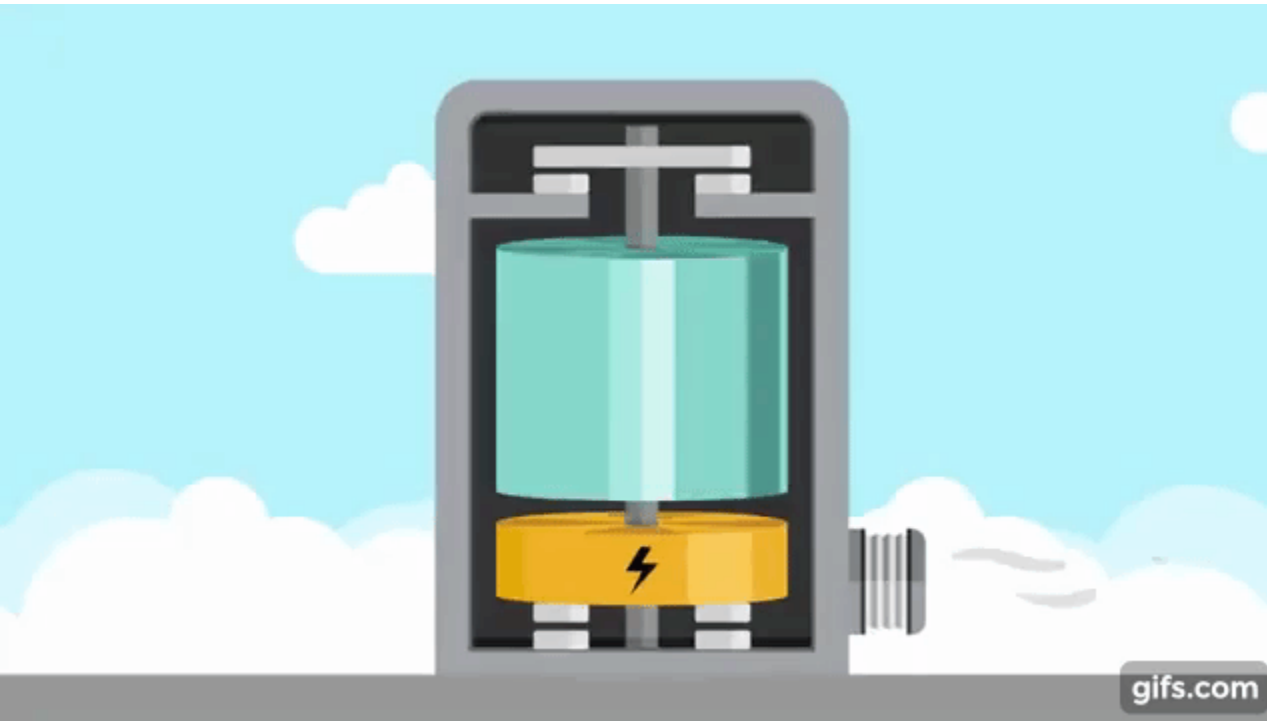


Izobarni proces

**TABLE 5.3** Quantities of Exergy Recoverable from Air Stores

Pressure ratio, $r$	Exergy (Isobaric)/ (MJ m <sup>-3</sup> )	Exergy (Isochoric)/ (MJ m <sup>-3</sup> )	Exergy (Isochoric throttled)/(MJ m <sup>-3</sup> )
10	2.333	1.163	0.8248
20	6.071	3.169	2.528
35	12.61	6.737	5.615
50	19.82	10.71	9.106
70	30.13	16.42	14.18
90	41.04	22.49	19.61
115	55.29	30.45	26.77
140	70.10	38.75	34.26
170	88.47	49.06	43.09
200	107.4	59.69	53.28

## Zamajac (Flywheel)



- Brz odziv
- Regulacija frekvencije

- Rotacija u vakuumu
- Elektromagnetna levitacija
- Dug životni vek



**FIGURE 10.4** 20 MW flywheel frequency regulation plant. (Source: Courtesy Beacon Power LLC.)





Intermitentnost obnovljivih izvora može izazvati brojne poteškoće upravljanja sistemom:

1. Zadovoljavanje vršnih opterećenja
2. Iskorišćenje viška energije (excess electricity)

3. Balansiranje sistema – regulacija frekvencije

Potrebno je povećati fleksibilnost sistema:

1. Skladište
2. Upravljanje potrošnjom
3. Interkonekcija
4. Power-to-gas

P  
R  
O  
B  
L  
E  
M  
I

R  
E  
Š  
E  
N  
J  
A



# INTELIGENTNE ELEKTROENERGETSKE MREŽE



ETF  
BEOGRAD

GORAN DOBRIĆ

