

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije
Zavod za termodinamiku, strojarstvo i energetiku



ENERGETIKA

Studij: Kemijsko inženjerstvo (V semestar)

prof. dr. sc. Igor Sutlović



Termoenergetska postrojenja

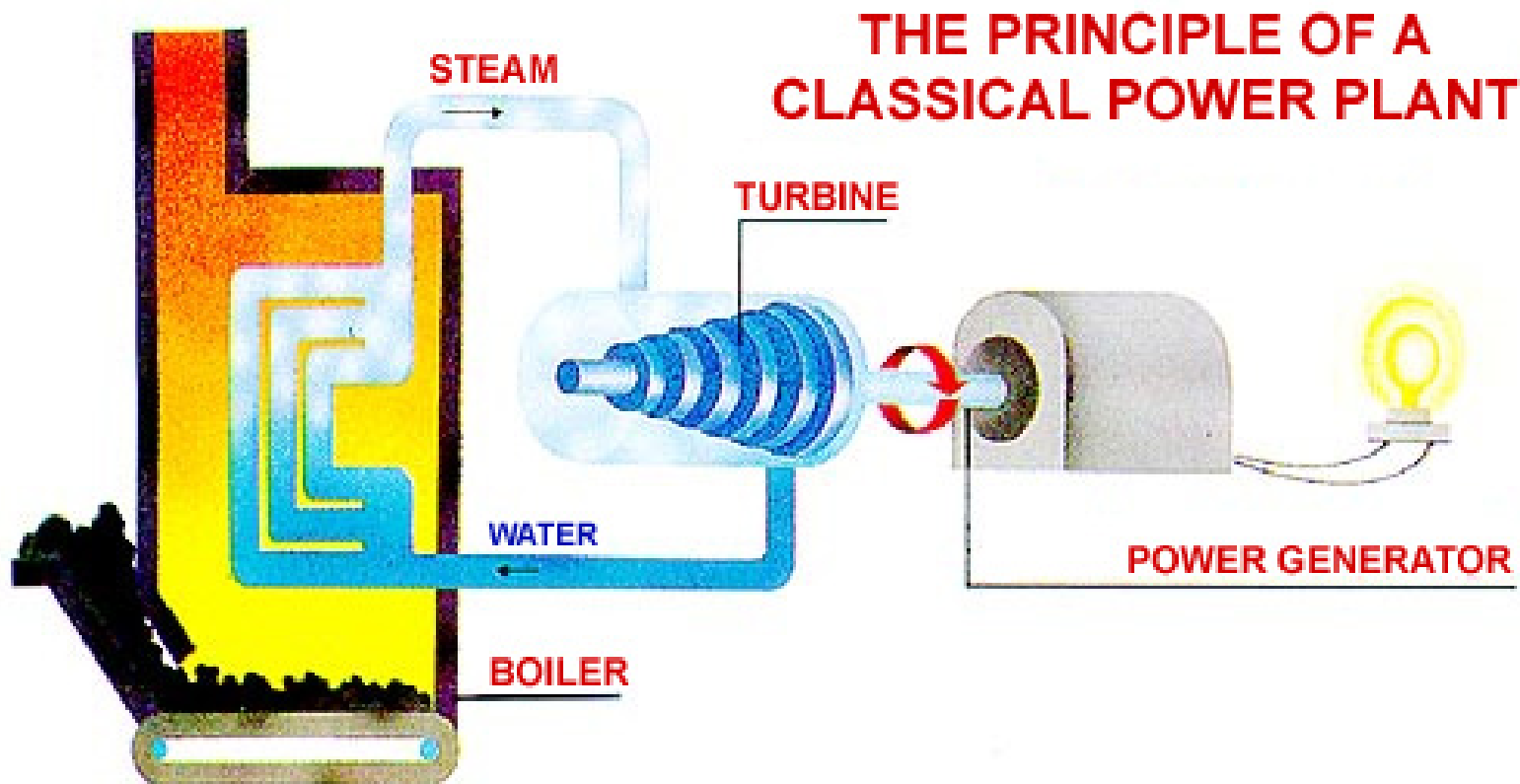
U termoenergetskim postrojenjima može se proizvoditi:

- samo električna energija,
- električna i toplinska energija-kogeneracije,
- samo toplinska energija (energana).

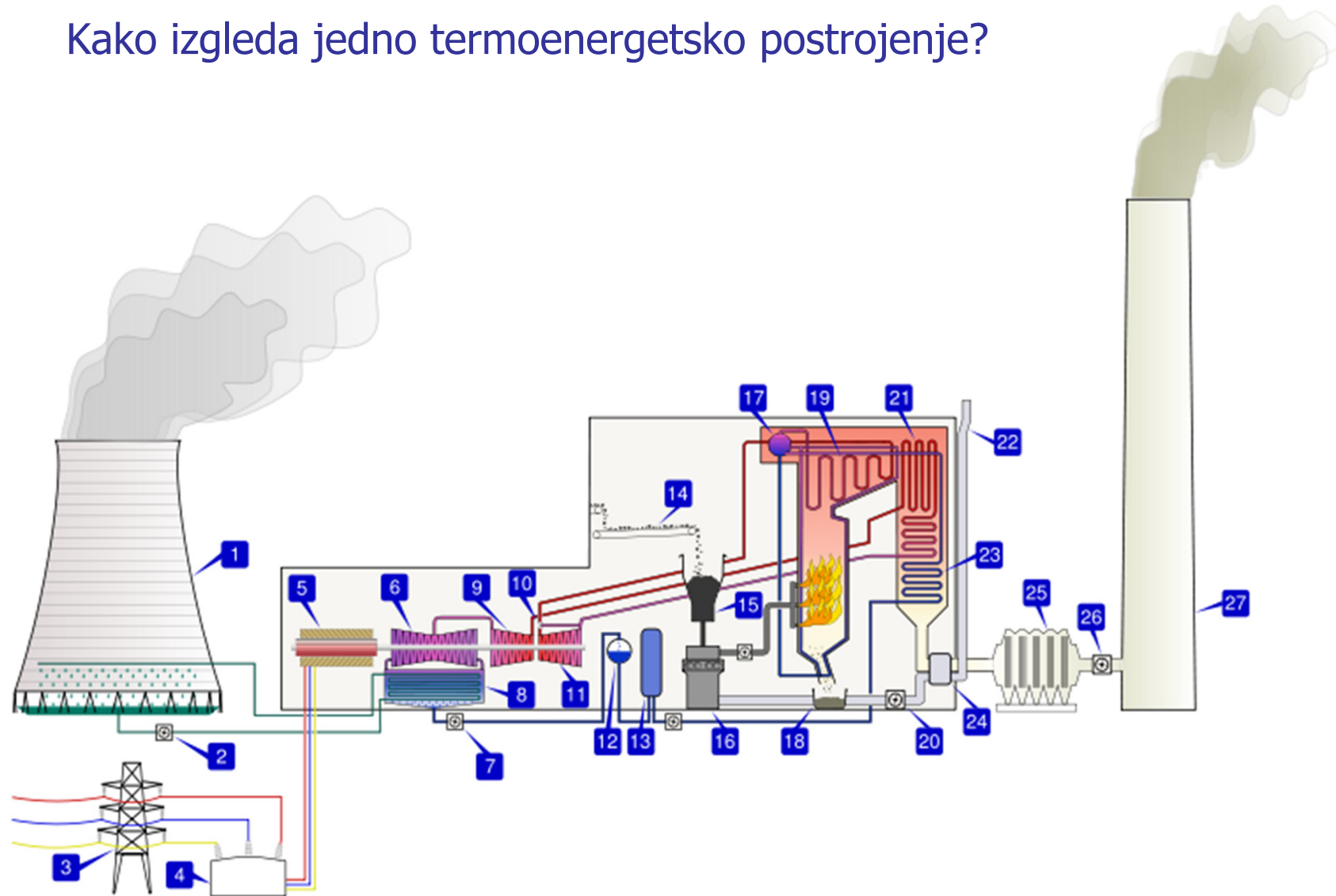
Termoenergetska postrojenja mogu postojati kao:

- zasebni objekti ili
 - biti u sastavu industrijskog postrojenja
-
- Bez obzira da li proizvode samo električnu ili toplinsku energiju ili oboje mogu raditi zasebno (otočni pogon) ili mogu biti priključena na električnu ili toplinsku mrežu.

Princip rada termoelektrane

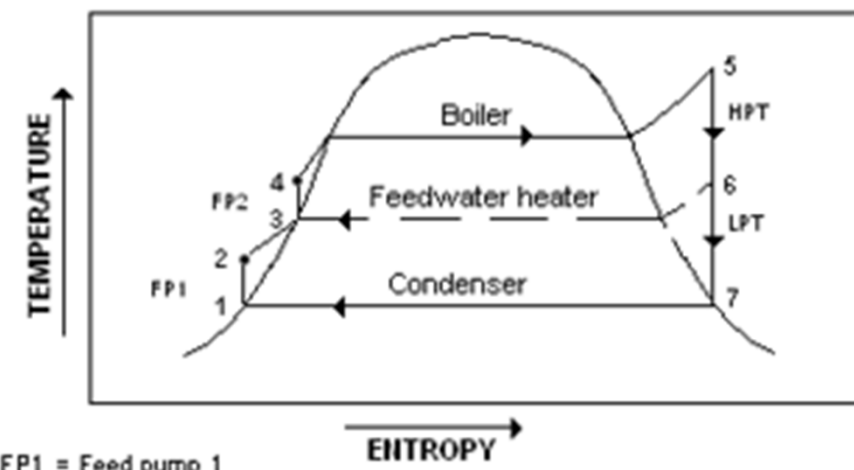
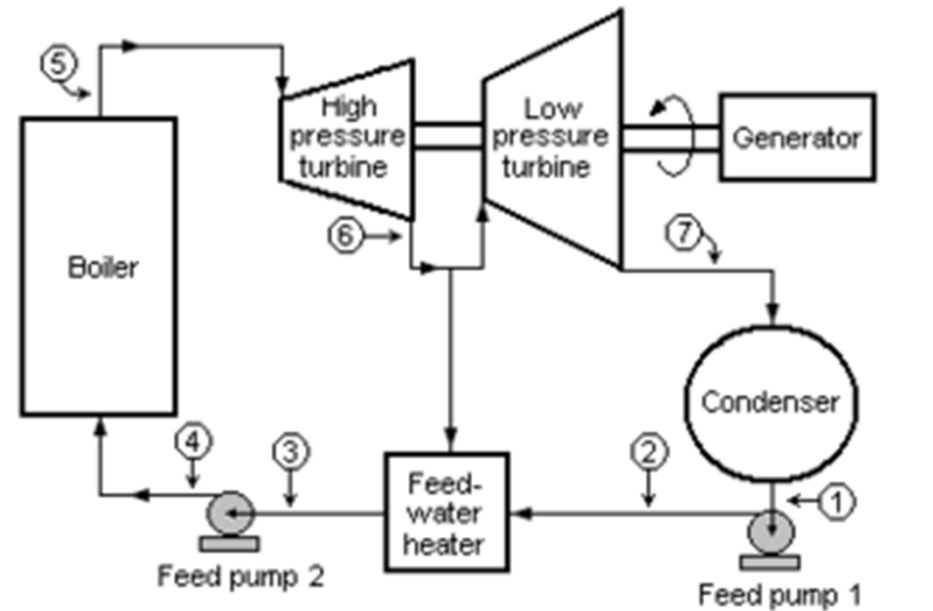


Kako izgleda jedno termoenergetsko postrojenje?





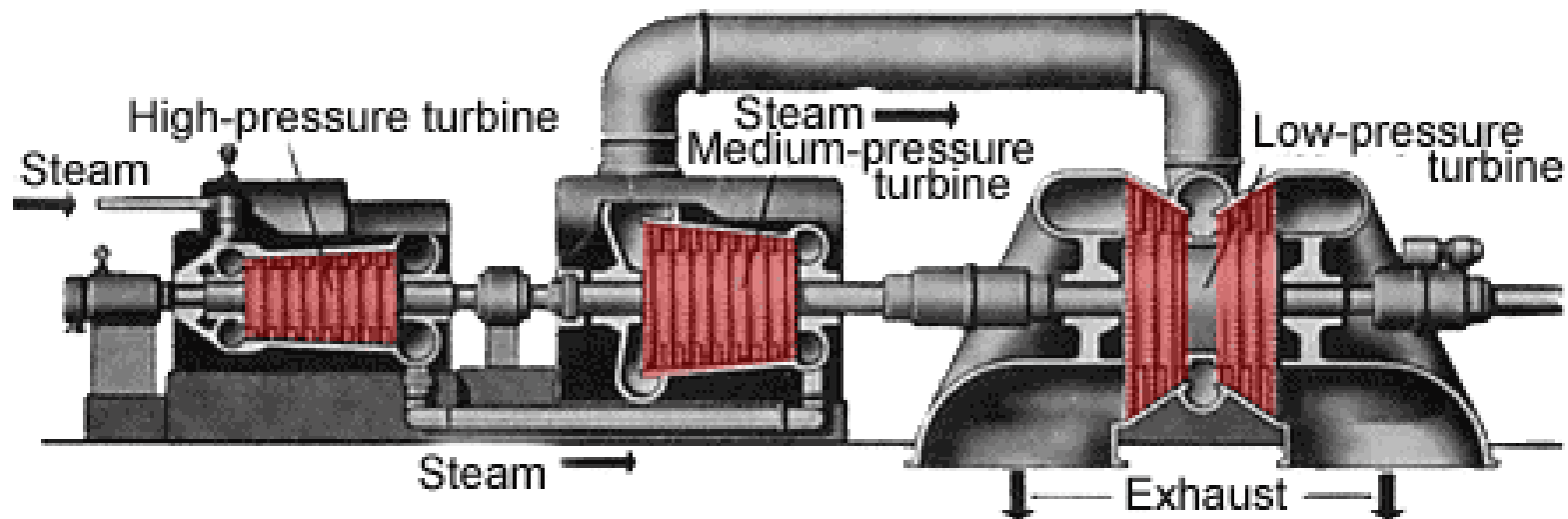
Teoretske osnove rada termoelektrane – desnokretni proces (Rankinov) s prikazom u T-s dijagramu



FP1 = Feed pump 1
FP2 = Feed pump 2
HPT = High pressure turbine
LPT = Low pressure turbine

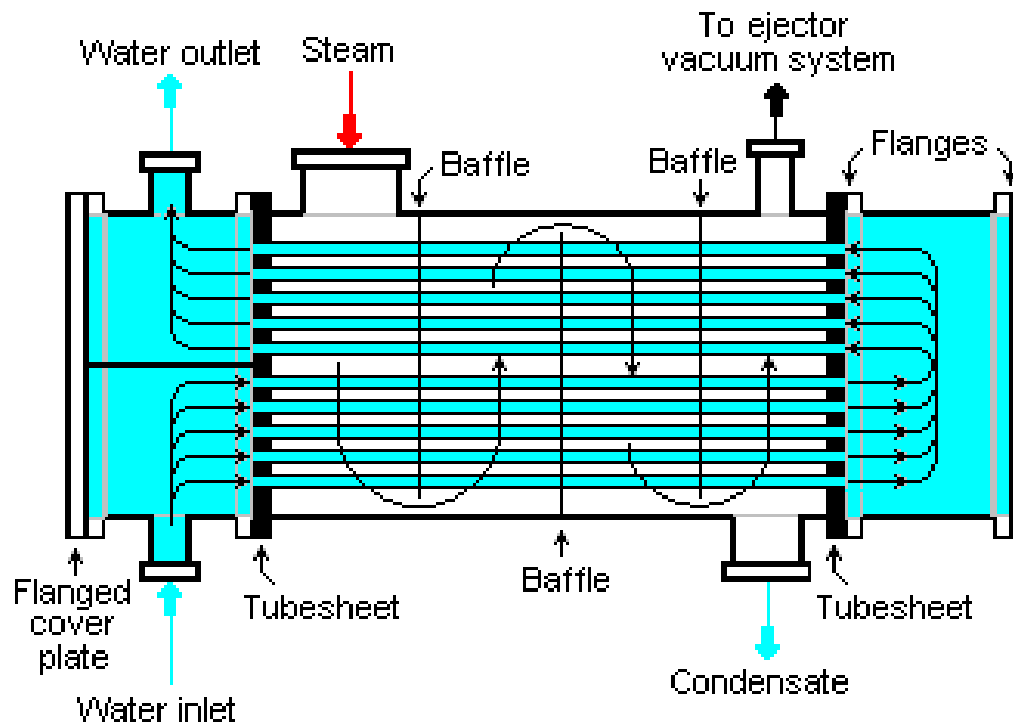
“Duša” elektrane je turbina, u ovom slučaju parna, u pravilu višestupanjska

U turbini para visokog tlaka ekspandira a rad se dobiva zbog promjene tlaka i kinetičke energije (Eulerova j. za turbostrojeve)



„Hladni“ kraj

Ako je elektrana kondenzacijska ili s reguliranim oduzimanjem ako proizvodi samo struju onda para nakon ekspanzije završava u kondenzatoru





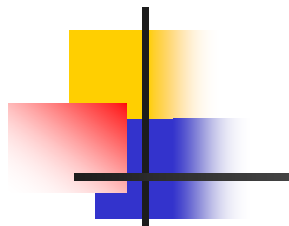
TERMOELEKTRANE u RH

TERMOELEKTRANE

RASPOLOŽIVA SNAGA NA PRAGU (Mw)

GORIVO

TE Sisak	396	loživo ulje/ prirodni plin
TE-TO Zagreb	337/ 480 MWt	prirodni plin/ loživo ulje
TE Rijeka	303	loživo ulje
TE Plomin 1	98	ugljen
EL-TO Zagreb	90/ 184 MWt	prirodni plin/ loživo ulje
KTE Jertovac	83	prirodni plin/ ekstralako ulje
PTE Osijek	48/ 34 MWt	prirodni plin/ ekstralako ulje
TE-TO Osijek	42	loživo ulje/ prirodni plin
TE Plomin 2	192	ugljen

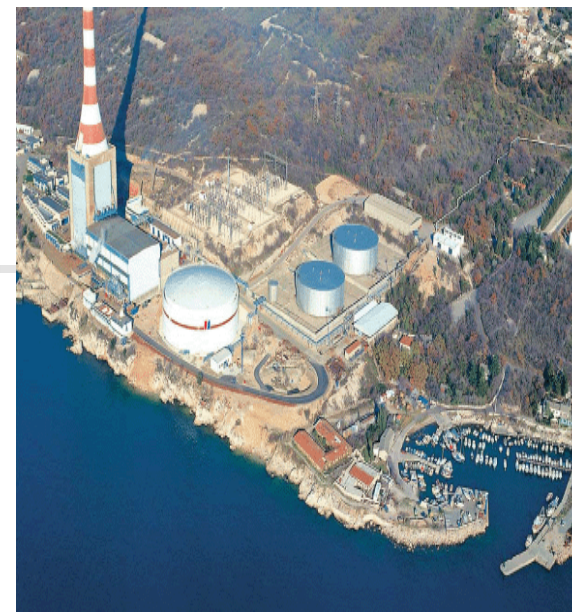




TE-TO Zagreb



TE Plomin1



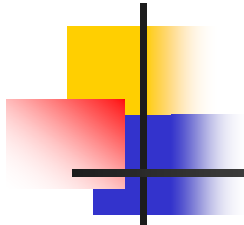
TE Rijeka



EL-TO Zagreb



TE-TO Osijek



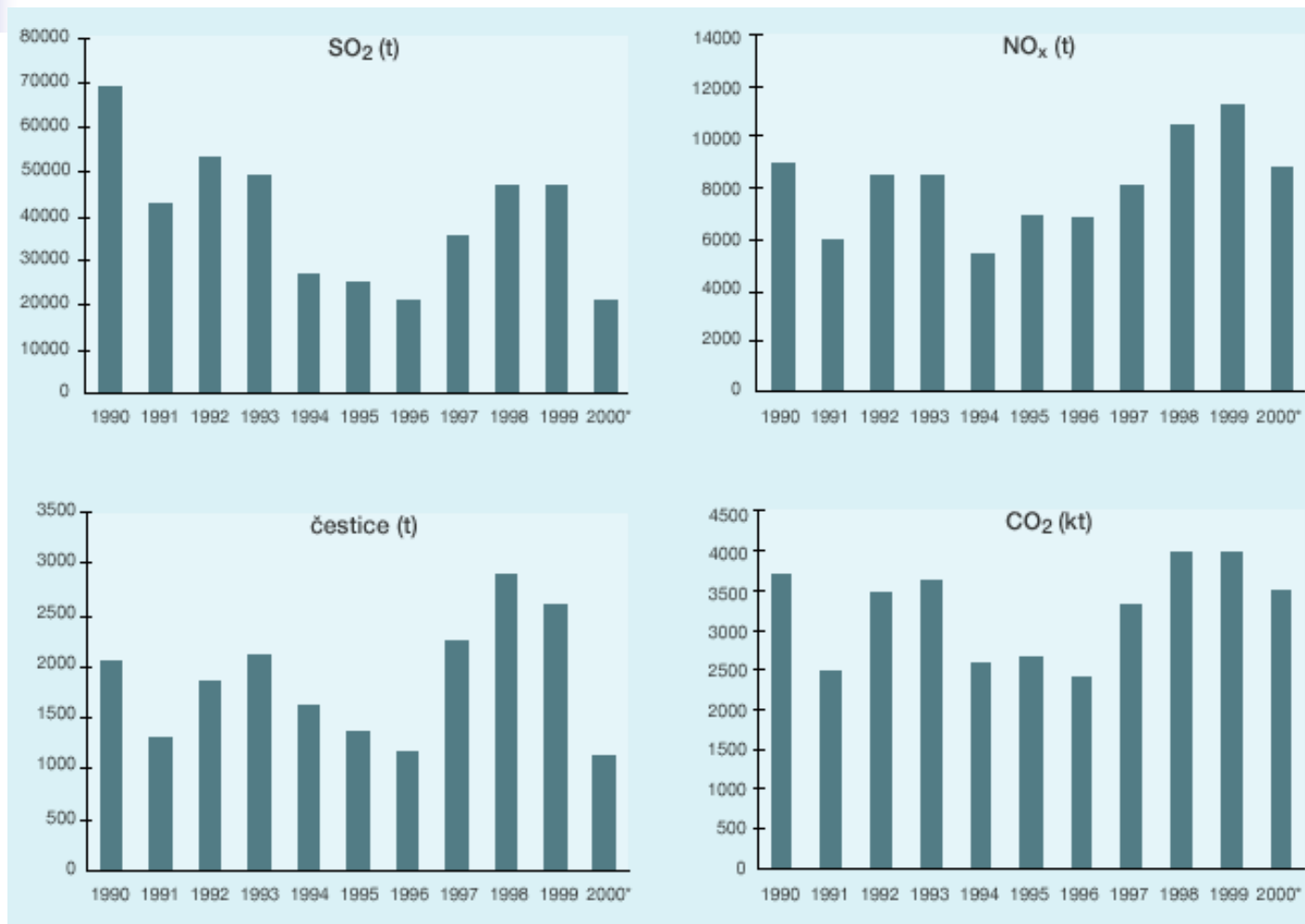
- U vlasništvu HEP-a je sedam termoelektrana, s tim da su **TE Sisak**, **TE Rijeka**, **TE Plomin 1** i **KTE Jertovec** kondenzacijske za proizvodnju električne energije, a **TE-TO Zagreb**, **EL-TO Zagreb** i **TE-TO Osijek** su termoelektrane toplane u kojima se u spojenom procesu proizvodi električna i toplinska energija. Kao pogonsko gorivo koriste loživo ulje, prirodni plin i ugljen.
- HEP je vlasnik 50 postotnog dijela drugog bloka TE Plomin 2, a temeljem vlasništva polovice NE Krško, hrvatskom elektroenergetskom sustavu raspoloživo je na pragu 338 MW.



TE	TE-TO Zagreb	EL-TO Zagreb	TE Sisak	TE Rijeka
POLOŽAJ	Zagreb, Žitnjak	Zagreb, Trešnjavka	Sisak, Čret	JI od Rijeke
TIP ELEKTRANE	kogeneracijska	kogeneracijska	kondenzacijska	regulaciona kondenzacijska
VRSTE GORIVA	prir. plin ili lako ulje za loženje/teško loživo ulje, plin	prir. plin, teško loživo ulje/plin	teško lož ulje, plin	teško loživo ulje
UKUPNA SNAGA	328MWe/740MWt	86,8MWe/342,34 MWt+180t/h	420 MW (2x210 MW)	320 MW
PROIZVOD	el. i topl. energija	el. i topl. energija	el. en., tehnološka para	električna energija

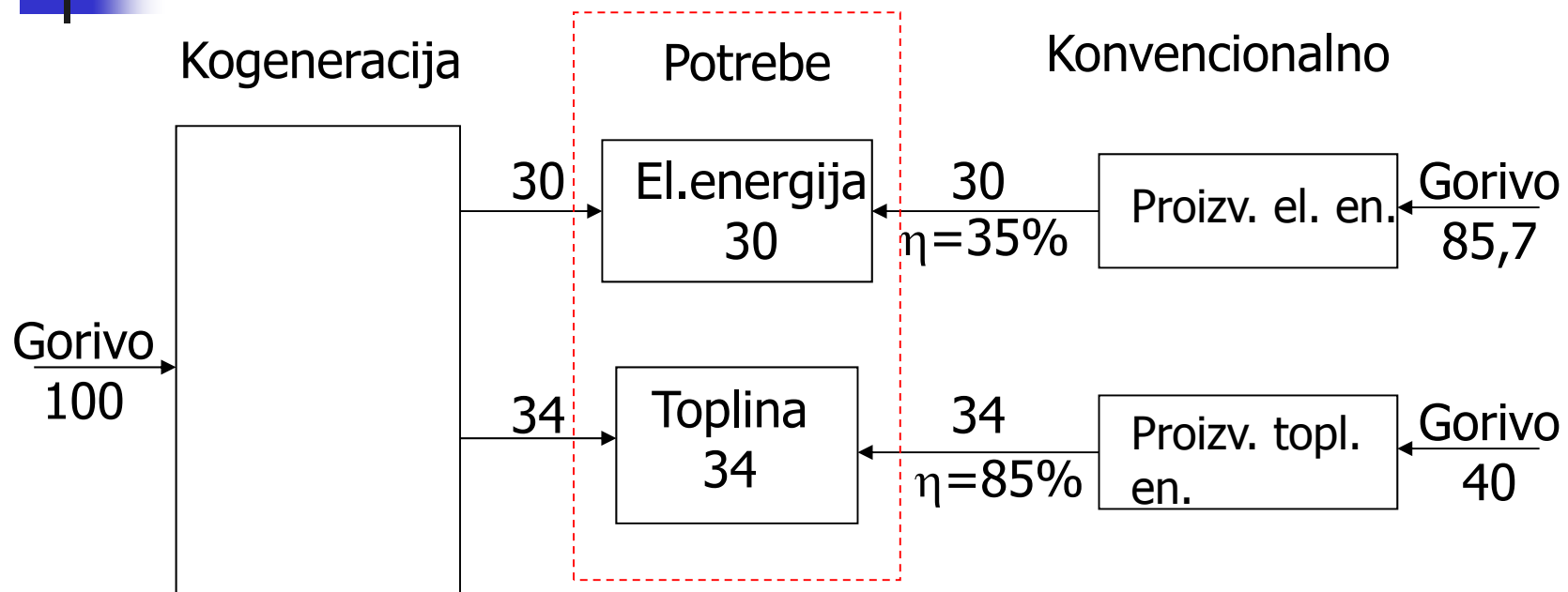
TE	TE Plomin	KTE Jertovec	TE-TO Osijek
POLOŽAJ	Luka Plomin	Konjščina, Jertovec	Osijek
TIP ELEKTRANE	kondenzacijska	interventna (vršna)	kogeneracijska
VRSTE GORIVA	ugljen	prirodni plin, ekstra lako ulje za loženje	<ul style="list-style-type: none"> •g1: prirodni plin / l.ulje •g2: teško lož ulje / plin
UKUPNA SNAGA	330 MW	88 MW	89 MW _e / 139 MW _t +50 t/h
PROIZVOD	električna energija	električna energija i usluge sustava	električne i toplinske energije

EMISIJE U ZRAK IZ TE HEP-a



Kogeneracijska postrojenja - CHP (Combined Heat and Power)

Pojam kogeneracijskog postrojenja podrazumijeva istovremenu proizvodnju električne i toplinske energije za razliku od potpuno odvojene proizvodnje tih transformiranih oblika energije

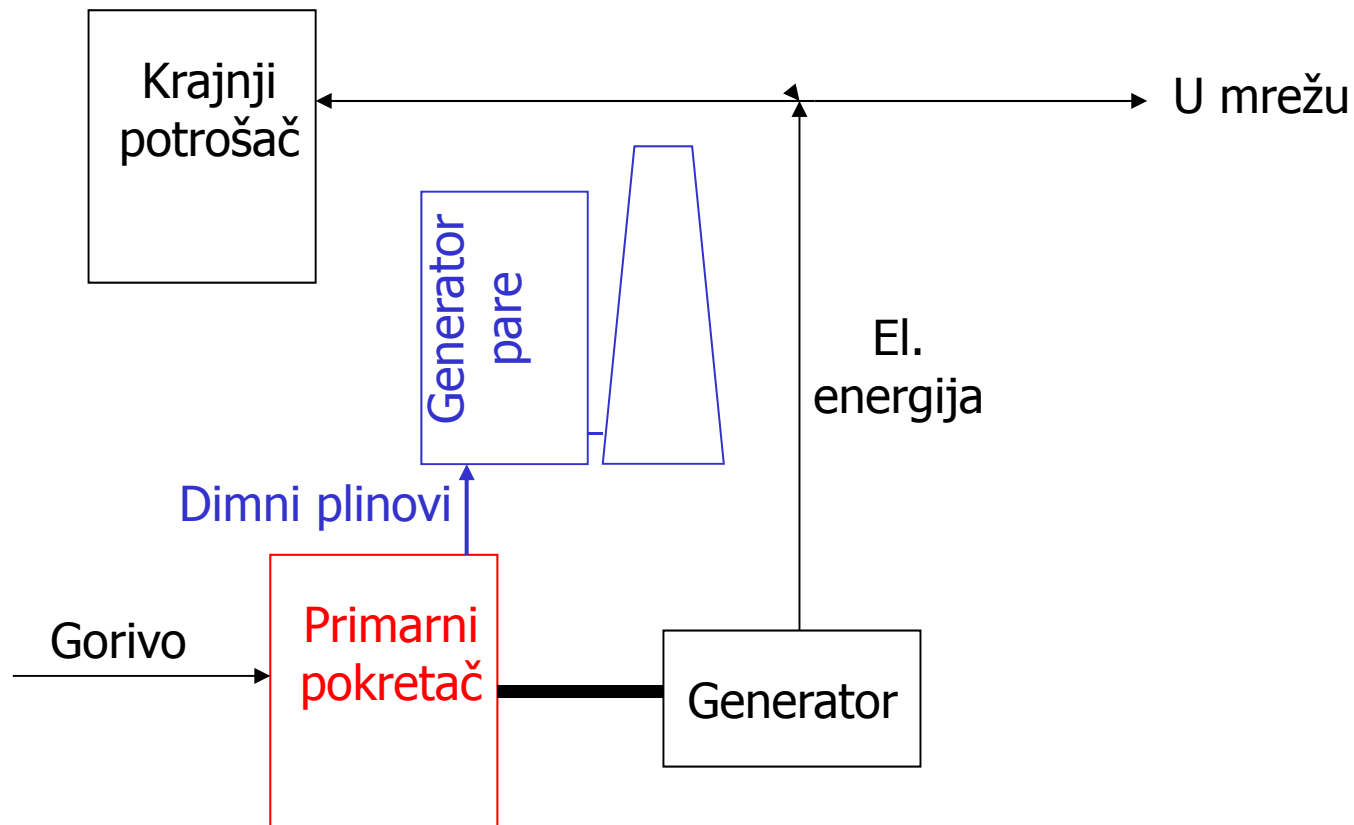


$$\eta_0 = \frac{(E + T)}{G} = \frac{(30 + 34)}{100} = 64\%$$

$$\eta_0 = \frac{(E + T)}{G} = \frac{(30 + 34)}{(85,7 + 40)} = 51\%$$

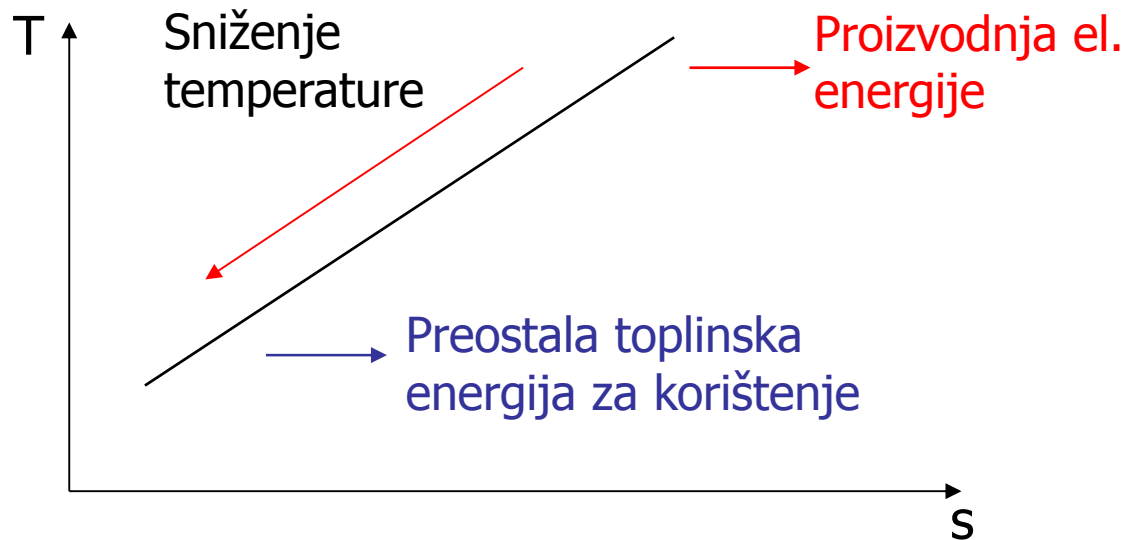
“Topping cycle” kogeneracijska shema

Karakteristična je po tome što proizvodi el. energiju korištenjem izvora više temperature, a iz otpadne topline proizvodi paru ili vrelu vodu



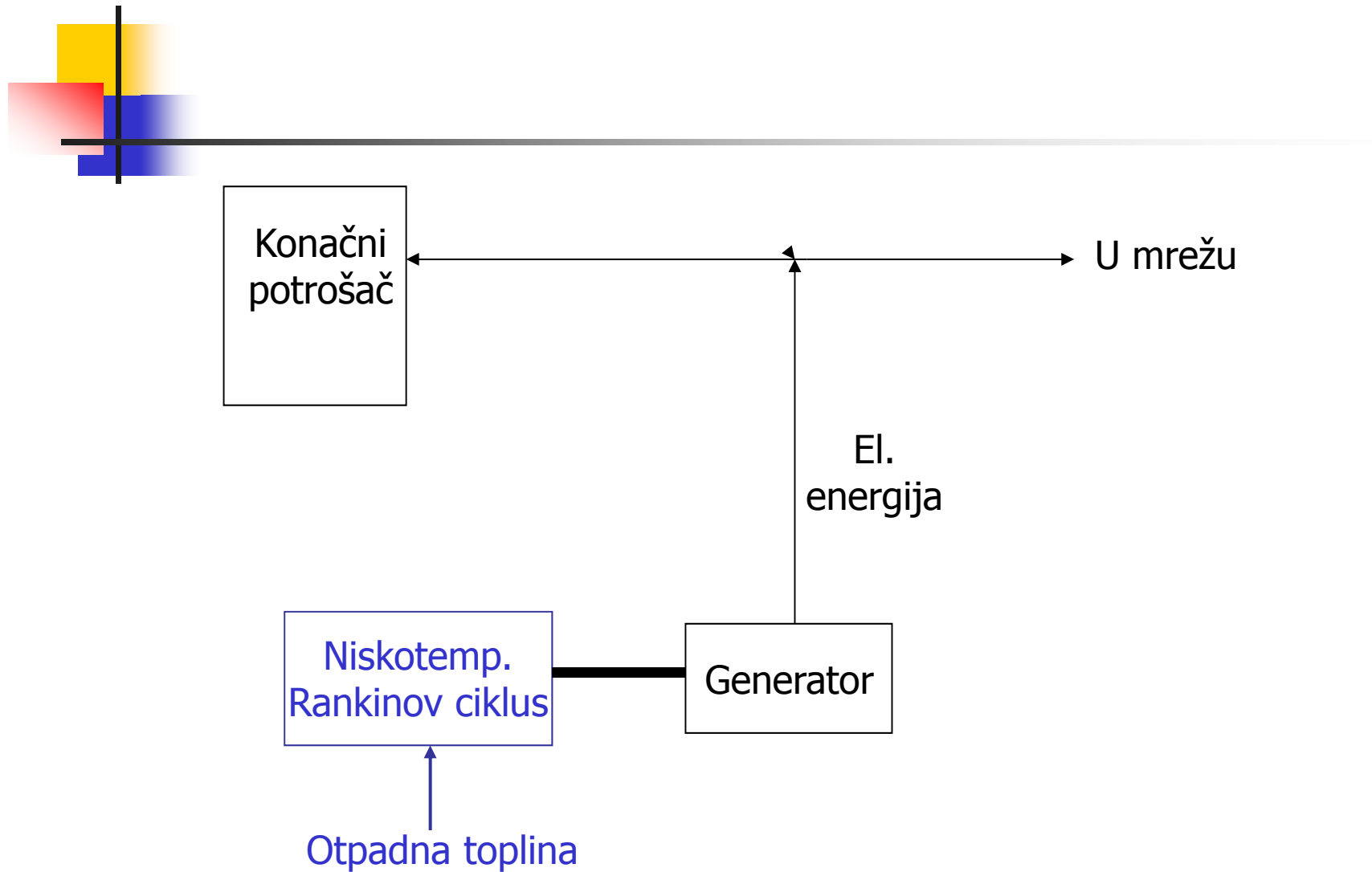
Primarni pokretač – stroj koji proizvodi mehanički rad (parna turbina, plinska turbina, motor s unutrašnjim izgaranjem)

Prikazano u T-s dijagramu

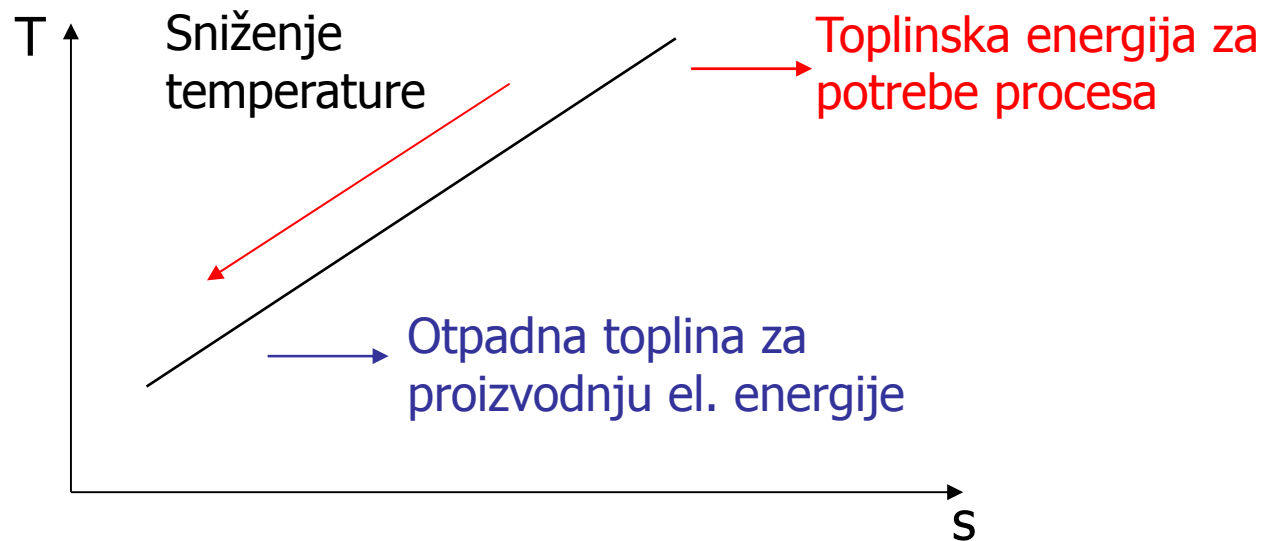


Viša temperaturna razina koristi se za proizvodnju el. energije, a preostala energija namiruje potrebe za toplinskom energijom.

“Bottom cycle” kogeneracijska shema-rjeđe se koriste



Prikazano u T-s dijagramu

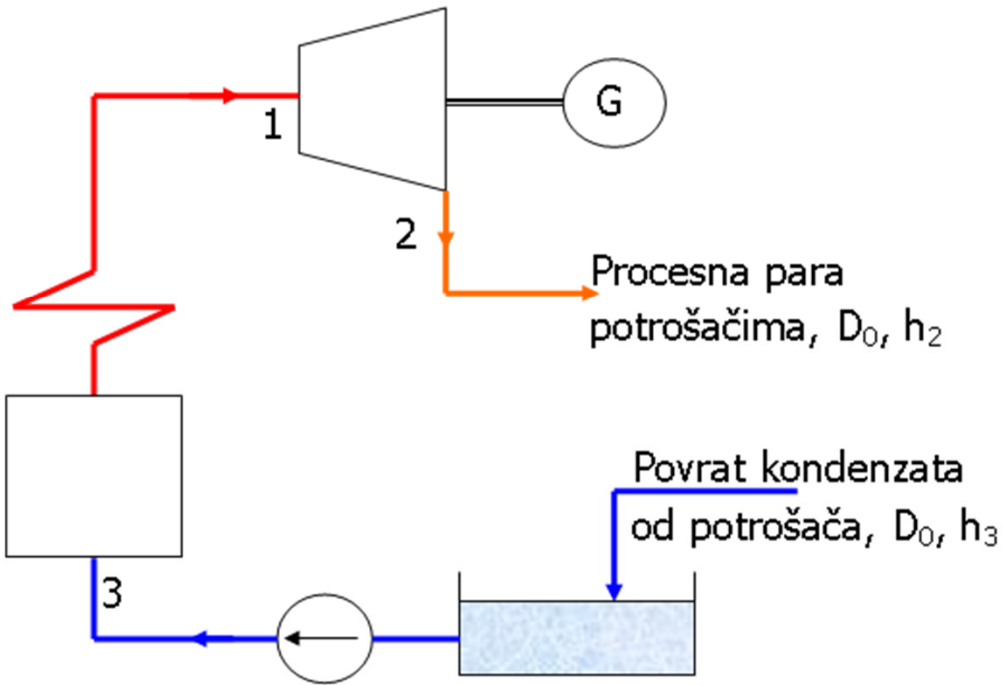
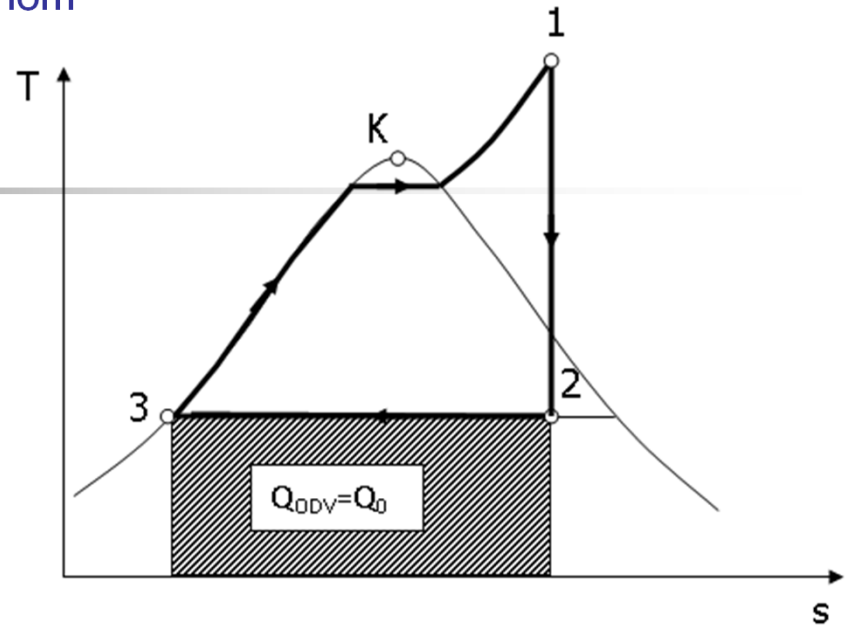


Viša temperaturna razina koristi se za proizvodnju el. energije, a preostala energija namiruje potrebe za toplinskom energijom.

Protutlačna turbina-koristi se kada postoji potrošač toplinske energije s konstantnom potrošnjom

$$N_e = \frac{D \cdot (h_1 - h_2)}{3600}$$

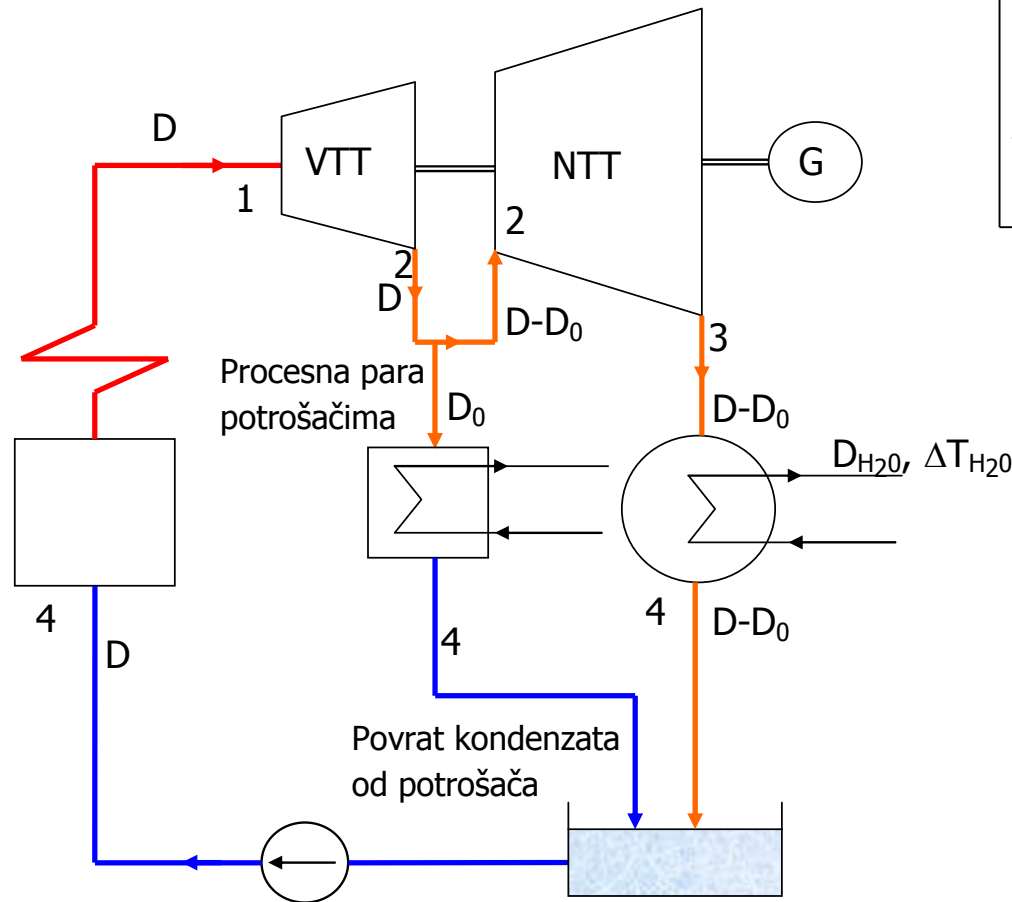
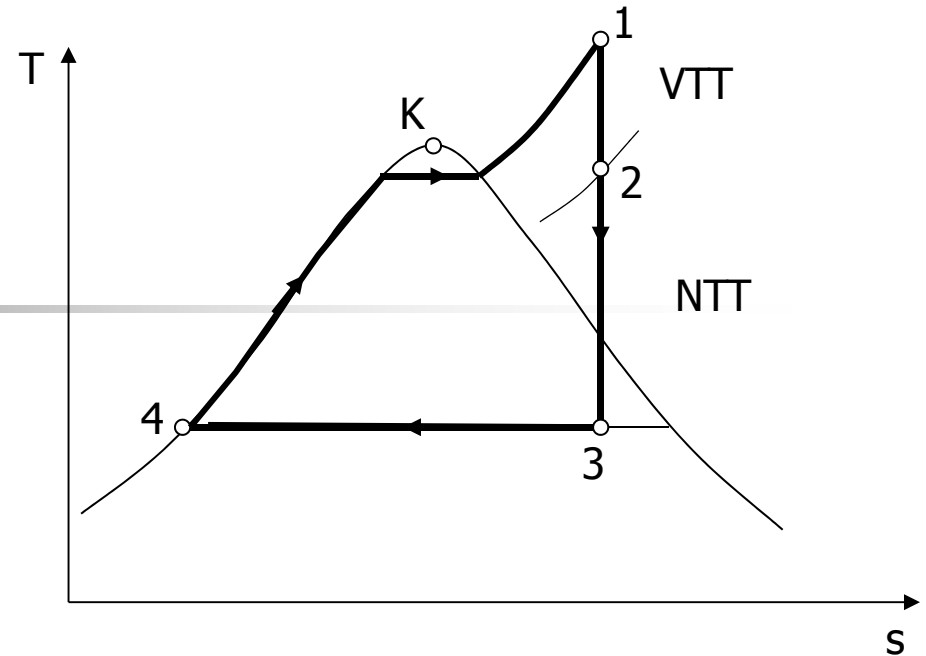
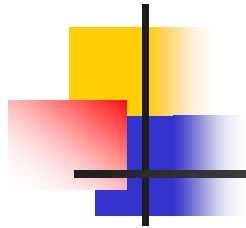
$$\eta_t = \frac{N_e \cdot 3600}{Q_K}$$



$$Q_K = D \cdot (h_1 - h_3) = D_g \cdot H_d \cdot \eta_K$$

$$Q_0 = D \cdot (h_2 - h_3)$$

Turbina s reguliranim oduzimanjem



Posebni slučajevi:

$D_0=0$ – postrojenje radi u kondenzacijskom pogonu

$D=D_0$ - postrojenje radi u protutlačnom pogonu – sva para nakon ekspanzije u VTT odvodi se potrošačima toplinske energije

Ukupna snaga postrojenja - električna:

$$N_e = N_{VTT} + N_{NTT} = \frac{D \cdot (h_1 - h_2) + (D - D_0) \cdot (h_2 - h_3)}{3600} \quad [\text{kW}_e]$$

$$D, D_0 \quad [\text{kg} / \text{h}]$$

Toplina odvedena u kondenzatoru:

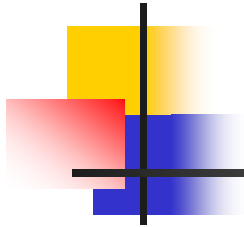
$$Q_C = (D - D_0) \cdot (h_3 - h_4) = D_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{p\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta T_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$D_{\text{H}_2\text{O}} \quad [\text{kg} / \text{h}]$$

$$Q_K = D \cdot (h_1 - h_4) = D_g \cdot H_d \cdot \eta_K$$

Termodinamički stupanj djelovanja:

$$\eta_t = \frac{N_e \cdot 3600}{Q_K}$$



Ekonomičnost postrojenja – toplinski faktor iskorištenja:

$$f = \frac{N_e \cdot 3600 + Q_0}{Q_K} = \frac{N_e \cdot 3600 + Q_0}{D_G \cdot H_d \cdot \eta_K}$$

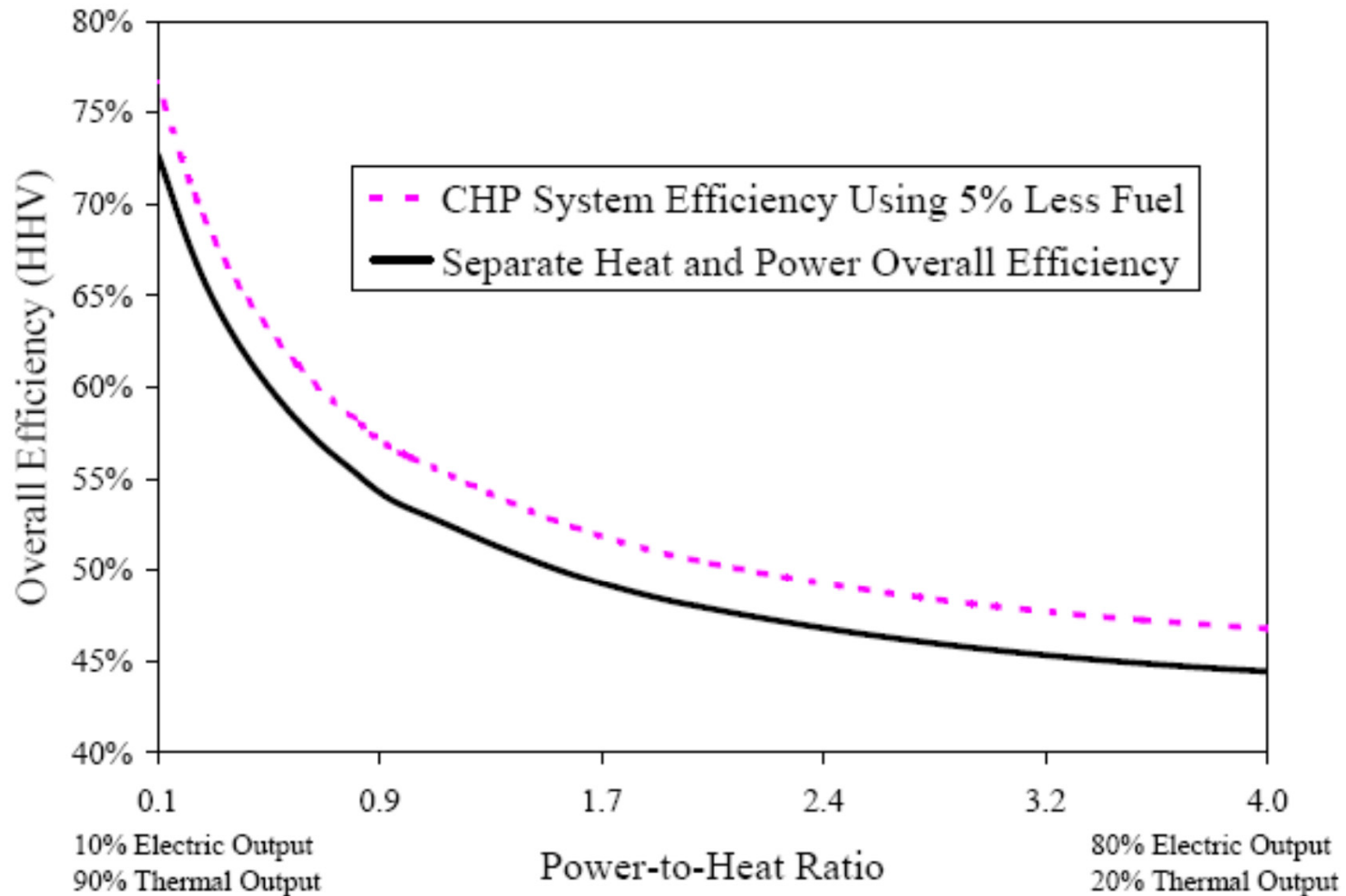
Toplina odvedena potrošaču:

$$Q_0 = D_0 \cdot (h_2 - h_4)$$

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zavod za termodinamiku, strojarstvo i energetiku
Važan parametar koji utječe na ukupni stupanj iskoristenja omjer
električne (mehaničke) snage i toplinske snage (power to heat ratio)



Figure 2: Equivalent Separate Heat and Power Efficiency
Assumes 40 percent efficient electric and 80 percent efficient thermal generation



Objašnjenje uz prethodni dijagram

- Stupanj iskorištenja kogeneracijskog postrojenja ovisi o omjeru proizvedene električne i toplinske energije.
- U prethodnom dijagramu na osi x označen je taj omjer (Power to Heat Ratio odn. prevedeno na hrvatski el. energija (E) naspram toplinska energija (T)).
Pojasnimo to malo:

Ukupna proizvedena energija je zbroj električne i toplinske energije i označena je slovom U.

$$U = E + T$$

Uvrštavanjem ovog izraza u omjer E/T dobiva se:

$$\frac{E}{T} = \frac{E}{U - E} = \frac{E}{100 - E}$$

Proizvedena električna energija na temelju poznatog omjera E/T je:

$$E = \frac{\frac{E}{T} \cdot U}{1 + \frac{E}{T}}$$

Table III: Summary Table of Typical Cost and Performance Characteristics by CHP Technology*

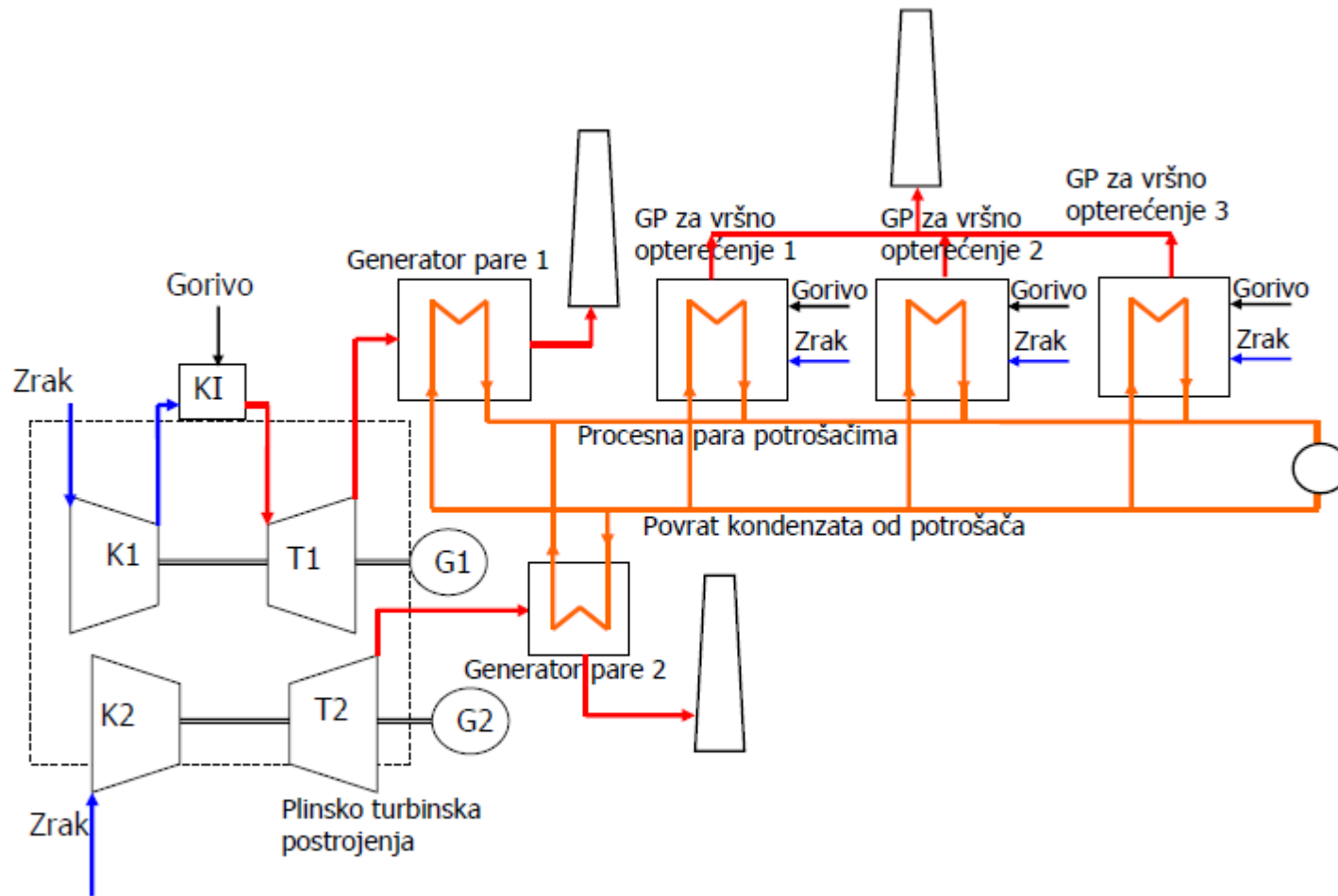
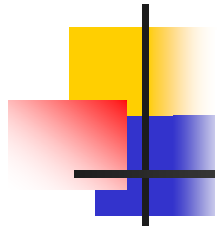
Technology	Steam Turbine ¹	Recip. Engine	Gas Turbine	Microturbine	Fuel Cell
Power efficiency (HHV)	15-38%	22-40%	22-36%	18-27%	30-63%
Overall efficiency (HHV)	80%	70-80%	70-75%	65-75%	55-80%
Effective electrical efficiency	75%	70-80%	50-70%	50-70%	55-80%
Typical capacity (MW _e)	0.5-250	0.01-5	0.5-250	0.03-0.25	0.005-2
Typical power to heat ratio	0.1-0.3	0.5-1	0.5-2	0.4-0.7	1-2
Part-load	ok	ok	poor	ok	good
CHP Installed costs (\$/kW _e)	430-1,100	1,100-2,200	970-1,300 (5-40 MW)	2,400-3,000	5,000-6,500
O&M costs (\$/kWh _e)	<0.005	0.009-0.022	0.004-0.011	0.012-0.025	0.032-0.038
Availability	near 100%	92-97%	90-98%	90-98%	>95%
Hours to overhauls	>50,000	25,000-50,000	25,000-50,000	20,000-40,000	32,000-64,000
Start-up time	1 hr - 1 day	10 sec	10 min - 1 hr	60 sec	3 hrs - 2 days
Fuel pressure (psig)	n/a	1-45	100-500 (compressor)	50-80 (compressor)	0.5-45
Fuels	all	natural gas, biogas, propane, landfill gas	natural gas, biogas, propane, oil	natural gas, biogas, propane, oil	hydrogen, natural gas, propane, methanol
Noise	high	high	moderate	moderate	low
Uses for thermal output	LP-HP steam	hot water, LP steam	heat, hot water, LP-HP steam	heat, hot water, LP steam	hot water, LP-HP steam
Power Density (kW/m ²)	>100	35-50	20-500	5-70	5-20
NO _x (lb/MMBtu) (not including SCR)	Gas 0.1-0.2 Wood 0.2-0.5 Coal 0.3-1.2	0.013 rich burn 3- way cat. 0.17 lean burn	0.036-0.05	0.015-0.036	0.0025-0.0040
lb/MWh _{TotalOutput} (not including SCR)	Gas 0.4-0.8 Wood 0.9-1.4 Coal 1.2-5.0.	0.06 rich burn 3- way cat. 0.8 lean burn	0.17-0.25	0.08-0.20	0.011-0.016

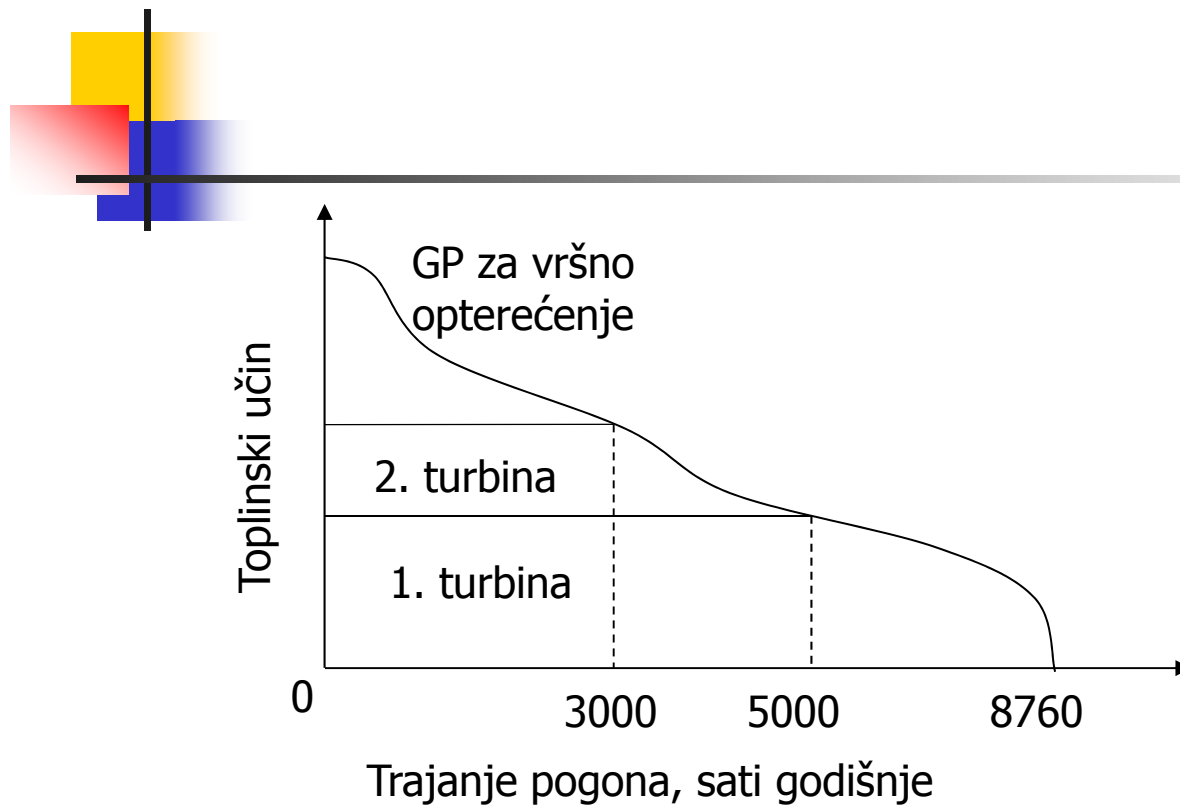
* Data are illustrative values for typically available systems; All costs are in 2007\$

¹For steam turbine, not entire boiler package

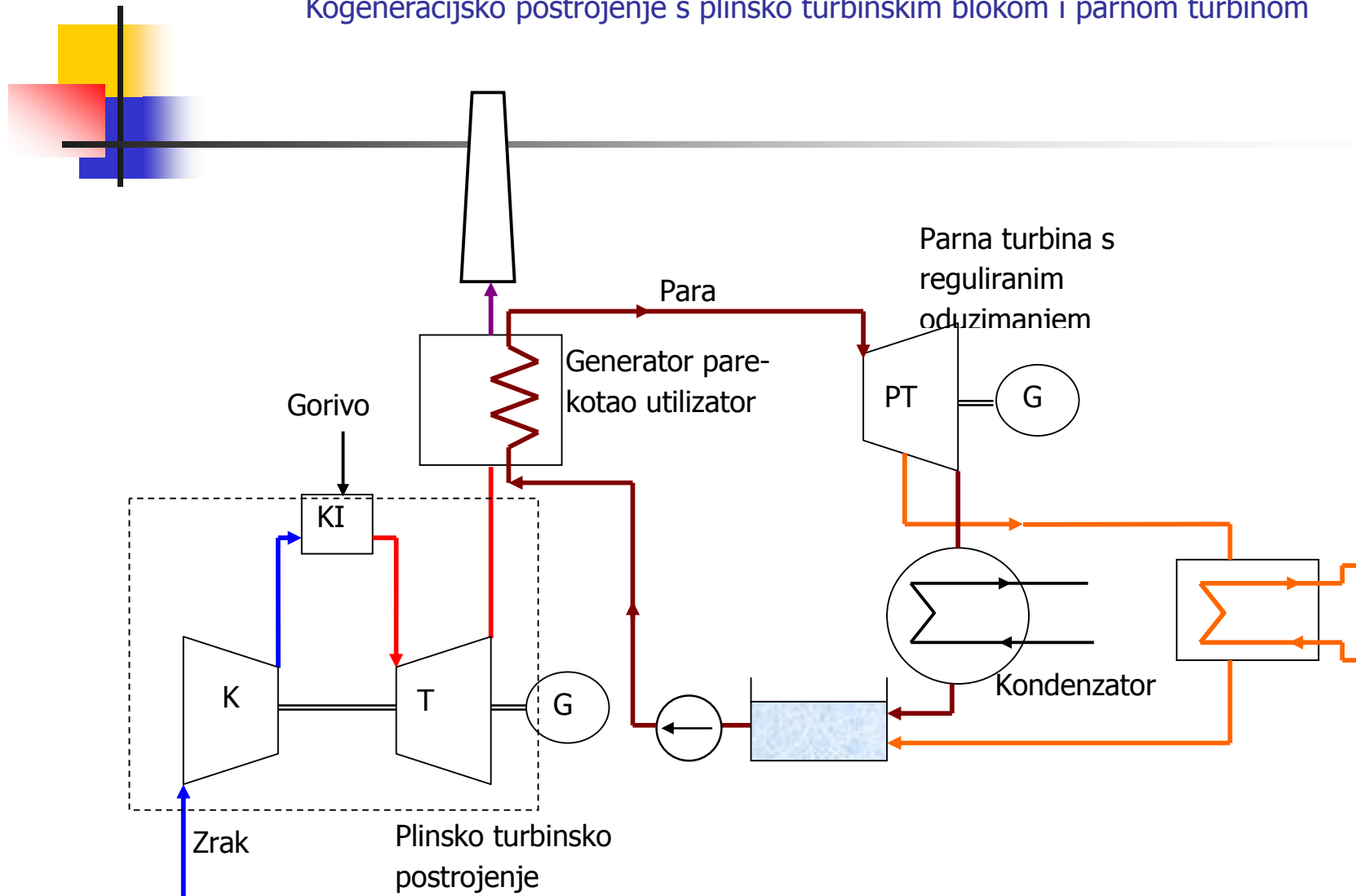
1psi=6894Pa

Kogeneracijsko postrojenje s 2 plinsko turbinska bloka i 3 generatora pare za vršno opterećenje

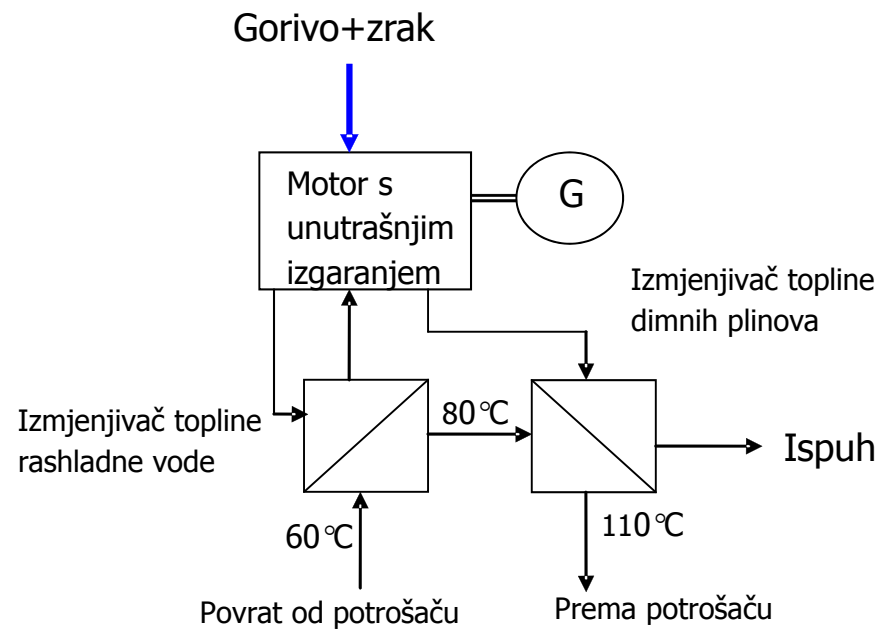




Kogeneracijsko postrojenje s plinsko turbinskim blokom i parnom turbinom



Kogeneracijski sustav s motorom s unutrašnjim izgaranjem (Otto/Diesel)



Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zavod za termodinamiku, strojarstvo i energetiku
CHP – proizvodnja električne energije i toplinske energije iskorištenjem otpadnih toplina rashladne vode motora i dimnih plinova-mtu-on-site energy

Motor na prirodni plin

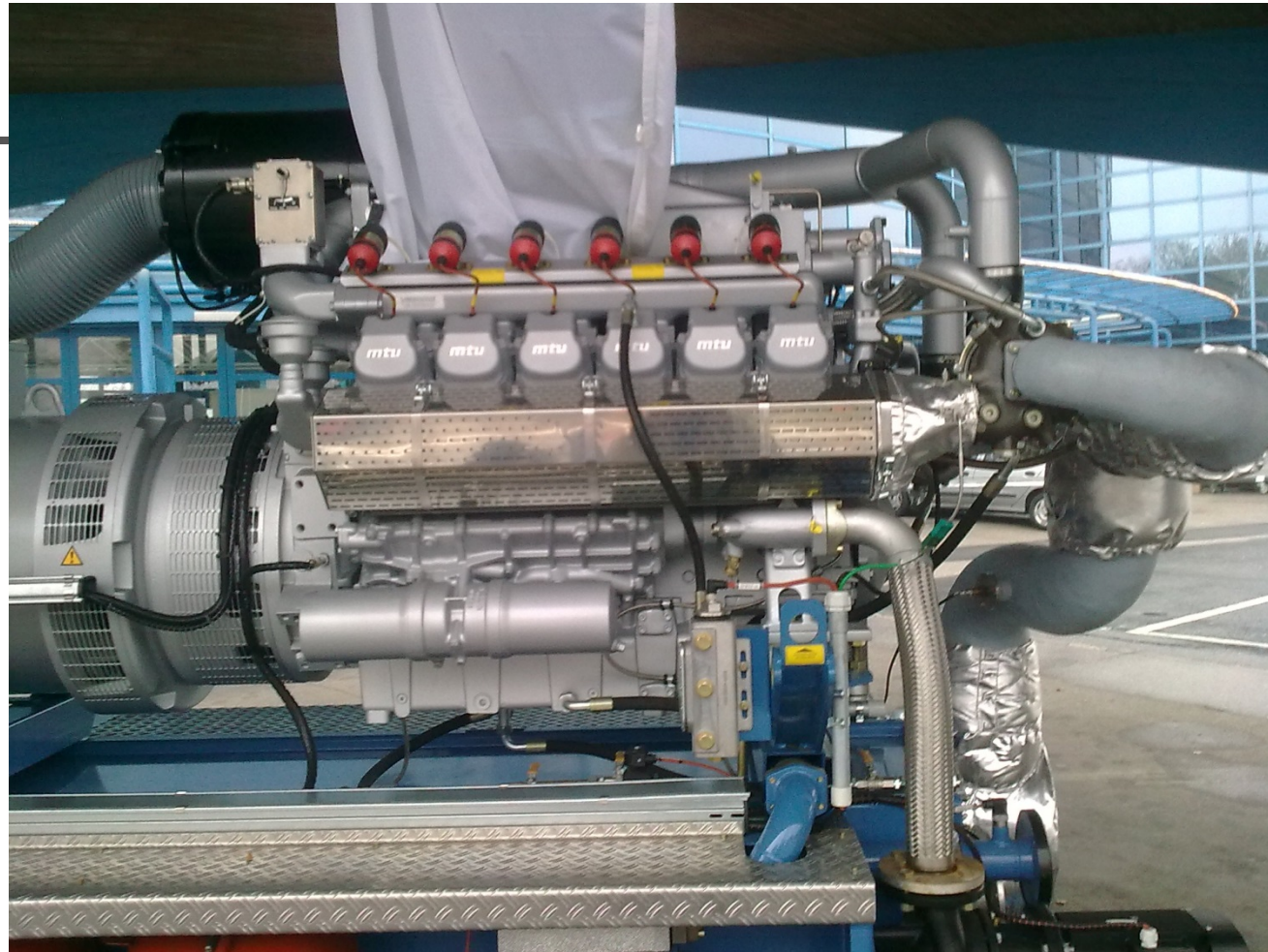
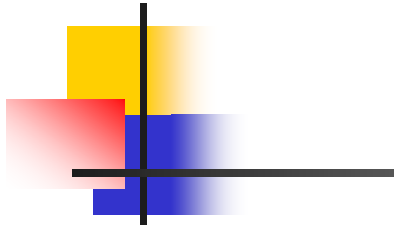
Elektrogenerator



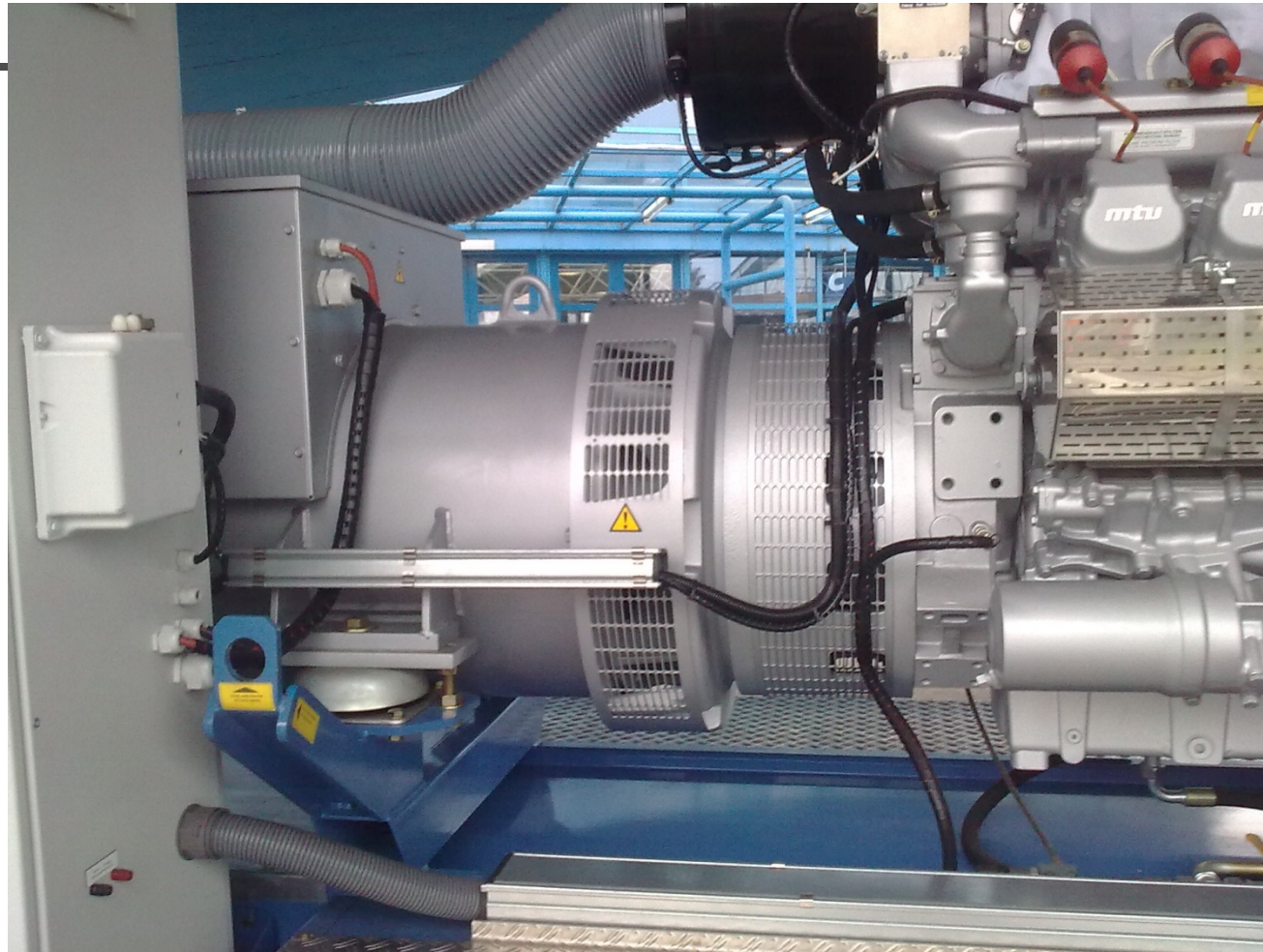
Sustav za iskorištenje otp. t. dimnih pl.

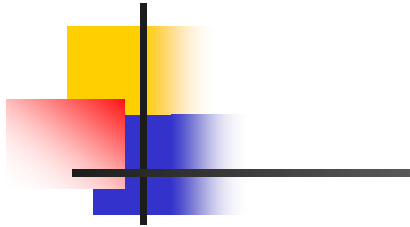
Sustav za iskorištenje otp. t. rashladne vode

Izlaz tople vode



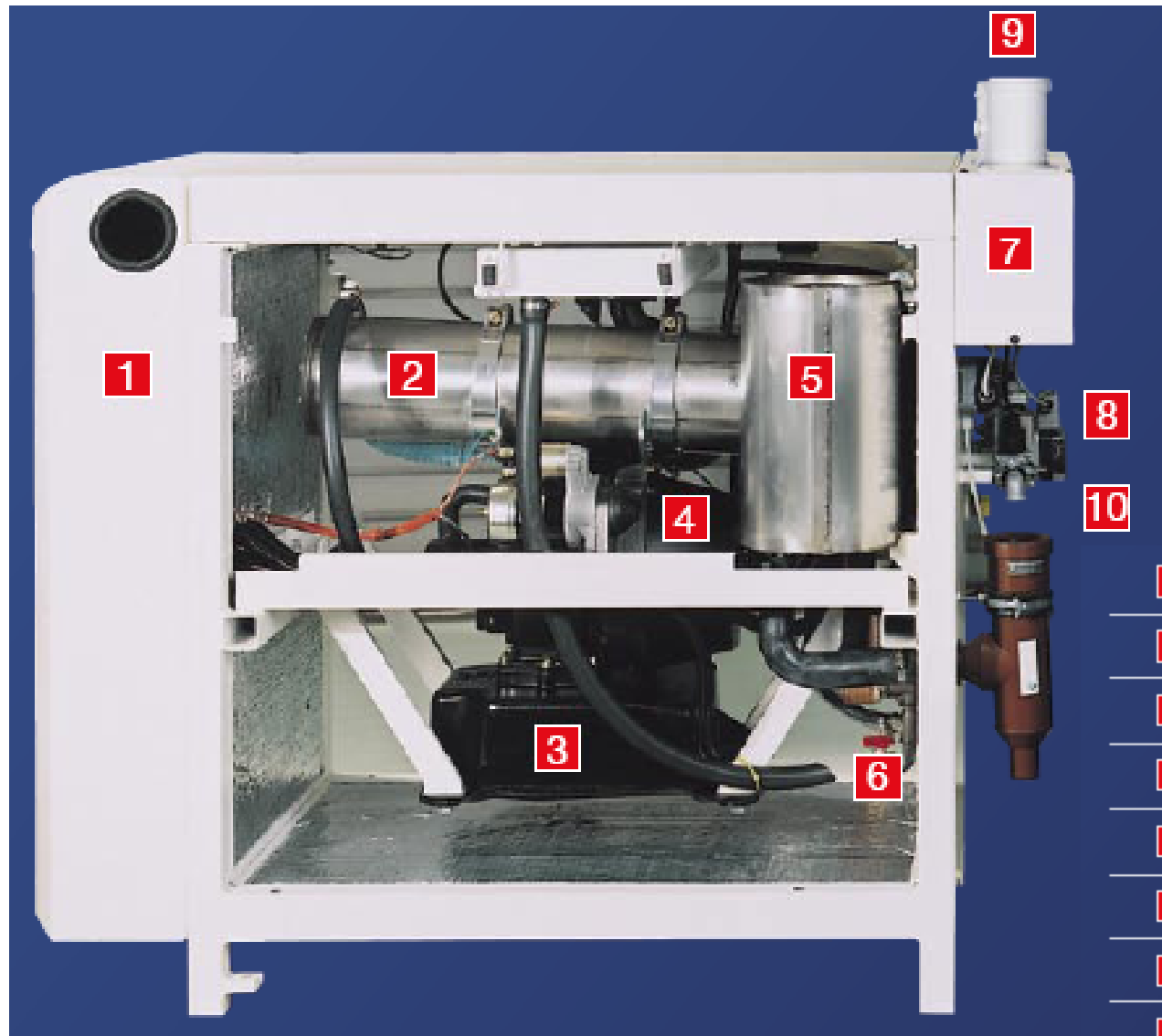
Pogled na elektrogenerator





Mikrokogeneracija
ecoPOWER (Vaillant)

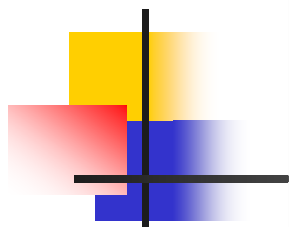




Mikrokogeneracija ecoPOWER-unutrašnjost (Vaillant)

- 1 upravljačka ploča
- 2 izmjenjivač dimnih plinova s katalizatorom
- 3 blok plinskog motora
- 4 generator
- 5 prigušivač zvuka
- 6 izmjenjivač topline
- 7 električni priključci
- 8 dovod plina
- 9 zrako-dimovod
- 10 polazni/povratni vod grijanja

Tehnički podaci



Tip uređaja: ecoPOWER	Jedinica	
Električna snaga	kW	modulirano 1,3 ~ 4,7
Snaga grijanja	kW	modulirano 4,0 ~ 12,5 kW
Priključne vrijednosti:		
Zemni plin, 2E (G 20)	m ³ /h	0,6 - 1,9
Ukapljeni plin, P	kg/h	0,76 - 1,55
Stupanj iskoristivosti	%	>90
Radni volumen pl. motora	cm ³	272
Broj okretaja (modulirajući)	okr/min	1200 - 3600
Maks. temp. polaznog voda	°C	75
Minim. temp. povratnog voda	°C	60
Maks. temp. dimnih plinova	°C	120
Minimalni tlak plina	mbar	15
Maks. tlak plina	mbar	50
Maks. radni tlak	bar	3
Visina	mm	1080
Širina	mm	740
Dubina	mm	1370
Težina	kg	395
Priključna snaga	A	10
Mrežni priključak	-	3 x 400 V / 50 Hz
Nazivna snaga	W	5 - 180
Klasa zaštite	-	IP 200