


Prijenos i distribucija električne energije

Energijske tehnologije
FER 2008.



Gdje smo:

1. Organizacija i sadržaj predmeta
2. Uvodna razmatranja
3. O energiji
4. Energetske pretvorbe i procesi u termoelektranama
5. Energetske pretvorbe i procesi u hidroelektranama
6. Energetske pretvorbe i procesi u nuklearnim el.
7. Geotermalna energija
8. Potrošnja električne energije
-  **9. Prijenos i distribucija električne energije**
10. Energija Sunca
11. Energija vjetra
12. Biomasa
13. Gorive ćelije i ostale neposredne pretvorbe
14. Skladištenje energije
15. Energija, okoliš i održivi razvoj

Sadržaj

- prijenos električne energije
- distribucija električne energije
- rasklopna postrojenja

Dodatna informacije:

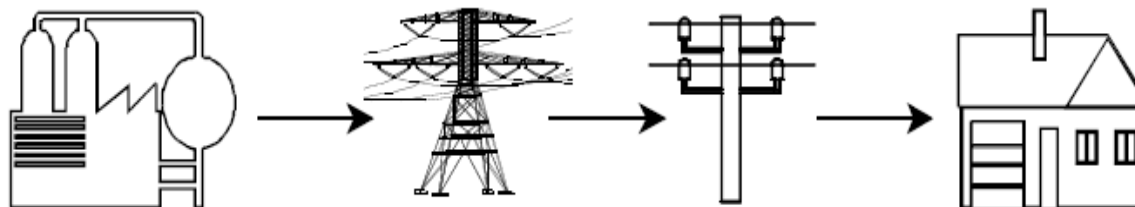
- Marijan Kalea: Prijenos električne energije, što je to?
Kigen, 2006
- <http://www.hep.hr>
- <http://www.ucte.org>

Elektroenergetski sustav

- sustav koji obuhvaća proizvodnju, prijenos, raspodjelu i potrošnju električne energije
- osnovni zadatak - pouzdana, sigurna, kvalitetna i ekonomična opskrba potrošača električnom energijom

- sustav čine:

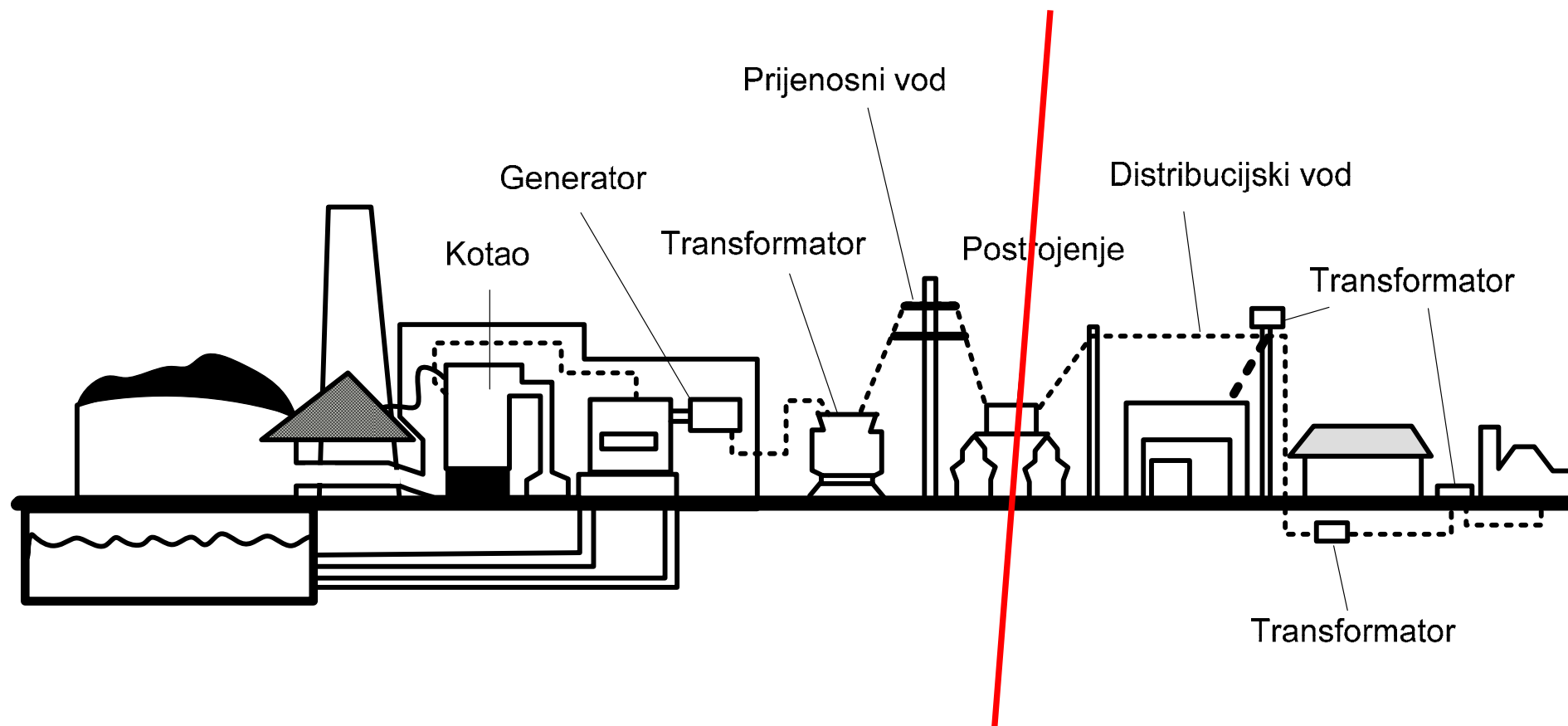
- elektrane
- trošila (potrošači)
- prijenosni vodovi
- distribucijski vodovi
- rasklopna postrojenja
- transformatorske stanice
- sustavi za upravljanje (nadzor i vođenje)
- sustavi za telekomunikacije (prijenos podataka)
- sustavi zaštite



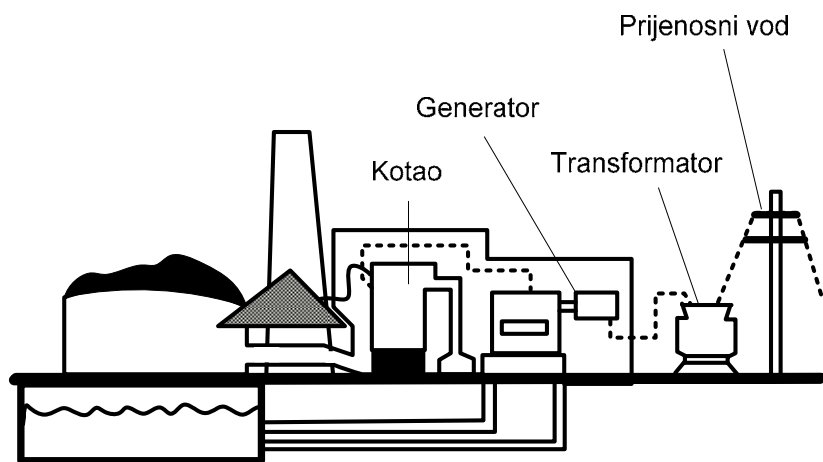
Vođenje elektroenergetskog sustava

- održavanje ravnoteže između proizvodnje i potrošnje električne energije uz:
 - što bolju ekonomičnost i sigurnost pogona
 - što bolju kvalitetu isporučene električne energije (napon i frekvencija)
- zadaci optimalnog vođenja elektroenergetskog sustava obuhvaćaju nadzor, upravljanje i optimiranje eksploatacije pogona
- vođenje pogona elektroenergetskog sustava podrazumijeva detaljno poznavanje strukture sustava, njegovih pogonskih i eksploatacijskih mogućnosti
- glavne aktivnosti vođenja su tzv. "on-line" prirode i zahtijevaju poznavanje trenutnog stanja u kojem se sustav nalazi

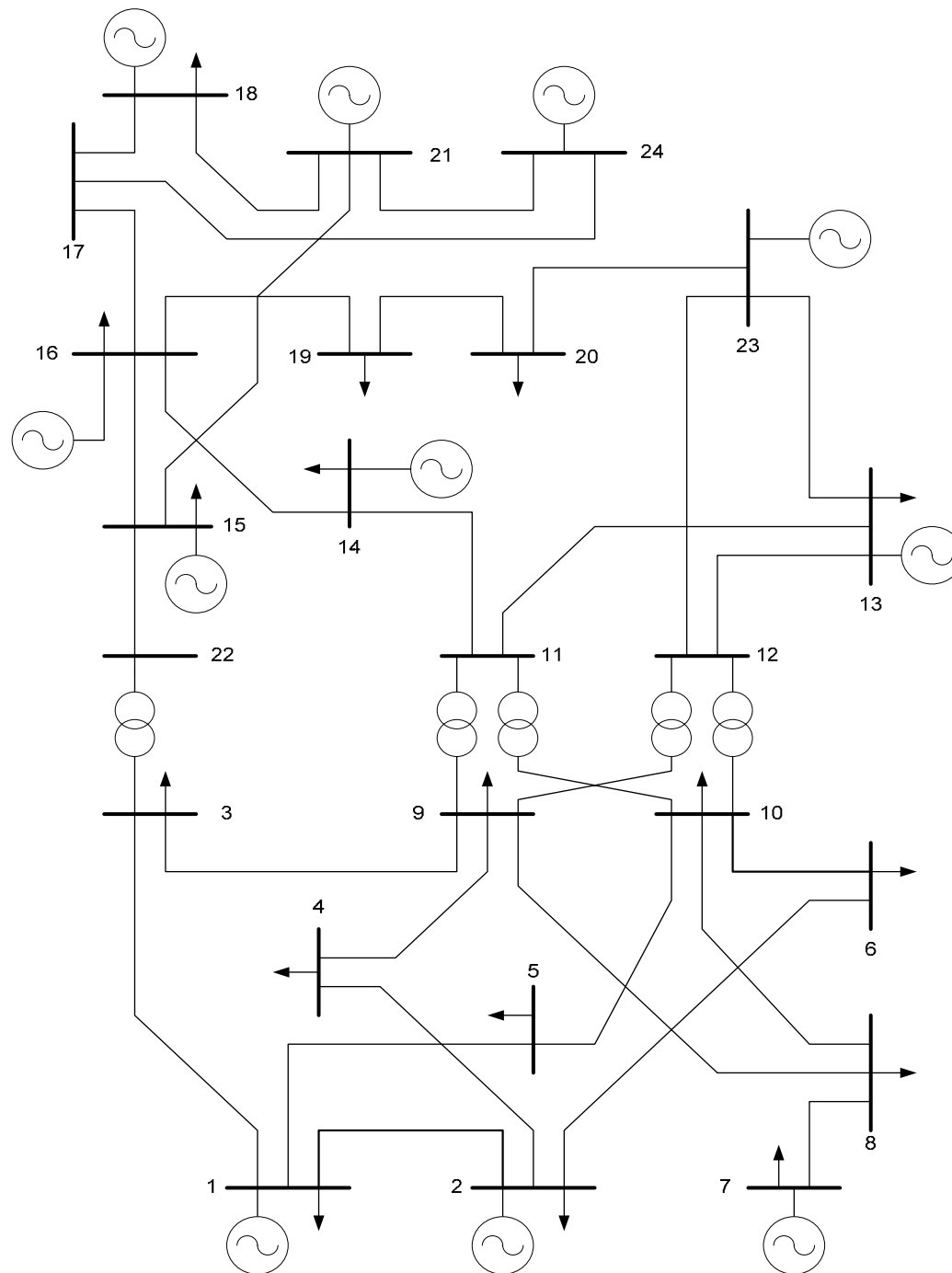
Pojednostavljena shema EES-a



Elektroenergetski sustav



2008.



Energijske tehnologije: Prijenos i distribucija električne energije

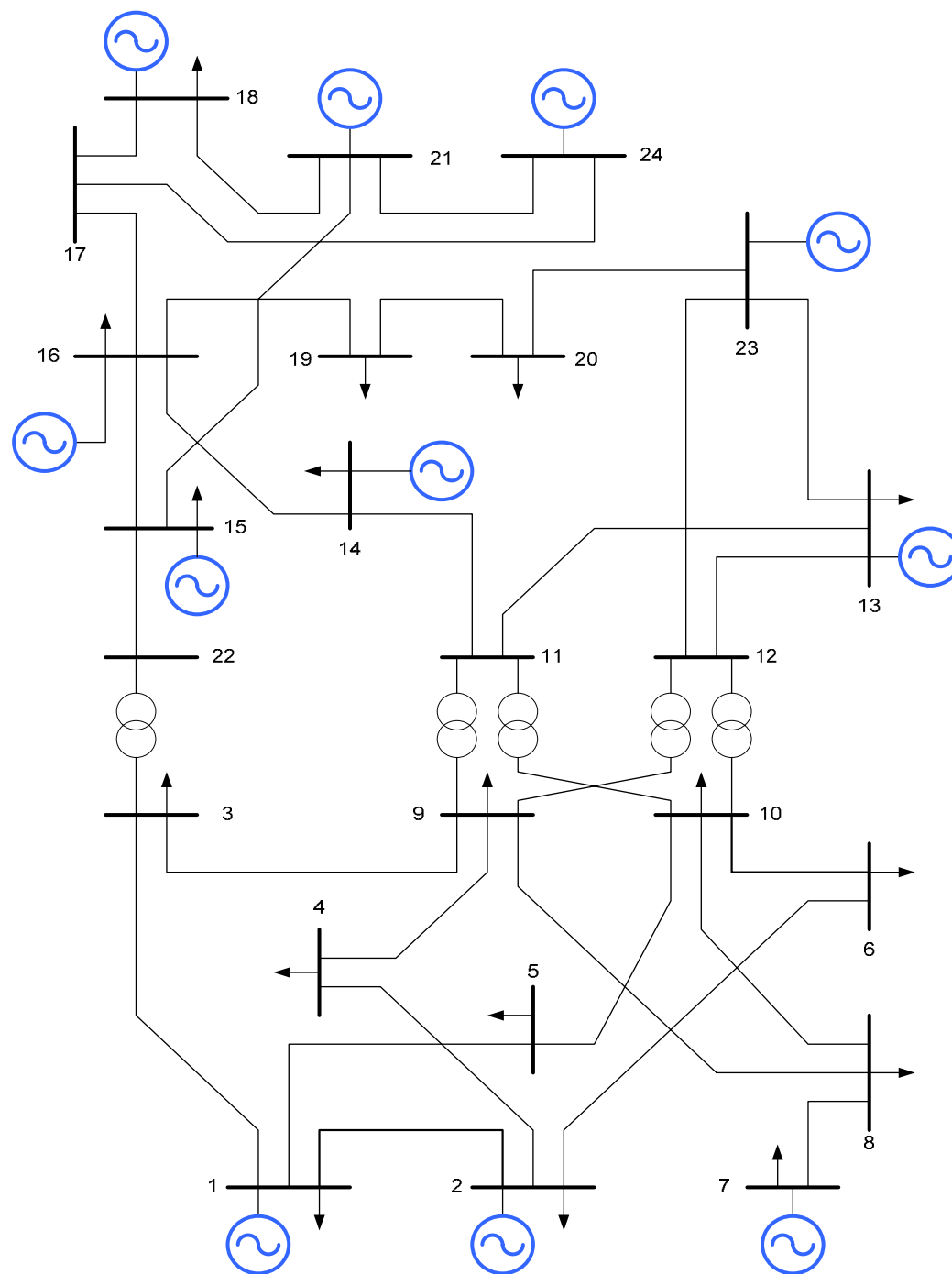
7

Elektroenergetski sustav

Elektrane



2008.



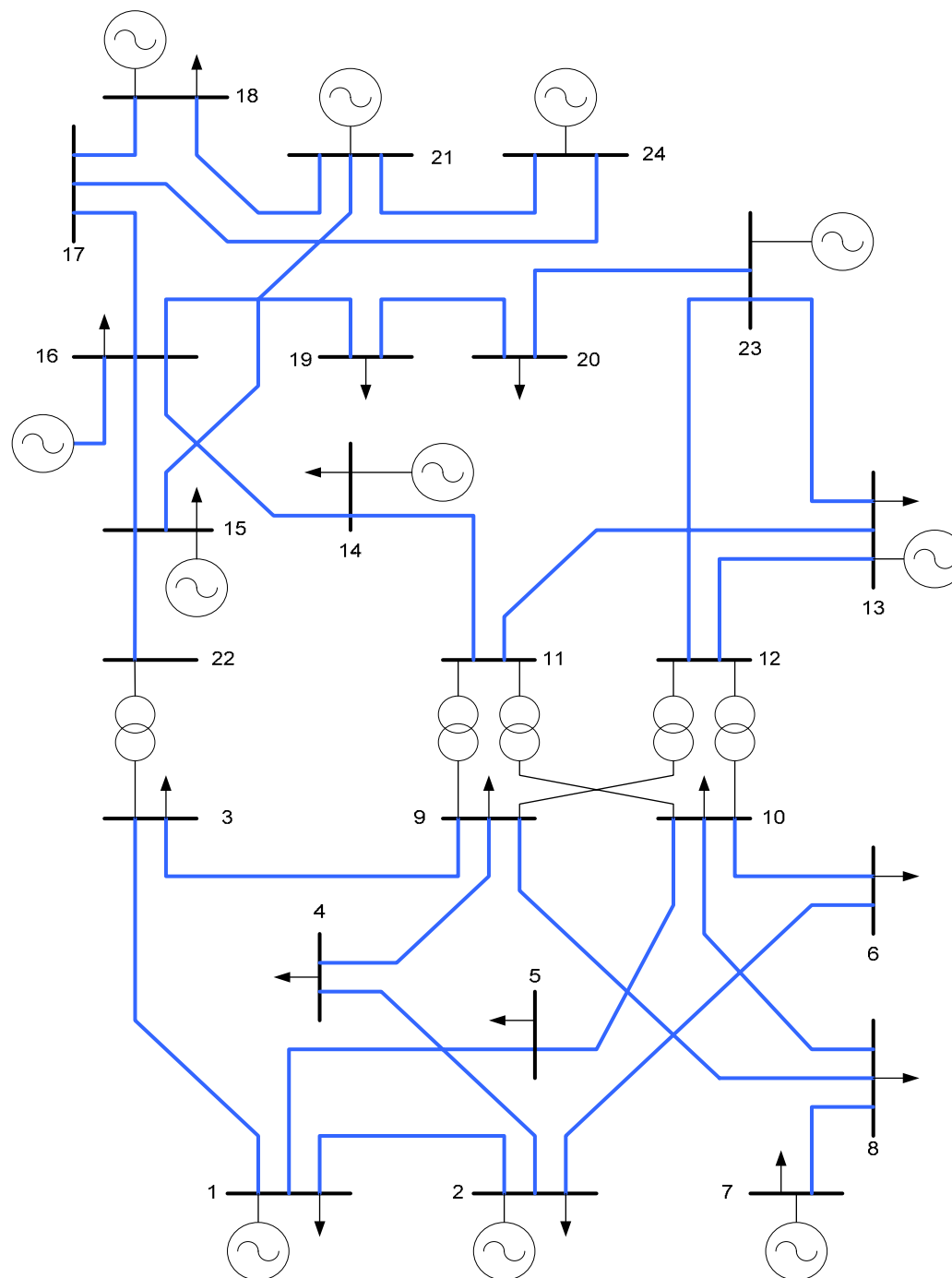
Energijske tehnologije: Prijenos i distribucija električne energije

Elektroenergetski sustav

Prijenosni vodovi



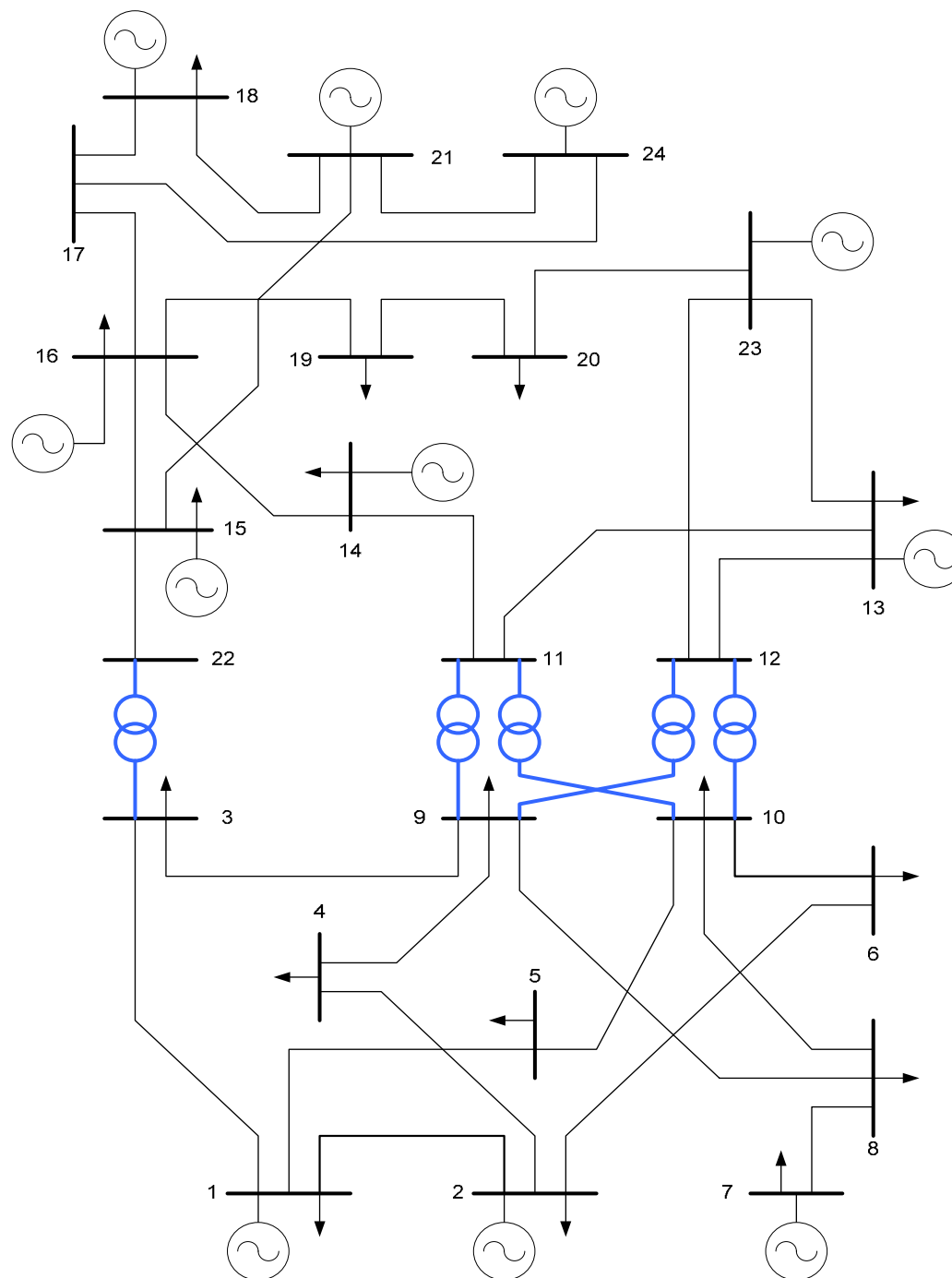
2008.



Energijske tehnologije: Prijenos i distribucija električne energije

Elektroenergetski sustav

Transformatori

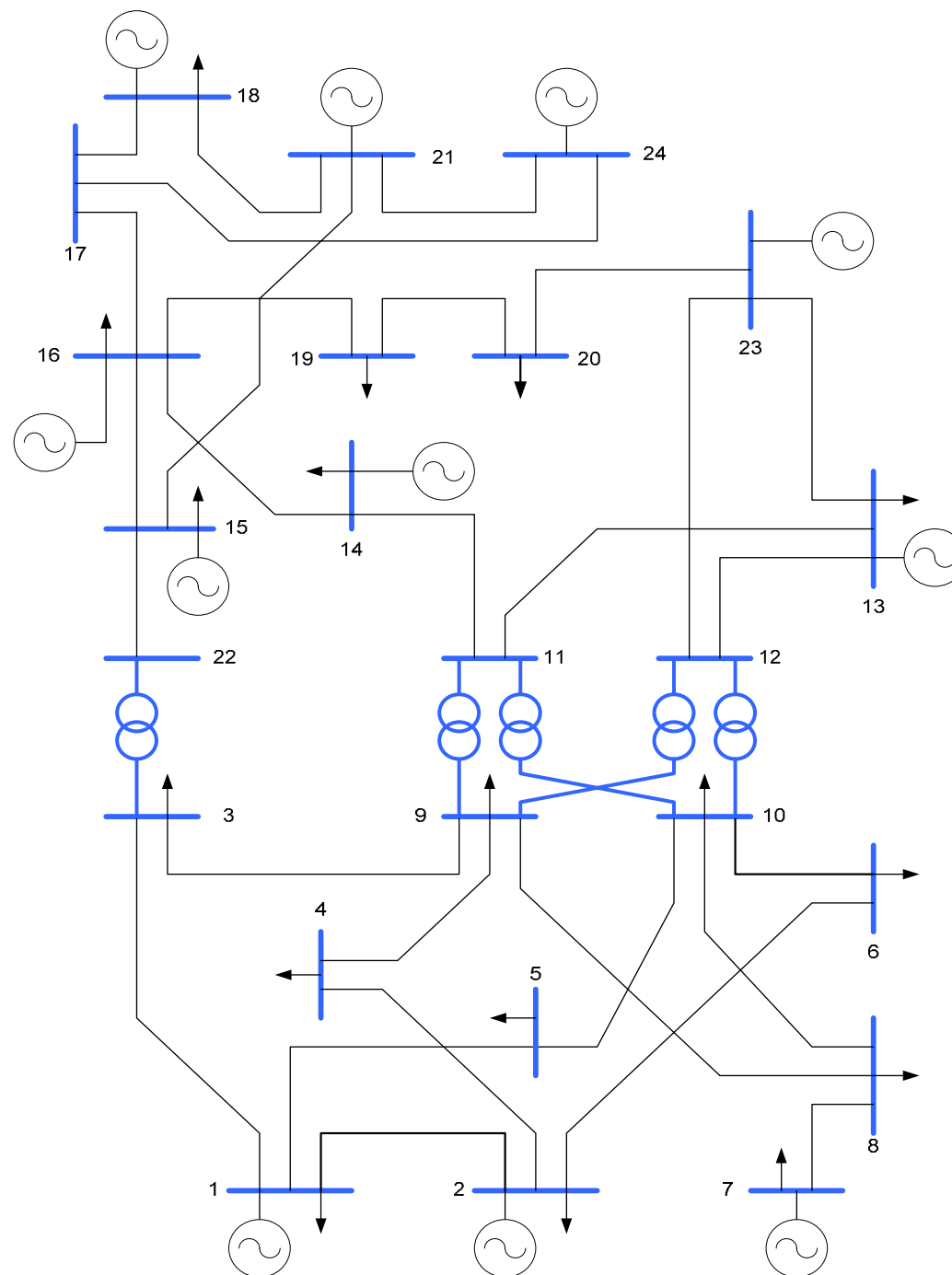


Elektroenergetski sustav

Rasklopna postrojenja

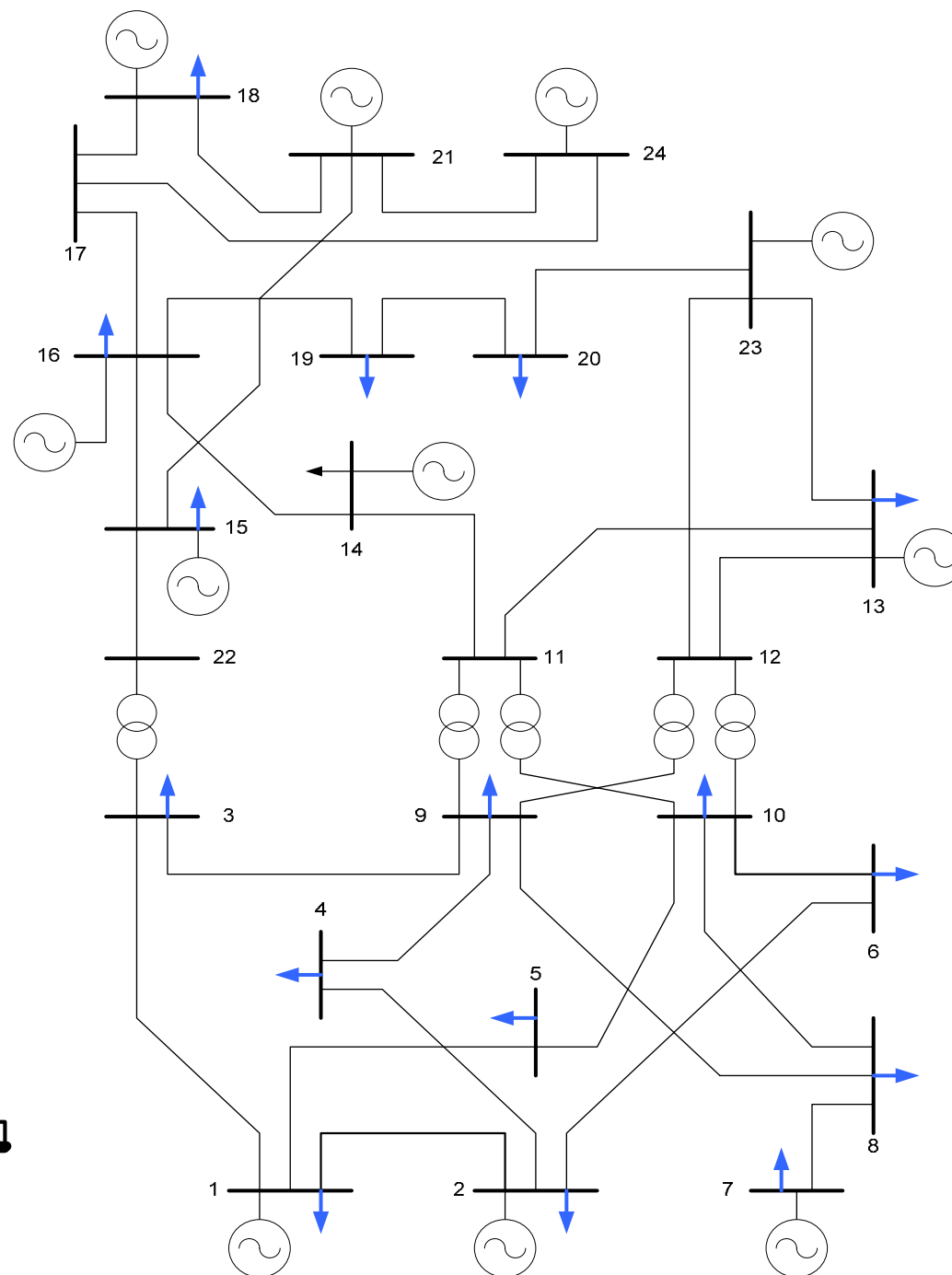
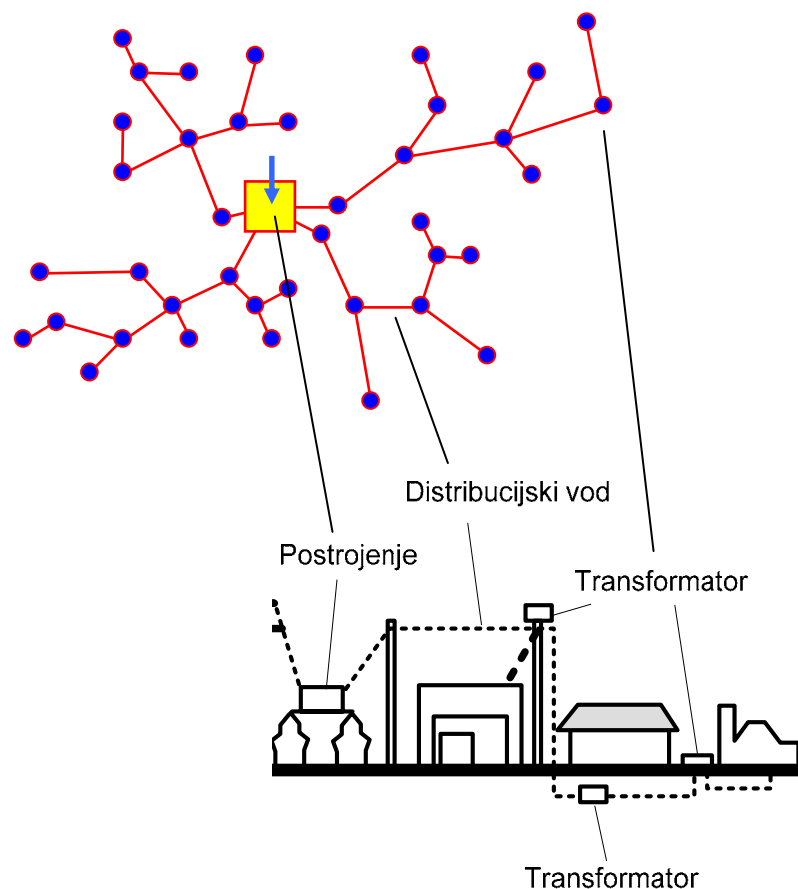


2008.



Elektroenergetski sustav

- Distribucija (TS VN/SN)

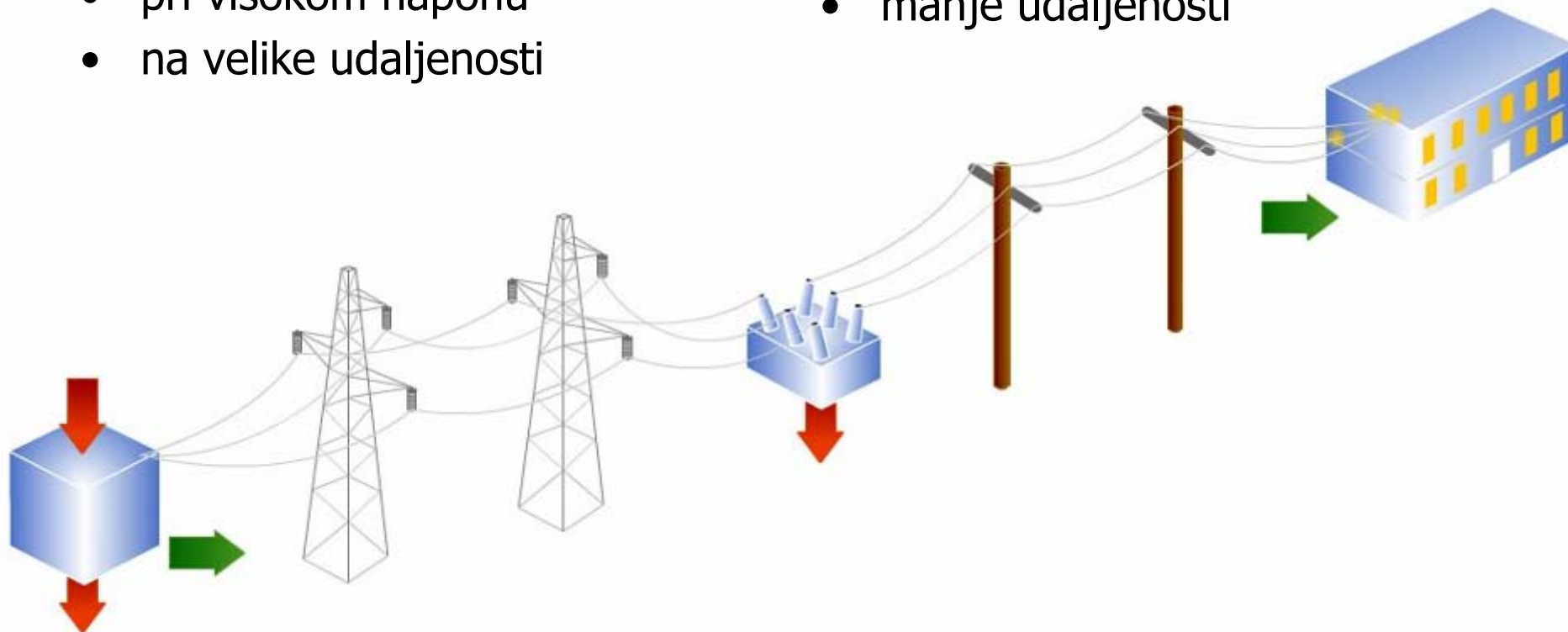


Prijenos

- transport velikih količina električne energije od centara proizvodnje (elektrane) do centara potrošnje (gradovi, regije)
- pri visokom naponu
- na velike udaljenosti

Distribucija

- razdioba električne energije unutar centara potrošnje (gradovi, regije) do krajnjih potrošača
- srednji i niski napon
- manje udaljenosti



Prijenos električne energije

- za prijenos električne energije najčešće se koristi izmjenična trofazna električna prijenosna mreža koja se sastoji od visokonaponskih vodova i kabela, transformatora i druge opreme
- radi smanjenja gubitaka prijenos se vrši na visokim naponskim razinama
- visina naponskih razina određuje se prema veličini potrebe snage pri prijenosu i udaljenosti prijenosa
- u Hrvatskoj se za prijenos električne energije koriste naponske razine od 110, 220 i 400 kV
- najviše prijenosne naponske razine u svijetu su 1100 kV (u pogonu) i 1500 kV (u razvoju)

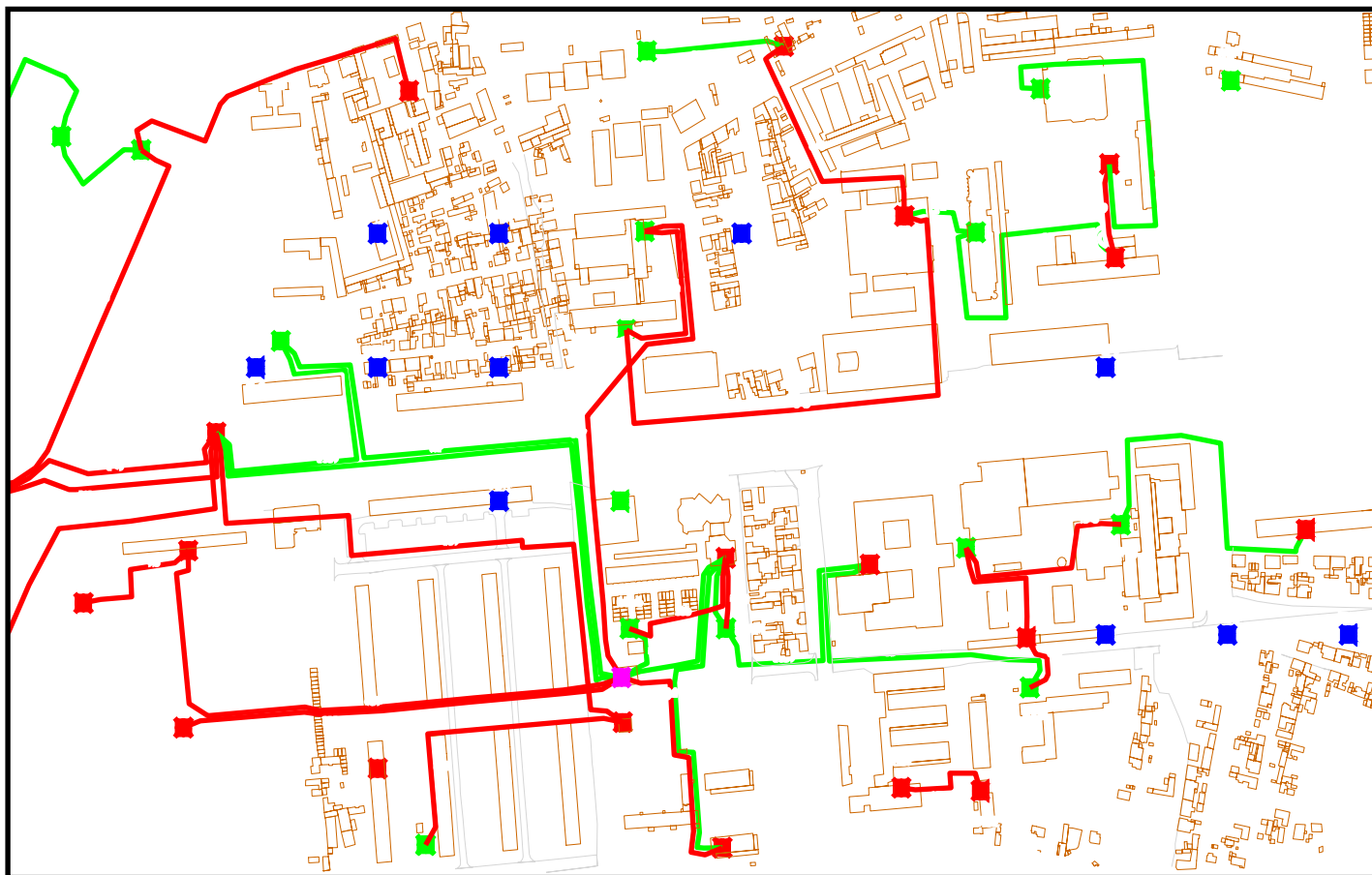
Prijenosne ili visokonaponske mreža

- dio elektroenergetskog sustava koji električnu energiju prenosi na visokim naponskim razinama od centara proizvodnje (elektrane) od centara potrošnje (gradovi, regije)
- prijenosne mreže modernih elektroenergetskih sustava su građene tako da se međusobno povezuju i zatvaraju u povezane i međusobno zatvorene cjeline, čime se povećava pouzdanost opskrbe potrošača
- tako nastaju veliki elektroenergetski sustavi međusobno povezanih zemalja (→ UCTE = Union for the Coordination of Transmission of Electricity)
- prijenosna mreža energijom napaja razdjelnu mrežu, kojom se dalje energija prenosi do krajnjih korisnika

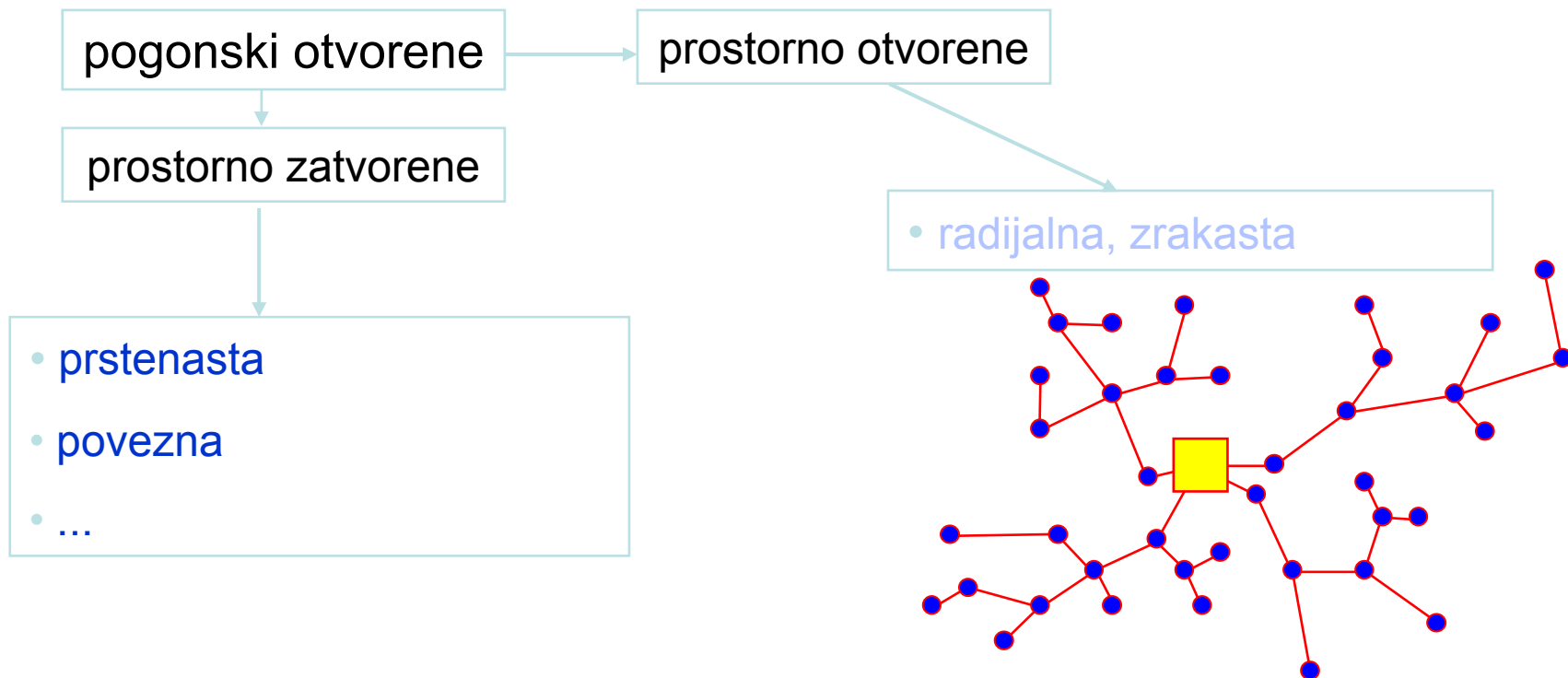
Razdjelne (distribucijske) mreža

- dio elektroenergetskog sustava koji električnom energijom opskrbljuje transformatorske stanice zadnjeg stupnja transformacije i trošila (potrošače)
- sastoje se od razdjelnih vodova (kabelskih i nadzemnih), transformatora i druge električne opreme,
- prema naponskim razinama se dijele na srednjonaponske i niskonaponske mreže
- razdjelne mreže uglavnom se konstruiraju kao prostorno uzamčene (petljaste) mreže, radi mogućnosti višestranog napajanja potrošača
- u pogonu su uglavnom zrakaste (radijalne), odnosno takve da se u svakom trenutku potrošač napaja samo iz jednog smjera
- prostorna rasprostranjenost razdjelnih mreža značajno je veća od rasprostranjenosti visokonaponskih mreža, jer se razdjelne mreže prostiru do svakog potrošačkog čvorišta
- učestalost kabelskih vodova u razdjelnim mrežama znatno je veća nego kod visokonaponskih mreža

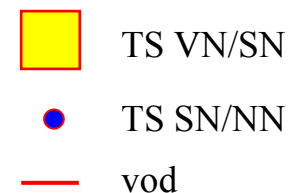
Dio SN razdjelne mreže Zagreba



Strukture razdjelnih mreža

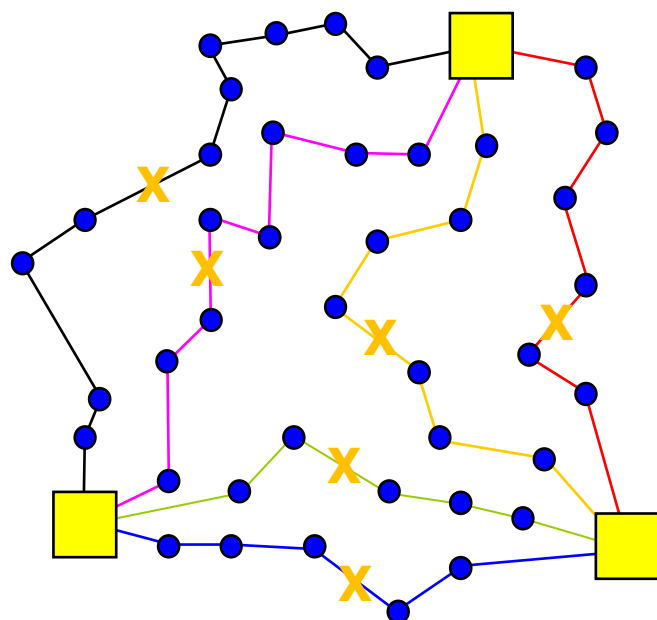


Za razliku od visokonaponskih mreža, razdjelne mreže karakterizira pogonska otvorenost što znači da se u svim pogonskim prilikama svi potrošači napajaju električnom energijom iz samo jednog smjera.

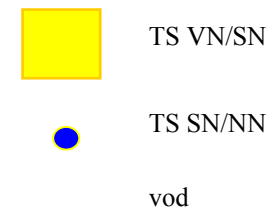
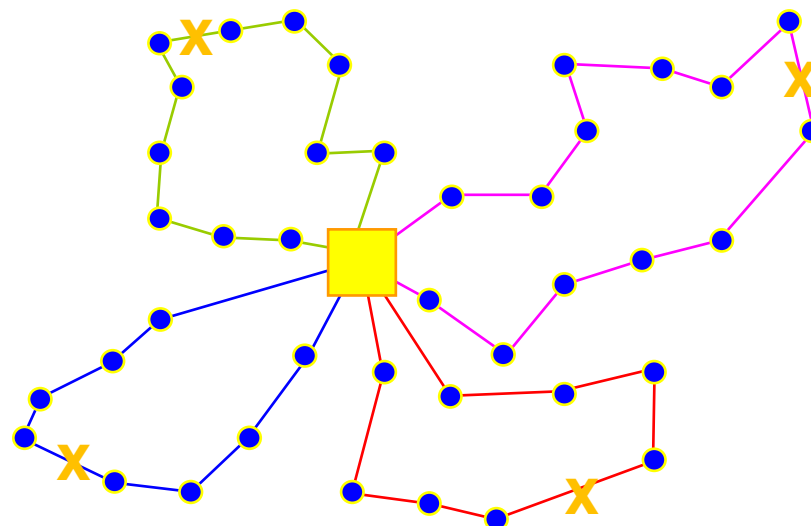


Strukture razdjelnih mreža (izvedba)

povezna struktura



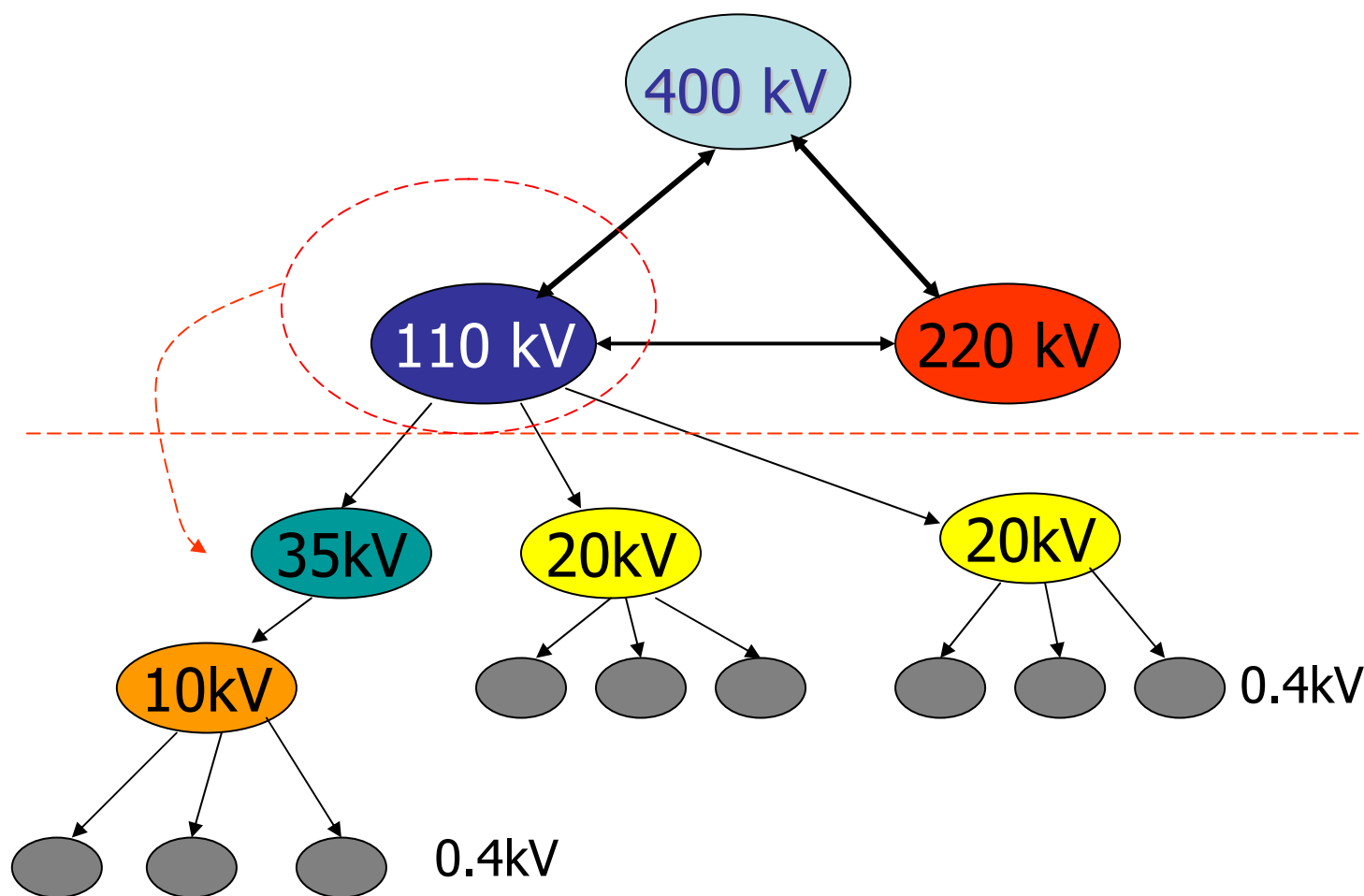
prstenasta struktura



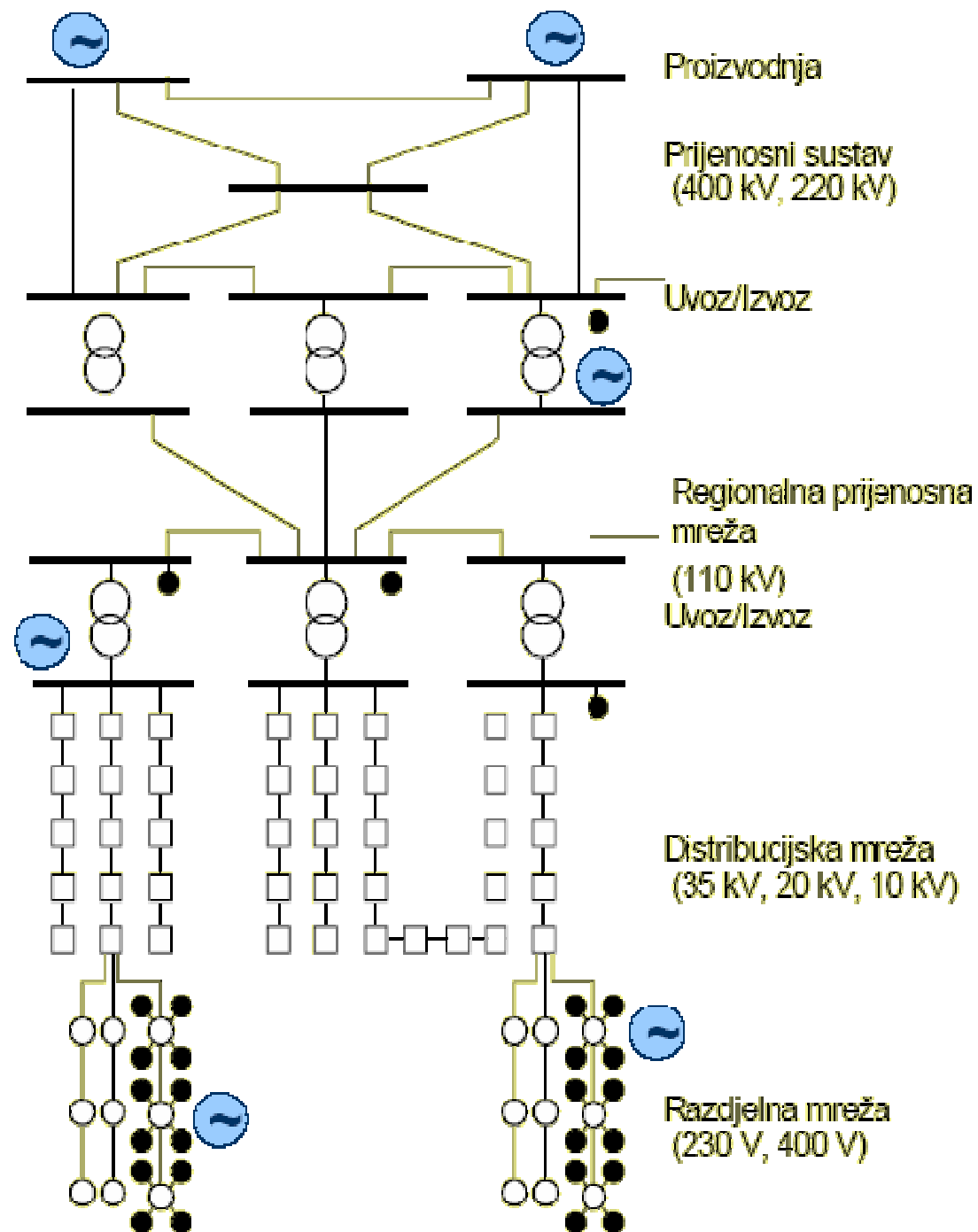
Nazivni napon

- ime naponske razine
- napon koji se pridjeljuje električnoj opremi i dijelovima sustava za označavanje njihove naponske klase
- nazivni naponi definirani su normama, a primjeri nazivnih napona danas u primjeni u Hrvatskoj su:
 - 400 V (niski napon)
 - 10, 20, 35 kV (srednji napon)
 - 110, 220, 400 kV (visoki napon)
- električna oprema dimenzionirana je tako da u trajnom pogonu može podnijeti napon nešto veći od nazivnog (npr. 10% na prijenosnim vodovima)

Prijenosne i distribucijske naponske razine



Prijenosne i distribucijske naponske razine



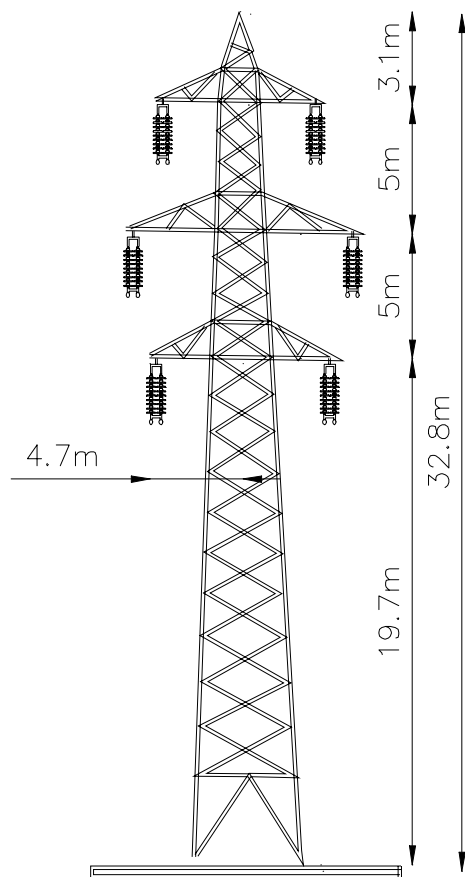
Električni vod

- skup jednog ili više električnih vodiča, izolacije i druge električne opreme koji zajedno služe za prenošenje električne energije
- prema funkciji koju obavljaju vodovi se grubo mogu podijeliti na prijenosne, distribucijske, instalacijske, ...
- prema mjestu postavljanja na nadzemne, podzemne, podvodne, ...
- najuobičajenija je podjela na zračne (nadzemne) i kableske vodove
- vodiči zračnih vodova se najčešće izrađuju kao upletene niti od jednog (homogeni) ili više materijala, a postoje i posebne složenije izvedbe vodiča specijalnih namjena
- od materijala najviše se upotrebljavaju bakar i aluminij zbog svoje visoke vodljivosti, a aluminijski se vodiči često kombiniraju s čelikom zbog boljih mehaničkih svojstava

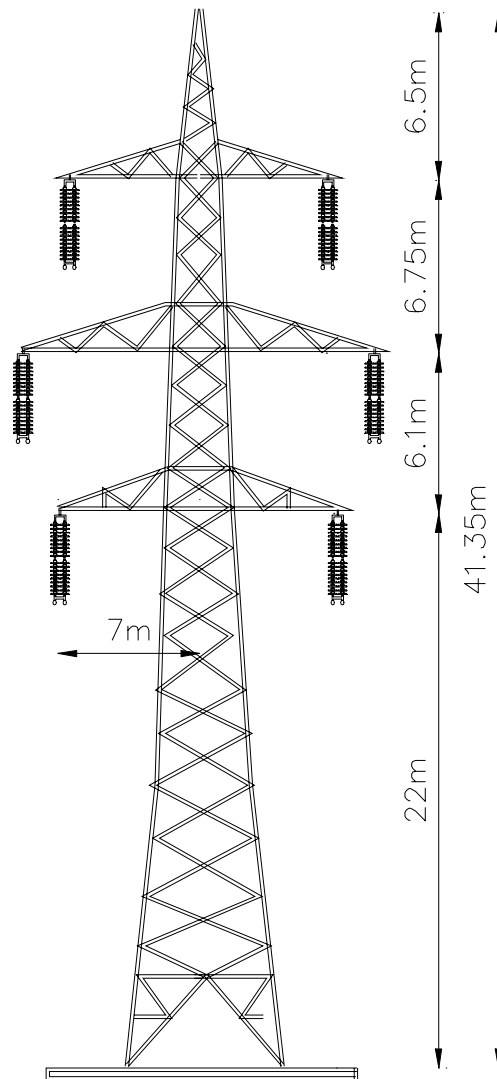


Nadzemni vodovi

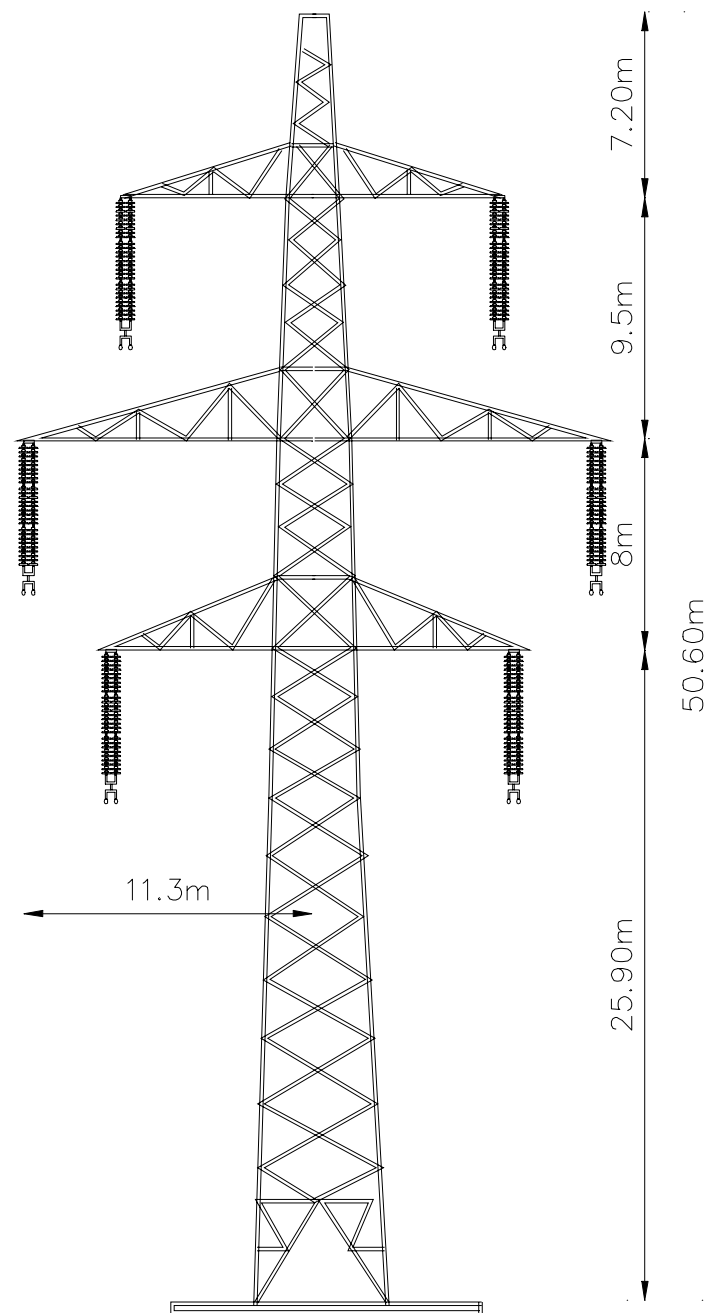
Veličine stupova - usporedba



2 x 110kV



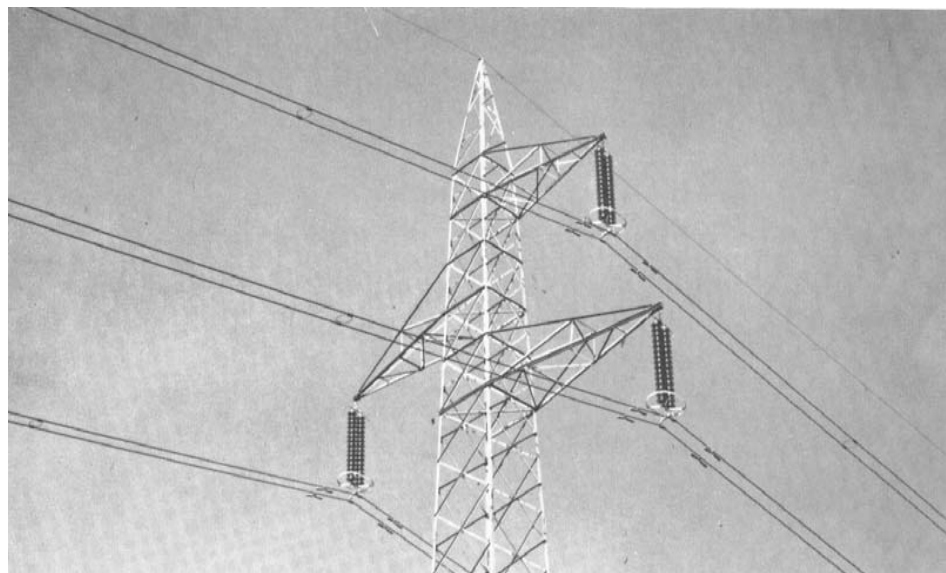
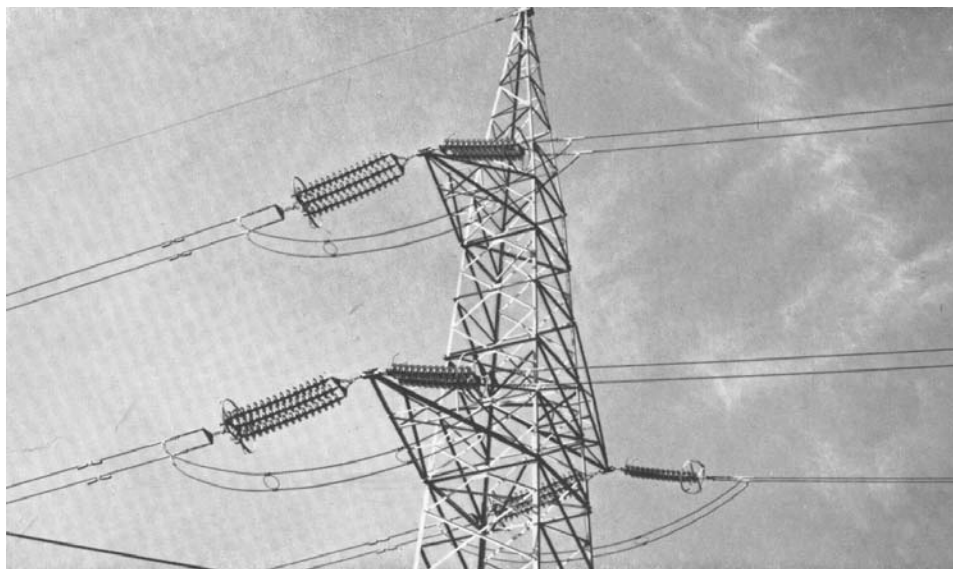
2 x 220kV



2 x 400kV

Vrh čelično-rešetkastog stupa 220 kV voda u Hrvatskoj

- zatezni stup
- noseći stup



Kabel

- izoliran (obložen) električni vod s jednim ili više vodiča unutar jednog zajedničkog plašta (omotača)
- kabelski vodiči izrađeni su najčešće od čistog bakra ili aluminijske i sastoje se od više usukanih žica (niti)
- izolacija pojedinih vodiča i cijelog kabela ovisi o namjeni kabela i pogonskom naponu
- za izolaciju kabela se najčešće koriste guma i termoplastične mase, a u starijim izvedbama i papir natopljen uljem i/ili smolom.
- plašt kabela štiti kabel od prodora vode i vlage, a kabeli mogu imati i oklop koji ih štiti od kemijskih i mehaničkih oštećenja
- prema broju vodiča kabeli se djela na jednožilne i višežilne (dvožilni, trožilni, itd)
- prema mjestu polaganja na podzemne, podvodne, zračne, itd.



Rasklopna postrojenja

- električna postrojenja na krajevima vodova
- u modelu mreže predstavljena su čvorištima
- sadrže
 - prekidače
 - rastavljače
 - transformatore
 - sabirnice
 - zaštitu
 - ...



Prekidači

uključenje i isključenje vodova

- u normalnom pogonu
- u slučaju kvarova

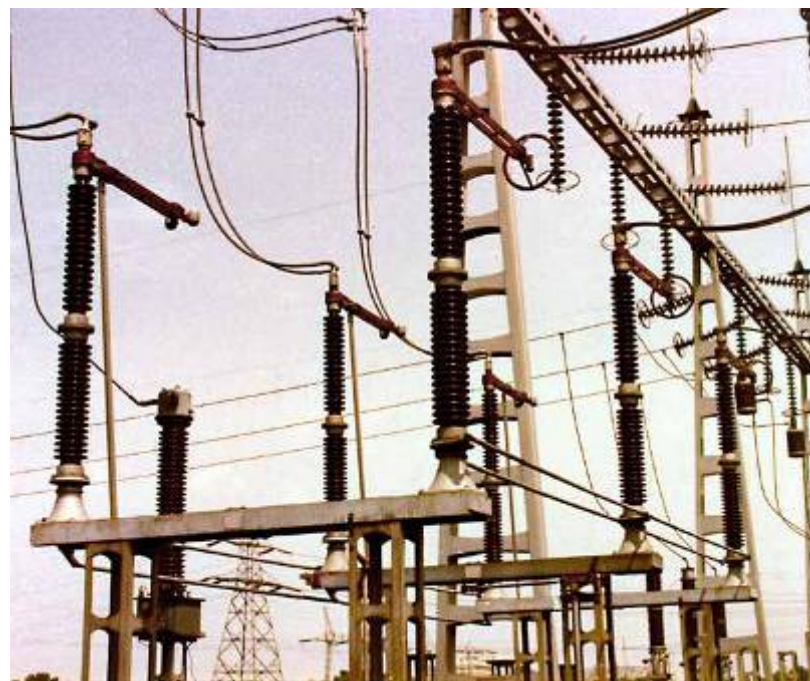


2008.

Rastavljači

rastavljači vidljivo odvajaju
djelove rasklopnog postrojenja

- ne upotrebljavaju se za
prekidanje struje
- isklapanje i uklapanje
rastavljača provodi se kada
rastavljačem ne teče struja

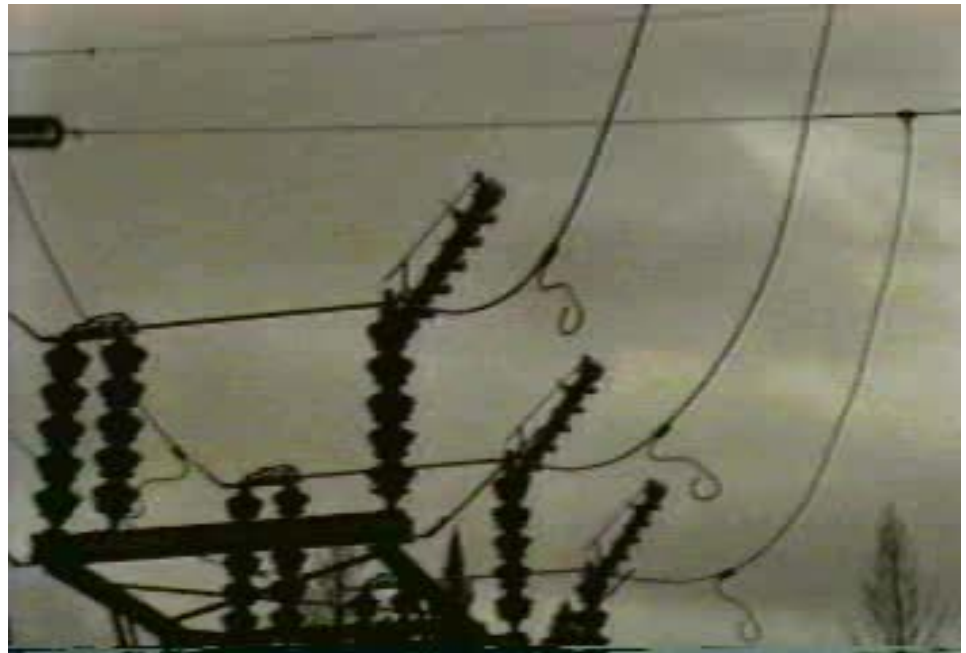


Energijske tehnologije: Prijenos i distribucija električne energije

28

Što se dogodi ako rastavljač pokušamo upotrijebiti kao prekidač?

- [rastav1.mpeg](#)
- [rastav2.mpeg](#)



Održavanje ravnoteže proizvodnje i potrošnje

Tijekom normalnog rada EES-a, uz nazivnu frekvenciju, ukupna proizvedena snaga jednaka je zbroju ukupne snage svih potrošača i ukupnih gubitaka snage u sustavu.

$$\sum \text{Proizvodnja} = \sum \text{Opterećenje} + \sum \text{Gubitci}$$

Neravnoteža između proizvodnje i potrošnje:

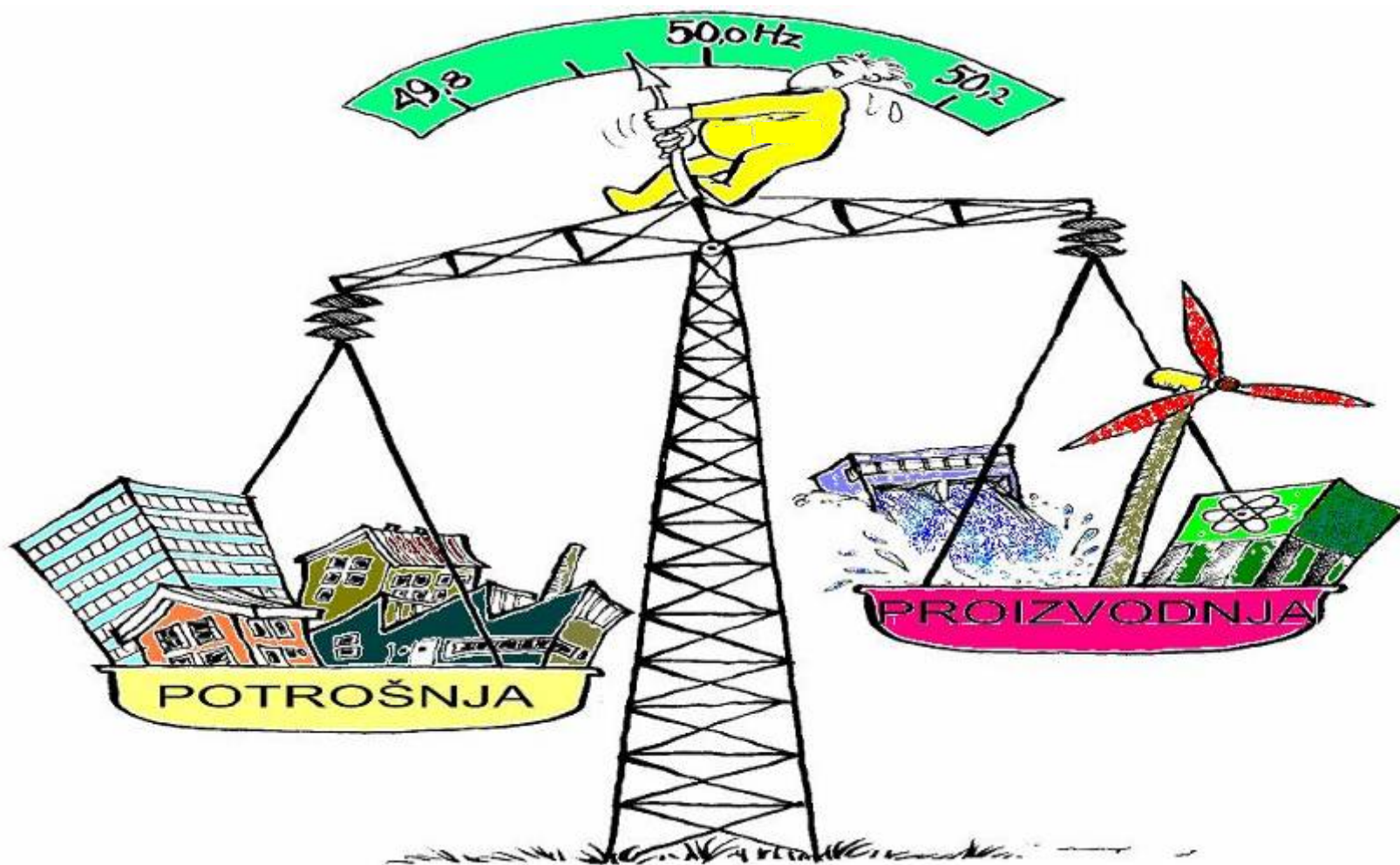
neravnoteža djelatne snage - odstupanje frekvencije

neravnoteža jalove snage - odstupanje napona

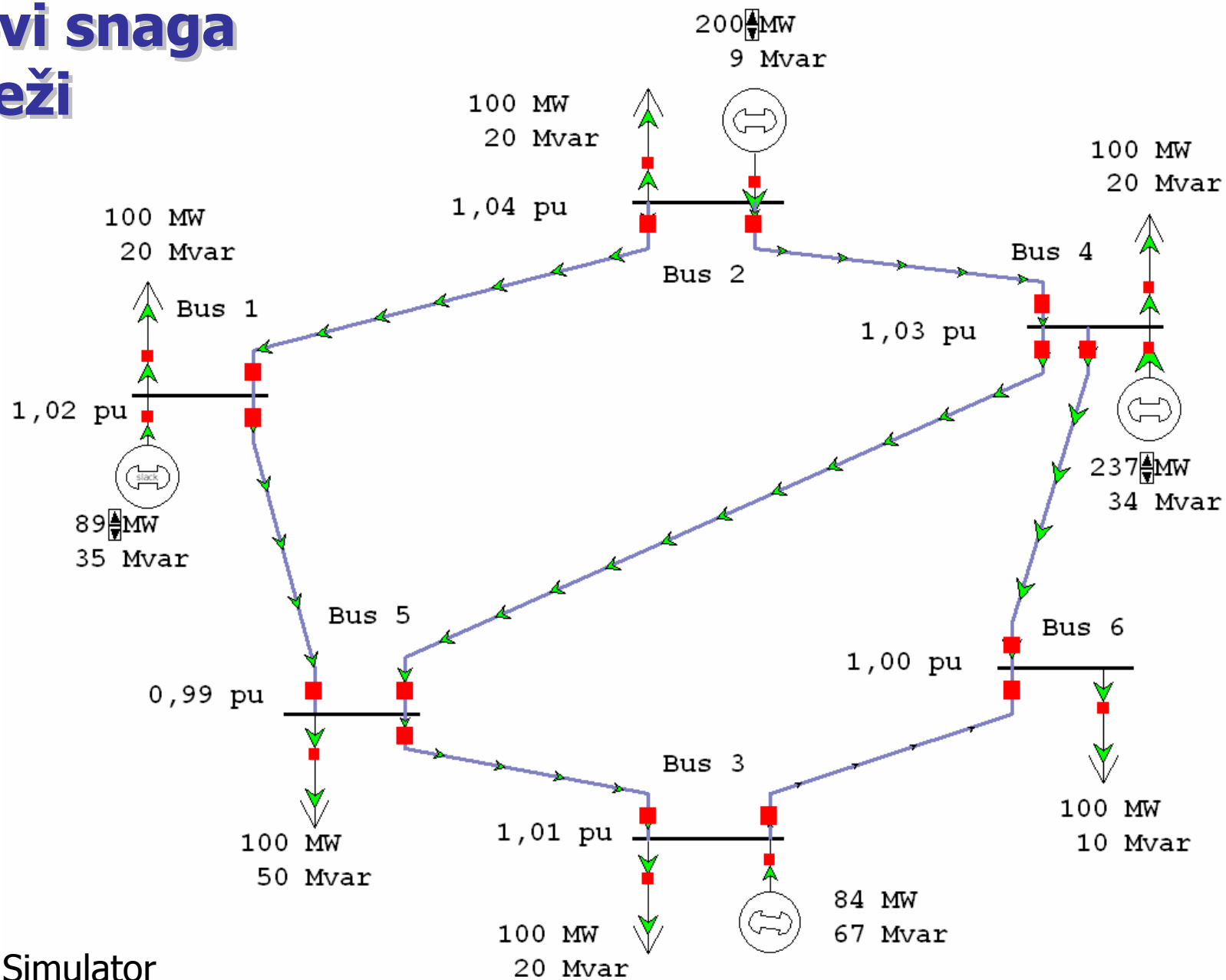
Neravnoteža proizvodnje i potrošnje moguća je samo u malim iznosima (značajno manjim od ukupne snage).

Djelatna snaga i frekvencija

<http://www.ucte.org>



Tokovi snaga u mreži



Power World Simulator

<http://www.powerworld.com/downloads/demosoftware.asp>

Tokovi snaga i gubici u mreži

Električne konstante vodova

- u grani (uzdužne)
 - otpor R
 - induktivitet L
- prema zemlji (poprečne)
 - vodljivost G (zanemariva)
 - kapacitet C

R – ovisi o materijalu i presjeku vodiča

L i C – ovise o prostornom rasporedu voda

- Struja koja prolazi kroz vodič grije vodič i stvara gubitke u prijenosu

Gubici u vodovima

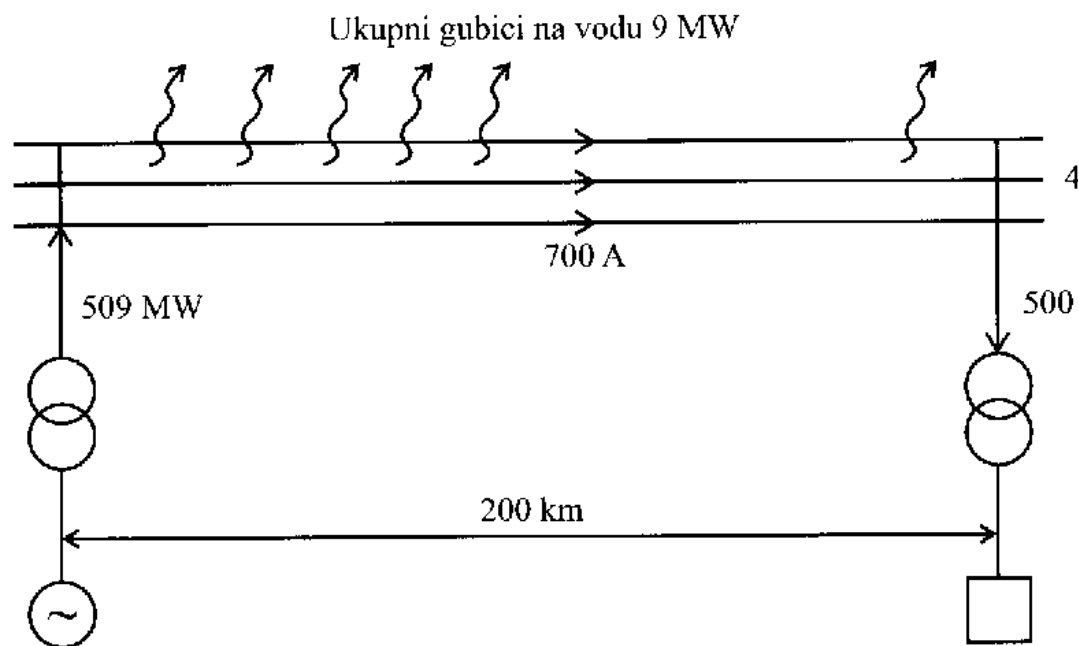
- $\sim I^2R$
- smanjuju se povećavanjem naponskih razina (smanjuje se I)
- povećanjem presjeka vodiča (smanjuje se R)

Gubici u transformatorima

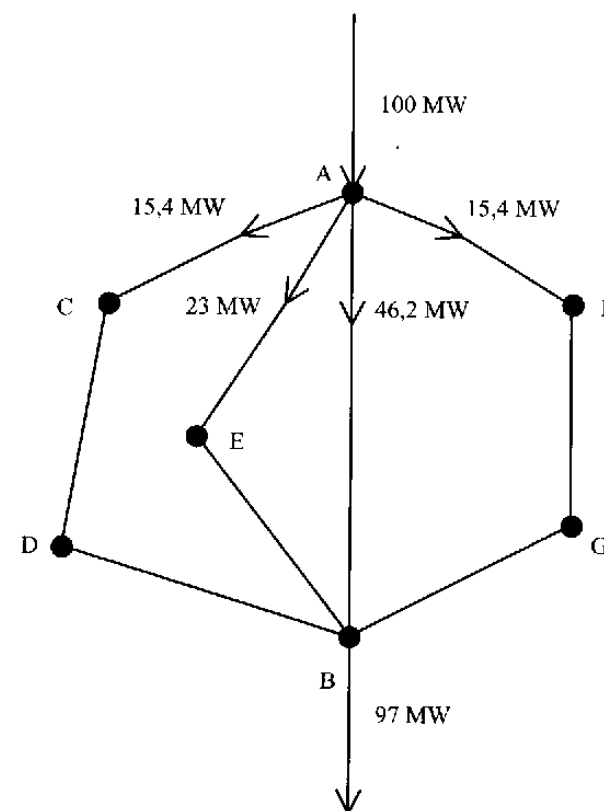
- “u bakru” - gubici uslijed protoka struje kroz transformator
- “u željezu” - gubici magnetiziranja jezgre

Tokovi snaga i gubici u mreži

- Primjer gubitaka na jednom nadzemnom vodu

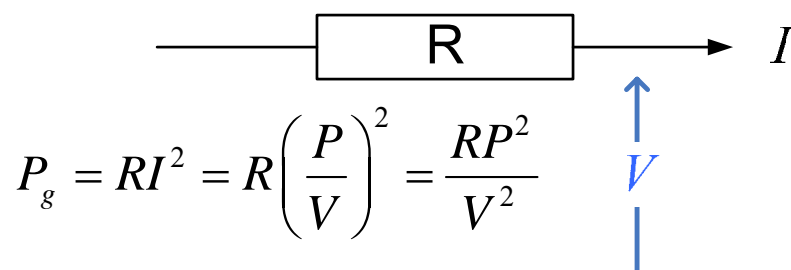


- Primjer tokova snage i gubitaka u dijelu mreže



Gubitci u vodovima - primjer

- Zamislamo da istim vodom prenosimo istu snagu na dvije različite naponske razine (npr. 110 i 220 kv). Radi jednostavnosti razmatrat ćemo samo jednu fazu i to samo djelatnu komponentu snage i djelatni otpor na vodu.



- Snaga koju prenosimo vodom u oba je slučaja ista
 $P = I_{110} V_{110} = I_{220} V_{220}$
- Gubici snage duž voda definirani su kao
 $P_{g110} = I_{110}^2 R$
 $P_{g220} = I_{220}^2 R$
- Za istu snagu prijenosa jer je $V_{220} = 2 V_{110}$
 $\rightarrow I_{220} = 1/2 I_{110}$
- Gubici prijenosa
 $\rightarrow P_{g220} = 1/4 P_{g110}$
- Za dvostruko veći napon, pri prijenosu iste snage, gubitci snage na vodovima su četiri puta manji.**

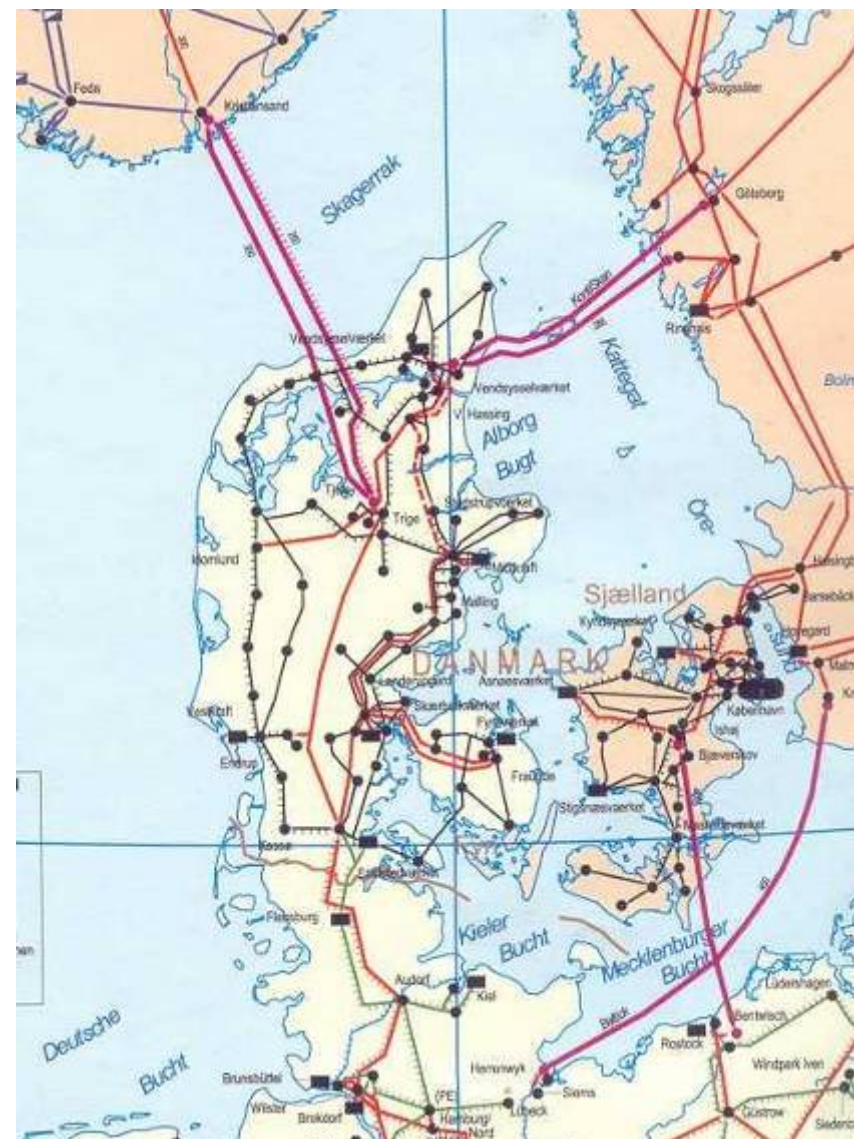
Istosmjerni prijenos

- prijenos električne energije visokonaponskim vodovima ili kabelima kojima teče istosmjerna struja
- kod prijenosa električne energije dominantan je izmjenični prijenos električne energije, no ponekad se izmjenični sustavi i/ili njihovi dijelovi povezuju istosmjernom vezom
- primjeri istosmjernih veza uključuju prijenos dugačkim podvodnim kabelima, povezivanje sustava različitih frekvencija ili sustava čije frekvencije nisu u sinkronizmu, kao i prijenos na izrazito velike udaljenosti
- loše strane istosmjernog prijenosa su teže prekidanje strujnog kruga i potreba za pretvaračima istosmjernog u izmjenični sustav s obje strane istosmjernog voda
- dobre strane su značajno manji gubici na dugim vodovima i manje naprezanje izolacije

Istosmjerni prijenos



2008.



Energijske tehnologije: Prijenos i distribucija električne energije

37

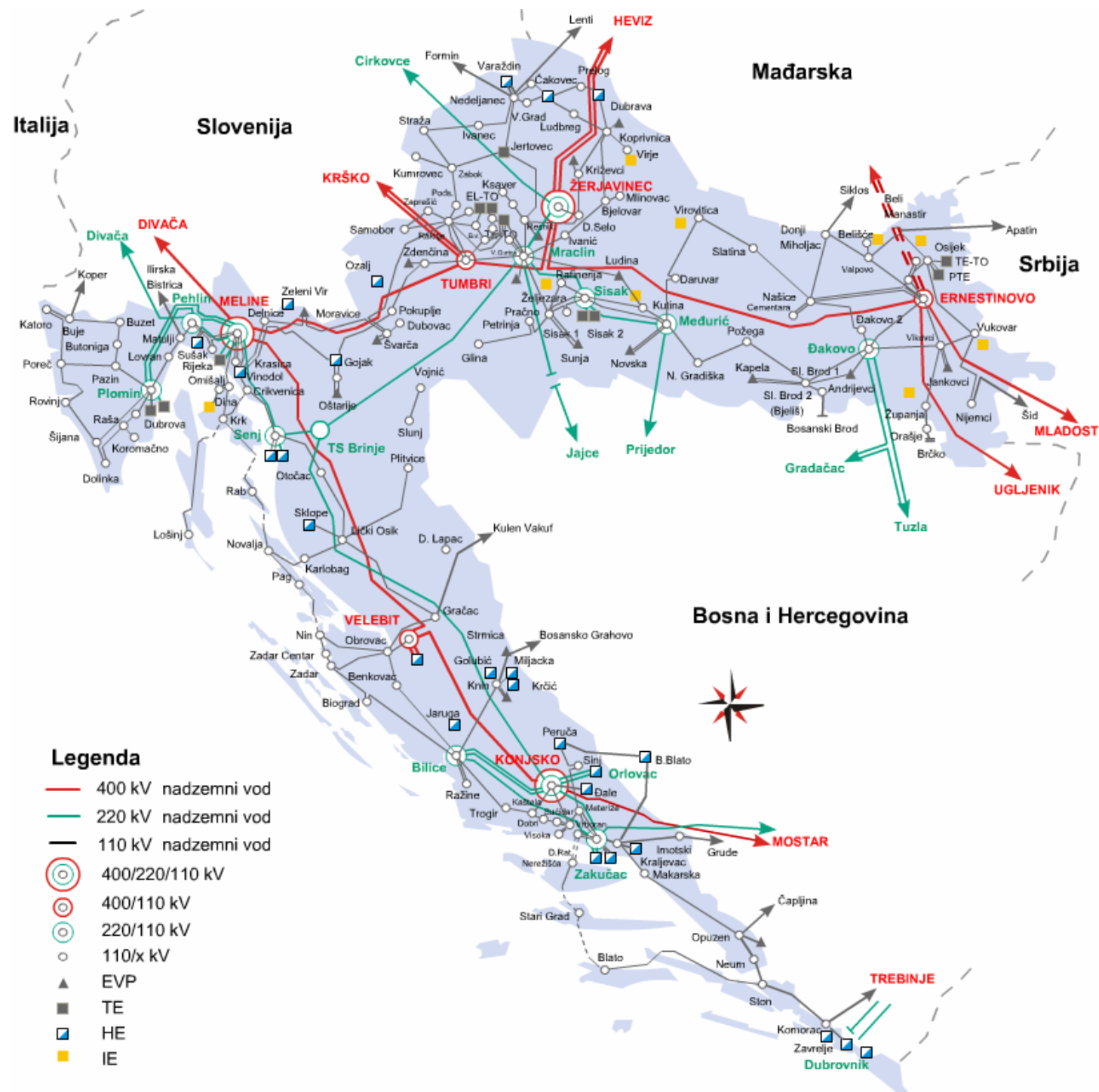
Rekordi u prijenosu

- Najviši izmjenični napon: 1150 kV vod Ekibastuz-Kokshetau, Kazakhstan
- Najviši istosmjerni napon: +/-600 kV HVDC vod Itaipu, Brazil
- Najviši stupovi: 253m i 240m, Zhu Jiang (Pearl River), Kina
- Najdulji vod: 1700km vod Inga-Shaba, Kongo
- Najveći raspon među stupovima: 5376 m, Ameralik Span, Grenland
- najdulji podvodni kabel: ukupne duljine 360 km, pod vodom 290 km, Basslink, Australia-Tasmania



Prijenosni stup blizu Disneyworlda, Orlando, Florida

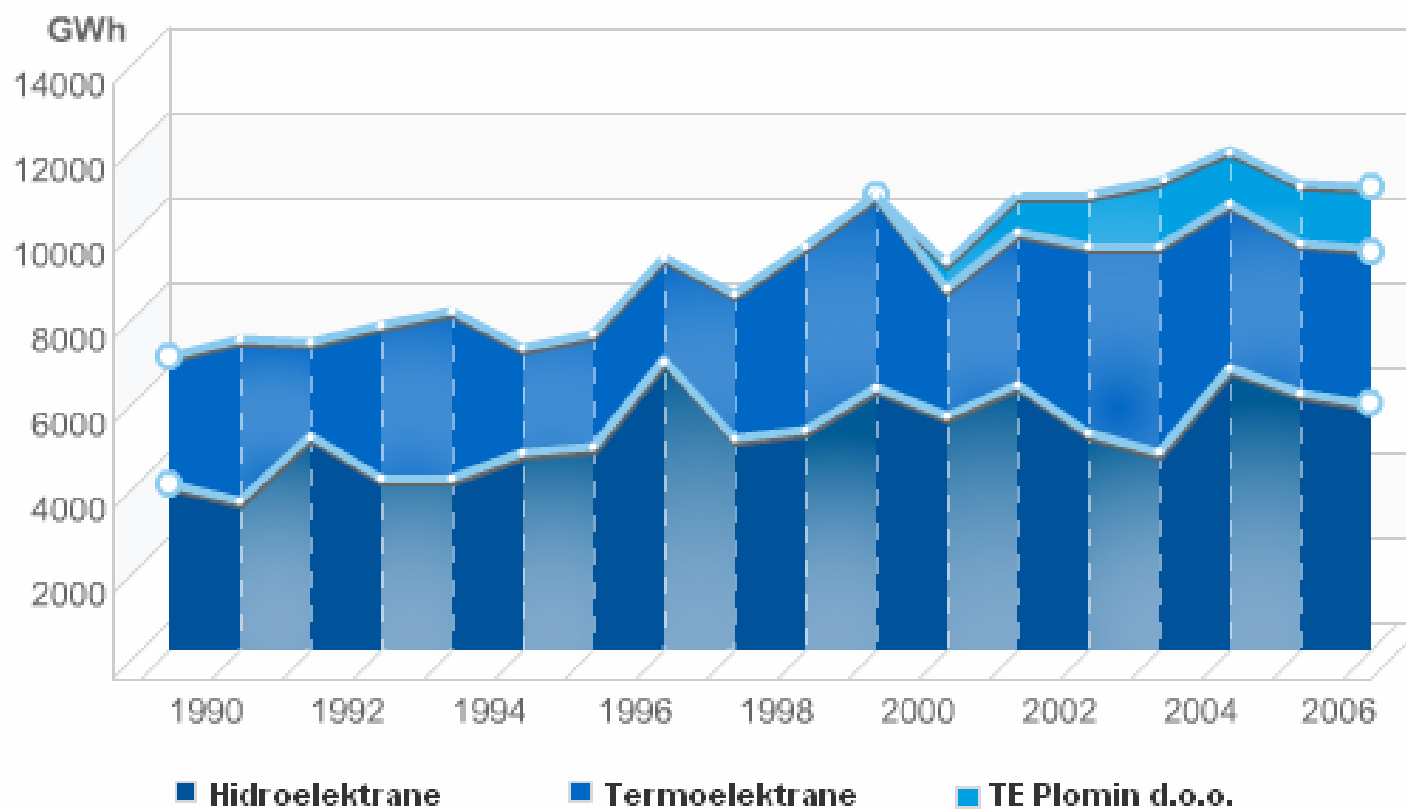
HR EES



Elektrane



Godišnja proizvodnja (GWh)



Prijenos 1

- elektrane
- postrojenja



Prijenos 2

- elektrane
- postrojenja

400 kV vodovi

- prijenosna moć
1100 MVA



Prijenos 3

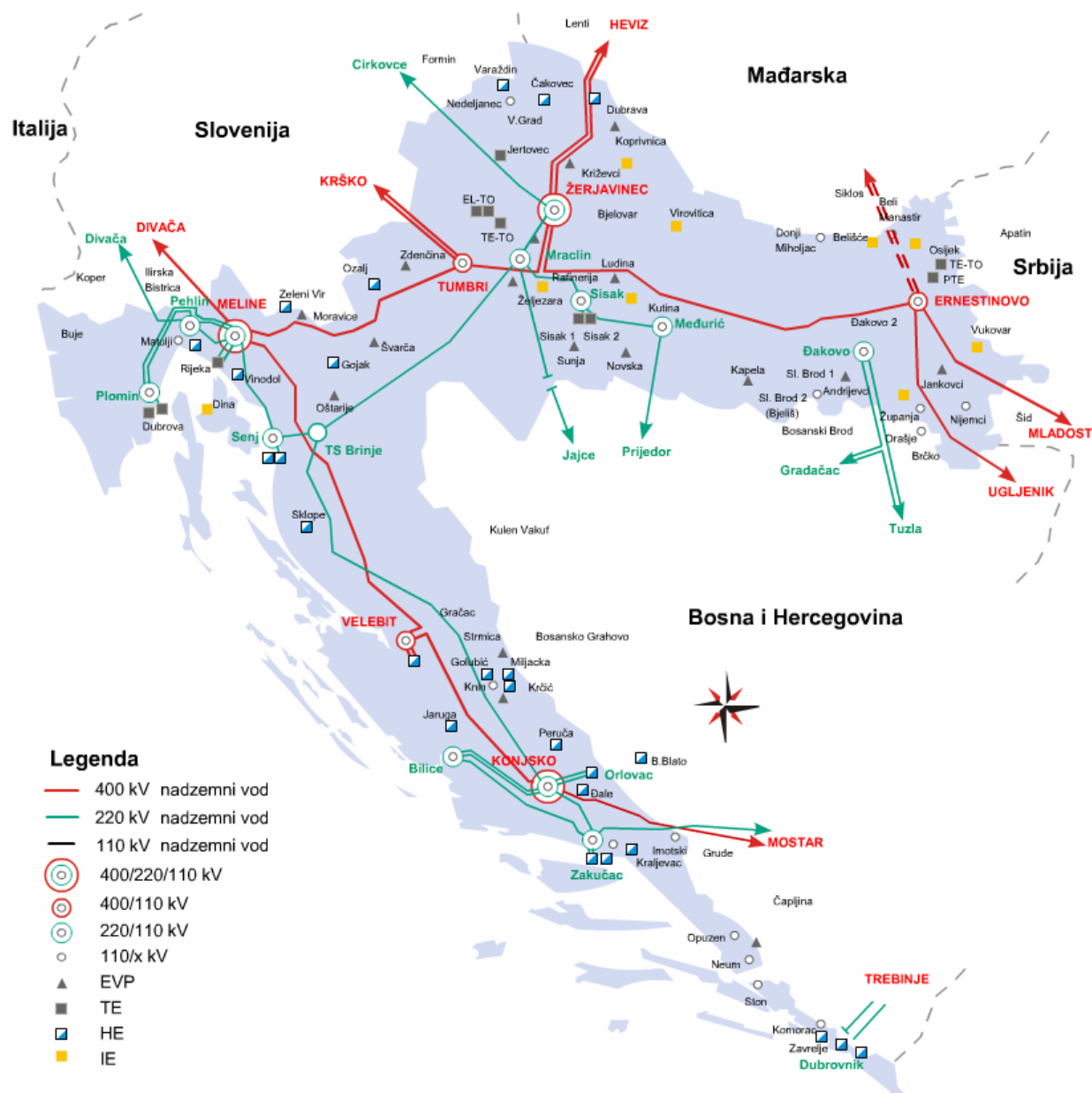
- elektrane
- postrojenja

400 kV vodovi

- prijenosna moć
1100 MVA

220 kV vodovi

- prijenosna moć
300-600 MVA



Prijenos 4

- elektrane
- postrojenja

400 kV vodovi

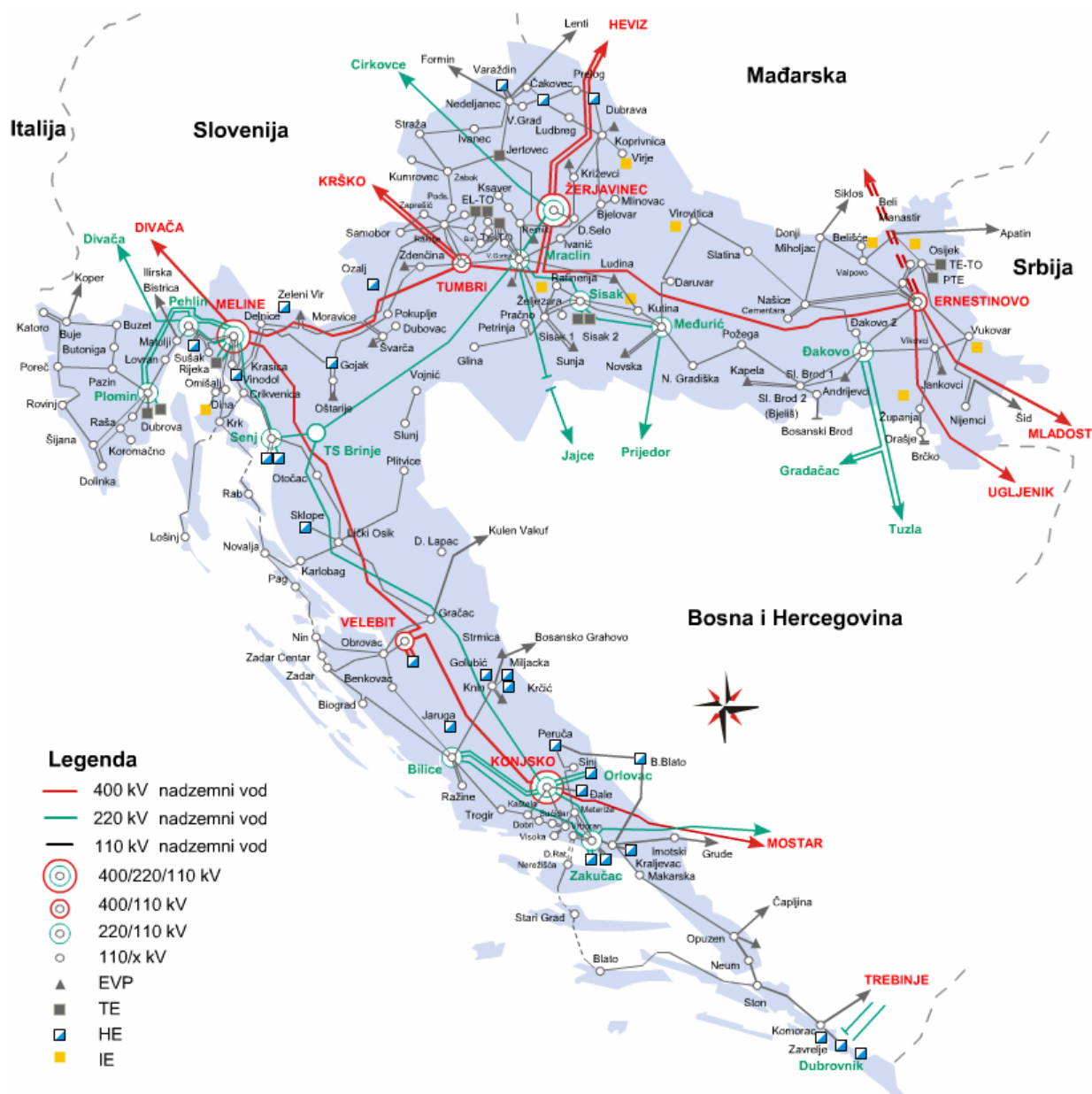
- prijenosna moć
1100 MVA

220 kV vodovi

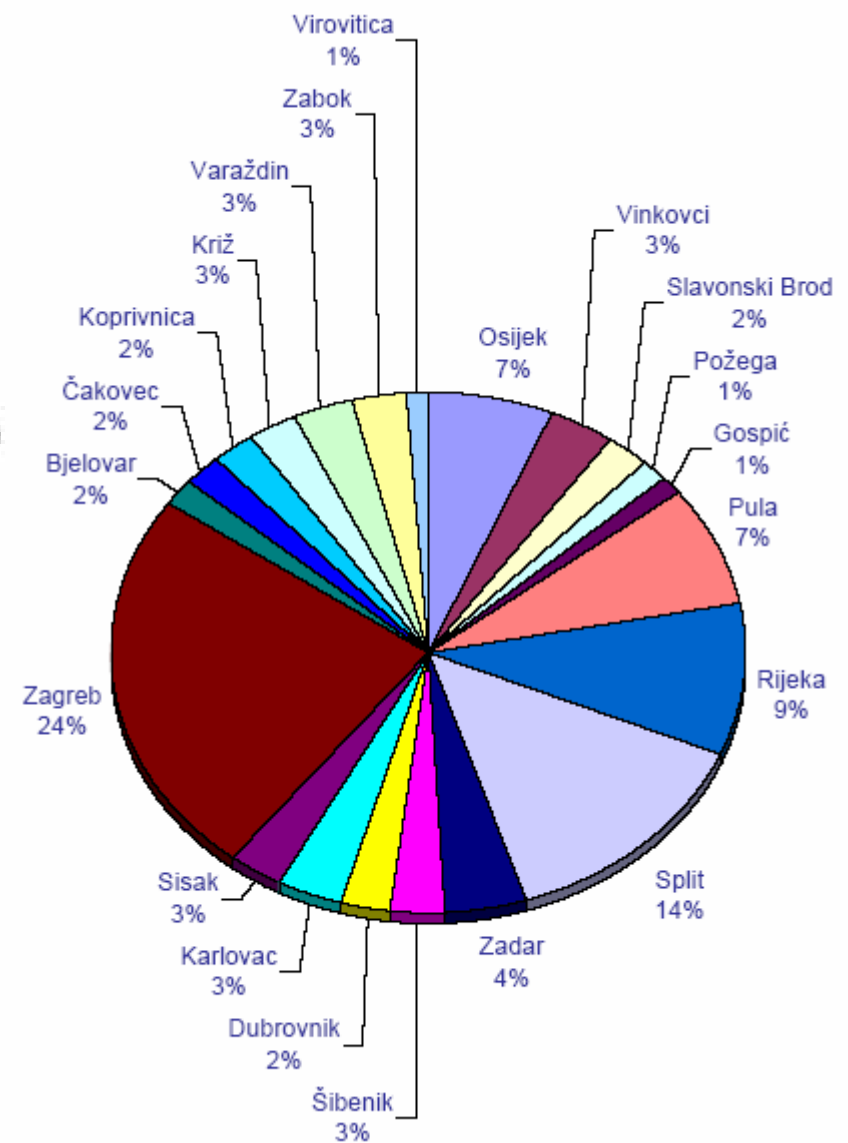
- prijenosna moć
300-600 MVA

100 kV vodovi

- prijenosna moć
60-150 MVA



Distribucija



Dalekovodi

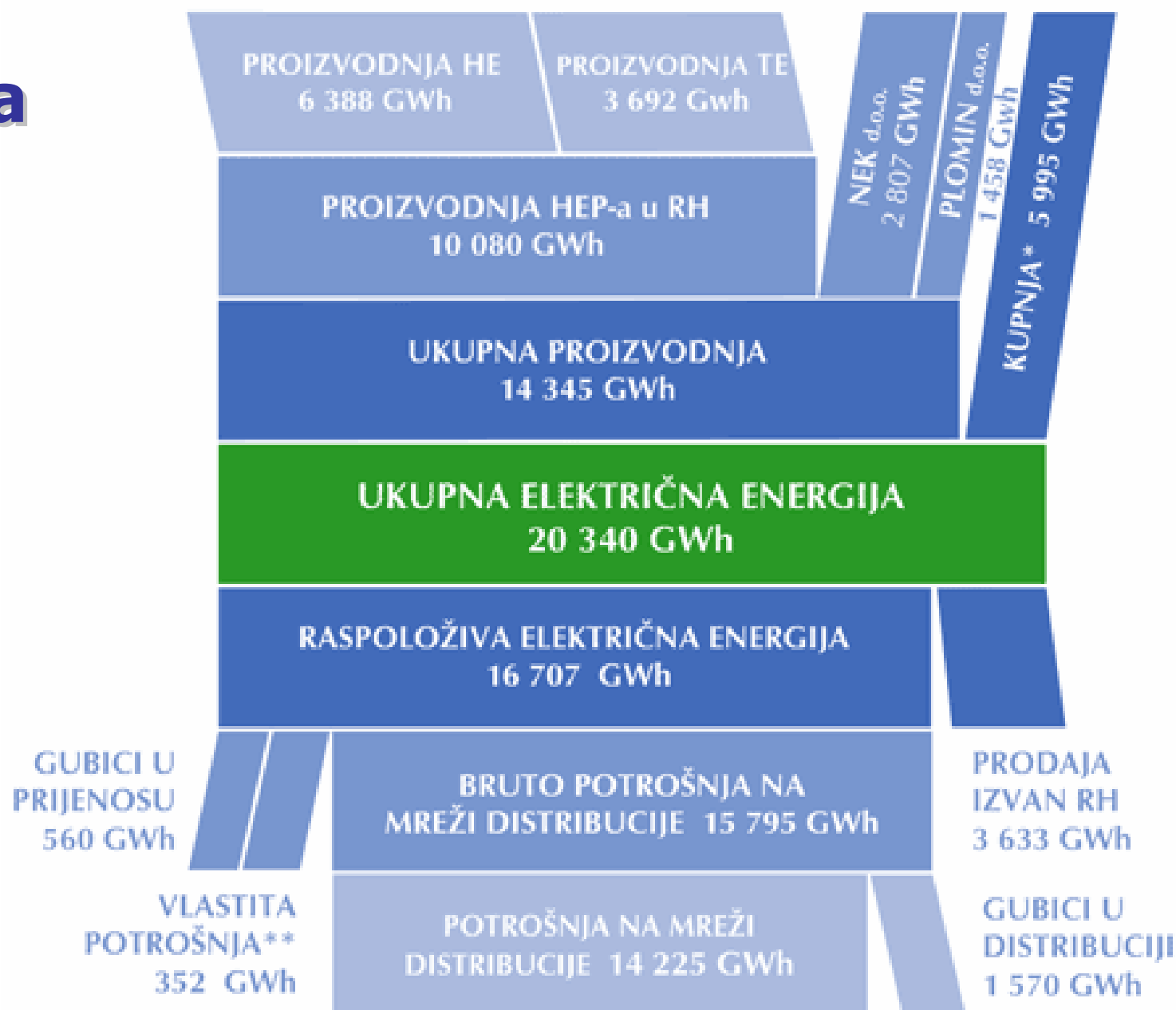
Prijenosno područje		Duljina (km)				Ukupno
		400 kV	220 kV	110 kV	s.n.	(km)
RIJEKA	U pogonu	259,2	371,0	915,9	65,5	1.611,6
	Izvan pogona	0,0	0,0	14,3	0,0	14,3
	Izgrađeno	259,2	371,0	995,7	0,0	1.625,9
OSIJEK	U pogonu	202,2	53,6	756,1	19,0	1.030,9
	Izvan pogona	0,0	0,0	0,6	0,0	0,6
	Izgrađeno	202,2	53,6	748,2	19,0	1.023,0
SPLIT	U pogonu	169,3	403,5	1.218,6	0,0	1.791,4
	Izvan pogona	0,0	1,4	39,5	0,0	40,9
	Izgrađeno	169,3	426,7	1.282,0	38,8	1.916,8
ZAGREB	U pogonu	528,2	316,4	1.709,8	41,0	2.593,4
	Izvan pogona	0,0	65,8	5,5	0,0	71,3
	Izgrađeno	528,2	382,2	1.756,3	0,0	2.666,7
HRVATSKA	U pogonu	1.158,9	1.144,5	4.600,4	117,0	7.020,8
	Izvan pogona	0,0	67,2	59,9	0,0	127,1
	Izgrađeno	1.158,9	1.233,5	4.782,2	57,8	7.232,4

Transformatorske stranice

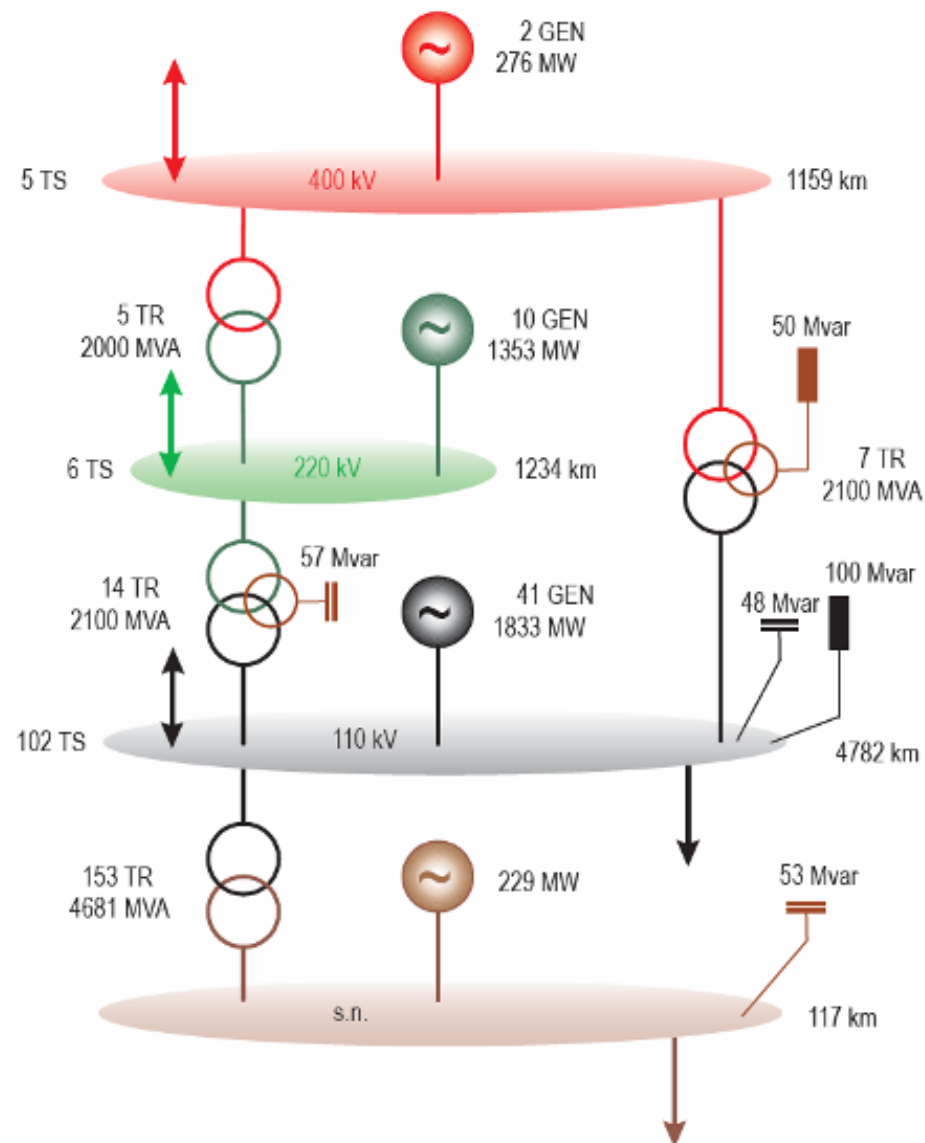
Prijenosno područje	Broj trafostanica (kom.)				Broj polja s prekidačima (kom.)			
	400/x	220/x	110/x	Ukupno	400	220	110	Ukupno
Rijeka	1	2	24	27	7	24	130	161
Osijek	1	1	16	18	9	5	125	139
Split	1	1	26	28	5	21	164	190
Zagreb	2	2	35	39	17	16	256	292
Hrvatska	5	6	101	112	38	66	678	782

Prijenosno područje	Broj transformatora (kom.)				Instalirana snaga (MVA)			
	400/x	220/x	110/x	Ukupno	400/	220/	110/	Ukupno
Rijeka	2	5	38	45	800	620	938	2.358
Osijek	2	2	28	32	600	300	829	1.729
Split	2	5	42	49	800	750	1.350	2.900
Zagreb	6	4	50	60	1.900	600	1.556	4.056
Hrvatska	12	16	158	186	4.100	2.270	4.673	11.043

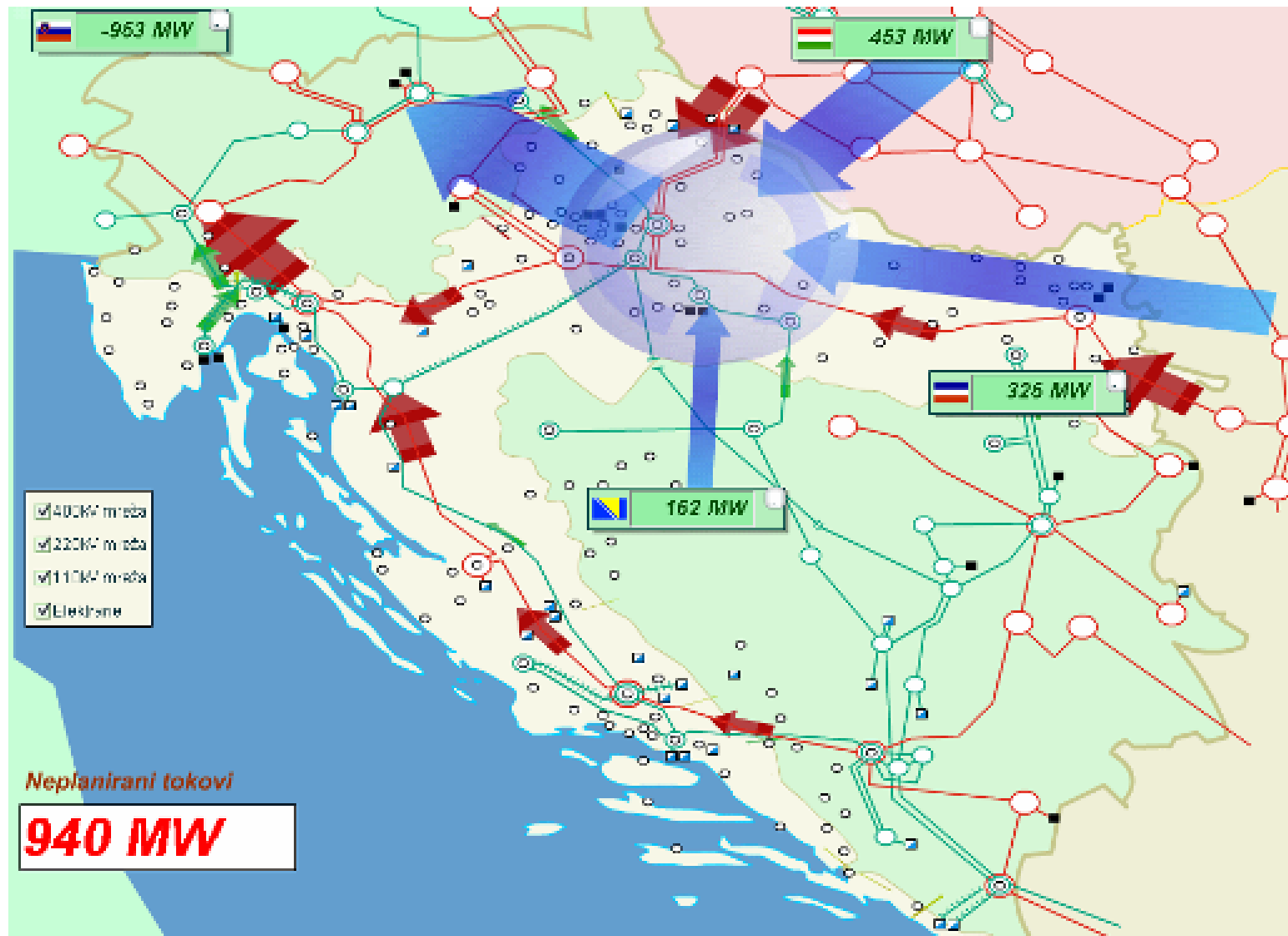
Bilanca 2005



Jednofazna shema prijenosnog sustava



Uvoz, izvoz i tranzit električne energije

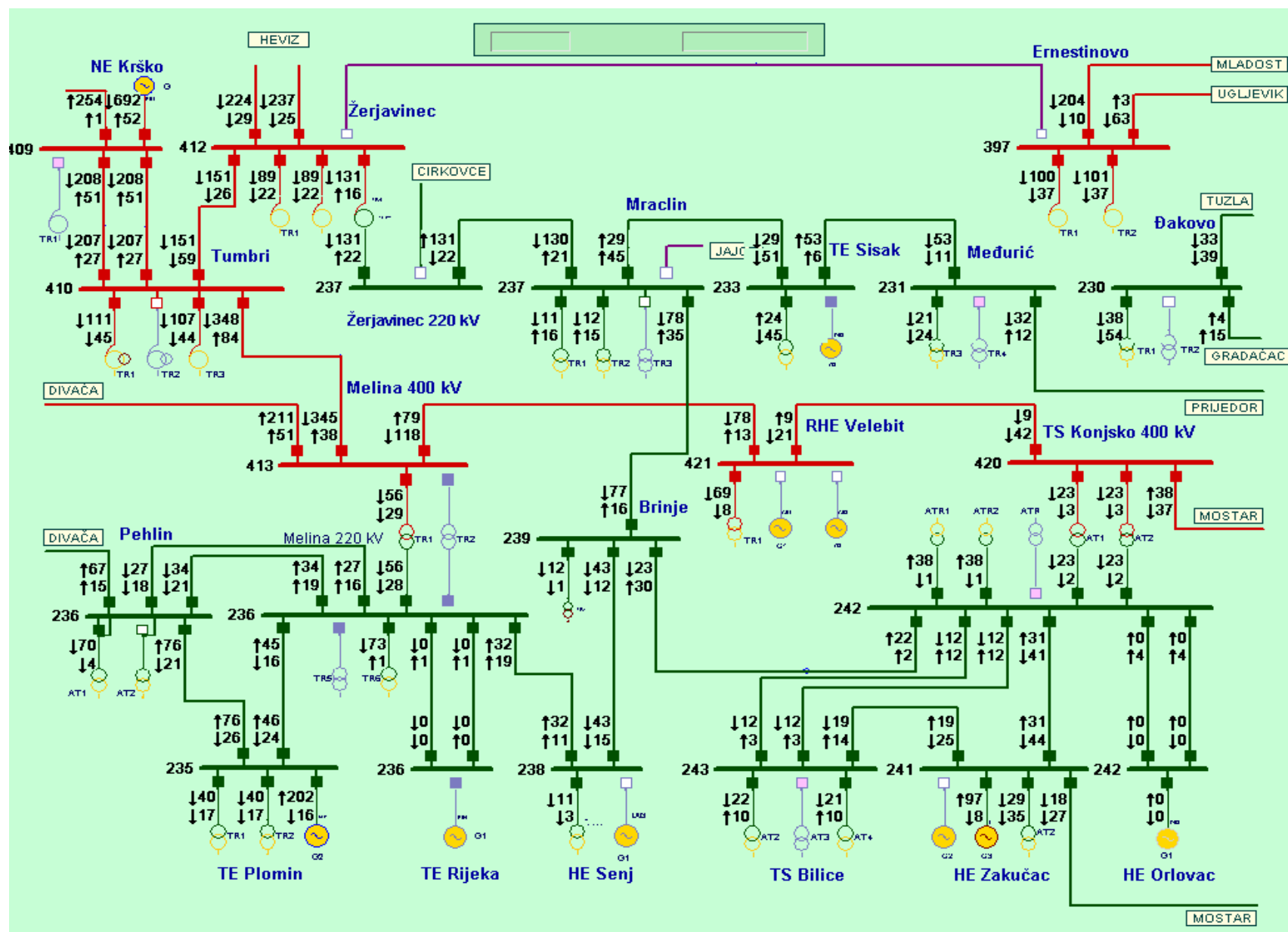




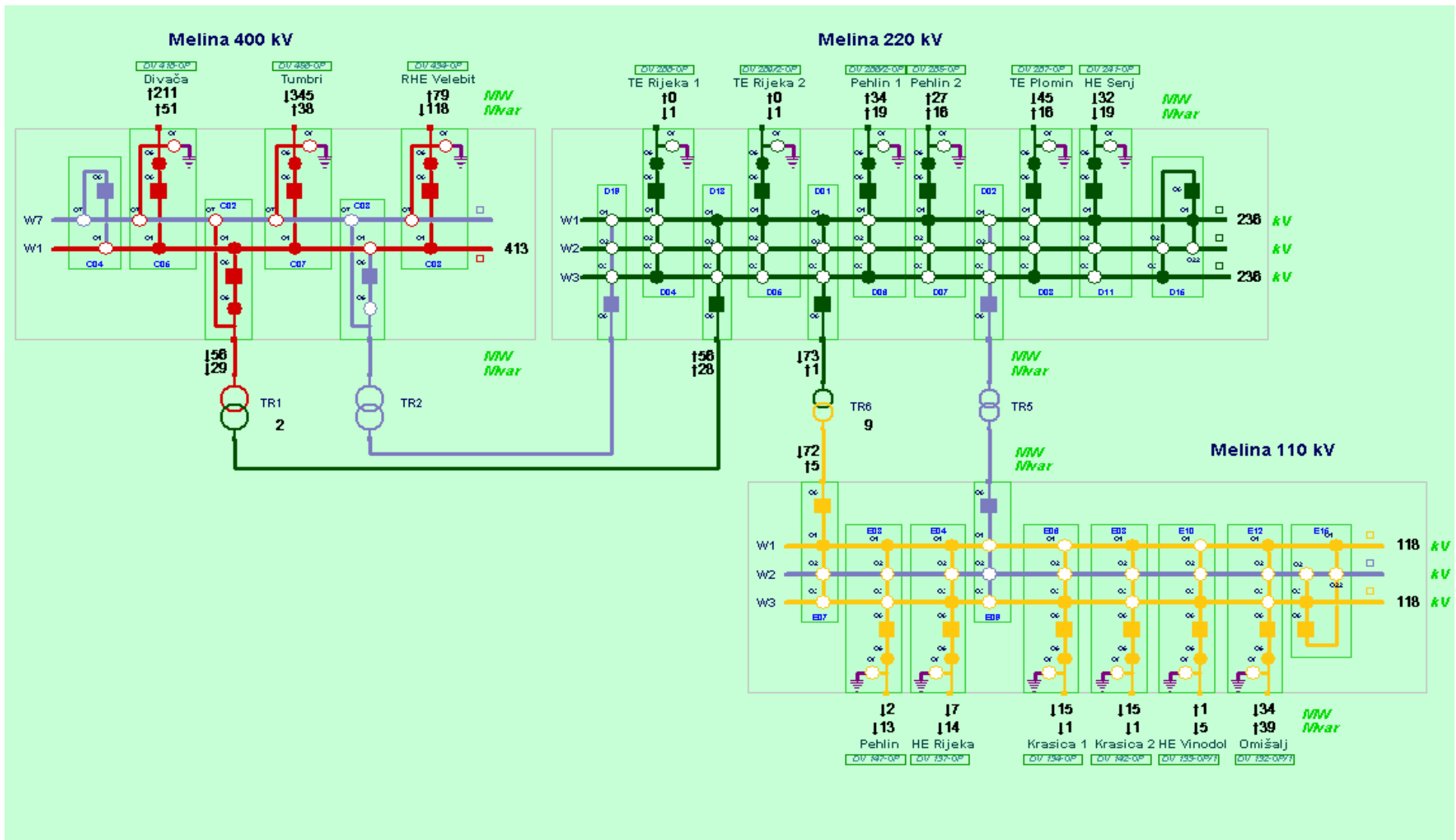
Net Transfer Capacities (NTC)

From	To	MW	Value provided by	Comment
SI	HR	900	both countries	
HR	SI	900	both countries	
From	To	MW	Value provided by	Comment
HU	HR	1000	both countries	
HR	HU	400	HR	HU provided 800 MW
From	To	MW	Value provided by	Comment
HR	BA	600	both countries	
BA	HR	600	both countries	
From	To	MW	Value provided by	Comment
HR	JIEL	500	HR	JIEL provided 800 MW
JIEL	HR	540	JIEL	HR provided 700 MW

Model 400 i 220 kV mreže



TS Melina 400/220/110 kV



TS 400/220/110 Melina



110 kV postrojenje

TS 400/220/110 Melina



**Kompresorsko
postrojenje**



SN postrojenje



NN postrojenje

Gubici u prijenosnoj mreži

u vodovima

- I^2R
- smanjuju se povećavanjem naponskih razina
- povećanjem presjeka vodiča

u transformatorima

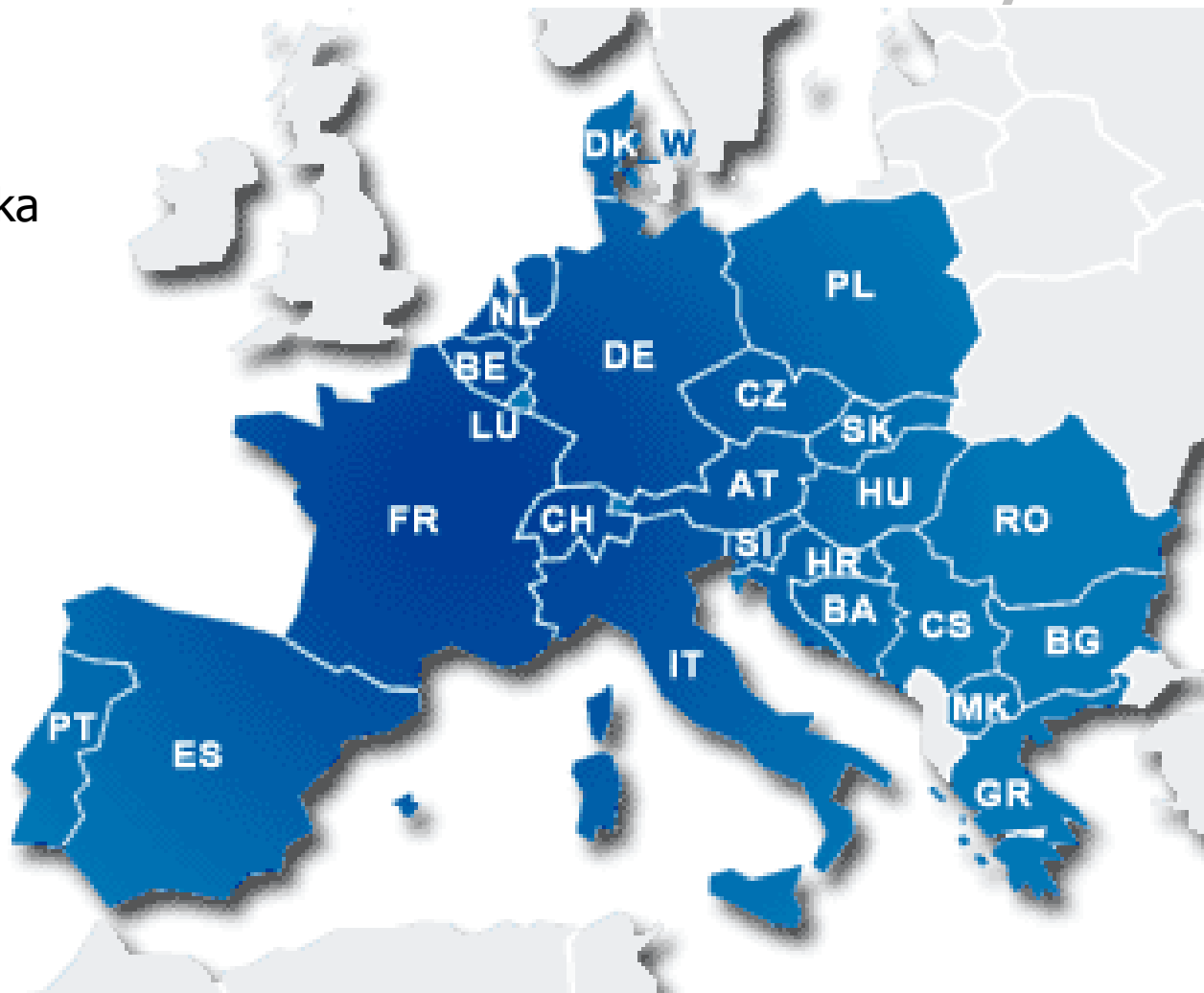
- “u bakru”
gubici uslijed protoka struje kroz transformator
- “u željezu”
gubici magnetiziranja jezgre

	Tehnički gubici			
	400 kV	220 kV	110 kV	Ukupno
Vodovi P =	3.5	3.0	21.5	28.0
Vodovi Q =	-247.0	-133.8	-124.2	-505.1
Transformatori P =		3.3	11.8	15.1
Transformatori Q =		55.4		55.4
Međudržavni P =	3.1	0.4	0.8	4.3
Međudržavni Q =	-260.6	-21.7	-5.4	-287.7
Potrošnja	2012.4	MW Ukupni gubici		47.4
	527.7	Mvar		-737.4
		Gubici (%) =		2.30



Union pour la Coordination du Transport de l'Electricite
Union for the Coordination of Transmission of Electricity

- 23 zemlje
- 500 milijuna stanovnika
- 34 operatora prijenosnih sustava
- 210.000 km vodova
- kapacitet 550 GW
- max opterećenje 380 GW
- god. potrošnja 2.300 TWh



UCTE i susjedni sustavi

NORDEL

– Skandinavske zemlje

UKTSOA

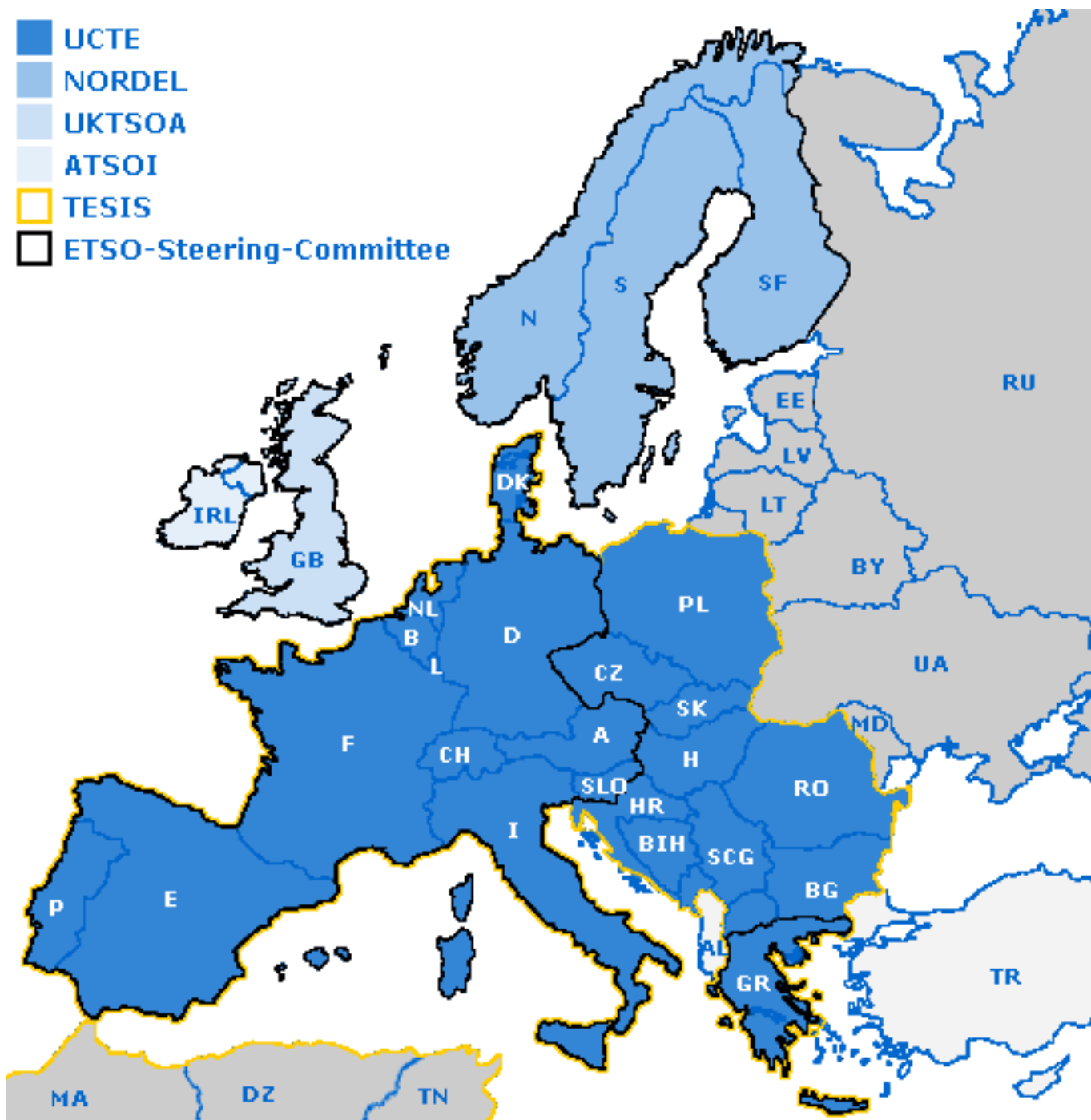
– Velika Britanija

ATSOI

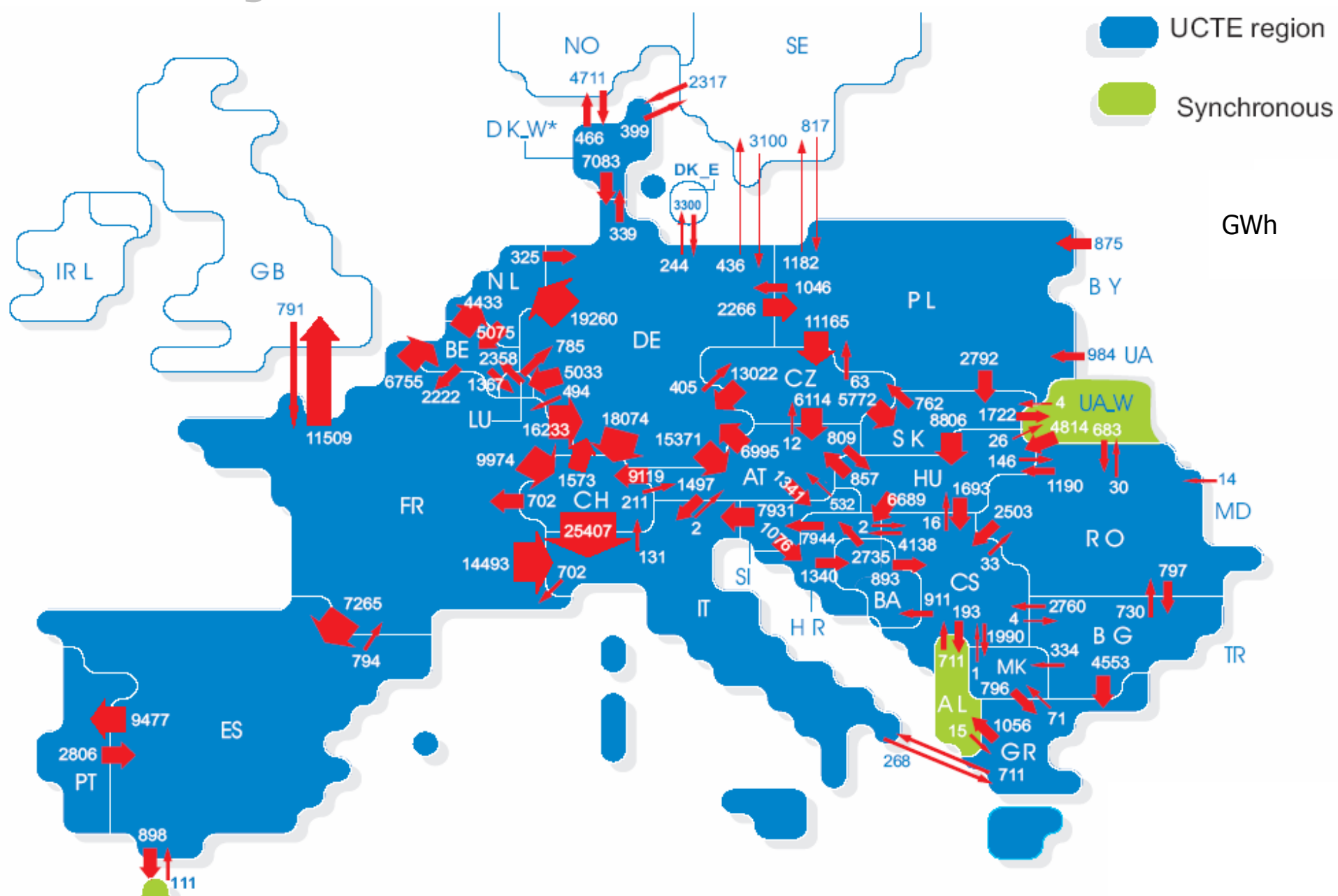
– Irska (cijela)

TESIS – Trans European
Synchronously
Interconnected System
(zajedničko sikrono
područlje)

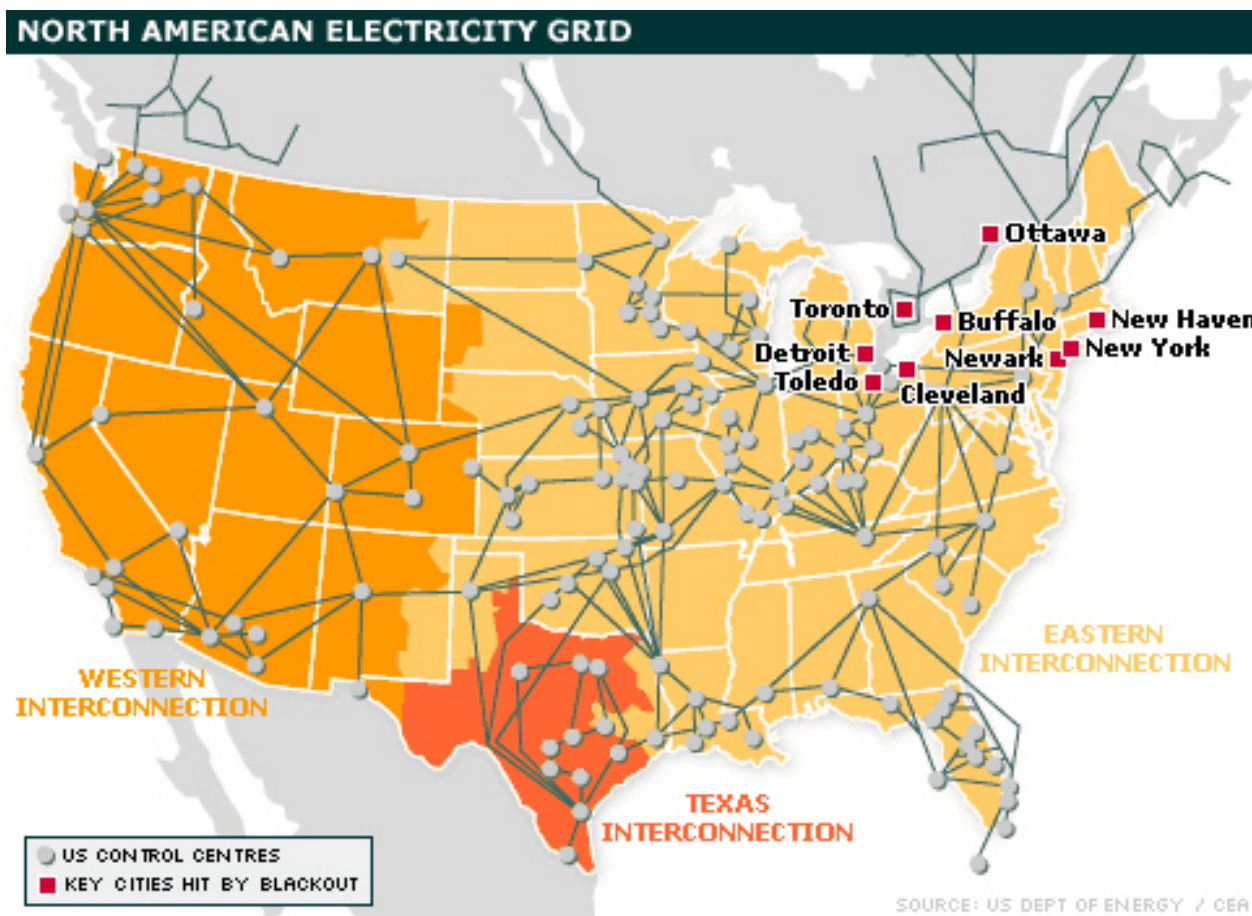
ETSO – European
Transmission System
Operators (udruga
evropskih operatora)



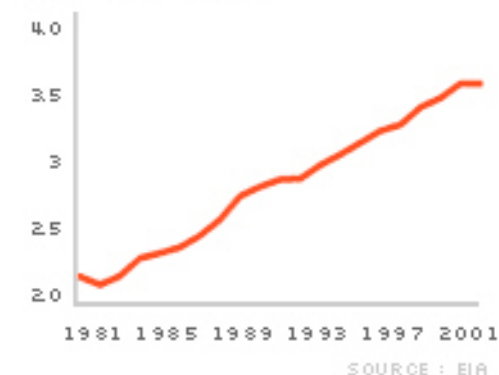
Razmjene 2005



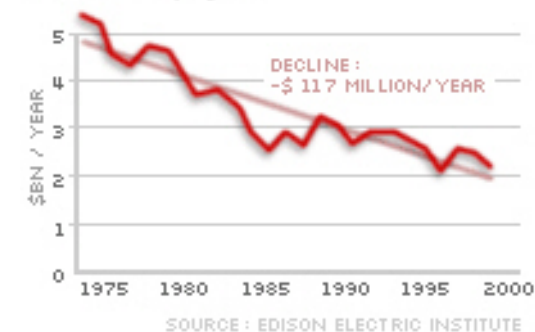
Prijenosni sustavi u SAD



Total US electricity consumption
Bn kilowatt hours



Declining investment in US electricity grid

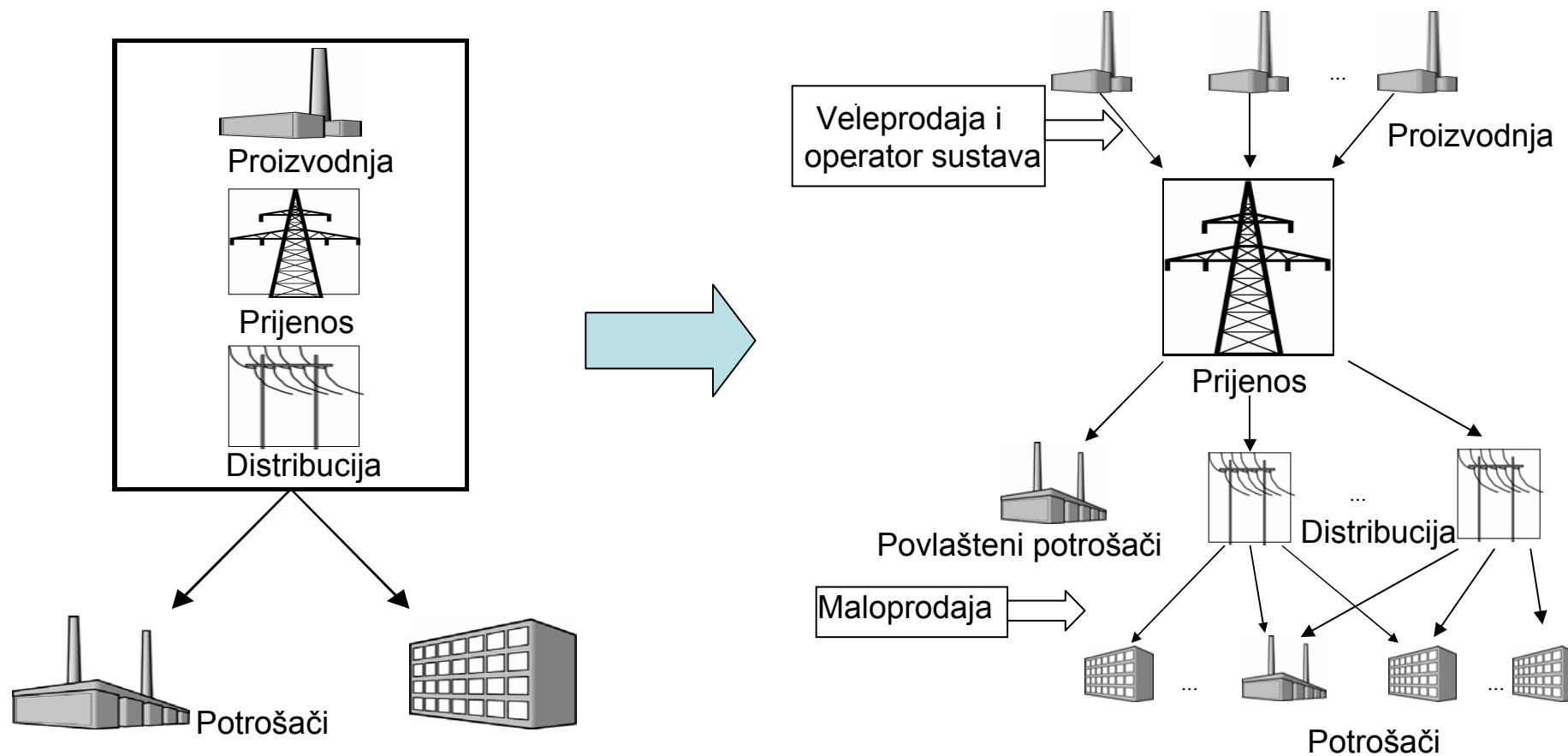


Deregulacija i liberalizacija elektroenergetskog sektora

- električna energija postaje roba na tržištu, potrošači postaju kupci
- tržište favorizira troškovno povoljnije proizvođače i isporučitelje koji nude pakete usluga
- liberalizacija pretpostavlja da će elektroenergetska prijenosna mreža biti dostupna svima bez diskriminacije
- prijelaz od tradicionalnog paušalnog obračuna za kWh na promjenjivu cijenu, koja je usmjerena na potrošnju električne energije
- za kupce deregulacija znači mogućnost izbora opskrbljivača (proizvođača i isporučitelja), ali i različite cijene električne energije.



Tržište električne energije



Zaključak

- prijenosna mreža prenosi velike količine električne energije od elektrana do gradova (regija)
- prijenosne mreže modernih elektroenergetskih sustava međusobno se povezuju u velike međunarodne sustave, čime se povećava pouzdanost opskrbe potrošača, mogućnost trgovanja električnom energijom kao i mogućnost optimiranja rada sustava
- prijenosna mreža energijom napaja razdjelnu mrežu, kojom se dalje energija prenosi do krajnjih korisnika
- razdjelne mreže su za razliku od prijenosnih u pogonu uglavnom zrakaste (radijalne), odnosno takve da se u svakom trenutku potrošač napaja samo iz jednog smjera
- gubici u prijenosu električne energije smanjuju se povećanjem naponskih razina koje se određuju prema veličini potrebe snage pri prijenosu i udaljenosti prijenosa

U slobodno vrijeme...

