

Proizvodnja i potrošnja električne energije

Električna struja

Usmjereno gibanje elektrona.

Struja ovisi o naponu i otporu strujnog kruga: $I = \frac{U}{R}$ (A)

Električna snaga: $P = U \cdot I$ (W)

Električna energija: $W = U \cdot I \cdot t = P \cdot t$ (Ws), (Wh), (kWh)

Naboj jednog elektrona $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ C, masa $m_e = 9,109 \cdot 10^{-31}$ kg

$$Q = I \cdot t \text{ (As), (C)} \quad I = \frac{Q}{t} \text{ (A)}$$

Jedan elektron u sekundi => struja od: $I = \frac{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}}{1 \text{ s}} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ A}$

Za struju od 1 A,
broj elektrona: $n_{1(A)} = \frac{1 \text{ A} \cdot 1 \text{ (elektron)}}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ A}} = 6,2422 \cdot 10^{18} \text{ (elektrona)}$

Masa elektrona za
struju od 1 A: $m_{1(A)} = n_{1(A)} \cdot m_e = 5,686 \cdot 10^{-12} \text{ kg}$

Električna struja

Žarulja od 100 W snage pri naponu od 230 V koristi iz mreže struju od:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{100 \text{ W}}{230 \text{ V}} = 0,435 \text{ A}$$

Za struju od 0,435 A,
broj elektrona:

$$n_{0,435 \text{ (A)}} = 6,2422 \cdot 10^{18} \frac{0,435 \text{ A}}{1 \text{ A}} = 2,714 \cdot 10^{18} \text{ (elektrona)}$$

Masa elektrona za
struju od 0,435 A
u sekundi:

$$m_{0,435 \text{ (A)}} = n_{0,435 \text{ (A)}} \cdot m_e = 2,472 \cdot 10^{-12} \text{ kg}$$

Masa elektrona za
struju od 0,435 A
u godinu dana:

$$m_{0,435 \text{ (A)}} = 7,795 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \approx 78 \text{ mg}$$

Utrošena električna
energija:

$$W_{\text{dnevno}} = 100 \text{ W} \cdot 24 \text{ h} = 2,4 \text{ kWh}$$

$$W_{\text{godišnje}} = W_{\text{dnevno}} \cdot 365 = 876 \text{ kWh}$$

Za proizvodnju 876 kWh energije, uz korisnost 40 % potrebno je 325 kg ugljena.

Proizvodnja el. energije

Proizvodnja => elektrane

Pretvorba neke energije u električnu:

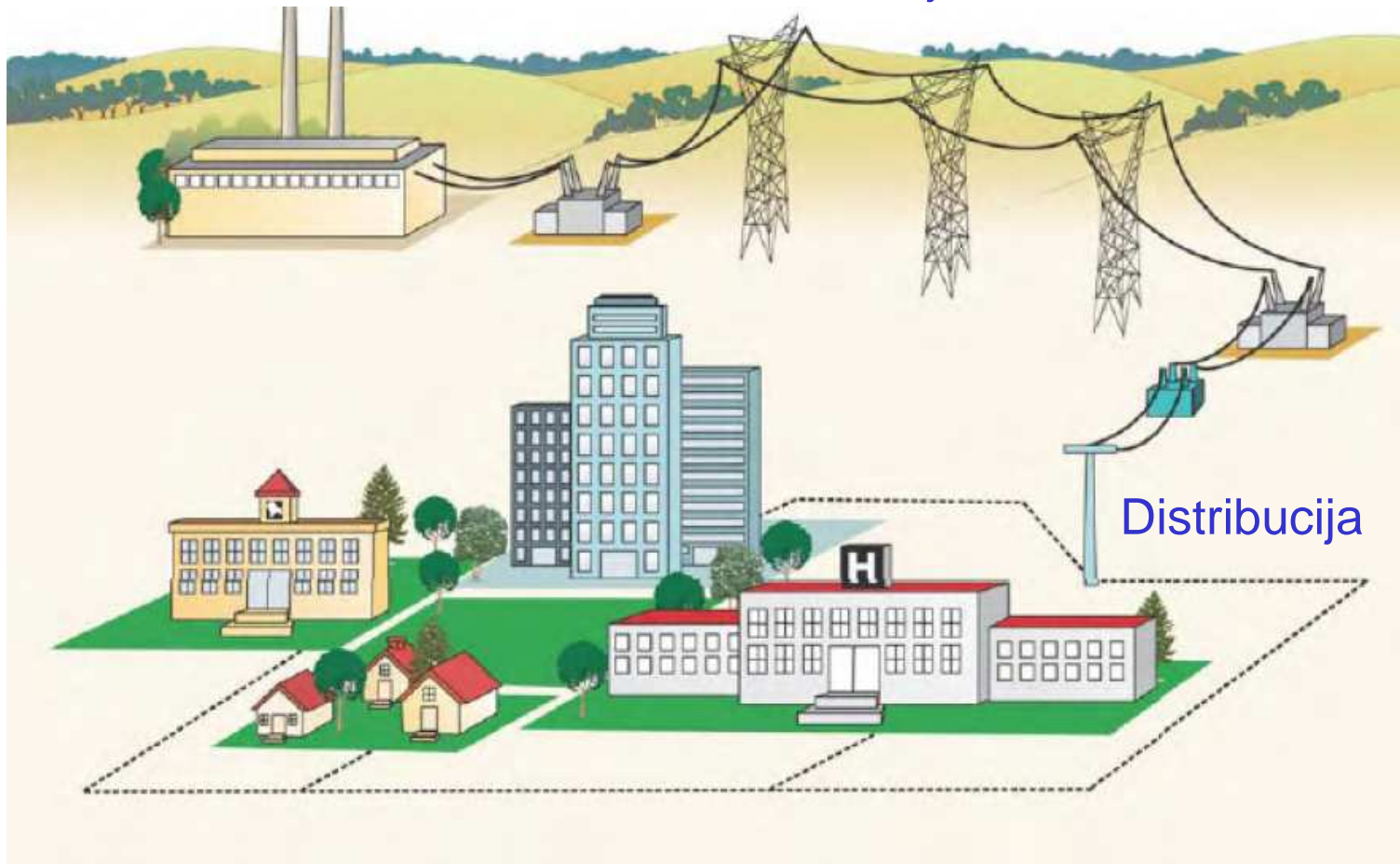
- toplinska energija sagorjevanja
 - toplinska energija radioaktivnog raspada
 - energija vode
 - energija vjetra
 - energija sunca
 - ostale
-
- hidroelektrane
 - vjetroelektrane
 - termoelektrane
 - solarne/fotonaponske elektrane
 - nuklearne elektrane

Proizvedena energija se mora dovesti do potrošača (trošila) =>
Prijenos i distribuirati do svakog pogona/kućanstva => Distribucija
-> EES – elektroenergetski sustav

Elektroenergetski sustav - EES

Proizvodnja električne energije

Prijenos



Distribucija

Potrošnja

Usporedba sustava za prijenos el. energije

| Simboli | DC | AC 1f | AC 3f |
|---|----------|-------------------|----------------------------|
| Broj vodiča | 2 vodiča | 2 vodiča | 3 vodiča |
| Snaga prijenosa | UI | $UI \cos \varphi$ | $\sqrt{3} UI \cos \varphi$ |
| Mogućnost proizvodnje visokog napona | - + | + | + |
| Faktor snage – $\cos \varphi$ | + | - | - |
| Mogućnost generiranja okretnog mag. polja | - | (+) | + |
| Mogućnost isključenja struje | - | + | + |
| Utjecaj L i C | + | - | - |
| Mogućnost sinkronizacije | + | - | - |
| Naprezanje izolacije | + | - | - |

Struktura potrošnje el. energije

U 2008. g. ukupna svjetska proizvodnja električne energije:

20 261 TWh, od toga:

83 % su potrošili krajnji korisnici,

17 % gubici pri proizvodnji i prijenosu.

U RH potrošnja od približno 16 TWh.

Električni motori – 45 % svjetske proizvodnje

– 2/3 potrošnje u industriji

– korisnost oko 90 %

Rasvjeta – 22 % svjetske proizvodnje

– korisnost od 25 % do 1 % ovisno o tehnologiji rasvjete

Trošak električnih trošila

Cijena nabave + održavanje + troškovi el. energije

| Snaga W | Utrošena energija u toku 24 sata kWh | Utrošena energija u 1 godini kWh |
|------------|--|--|
| 5,0 | 0,12 | 43,80 |
| 10,0 | 0,24 | 87,60 |
| 100,0 | 2,40 | 876,00 |
| 1.000,0 | 24,00 | 8.760,00 |
| 10.000,0 | 240,00 | 87.600,00 |
| 100.000,0 | 2.400,00 | 876.000,00 |



Mogućnost ostvarenja uštede električne energije

–Izolacija

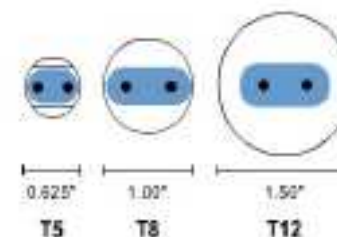
- bolja izolacija - manji gubici

–Klima i grijanje

- rekuperacija energije, nova oprema, geotermalne toplinske pumpe, zračni zastori

–Osvjetljenje

- Zamjena sa efikasnijim vrstama rasvjetnih tijela, primjerice zamjena T12 sa T8 fluorescentnim svjetiljkama (30 % uštede)



–Motori

- Zamijeniti motore snaga manjih od 30 kW, ako je trošak popravka veći od 60 % cijene novog odnosno ako je motor u pogonu više od xx g.
- Pogoni sa promjenjivom brzinom (pumpe, ventilatori, kompresori)
- Ispravno dimenzionirati motor, korisnost motora pada ako je teret manji od 40 %

–Transformatori

- Isključivanje iz mreže transformatora koji se ne koriste, zamjena sa efikasnijim izvedbama transformatora

OSIM U OPRAVDANIM SLUČAJEVIMA KADA JE U PITANJU SIGURNOST RADNIKA

Mogućnost ostvarenja uštede električne energije

- Upotreba rasvjetnih tijela s boljom korisnošću tj. zamjena postojećih trošila sa štednim verzijama

Svijeća

$\eta \approx 0,04 \%$

| Svjetlosni tok (lm) | Obična žarulja sa žarnom niti (W) | Štedna ili fluokompaktna žarulja (W) | LED Žarulja (W) |
|---------------------|--|---|---|
| | $\eta \approx 2 \%$  | $\eta \approx 10 \%$  |  |
| 220 | 25 | 5 - 7 | 2 - 3 |
| 450 | 40 | 8 - 12 | 4 - 5 |
| 890 | 60 | 13 - 18 | 6 - 8 |
| 1210 | 75 | 18 - 22 | 9 - 13 |
| 1750 | 100 | 23 - 30 | 16 - 20 |
| 2780 | 150 | 30 - 55 | 25 - 28 |

$\eta \approx 20 \%$

$\eta_{\text{maks}} \approx 40 \%$

$\eta \approx 15 \%$

- U industriji se koriste fluorescentne svjetiljke ili natrijeve svjetiljke (žuto svjetlo).

$\eta \approx 20 \%$

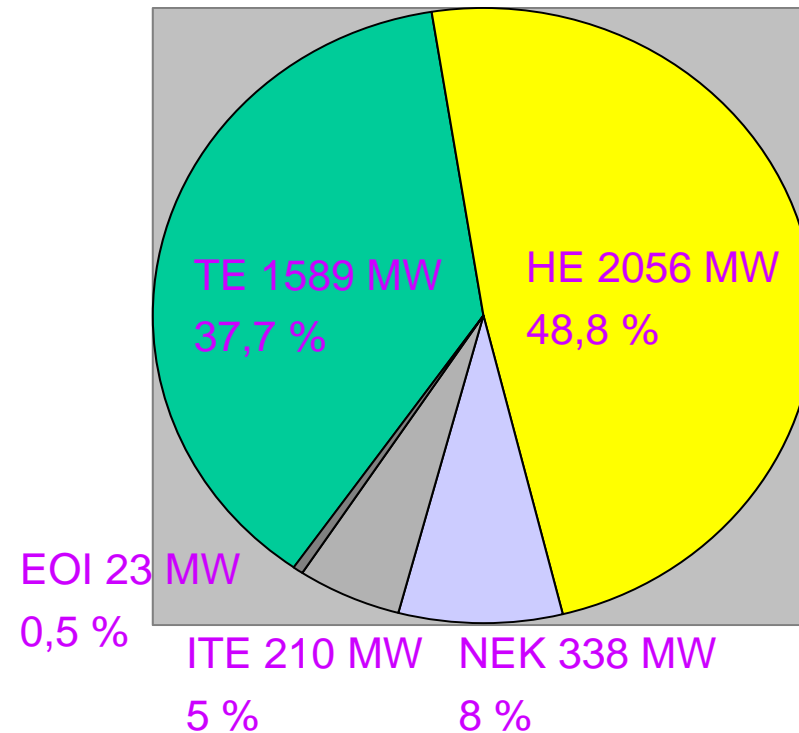
Proizvodnja električne energije

- nema skladištenja el. energije

Proizvedena energija = potrošena + gubici

Tipovi elektrana:

- Hidroelektrane
- Termoelektrane
- Toplane
- Nuklearne elektrane
- Ostale



- U RH ima 25 HE, 9 TE, NEK, industrijske termoelektrane, Elektrane na obnovljive izvore.
- Plan do 2020. 1200 MW iz vjetroelektrana, 420 MW iz biomase, 200 MW iz fotonaponskih solarnih sustava.

Hidroelektrane

1.1. Hidroelektrane

- Akumulacijske
- Pumpno akumulacijske (reverzibilne)
- Protočne

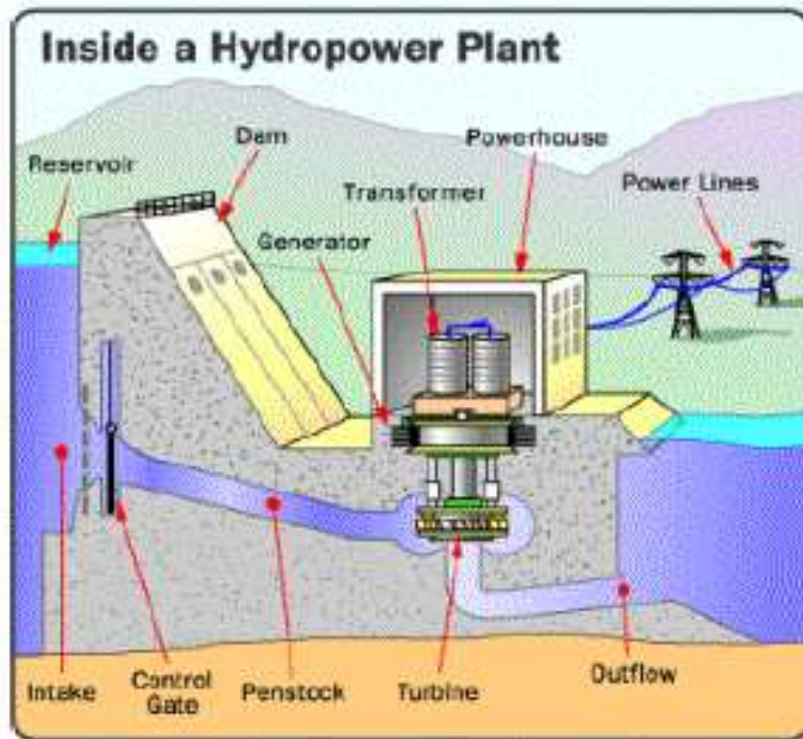
Prednosti:

- Čista, jeftina, obnovljiva energija

Nedostaci:

- akumulacija trajno uništava i mijenja okoliš te ekosustave
- nije moguće upravljanje količinom vode (sušna razdoblja)
- pozicija hidroelektrana ovisna o geografskoj poziciji vodotokova

1.1.1. Akumulacijska hidroelektrana



Električna snaga računa se kao:

$$P = \frac{W}{t}$$

Rad W :

$$W = m \cdot g \cdot H \quad / \cdot \frac{V}{V} \quad \left(\frac{V}{V} = 1 \right)$$

Jednadžba se pomnoži sa 1 i grupira, slijedi

$$P = \underbrace{\frac{V}{t}}_{Q_v} \cdot g \cdot \underbrace{\frac{m}{V}}_{\rho} \cdot H$$

uz $Q_v = \frac{V}{t}$ i $\rho = \frac{m}{V}$ dobiva se

$$P = Q_v \cdot g \cdot \rho \cdot H \quad \text{tj.}$$

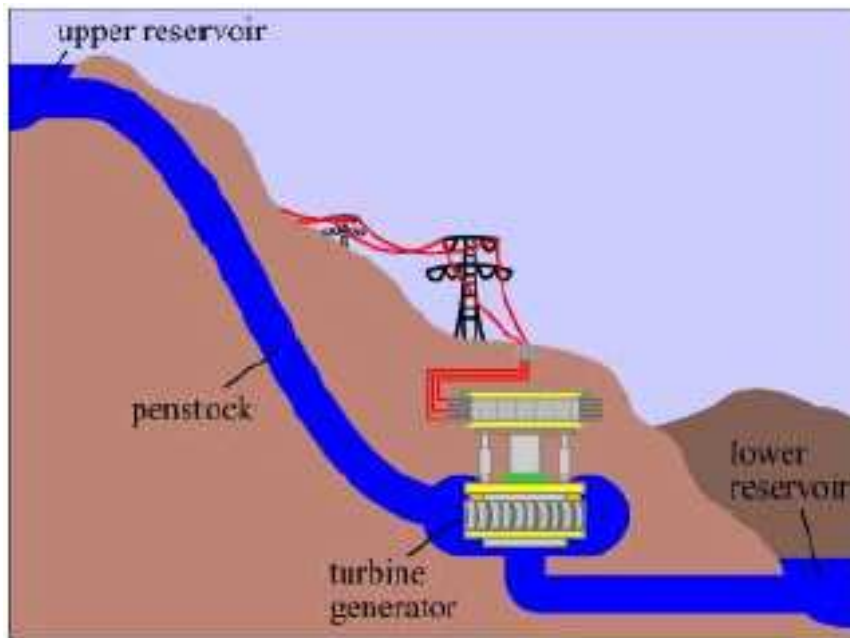
$$Q_v = \frac{P}{g \cdot \rho \cdot H} = \frac{P \text{ (MW)} \cdot 1\,000\,000}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot H \text{ (m)}} = \frac{P \text{ (MW)} \cdot 102}{H \text{ (m)}}$$

$$Q_v = \frac{P \text{ (MW)} \cdot 102}{H \text{ (m)}}$$

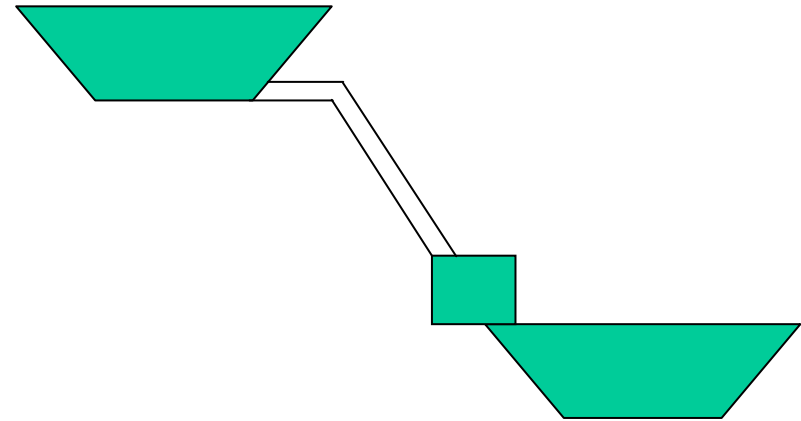
1 m³/s uz 10 m, ≈0,1 MW

1.1.2. Pumpno akumulacijska (reverzibilna) hidroelektrana

- Gornja i donja akumulacija
- Za pokrivanje vršnih opterećenja



RHE Velebit



1.1.3. Protočna hidroelektrana

- ona čija se uzvodna akumulacija može isprazniti za manje od dva sata rada kod nazivne snage ili takva akumulacija uopće ne postoji
- Energija vode se izravno koristi za pokretanje turbina
- Jednostavne za izvesti (izgraditi)
- Nema dizanja razine vodostaja
- Manji utjecaj na okoliš
- Ovisne o trenutno raspoloživom protoku

- Primjer: HE ĐALE
- 40,8 MW



Gorivo za dobivanje toplinske energije - usporedba



1.2. Termoelektrane

- korisnost do 40 %
- Tlakovi od 100 bara i temperature do 600 °C



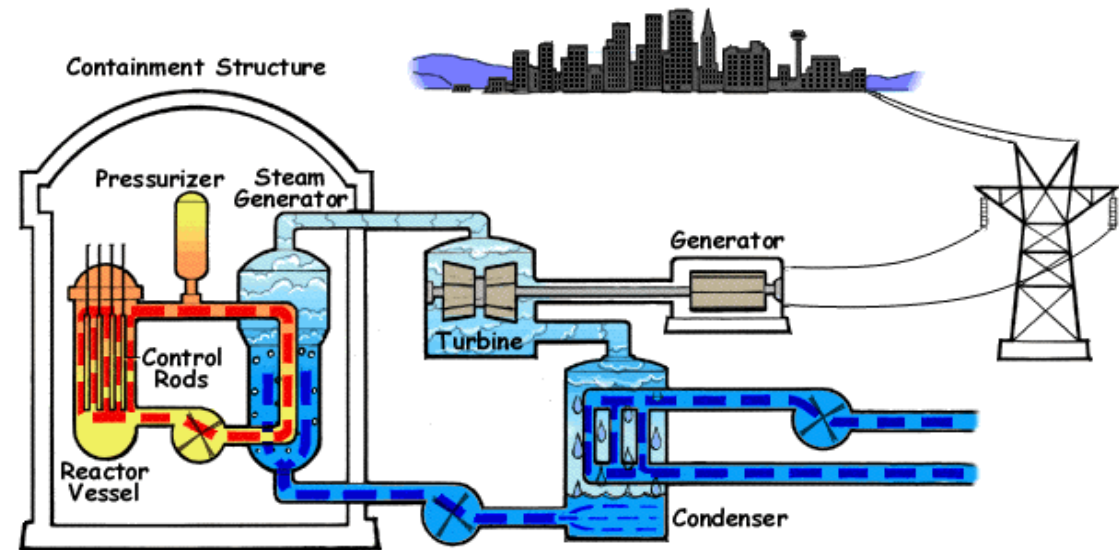
Rudnik i termoelektrana Gacko TE 300 MW

- potrošnja ugljena oko 300 tona/h do 350 tona/h
- 7200 tona ugljena dnevno

1.3. Toplane

- uz električnu energiju daje i zagrijanu vodu ili paru
- korisnost do 80 %
- nedostatak – mora biti blizu toplinskih trošila

1.4. Nuklearne elektrane



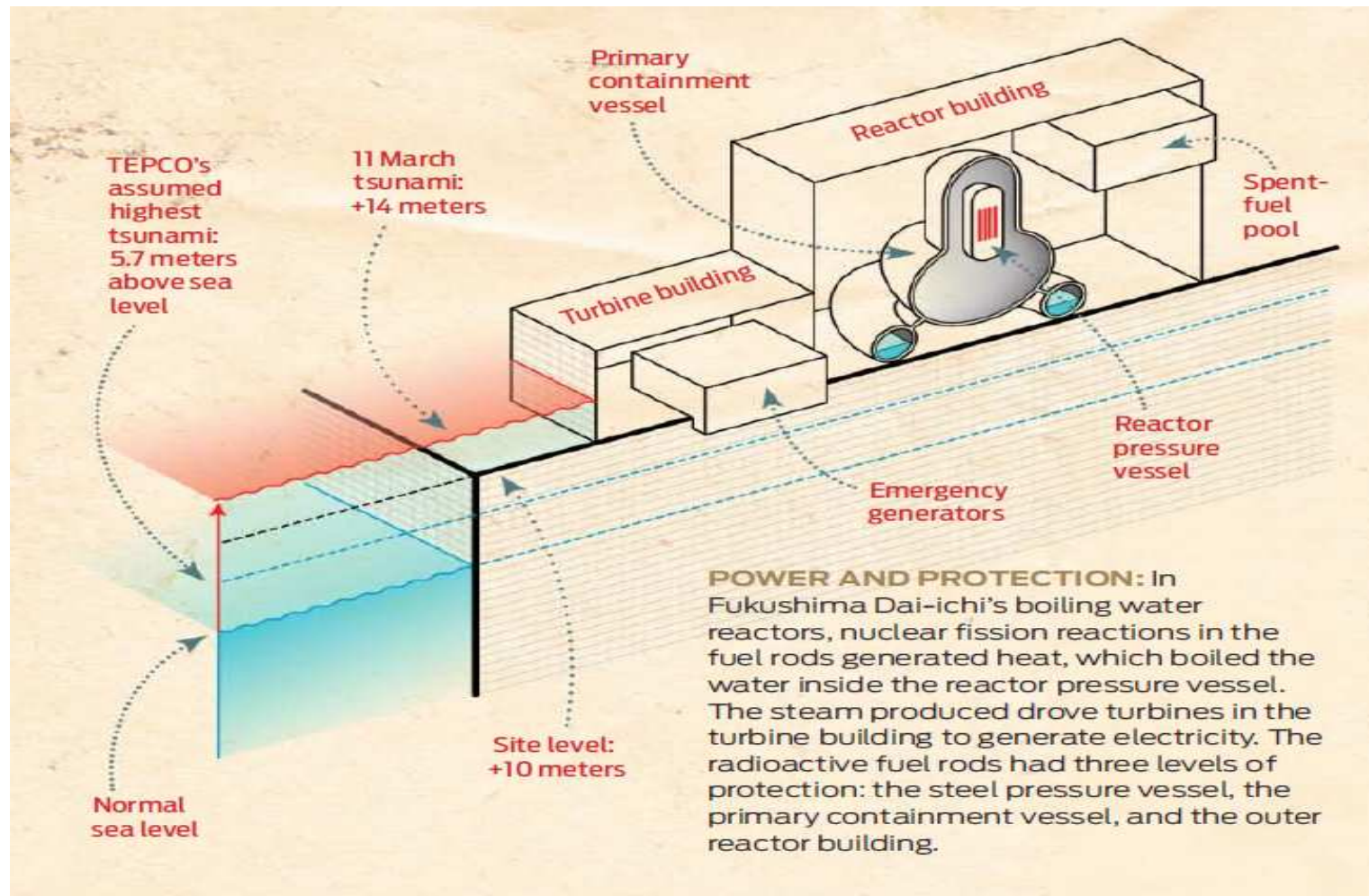
- Fisija – razbijanje izotopa na elemente manje atomske težine uz dobivanje TOPLINE ($\Delta E = \Delta m \cdot c^2$)
- Nuklearno gorivo: prirodni ili obogaćeni uran, metalni uran ili oksid urana
- Moderator: obična voda, teška voda, grafit
- Rashladni fluid: obična voda, teška voda, CO_2 , helij, tekući metal

1.4. Nuklearne elektrane

- Raspadom jednog atoma U^{235} oslobađa se energija od 200 MeV
- Tlak: 150 bar - 160 bar
- Prosječna temperatura: 570 K do 590 K
- Uran u prirodi – 0,7 % U^{235} a ostatak je U^{238}
- obogaćivanje urana na 3 %
- Atomska bomba ~ 90 %
 - kritična masa U^{235} – 50 kg
 - kritična masa Pu^{239} – 16 kg

1.4. Nuklearne elektrane

- NE Tri milje (USA), NE Černobil (Ukrajina), Fukushima (Japan)





1.5. Ostale i alternativni izvori energije

5.1. Toplinska energija sunca

5.2. Električna energija iz sunca

5.3. Energija vjetra

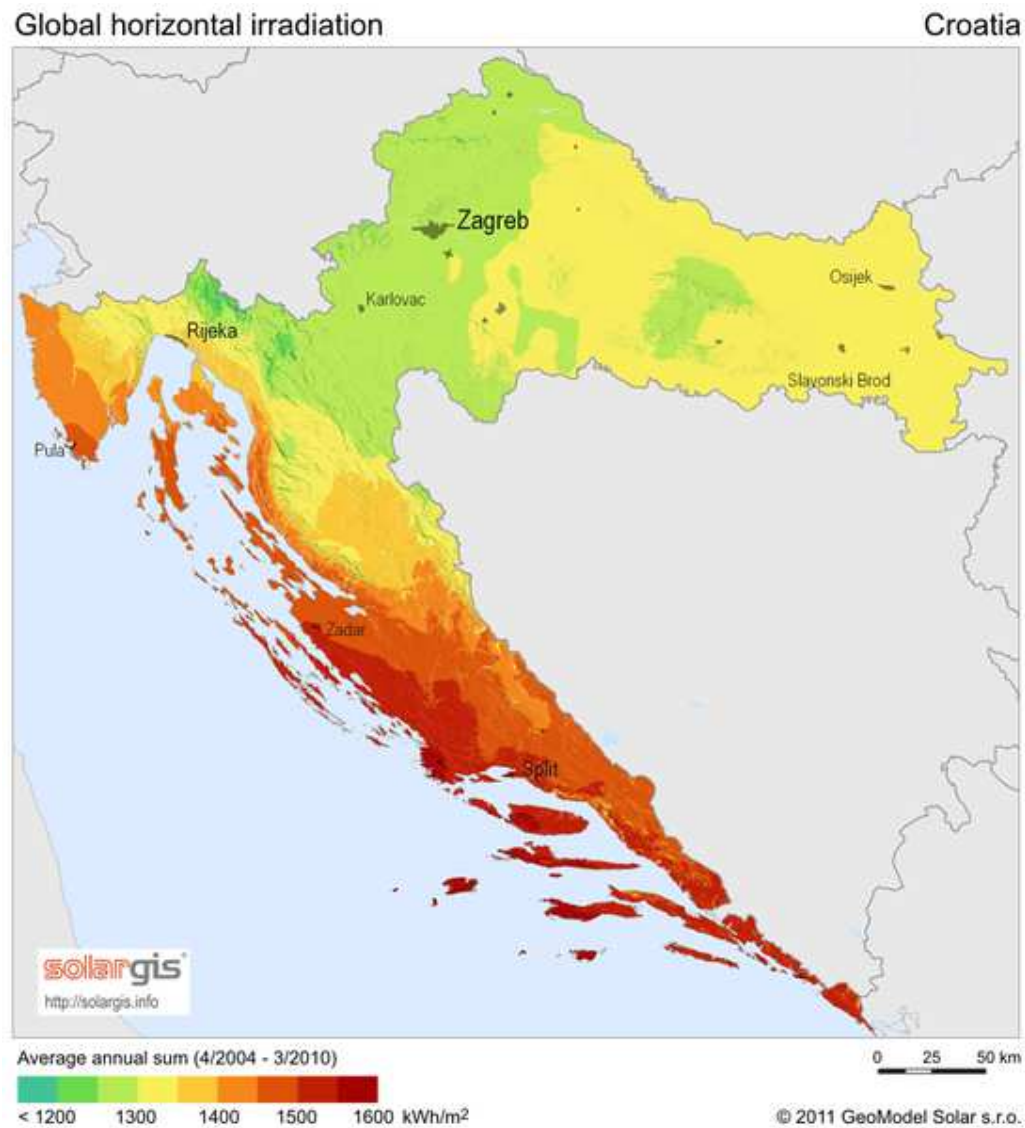
5.4. Geotermalne elektrane

5.5. Energija plime i oseke

5.6. Energija morskih struja i valova

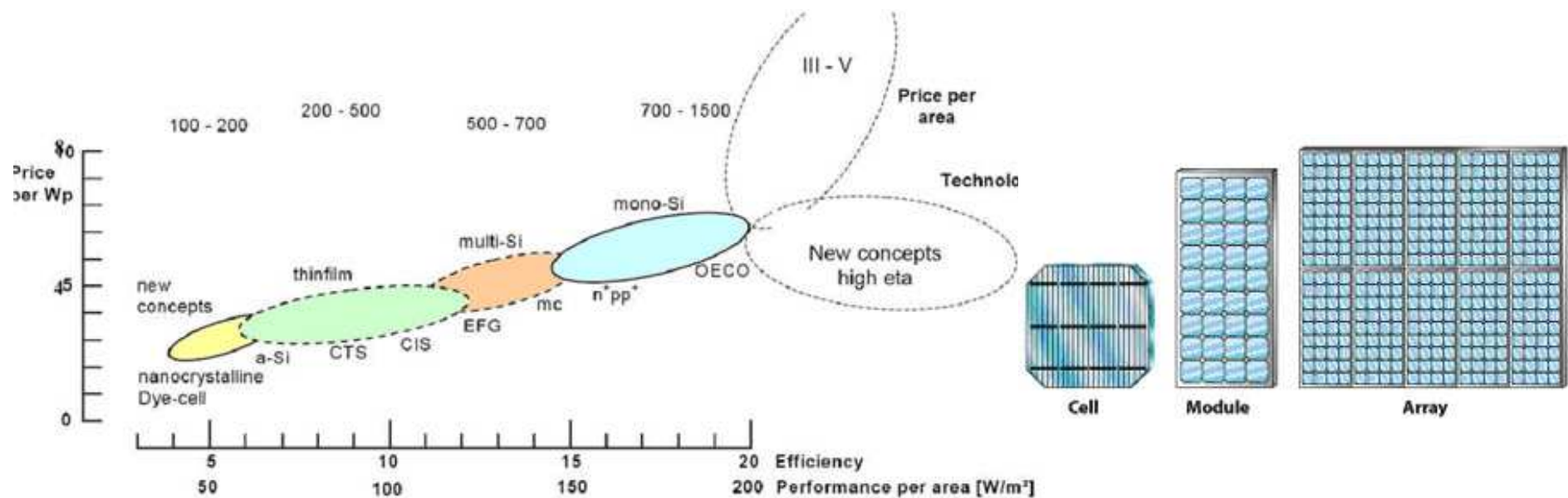
1.5.1. Toplinska energija sunca

- ljeti u 13.00 sati, površina od 1 m² može dati 7 kW toplinske energije

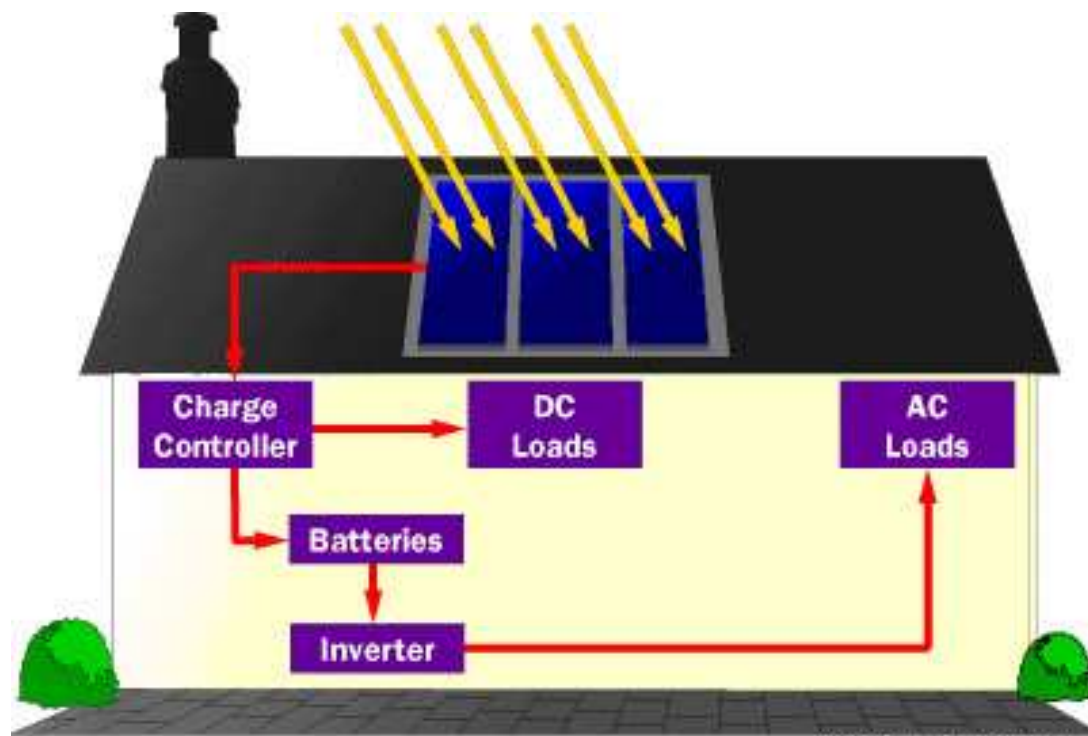


1.5.2. Električna energija iz sunca

- Svjetlosna energija sunca => električna energija
- Fotonaponske ćelije
- Opasni materijali u fotonaponskim panelima (odlaganje)
- Pri proizvodnji se troše velike količine električne energije



1.5.2. Električna energija iz sunca



©2000 How Stuff Works

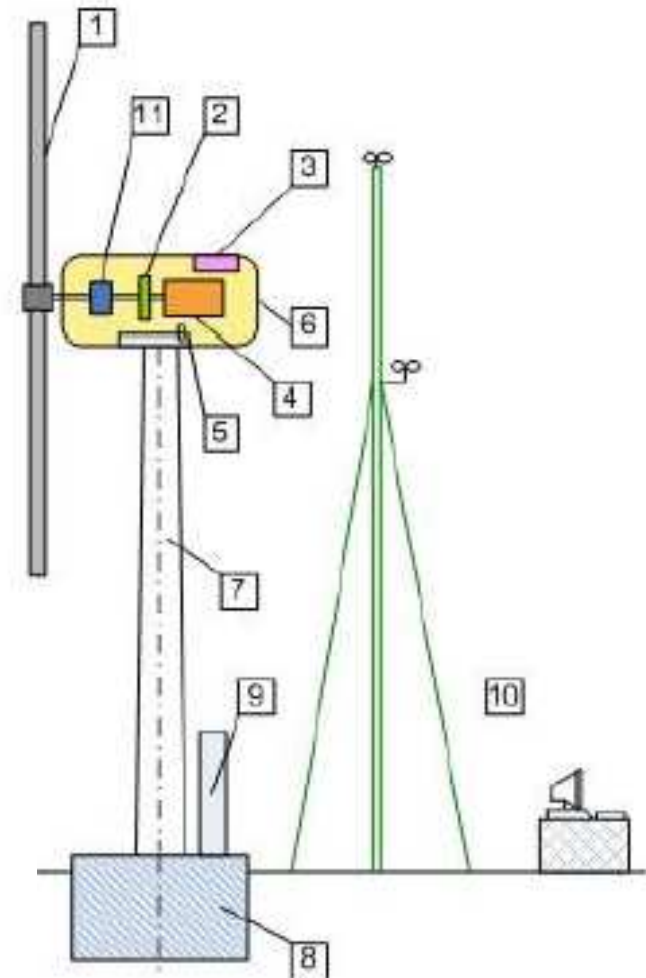
1.5.3. Energija vjetra

– Vjetroelektrane

- (1) rotor
- (2) kočnice
- (3) upravljački i nadzorni sustav
- (4) generator
- (5) zakretnik
- (6) kućište
- (7) stup
- (8) temelj
- (9) transformator
- (10) posebna oprema
- (11) prijenosnik snage

Predefinirane brzine vjetra uobičajeno imaju slijedeće iznose:

- Brzina uključenja $v_{\text{cut-in}} = 2.5 - 4.5 \text{ m/s}$
- Brzina vjetra za koju je dizajniran vjetrogenerator $v_D = 6 - 10 \text{ m/s}$
- Nominalna brzina vjetra $v_N = 10 - 16 \text{ m/s}$
- Brzina isključenja $v_{\text{cut-out}} = 20 - 30 \text{ m/s}$
- Brzina preživljavanja $v_{\text{life}} = 50 - 70 \text{ m/s}$



1.5.3. Energija vjetra

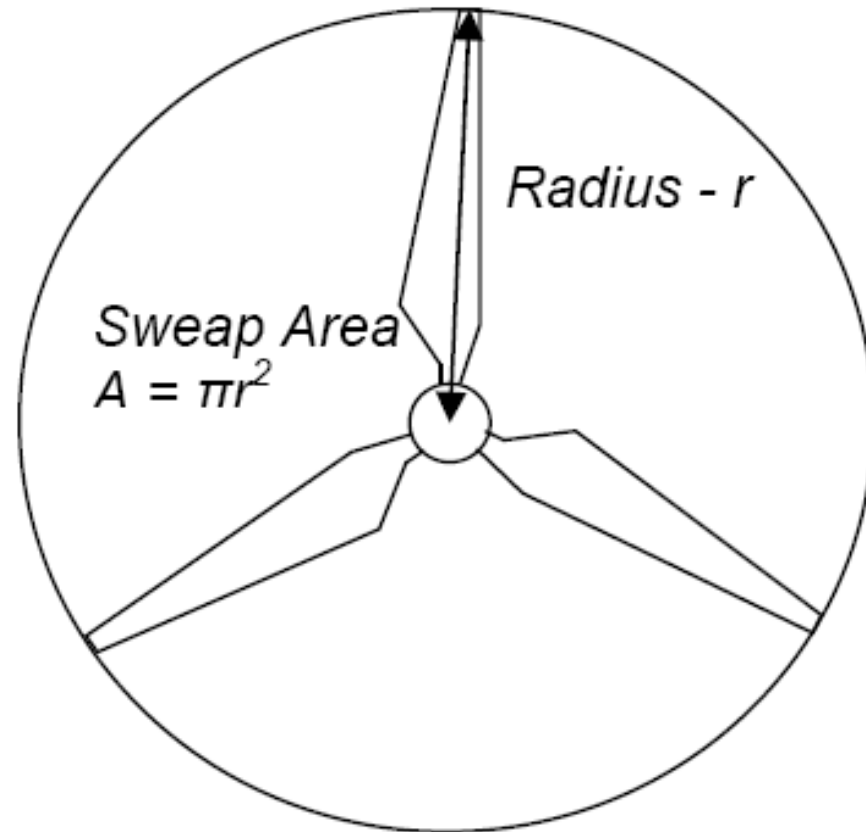
- Snaga vjetroagregata ovisi o gustoći medija ρ , površini A , brzini vjetra v i koeficijentu snage C_p :

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p$$

Za $r=52$ m, $v=12$ m/s,
 $\rho=1,2$ kg/m³, $C_p=0,4$

$$P = \frac{1}{2} \cdot 1,2 \cdot 52^2 \cdot \pi \cdot 12^3 \cdot 0,4$$

$$P=3,5 \text{ MW}$$



1.5.3. Energija vjetra

- Usporedba sa hidroelektranom

(gustoća zraka: 1,2 kg/m³, voda 1000 kg/m³)

Kinetička energija: $E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$ uz $\rho = \frac{m}{V}$ slijedi $E_k = \frac{\rho \cdot V \cdot v^2}{2}$

Specifična kinetička energija: $\frac{E_k}{V} = \frac{\rho \cdot v^2}{2} \left(\frac{\text{J}}{\text{m}^3} \right)$

Za vodu: $\frac{E_k}{V} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(10 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 = 50\,000 \left(\frac{\text{J}}{\text{m}^3} \right)$

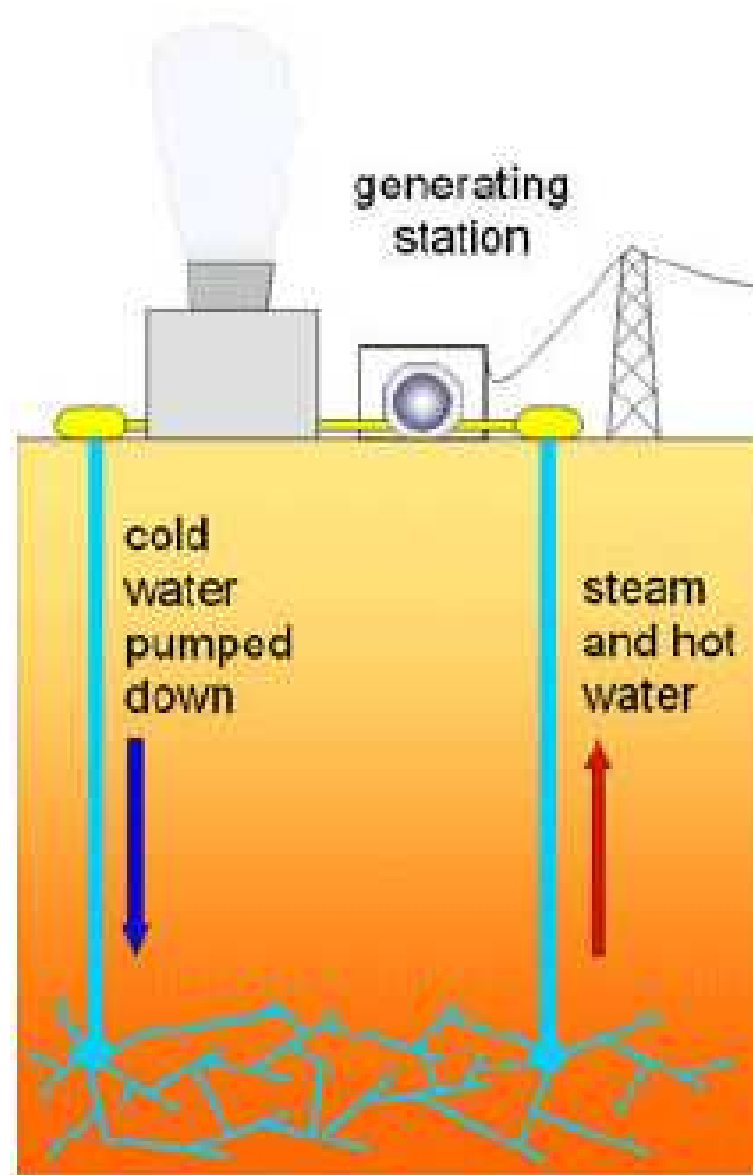
833 puta

Za zrak: $\frac{E_k}{V} = \frac{1}{2} \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(10 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 = 60 \left(\frac{\text{J}}{\text{m}^3} \right)$

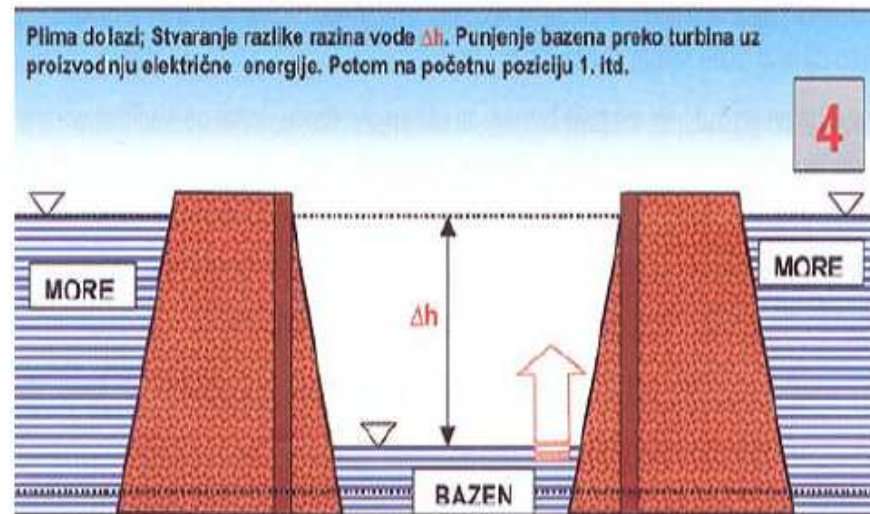
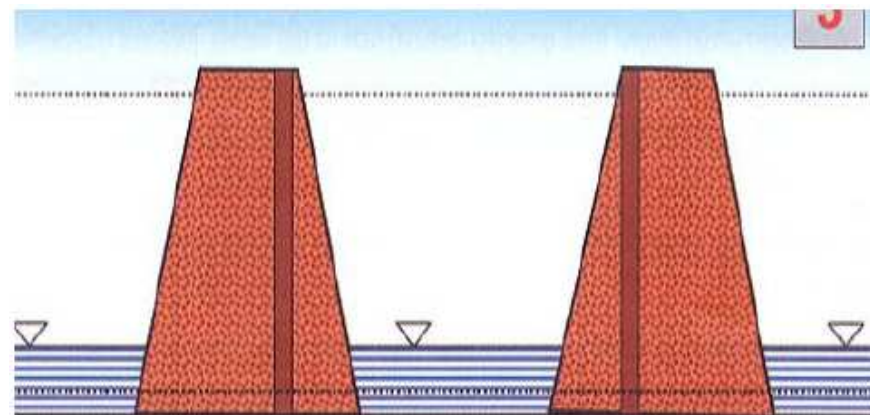
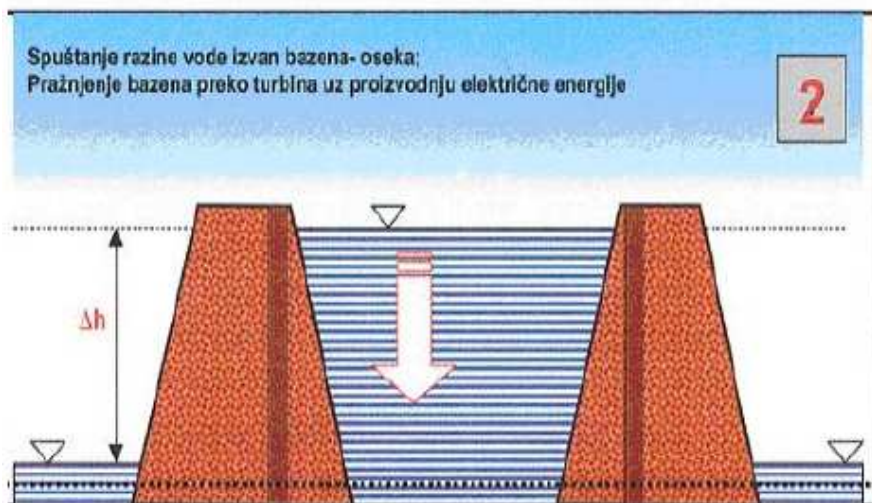
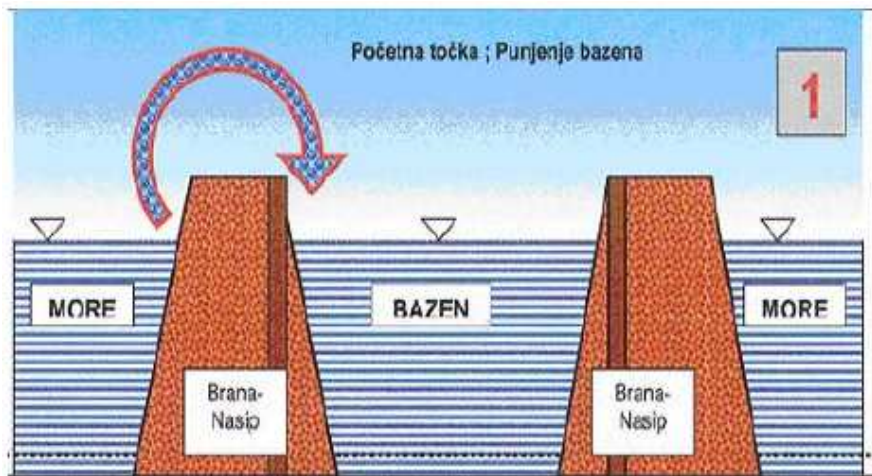
Korisnost vjetroelektrana je oko 40 % pri brzini vjetra od 9 m/s, naglo opada za više i niže brzine.

Vodene turbine postižu korisnost od 90 % do 95 %.

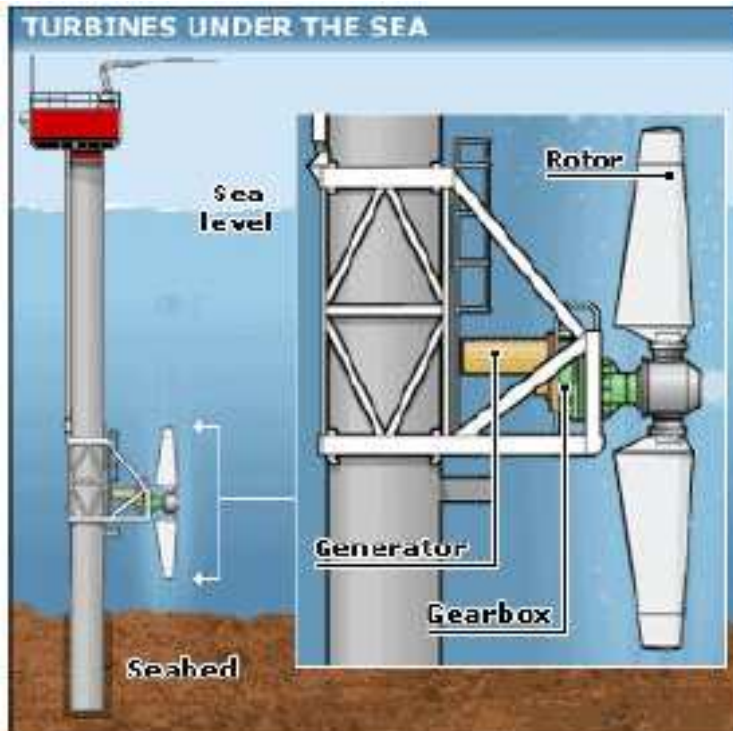
1.5.4. Geothermale elektrane



1.5.5. Energija plime i oseke



1.5.6. Energija morskih struja i valova



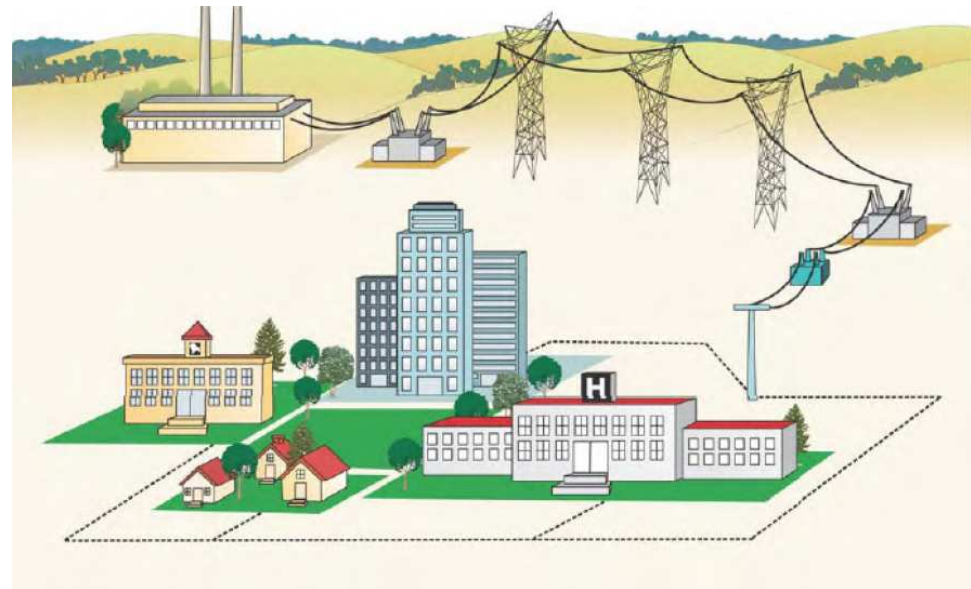
Prijenos električne energije

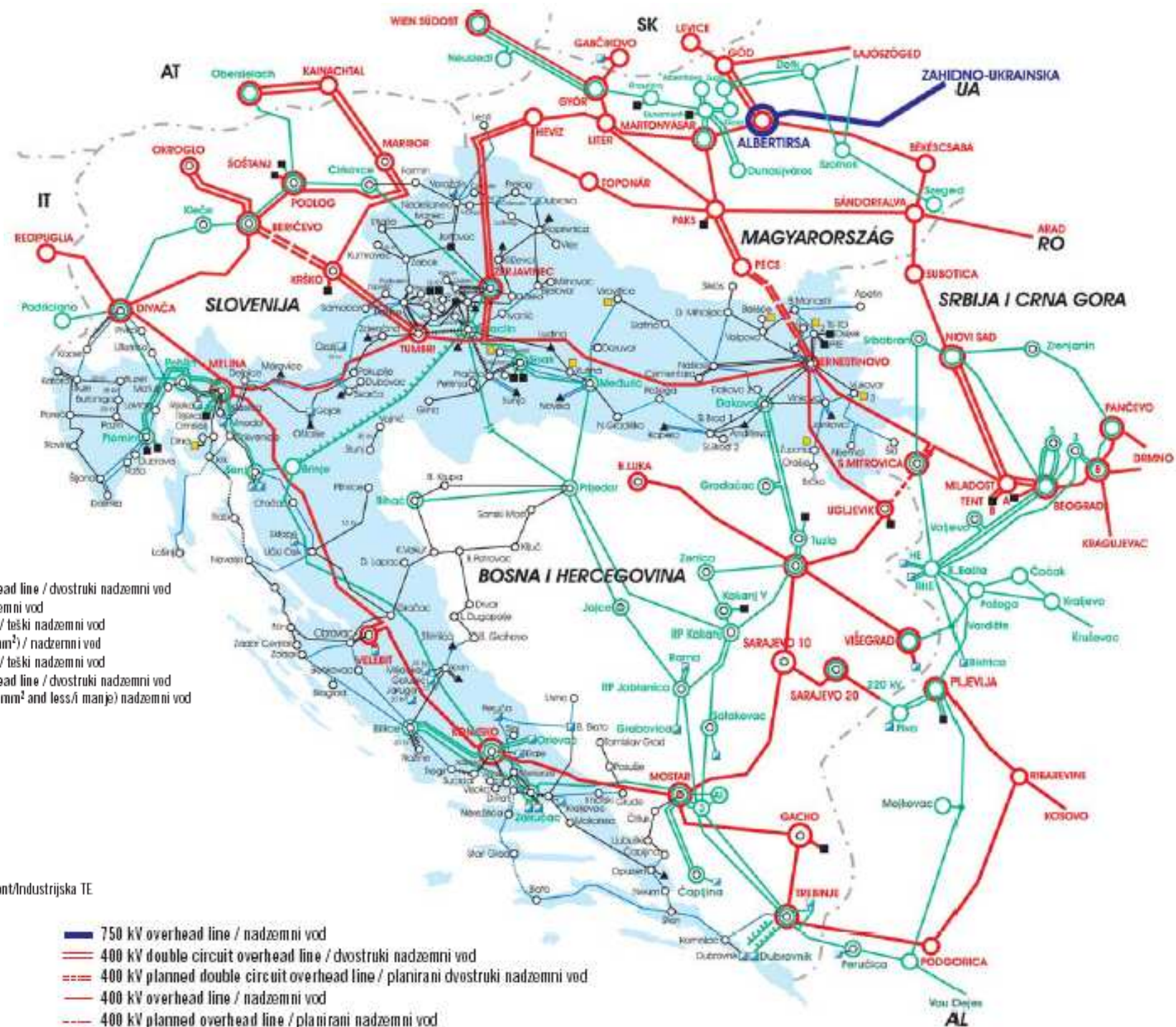
- Prenesena električna snaga ovisi o umnošku napona i struje $P = U \cdot I$
- Gubici pri prijenosu ovise o otporu vodiča i kvadratu struje $P_g = I^2 \cdot R$
- Transformatori – prijenos snage uz mogućnost mijenjanja razina napona i struje

$$P = 10\,000 \text{ V} \cdot 200 \text{ A} = 2 \text{ MW}$$

$$P = 100\,000 \text{ V} \cdot 20 \text{ A} = 2 \text{ MW}$$

- Dalekovodi, visoki naponi
110 kV, 220 kV, 400 kV,
750 kV, 1000 kV





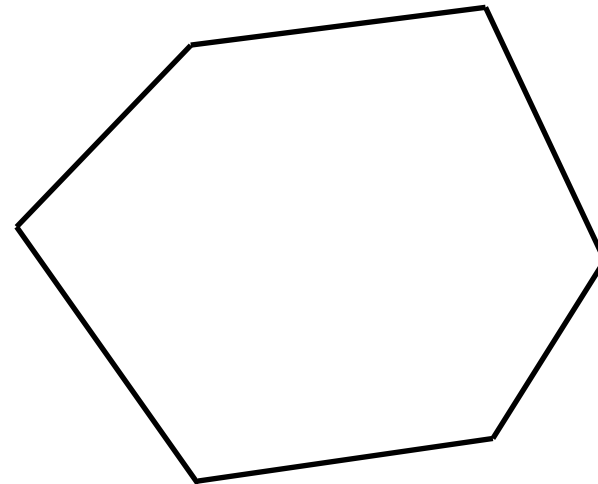
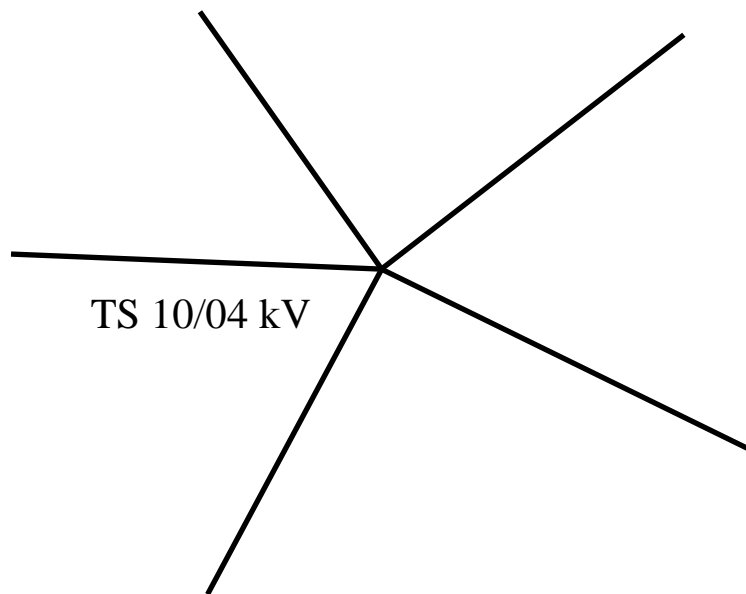
- 220 kV double circuit overhead line / dvostruki nadzemni vod
- 220 kV overhead line / nadzemni vod
- 220 kV heavy overhead line / teški nadzemni vod
- 110 kV overhead line (240 mm²) / nadzemni vod
- 110 kV heavy overhead line / teški nadzemni vod
- 110 kV double circuit overhead line / dvostruki nadzemni vod
- 110 kV overhead line (<150 mm² and less/ manje) nadzemni vod
- 110 kV cable / kabel

- 750/440 kV
- 400/220/110 kV
- 400/110 kV
- 220/110 kV
- 110 kV
- Railroad substations/EVP
- Thermal power plant/TE
- Hydro power plant/HE
- Industrial thermal power plant/Industrijska TE

- 750 kV overhead line / nadzemni vod
- 400 kV double circuit overhead line / dvostruki nadzemni vod
- 400 kV planned double circuit overhead line / planirani dvostruki nadzemni vod
- 400 kV overhead line / nadzemni vod
- 400 kV planned overhead line / planirani nadzemni vod

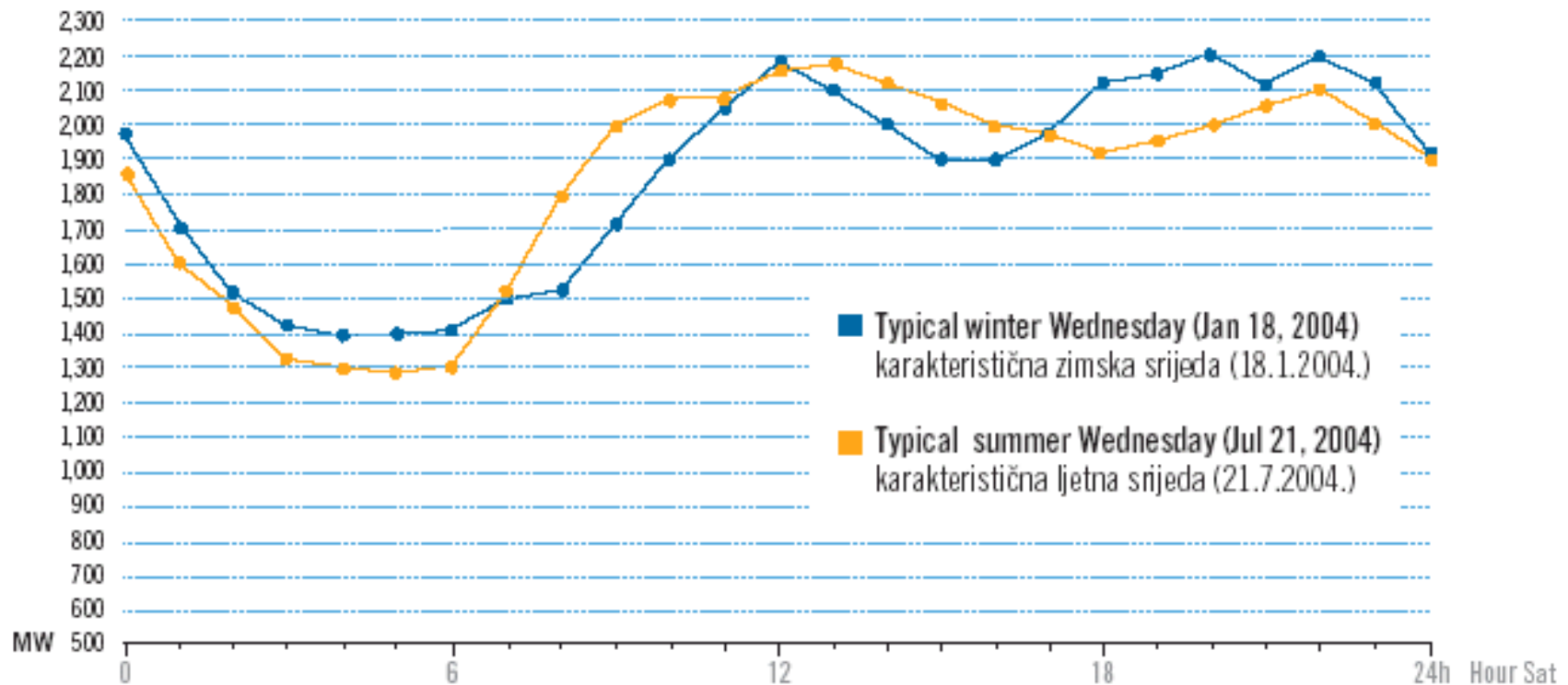
3. Distribucija električne energije

- unutar gradova, kućanstva, pogoni
- zvjezdasti spoj
- prstenasti spoj



Upravljanje elektroenergetskim sustavom

- dnevne prognoze potrošnje – planiranje angažiranja proizvodnih kapaciteta



Tarife, elektroenergetska suglasnost, trošak el. energije

- Tarife
 - 7 h – 21 h – VT – 1,14 kn/kWh
 - 21 h – 7 h – NT – 0,56 kn/kWh
 - Jedinstvena - JT – 1,05 kn/kWh
- Elektroenergetska suglasnost – temeljni dokument koji sadrži energetske, tehničke i ekonomske obaveze za priključenje. Potrebna za nove kupce ili za povećanje angažirane snage postojećih kupaca.

Troškovi u pogonu:

- Mjerenje i plaćanje potrošnje radne i jalove energije,
- Vršna snaga (maksigraf).

- Hvala na pažnji!
 - Pitanja