PRILOG 2. PODACI I PRORAČUNI UZ POGLAVLJE 4

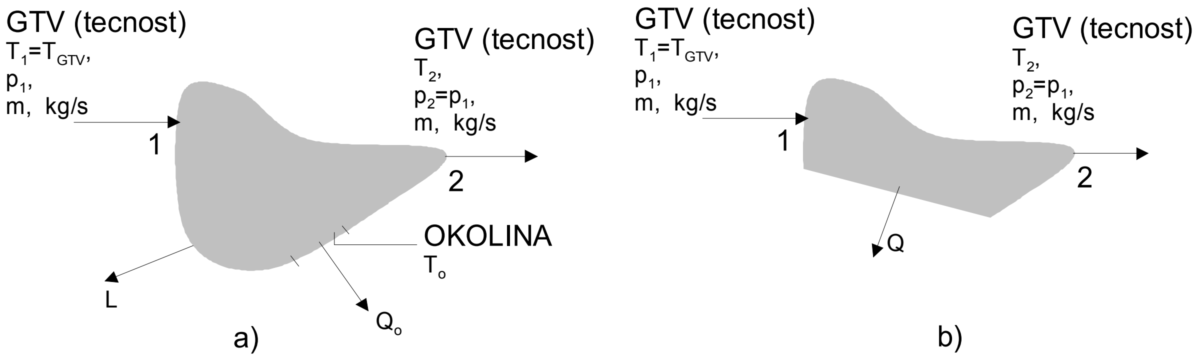
DODATAK 1: Potencijal GTV u odnosu na okruženje
DODATAK 2: Parno-turbinsko termoenergetsko postrojenje u eksploataciji resursa GTV
DODATAK 3: Kombinovana gasno-turbinska/parno-turbinska termoenergetska postrojenja i cene konvencionalnih rešenja
DODATAK 4: Rashladne mašine u eksploataciji potencijala GTV

DODATAK 1: Potencijal GTV u odnosu na okruženje

Bilansi energije i enropije za ustaljenu kontrolnu zapreminu, slika 1a, su:

$$0 = \dot{m}(h_1 - h_2) - \dot{Q}_o - \dot{L}\,,$$

$$0 = \frac{-\dot{Q}_a}{T_o} + \dot{m}(s_1 - s_2) + \dot{D}_\Sigma\,, \qquad \dot{D}_\Sigma \geq 0\,.$$



Slika 1: Shema i oznake u vezi razmatranja potencijala geotermalne vode (GTV) u odnosu na okruženje

Eliminacijom toplote $\dot{Q}_o$ iz jednačina, a zatim rešavanjem po snazi, $\dot{L}$, biće

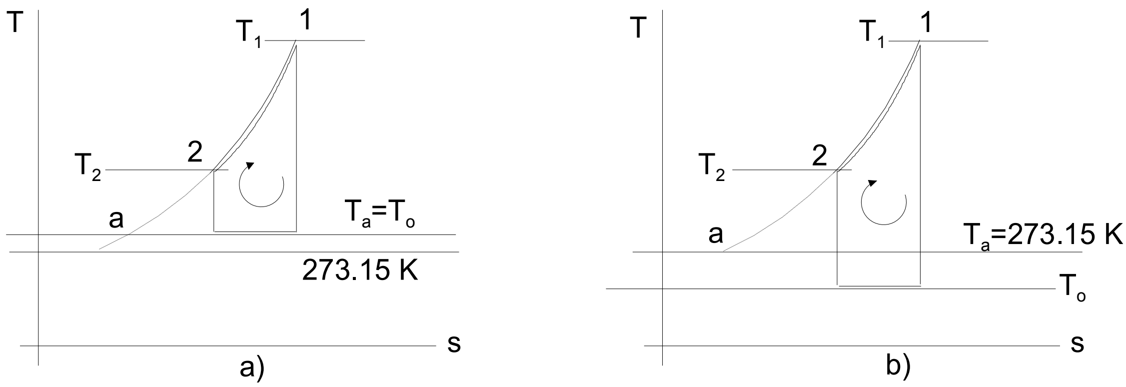
$$\frac{\dot{L}}{\dot{m}} = (h_1 - T_o s_1) - (h_2 - T_o s_2) - T_o\frac{\dot{D}_\Sigma}{\dot{m}}\,, \text{ odnosno } \frac{\dot{L}}{\dot{m}} = (h_1 - h_2) - T_o(s_1 - s_2) - T_o\frac{\dot{D}_\Sigma}{\dot{m}}\,.$$

Za nekompresibilne fluide je $h_1 - h_2 = c(T_1 - T_2)$ i $s_1 - s_2 = c\ln\frac{T_1}{T_2}$, a pošto je $\dot{D}_\Sigma \geq 0$, važi

$$\frac{\dot{L}}{\dot{m}c} = (T_1 - T_2) - T_o\ln\frac{T_1}{T_2} - T_o\frac{\dot{D}_\Sigma}{\dot{m}} \leq (T_1 - T_2) - T_o\ln\frac{T_1}{T_2}\,,$$

gde je c - specifična toplota fluida (GTV), ovde 4.1618 kJ/kgK.

Dobijena je teorijski najveća vrednost $\dot{L}/\dot{m}c$ za konkretnu promenu stanja GTV. Ona potencijalno može da se realizuje instalacijom desnokretnog kružnog procesa između GTV, koja se hladi, i trenutnog okruženja na T_o, slika 2.



Slika 2: Desnokretni kružni proces između toka GTV i trenutnog ambijenta (okruženja):
a) T_o > 273.15 K, b) T_o < 273.15 K

Lako se pokazuje da je gornja granica za $\dot{L}/\dot{m}c$ najveća za T_2=T_o. Međitim, pošto T_o može biti ispod tačke smrzavanja GTV, postoji ograničenje

$$T_a = \min T_2 = \max\left(273.15, T_o\right),$$

te je teorijski najveća moguća granica za $\dot{L}/\dot{m}c$ jednaka

$$\max\left(\frac{\dot{L}}{\dot{m}c}\right) = (T_1 - T_a) - T_o \ln\frac{T_1}{T_a}.$$

Bilans energije samo za GTV, slika 1b, kada se ona hladi grejući radni fluid u desnokretnom procesu, je

$$0 = \dot{m}(h_1 - h_2) - \dot{Q} - \cancel{\dot{L}},$$

odakle

$$\frac{\dot{Q}}{\dot{m}} = h_1 - h_2 = c(T_1 - T_2) \le c(T_1 - T_a).$$

Termodinamički stepen iskorišćenja toplote, koja se odvodi od GTV i koristi za zagrevanje radnog fluida u kružnom procesu, jednak je

$$\eta \equiv \frac{\dot{L}}{\dot{Q}} = \frac{T_1 - T_2 - T_o \ln\frac{T_1}{T_2} - T_o\frac{\dot{D}_\Sigma}{\dot{m}}}{T_1 - T_2},$$

i manji je od njegove teorijski maksimalne gornje granice:

$$\eta \le \max\eta = 1 - \frac{T_o}{T_a}\frac{1}{\frac{T_1}{T_a} - 1}\ln\frac{T_1}{T_a}, \text{ gde je } T_a \equiv \max(T_o, 273.15\,\mathrm{K}).$$

Prosečna teperatura odvođenja toplote od GTV, T_g, odnosno dovođenja toplote kružnom procesu može da se dobije iz relacije za ekvivalentni Karnotov kružni proces, tj.

$$\max\eta = 1 - \frac{T_o}{T_g},$$

odakle

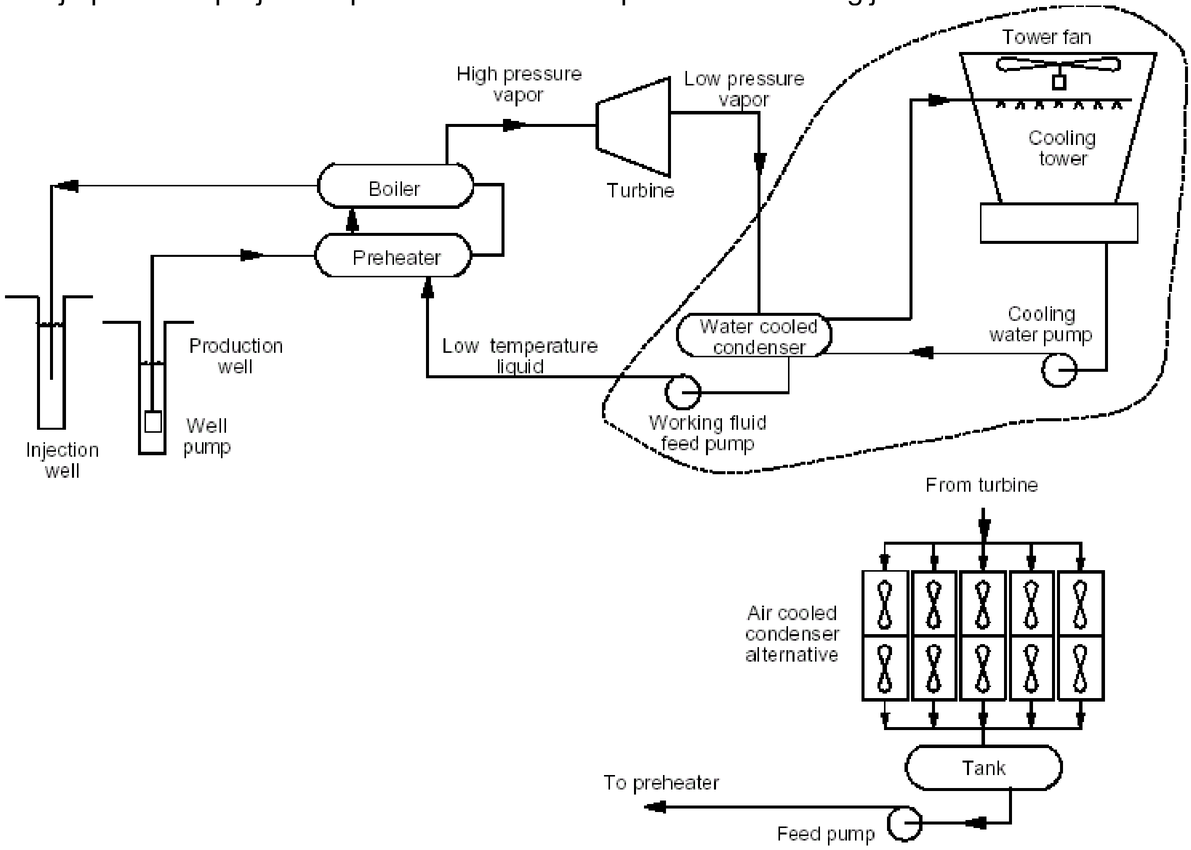
$$T_g = \frac{T_o}{1 - \max\eta} = \frac{T_a\left(\frac{T_1}{T_a} - 1\right)}{\ln\frac{T_1}{T_a}}.$$

Za specijalni sličaj, za $T_o > 273.15\,\mathrm{K}$, $T_a = T_o$, prosečna temperatura je

$$T_g = \frac{T_o}{1 - \max\eta} = T_o\frac{\frac{T_1}{T_o} - 1}{\ln\frac{T_1}{T_o}}.$$

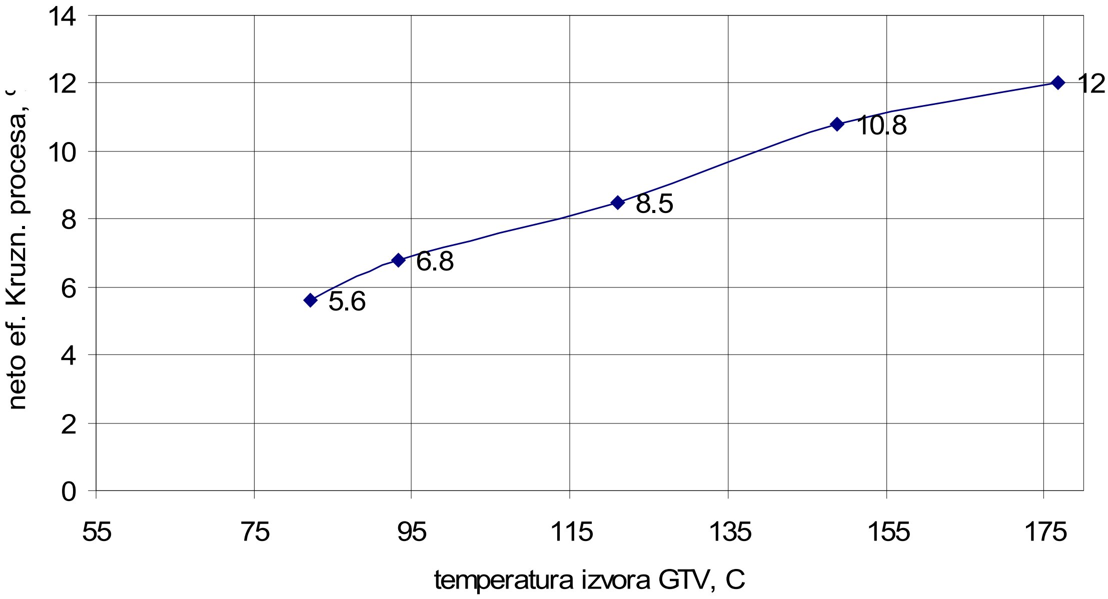
DODATAK 2: Parno-turbinsko termoenergetsko postrojenje u eksploataciji resursa GTV

Za parno-turbinska postrojenja sa vazdušnim hladnjakom, prema slici 3, [33], daju se analize uticaja promene projektnih parametara na cenu proizvedene energije.



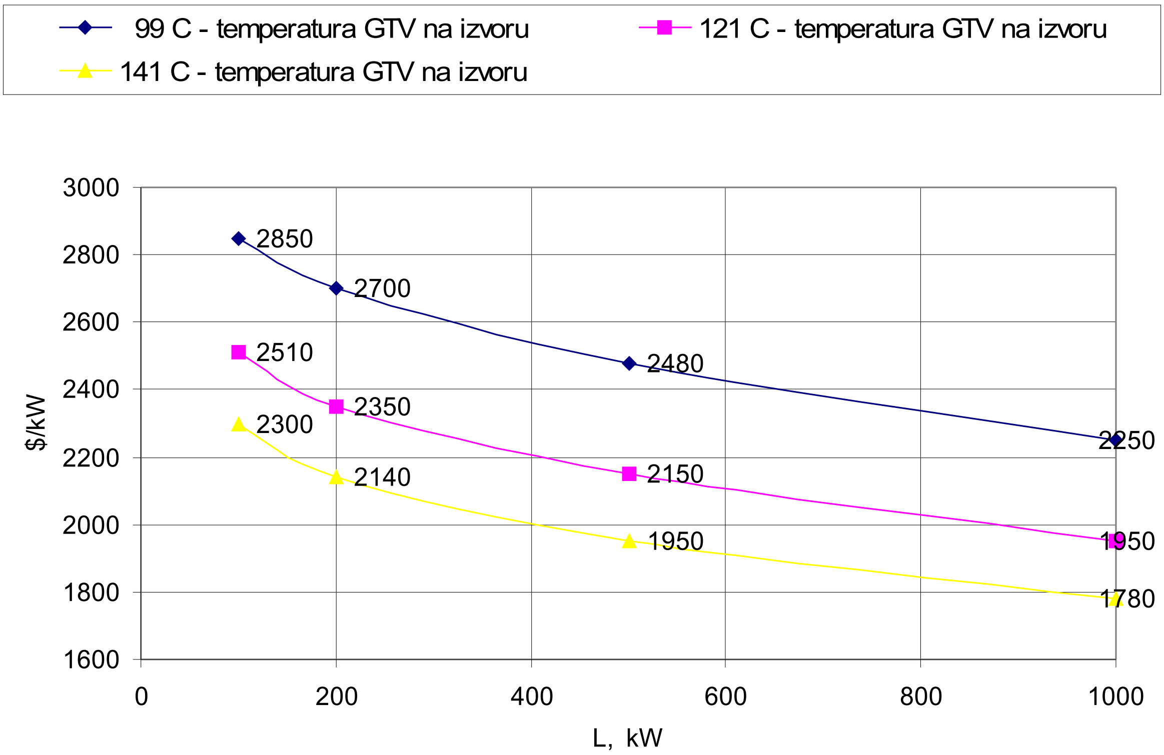
Slika 3: Shema integrisanja GTV i parno-turbinskog termoenergetskog postrojenja [33]

Realna neto efikasnost postrojenja prikazana je na slici 4, [33], [34].



Slika 4: Realna neto efikasnost postrojenja sa parnim kružnim procesom (bez snage za crpljenje GTV)

Prema podacima u [33], [35], realna postrojenja sa suvim kondenzatorom imaju cene prema dijagramu na slici 5.



Slika 5: Cena postrojenja sa vazdušnim hladnjakom (kao kondenzatorom) u funkciji snage postojenja i ulazne temperature GTV

Primetan je jak uticaj temperature izvora GTV na specifičnu cenu, i to nezavisno od snage. Najgori slučaj ovde čak je povoljniji od naših najboljih uslova. Isti autori iznose sledeće podatke za jedno realno postrojenje:

Temperatura izvora GTV	121 °C,
Neto električna snaga	300 kW,
Dubina proizvodne bušotine	305 m,
Dubina (re)injekcione bušotine	198 m,
Godišnja angažovanost postrojenja	80% (oko 7008 h/a)
Vek	30 god.
Ukupna investicija (bušotine+postrojenje)	1,278,000 $,
Troškovi godišnjeg održavanja	63,000 $/a,
Cena proizvodje stuje	0.105 $/kWh.

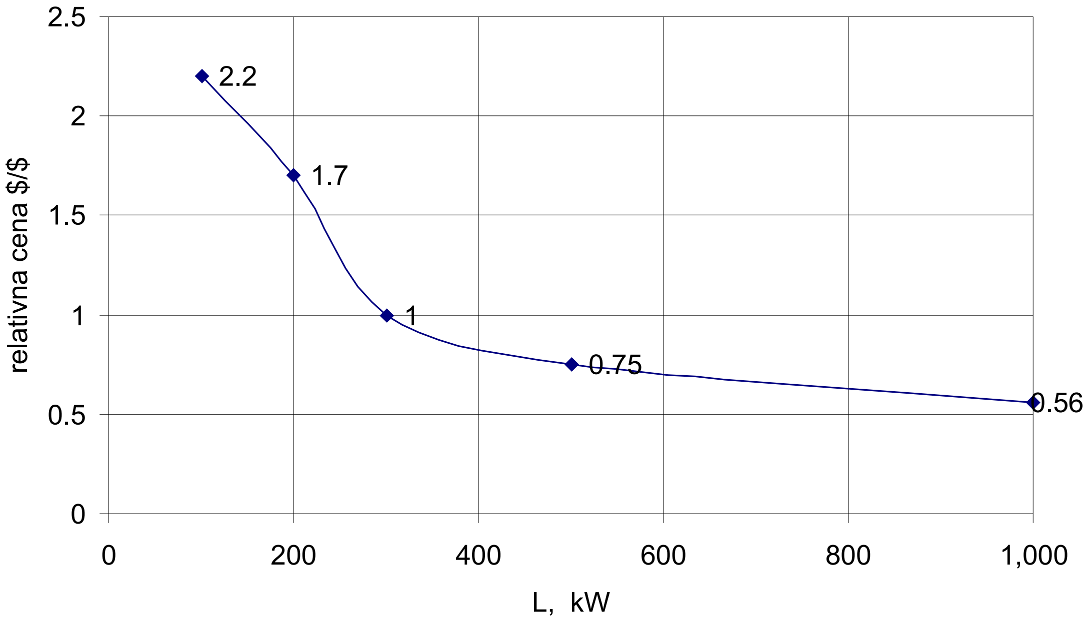
Ako se računa sa cenom postrojenja od 2,300 $/kW x 300 kW = $, prema slici 5, ispada da je cena obe rupe od oko 1,278,000 $ - 690,000 $ = $. Rok proste otplate postrojenja, prema gornjim podacima je

$$\frac{1,278,000}{105 \times 0.3 \times 7,008 - 63,000} = \text{godina.}$$

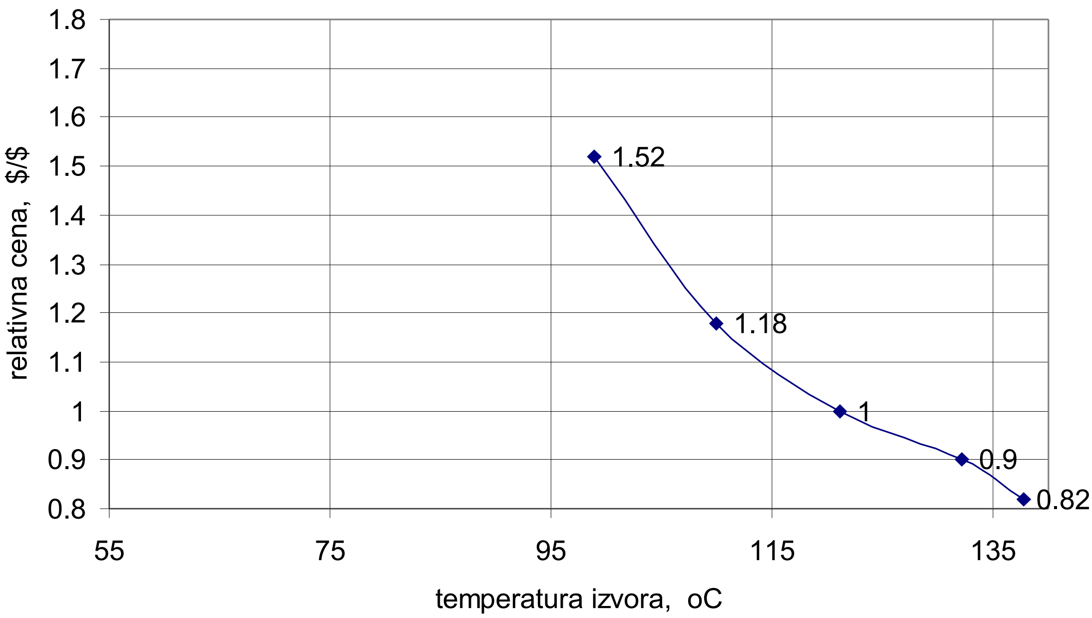
U istim uslovima režima eksploatacije, sasvim je neprihvatljiva komercijalna cena stuje od oko 35 €/MWh (3.5 c€/kWh), jer bi prost rok otplate bio godina. Čak sa 60 €/MWh (6.00 c€/kWh) prost rok otplate bi iznosio oko 20 godina. Međutim, postrojenje je nakon otplate ekonomično čak i sa komercijalnom cenom:

$$\frac{R}{P} = \frac{\text{plaćeno(održavanje)}}{\text{prodato(struja)}} = \frac{63{,}000}{35 \times 0.3 \times 7{,}008} = < 1.$$

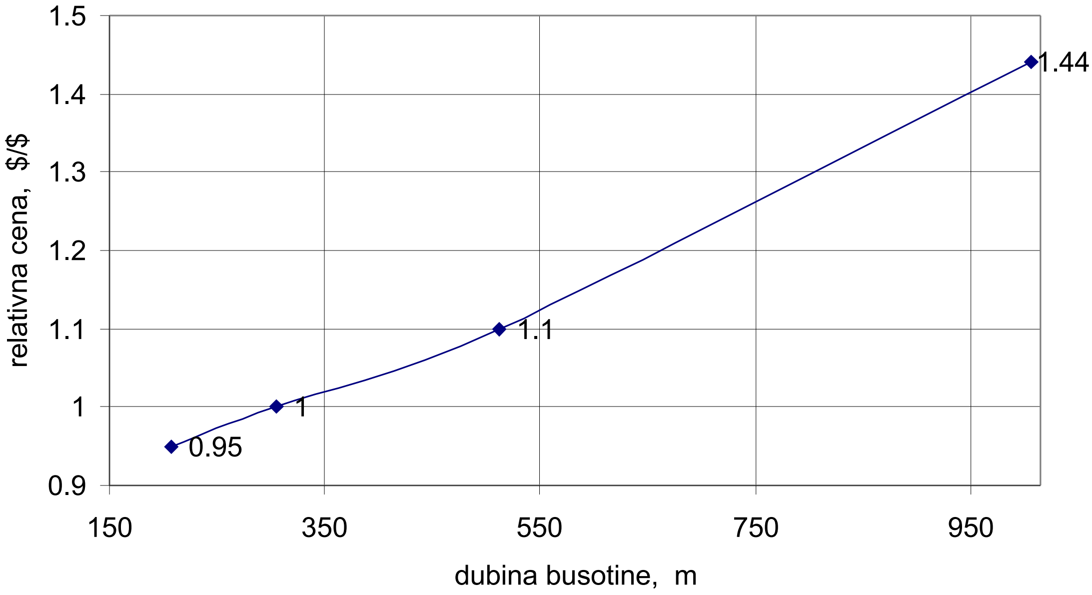
Isti autori daju i uticaj ključnih parametara na cenu proizvodnje struje. Tri najvažnija su: snaga postrojenja, temperatura izvora GTV, i dubina proizvodne bušotine. Njihov uticaj je ilustrovan slikama 6, 7 i 8, preko odnosa cene (za prihvatljive odnose otplate i poslovanja) i cene od 0.105 $/kWh kod referentnog postrojenja (prethodno razmatranog)



Slika 6: Uticaj snage na relativnu cenu struje
(referentna cena je 0.105 $/kWh)



Slika 7: Uticaj temperature izvora GTV na relativnu cenu struje
(referentna cena je 0.105 $/kWh)



Slika 8: Uticaj dubine proizvodne bušotine na cenu proizvodnje struje
(referentna cena je 0.105 $/kWh)

Za naše najbolje uslove je, 55 < 99°C, za električnu snagu od 0.2 MW,

$c_e \geq$ 0.105 x 1.7 x 1.52 x 1.44 = $/kWh, što iznosi oko €/kWh/[1].

Očigledno, cena proizvodnje struje je oko 4 puta veća u odnosu na referentnu cenu od 0.105 $/kWh. U odnosu na komercijalnu cenu struje u EU, od oko 0.055 €/kWh (5.5 c€/kWh), to je čak oko puta (!) veća cena.

1 prema trenutno važećem odnosu: 1 USA $ = 1.277 € (12.maj 2005.)

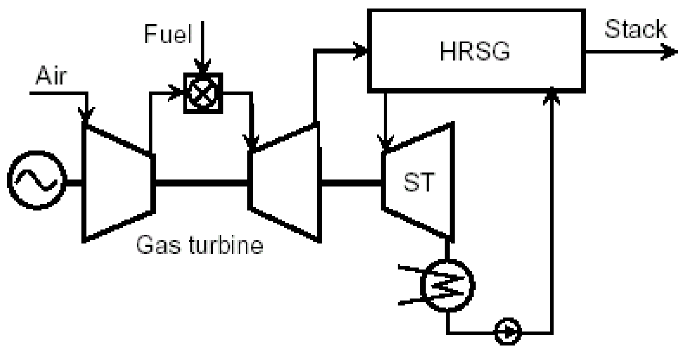
DODATAK 3: Kombinovana gasno-turbinska/parno-turbinska termoenergetska postrojenja i cene konvencionalnih rešenja

Između različitih mogućnosti kombinovanih ciklusa, Joule/Rankine kombinovani je najviše razvijen i primenjivan. Jeftini i raspoloživi radni medijumi, kao vazduh za visokonivoski (topping), i voda-para za niskonivoski (bottuming) kružni proces, i dobro razvijene tehnologije (gasnih turbina, bojlera za otpadnu toplotu – tzv. kotao utilizator, parnih turbina, i sl.) idu u prilog široke primene ovakvih sprezanja. Moguće kombinacije date su tabelom 1, [17].

Tabela 1: Moguća sprezanja visokonivoskog (Joule) i niskonivoskog (Rankine) kružnog procesa kod kombinovanih postrojenja dualnog (binarnog) tipa [17]

			Visokonivoski Jouleov kružni proces (topping cycle)	
	Sprezanje Rankine i Joule procesa		Direktno sagorevanje	Indirektno sagorevanje
(bottoming cycle)Rankinov kružni procesNiskonivoski	**Kotao utilizator iza gasne turbine (HRSG)**	Bez naknadnog sagorevanja prod. sag.	*	*
		sa naknadnim sagore-vanjem dopunskog goriva	*	
	Postojeći generator pare iza gasne turbine (repowering)	Na gas, ulje, ugalj, ...	*	*
		Otpadni produkti sagorevanja, plus prod. sag. iz gasne turbine	*	*
	Integrisano sa gasnom turbinom	Ubrizgavanje pare i/ili vode pre gasne turbine	*	*
		Hlađenje lopatica gasne turbine	*	*
		Hlađenje ložišta pre gasne turbine	*	

Varijanta sprezanja preko kotla utilizatora (tzv. HRSG – Heat Recovery Steam Generator) smatra se konvencionalnim rešenjem, čija shema je data na slici 9.

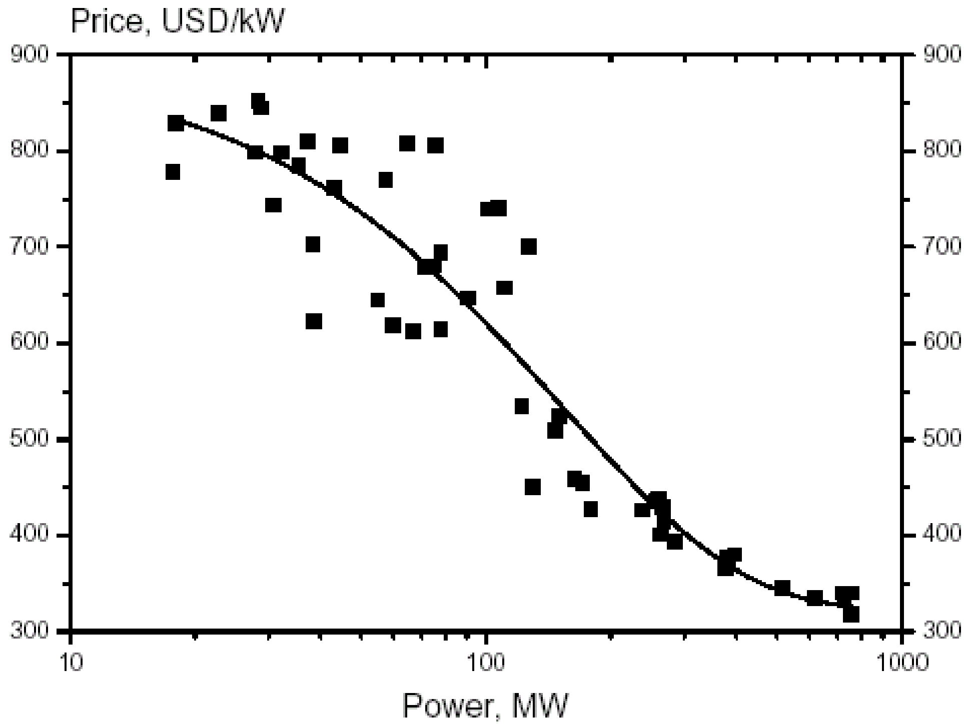


Slika 9: Kombinovano gasno-turbinsko/parno-turbinsko termoenergetsko postrojenje

sa kotlom utilazatorom (HRSG)

Radi bolje razmene toplote u kotlu utilizatoru (HRSG), praktikuje se više od jednog nivoa pritiska u parno-turbinskom bloku (niskonivoski proces). Sa jednopritisnim nivoom u HRSG, obično 30% ukupne izlazne snage kombinovanog postojenja pripada parnoj turbini. Sa dualnim pritiscima ovo učešće se povećava još za oko 10%, a sa triple pritiscima još oko 3%. Moderna kombinovana postrojenja mogu da dostignu efikasnot od 55 do 60% [17].

Bez posebne naznake o vrsti ložišta (dirketno, ili indirektno sagorevanje) pre gasne turbine, specifična cena ovih kombinovanih postrojenja, u funkciji izlazne snage, daje se podacima prema slici 10.



Power range, MW	Efficiency, %	HRSG type	Price, USD/kW
15–50	40–50	double pressure	650–850
51–100	44–52	double pressure	600–800
101–250	50–52	double- and triple-pressure	400–750
above 250	56–58	triple-pressure with reheat	350–450

Slika 10: Specificna cena i efikasnost u funkciji izlazne mehaničke snage za gasno-turbinsko/parno-turbinsko postrojenje sa kotlom utilizatorom/[2]

2 prema [17], sa referisanjem na podatke iz "Gas Turbine World Handbook, 1997"

DODATAK 4: Rashladne mašine u eksploataciji potencijala GTV

Prihvatljivost nekog konkretnog rešenja (varijante instalacije) sa tehnoekonomskog stanovišta može biti procenjivana prema dva kriterijuma:

- vreme proste otplate instalacije ne treba da je veće od 7 godina,
- instalacija treba da je rentabilna, tj. nakon otplate mora da ostvaruje dobit.

Vreme otplate postrojenja (instalacije) računaće se iz uslova da je

$$Rashod(\tau) = Prihod \times \tau \;,$$

gde je τ - vreme od početka rada pa do otplate instalacije, god. Pri tom je, u apsolutnom iznosu

$$Rashod(\tau) = DUG + Rashod \times \tau \;, €,$$

gde je prosečni godišnji rashod (jednak zbiru troškova odžavanja - TO, €/a, i pogonskih troškova - PT, €/a)

$$Rashod = TO + PT \;, €/a,$$

a DUG, u uslovima proste otplate postrojenja (bez kamata) jednak visini investicija

$$DUG = C_{INV} \;, €.$$

Prema tome, vreme (proste) otplate instalacije biće

$$\tau = \frac{C_{INV}}{Prihod - Rashod} \;, \text{godina} \qquad (1)$$

Nakon otplate, odnosno tokom regularne eksploatacije postrojenja (instalacije), rentabilnost se procenjuje prema odnosu

$$\frac{R}{P} = \frac{Rashod \times \tau}{Prihod \times \tau} = \frac{Rashod}{Prihod} \;, \qquad (2)$$

koji treba da je manji od 1.

Struktura prosečnog godišnjeg prihoda (Prihod, €/a) zavisi od mogućnosti plasmana "robe", i različita je od slučaja do slučaja. Zapravo, zavisna je kako od kvaliteta, tako i kvantiteta ponuđenog (robe). Razume se, ovde nije moguć iscrpan pregled procena za sve potencijalne varijante, te se daje samo primer za jedan, po našem mišljenju reprezentativan (ili tipičan) slučaj.

Zapravo, razmatraće se detaljno situacija za karakterističnu bušotinu (ili srodne bušotine) sa:

$t_{GTV} = 50$ - 55°C, (temperatura GTV na izlazu bušotine),

$\dot{V}_{GTV} = 14 - 16$ l/s, (protok GTV iz bušotine)

Temperatura ambijenta neka je

$t_a = t_o = 15^oC.$

Za izabrani slučaj, $Q_{BUS} = 2.3$ MW (tabela 11), teorijski stepen iskorišćenja toplotne energije je 6% (tabela 12), teorijska radna sposobnost $L = 0.14$ MW (tabela 13), a prema tabeli 17 prosečna temperatura odvođenja toplote od GTV je $t_g = 33.4^oC$.

Cena bušotine, pod uslovom da je u vlasništvu, biće ovde

$C_{BUS}(dubina) = ... = 950{,}000$ €.

Temperatura u isparivaču rashladne mašine, približno temperatura hlađenog objekta, neka je

$t_h = 5^oC.$

Saglasno jednačinama (1) i (2), prihvaćenim uslovima za bušotine GTV i drugim odgovarajućim merilima, dalje se daju rezultati za neke varijante prema tabeli 16 (Poglavlje 4.3.4).

ARM prema tabeli 16, varijante A i C (Toplota kondenzacije može da se prodaje)

Imajući u vidu da kod ARM mora biti $t_a \le t_k < t_g$, smatraće se da je

$t_k = 30\,^oC$, (temperatura kondenzacije, ili hlađenja, za ARM).

Koeficijent hlađenja za ARM u datim uslovima je

$$COP_{ARM} = \frac{Q_h}{Q_{BUS}} \le \frac{T_h}{T_k - T_h}\frac{T_g - T_k}{T_g} = \frac{273.15 + 5}{30 - 5}\frac{33.4 - 30}{273.15 + 33.4} = .$$

Prema tome, snaga hlađenja (rashladni kapacitet) i snaga kondenzacije su, respektivno

$$Q_h = COP_{ARM} Q_{BUS} \le 0.123 \times 2.3 = \text{ MW},$$
$$Q_k = Q_h + Q_{BUS} = (1 + COP_{ARM})Q_{BUS} \le (1 + 0.123) \times 2.3 = \text{ MW}.$$

Prema dijagramu na slici 26, za $Q_h =$ MW biće,

$$C_{ARM} \equiv C_{ARM}(Q_h) = C_M(Q_h) + C_O(Q_h) = 150{,}000 + 40{,}500 = 00\ \$,/^3 \quad (\text{€}),$$

Tabela 16, A: ARM, bušotina je u vlasništvu (otplaćuje se), prodaje se toplota kondenzacije

$C_{INV} = C_{BUS} + C_{ARM} =$ 950,000+243,840 = 0 €,
TO $= 0.1 \times C_{INV} =$ 0.1 x 1,193,840 = 119,384 €/a,

---

3 prema trenutno važećem odnosu: 1 USA \$ = 1.277 € (12.maj 2005.)

$PT = 0$, €/a, (nema pogonskih troškova - energija se ne kupuje)

$Prihod = Q_h c_h \tau_h + Q_k c_k \tau_k$, €/a.

Ovde su c_h i c_k cena rashladne energije, i cena toplote kondenzacije, €/MWh, a τ_h i τ_k godišnja angažovanja odgovarajuće energije, h/a.

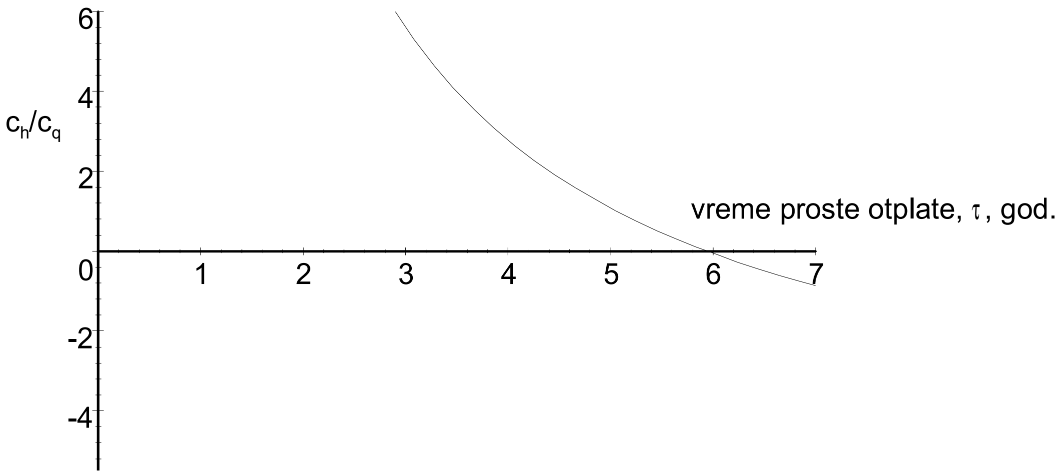
Prema formuli (1), vreme otplate je $\tau = \dfrac{C_{INV}}{(Q_h c_h \tau_h + Q_k c_k \tau_k) - TO - \cancel{PT}}$, odakle je odnos cena:

$$\frac{c_h}{c_k} = \frac{1}{\tau}\frac{C_{INV}}{Q_h c_k \tau_h} - \frac{Q_k c_k \tau_k - TO_{ARM}}{Q_h c_k \tau_h}.$$

Konkretno, za uslove $c_k = c_q = 20$ €/MWh, i $\tau_h = \tau_k = \tau_q = 6{,}200$ h/a, odnos cena tokom otplate, u funkciji vremena (roka) otplate, je:

$$\frac{c_h}{c_q} = \frac{1}{\tau}\frac{1{,}193.84 \times 10^3}{0.283 \times 20 \times (6.2 \times 10^3)} - \frac{2.583 \times 20 \times (6.2 \times 10^3) - 119.384 \times 10^3}{0.283 \times 20 \times (6.2 \times 10^3)} = \frac{34.02}{\tau} - 5.725.$$

Ovakva zavisnost data je na slici 11:



Slika 11: Odnos cene hlađenja i cene toplote kondenzacije, c_h / c_q,
u funkciji vremena proste otplate, τ, god.; $c_q = 20$ €/MWh

Očigledno, čak i bez naplaćivanja hlađenja, instalacija se otplaćuje između 6 i za manje od 7 godina (u uslovima proste otplate - bez kamate). Za 7 godina proste otplate, odnos cena je $c_h / c_q = 0.865$.

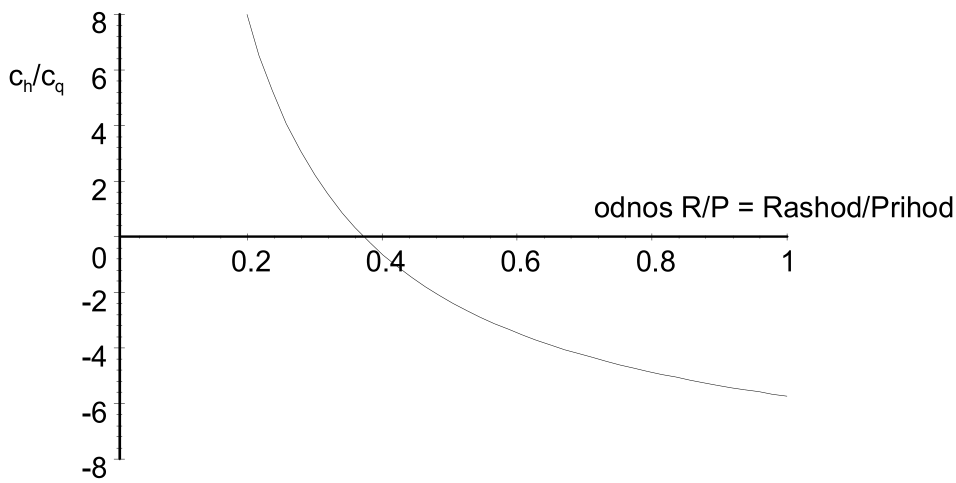
Nakon otplate, ekonomičnost procenjena preko odnosa R/P, prema (2), biće

$$\frac{R}{P} = \frac{TO + \cancel{PT}}{Q_h c_h \tau_h + Q_k c_k \tau_k} = \frac{TO + 0}{\frac{c_h}{c_k} Q_h c_k \tau_h + Q_k c_k \tau_k}, \text{ odakle } \frac{c_h}{c_k} = \frac{1}{R/P}\frac{TO}{Q_h c_k \tau_h} - \frac{Q_k c_k \tau_k}{Q_h c_k \tau_h}.$$

Prema prihvaćenim odnosima, tj. $c_k = c_q = 20$ €/MWh, i $\tau_h = \tau_k = \tau_q = 6{,}200$ h/a, važi

$$\frac{c_h}{c_q} = \frac{1}{R/P}\frac{119.384 \times 10^3}{0.283 \times 20 \times (6.2 \times 10^3)} - \frac{2.583 \times 20 \times (6.2 \times 10^3)}{0.283 \times 20 \times (6.2 \times 10^3)} = \frac{0.5443}{R/P} - 9.1272 .$$

Ova zavisnost data je na slici 12:



Slika 12: Odnos cene hlađenja i cene toplote kondenzacije, c_h / c_q,
u funkciji odnosa Rashoda i Prihoda, R/P; $c_q = 20$ €/MWh

I ova zavisnost pokazuje da se hlađenje ne mora naplaćivati, osim kod jačih zahteva - na primer za R/P < 0.4. Konkretno, za R/P=1, odnos $c_h / c_q = 5.73$,

Tabela 16, C: ARM, bušotina nije u vlasništvu (toplota bušotine se kupuje), prodaje se toplota kondenzacije

$C_{INV} = \cancel{C}_{BUS} + C_{ARM} = 0+243{,}840 = 243{,}840$ €,
$TO = 0.1 \times C_{INV} = 0.1 \times 243{,}840 = 24{,}384$ €/a,

$PT = Q_{BUS} c_q \tau_h$, €/a, (postoje pogonski troškovi – kupuje se toplota od vlasnika bušotine)

$Prihod = Q_h c_h \tau_h + Q_k c_k \tau_k$, €/a.

Vreme proste otplate je $\tau = \dfrac{C_{INV}}{(Q_h c_h \tau_h + Q_k c_k \tau_k) - TO - Q_{BUS} c_q \tau_h}$, odakle

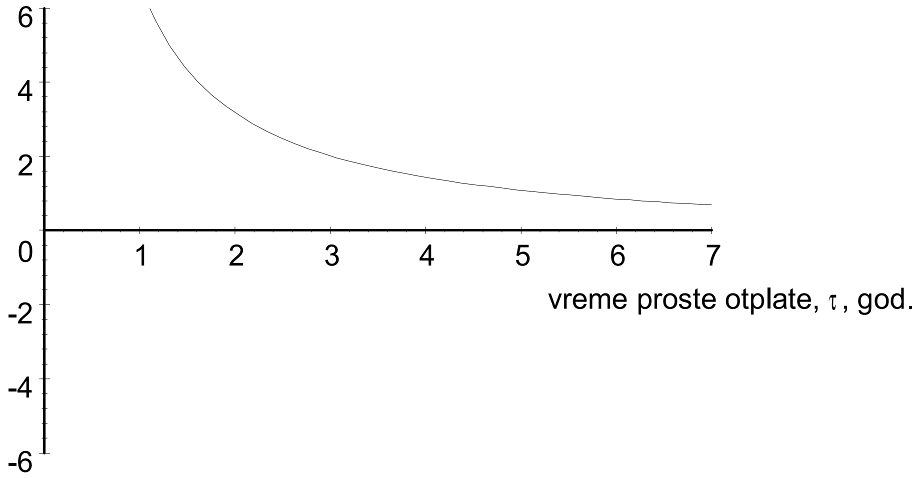
$$\frac{c_h}{c_k} = \frac{1}{\tau}\frac{C_{INV}}{Q_h c_k \tau_h} - \frac{Q_k c_k \tau_k - TO - Q_{BUS} c_q \tau_h}{Q_h c_k \tau_h},$$

odnosno, opet za uslove $c_k = c_q = 20$ €/MWh, i $\tau_h = \tau_k = \tau_q = 6{,}200$ h/a:

$$\frac{c_h}{c_q} = \frac{1}{\tau}\frac{243.840 \times 10^3}{0.283 \times 20 \times (6.2 \times 10^3)} - \frac{2.583 \times 20 \times (6.2 \times 10^3) - 24.384 \times 10^3 - 2.3 \times 20 \times (6.2 \times 10^3)}{0.283 \times 20 \times (6.2 \times 10^3)} =$$

$$= \frac{6.948}{\tau} - 0.305.$$

Ova zavisnost je data slikom 13. Za τ =7 godina, $c_h / c_q = 69$, i očigledno, sada hlađenje objekta mora da bude naplaćeno.



Slika 13: Odnos cene hlađenja i cene toplote kondenzacije, c_h / c_q,
u funkciji vremena proste otplate, τ, god.; $c_q = 20$ €/MWh

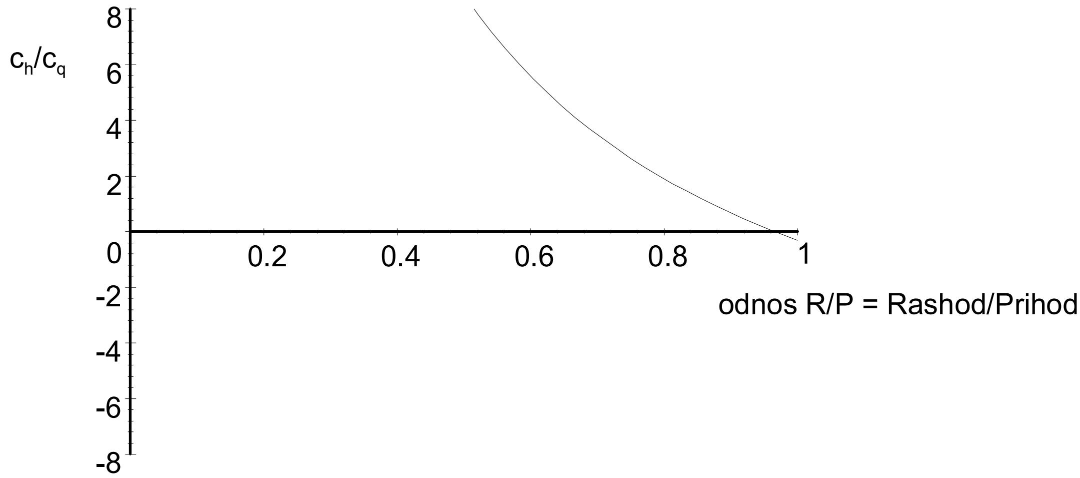
Nakon otplate, ekonomičnost procenjena prema R/P biće:

$$\frac{R}{P} = \frac{TO + PT}{Q_h c_h \tau_h + Q_k c_k \tau_k} = \frac{TO + Q_{BUS} c_q \tau_h}{\frac{c_h}{c_k} Q_h c_k \tau_h + Q_k c_k \tau_k}, \text{ odakle } \frac{c_h}{c_k} = \frac{1}{R/P} \frac{TO + PT}{Q_h c_k \tau_h} - \frac{Q_k c_k \tau_k}{Q_h c_k \tau_h}.$$

Konkretno, opet za $c_k = c_q = 20$ €/MWh, i $\tau_h = \tau_k = \tau_q = 6{,}200$ h/a,

$$\frac{c_h}{c_q} = \frac{1}{R/P} \frac{24.384 \times 10^3 + 2.3 \times 20 \times (6.2 \times 10^3)}{0.283 \times 20 \times (6.2 \times 10^3)} - \frac{2.583}{0.283} = \frac{8.822}{R/P} - 9.1272.$$

Ovakva zavisnost prikazana je slikom 14. Za R/P=1, odnos $c_h / c_q = 31$. Nasuprot odnosu tokom otplate, nakon otplate hlađenje ni ovde ne mora biti naplaćeno.



Slika 14: Odnos cena hlađenja i cene kondenzacije, c_h / c_q,

u funkciji odnosa Rahoda i Prihoda, R/P; $c_q = 20$ €/MWh

ARM prema Tabeli 16, varijante B i D (Toplota kondenzacije ne može da se prodaje)

Ako nema potrošaca toplote, tada je opravdano da se hlađenje radnog medijuma kod ARM obavi odvođenjem toplote kondenzacije u ambijent (najniži mogući nivo). Tada je

$t_k = t_a = 15^oC$,

pa je koeficijent hlađenja ARM

$$COP_{ARM} = \frac{Q_h}{Q_{BUS}} \leq \frac{T_h}{T_k - T_h}\frac{T_g - T_k}{T_g} = \frac{273.15 + 5}{15 - 5}\frac{33.4 - 15}{273.15 + 33.4} = .$$

Sada su snage hlađenja (rashladni kapacitet) i snaga kondenzacije, respektivno

$Q_h = COP_{ARM}Q_{BUS} \leq 1.668 \times 2.3 =$ MW,
$Q_k = Q_h + Q_{BUS} = (1 + COP_{ARM})Q_{BUS} \leq (1 + 1.668) \times 2.3 =$ MW,

Prema dijagramu na slici 26, biće

$C_{ARM} \equiv C_{ARM}(Q_h) = C_M(Q_h) + C_O(Q_h) =$,000 +161,700 =00 \$, (€)

Tabela 16, B: ARM, bušotina je u vlasništvu (otplaćuje se), toplota kondenzacije se ne prodaje

$C_{INV} = C_{BUS} + C_{ARM} =$ 950,000+863,616 = €,
$TO = 0.1 \times C_{INV} = 0.1$ x = 181,362 €/a,

PT = 0, €/a,

$Prihod = Q_h c_h \tau_h + Q_k \cancel{c_k} \tau_k = Q_h c_h \tau_h + 0$, €/a.

Pošto je vreme proste otplate ovde $\tau = \frac{C_{INV}}{(Q_h c_h \tau_h + 0) - TO - \cancel{P}T}$, biće odnos cena (u funkciji vremena proste otplate) jednak

$$\frac{c_h}{c_k} = \frac{1}{\tau}\frac{C_{INV}}{Q_h c_k \tau_h} + \frac{TO}{Q_h c_k \tau_h}.$$

Odavde, za $c_k = c_q = 20$ €/MWh, i $\tau_h = \tau_k = \tau_q = 6,200$ h/a je

$$\frac{c_h}{c_k} = \frac{1}{\tau}\frac{1{,}813.616 \times 10^3}{3.836 \times 20 \times (6.2 \times 10^3)} + \frac{181.362 \times 10^3}{3.836 \times 20 \times (6.2 \times 10^3)} = \frac{3.8128}{\tau} + 0.3813.$$

Za τ = 7 god., biće $c_h / c_q = 93$.

Nakon otplate, odnos R/P biće:

$$\frac{R}{P}=\frac{TO+\cancel{P}T}{Q_h c_h \tau_h + Q_k c_k \tau_k}=\frac{TO+0}{\frac{c_h}{c_k}Q_h c_k \tau_h + 0}$$, odnosno $$\frac{c_h}{c_q}=\frac{1}{R/P}\frac{TO}{\dot{Q}_h c_q \tau_q}.$$

Konkretno

$$\frac{c_h}{c_q}=\frac{1}{R/P}\frac{181.362\times 10^3}{3.836\times 20\times 6200}=\frac{0.3813}{R/P}.$$

Za R/P = 1 god., biće $c_h/c_q = 38$.

Pošto nema prodaje toplote kondenzacije, otplata i prihod moraju da se ostvare naplaćivanjem hlađenja. Ipak, cena hlađenja u oba slučaja manja je od komercijalne cene prirodnog gasa - $c_q = 2$ c€/kWh.

Tabela 16, D: ARM, bušotina nije u vlasništvu (kupuje se toplota bušotine), toplota kondenzacije se ne prodaje

$C_{INV} = \cancel{C}_{BUS} + C_{ARM} =$ 0+863,616 = 863,616 €,
$TO = 0.1\times C_{INV} =$ 0.1 x 863,616 = 86,362 €/a,

$PT = Q_{BUS} c_q \tau_h$ €/a,

$Prihod = Q_h c_h \tau_h + Q_k \cancel{c}_k \tau_k = Q_h c_h \tau_h + 0$, €/a.

I ovde će se, kao i ranije, uzimati $c_k = c_q = 20$ €/MWh, i $\tau_h = \tau_k = \tau_q$ =6,200 h/a.

Vreme otplate je $\tau = \dfrac{C_{INV}}{(Q_h c_h \tau_h + 0) - TO - Q_{BUS} c_q \tau_h}$, odakle je odnos cena

$$\frac{c_h}{c_k}=\frac{1}{\tau}\frac{C_{INV}}{Q_h c_k \tau_h}+\frac{TO+Q_{BUS}c_q\tau_h}{Q_h c_k \tau_h},$$

i za konkretne uslove je

$$\frac{c_h}{c_q}=\frac{1}{\tau}\frac{863.616\times 10^3}{3.836\times 20\times(6.2\times 10^3)}+\frac{86.362\times 10^3+2.3\times 20\times(6.2\times 10^3)}{3.836\times 20\times(6.2\times 10^3)}=\frac{1.8156}{\tau}+0.7811.$$

Za τ =7 god., izlazi $c_h/c_q = 1.041$.

Nakon otplate, odnos R/P biće ovde

$$\frac{R}{P}=\frac{TO+PT}{Q_h c_h \tau_h + 0}=\frac{TO+Q_{BUS}c_q\tau_h}{\frac{c_h}{c_k}Q_h c_k \tau_h + 0}$$, odakle $$\frac{c_h}{c_k}=\frac{1}{R/P}\frac{TO+Q_{BUS}c_q\tau_h}{Q_h c_k \tau_h}.$$

Sasvim konkretno, to znači

$$\frac{c_h}{c_q} = \frac{1}{R/P}\frac{86.362 \times 10^3 + 2.3 \times 20 \times (6.2 \times 10^3)}{3.836 \times 20 \times (6.2 \times 10^3)} = \frac{0.7811}{R/P}.$$

Za R/P = 1, biće $c_h / c_q = 0.78$.

KRM prema Tabeli 16, varijante I i K (Toplota kondenzacije može da se prodaje)

Radi uporedivosti sa prethodnim slučajevima ARM, i ovde će se za temperaturu kondenzacije uzimati

$t_k = 30^oC$,

pa je koeficijent hlađenja rashladne mašine (kompresione)

$$COP_{KRM} = \frac{Q_h}{L} \leq \frac{T_h}{T_k - T_h} = \frac{273.15 + 5}{30 - 5} = =.$$

Prema tome je (L je 0.14 MW - videti uvodni tekst, ovde)

$$Q_h = COP_{KRM} L \leq 11.13 \times 0.14 = \text{ MW},$$
$$Q_k = Q_h + L = (1 + COP_{KRM})L \leq (1 + 11.13) \times 0.14 = \text{ MW},$$

Prema dijagramu na slici 27, biće

$$C_{KRM}(Q_h) = C_M(Q_h) + C_O(Q_h) = 170{,}000 + 70{,}000 = ,000\ \$, \quad (\text{ €}).$$

Za termoenergetsko postrojenje (TEP), uzeće se orijentaciono/[4]

$C_{TEP} = 500{,}000$ €.

Tabela 16, I: KRM+TEP, bušotina je u vlasništvu (otplaćuje se), porodaje se toplota kondenzacije

$C_{INV} = C_{BUS} + (C_{KRM} + C_{TEP}) =$ 950,000+(307,200 + 500,000) = €,
$TO = 0.1 \times C_{INV} =$ 0.1 x = 175,720 €/a,
$PT = 0$, €/a.

$Prihod = Q_h c_h \tau_h + Q_k c_k \tau_k$, €/a.

Prema (1), vreme proste otplate je $\tau = \dfrac{C_{INV}}{(Q_h c_h \tau_h + Q_k c_k \tau_k) - TO - \cancel{P}T}$, odakle je odnos cena:

$$\frac{c_h}{c_k} = \frac{1}{\tau}\frac{C_{INV}}{Q_h c_k \tau_h} + \frac{TO - Q_k c_k \tau_k}{Q_h c_k \tau_h}.$$

4 Procena cene termoenergetskog postrojenja (TEP) ovde je vrlo osetljiv problem, iz razloga što se ne poseduju pouzdani podaci za odgovarajući opseg radnih parametara takvih postrojenja. Za odgovarajuću snagu TEP, a prema podacima sa slike 5 (Prilog 2, Dodatak 2) sigurno je da cena mora biti veća od $. Linearnom ekstrapolacijom, pak, istih podataka do oko 50ºC dobilo bi se da je cena oko 487,670 $. Osim iznetog, i logične pretpostavke da je cena takvog TEP veća od cene komparativnog agregata KRM, nema boljih elemenata za globalnu procenu cene TEP.

Za $c_k = c_q = 20$ €/MWh, i $\tau_h = \tau_k = \tau_q$=6,200 h/a, odnos cena tokom otplate je:

$$\frac{c_h}{c_q} = \frac{1}{\tau}\frac{1{,}757.2\times 10^3}{1.56\times 20\times(6.2\times 10^3)} + \frac{175.72\times 10^3 - 1.7\times 20\times(6.2\times 10^3)}{1.56\times 20\times(6.2\times 10^3)} = \frac{9.084}{\tau} - 0.1813\,.$$

Za τ = 7 godina, odnos je $c_h/c_q = 1.12$.

Odnos R/P nakon otplate je

$$\frac{R}{P} = \frac{TO + \cancel{P}T}{Q_h c_h \tau_h + Q_k c_k \tau_k} = \frac{TO + 0}{\frac{c_h}{c_k} Q_h c_k \tau_h + Q_k c_k \tau_k}\text{, odakle } \frac{c_h}{c_k} = \frac{1}{R/P}\frac{TO}{Q_h c_k \tau_h} - \frac{Q_k c_k \tau_k}{Q_h c_k \tau_h}\,.$$

Prema prihvaćenim odnosima važi

$$\frac{c_h}{c_k} = \frac{1}{R/P}\frac{175.72\times 10^3}{1.56\times 20\times(6.2\times 10^3)} - \frac{1.7\times 20\times(6.2\times 10^3)}{1.56\times 20\times(6.2\times 10^3)} = \frac{0.9084}{R/P} - 1.09\,.$$

Za R/P = 1 godina, $c_h/c_k = c_h/c_q = 18$.

Tumačenje ovih odnosa istovetno je tumačenjima datim već kod ARM, te se u daljem, kao ni ovde, neće više komentarisati.

Tabela 16, K: KRM+TEP, bušotina nije u vlasništvu, prodaje se toplota kondenzacije

$C_{INV} = \cancel{C}_{BUS} + (C_{KRM} + C_{TEP}) =$ 0+(307,200 + 500,000) = 807,200 €,
$TO = 0.1\times C_{INV} =$ 0.1 x 807,200 = 80,720 €/a,

$PT = Q_{BUS} c_q \tau_h$, €/a,

$Prihod = Q_h c_h \tau_h + Q_k c_k \tau_k$, €/a,

Vreme otplate je $\tau = \dfrac{C_{INV}}{(Q_h c_h \tau_h + Q_k c_k \tau_k) - TO - Q_{BUS} c_q \tau_h}$, odakle

$$\frac{c_h}{c_k} = \frac{1}{\tau}\frac{C_{INV}}{Q_h c_k \tau_h} - \frac{Q_k c_k \tau_k - TO - Q_{BUS} c_q \tau_h}{Q_h c_k \tau_h}\,.$$

Za $c_k = c_q = 20$ €/MWh, i $\tau_h = \tau_k = \tau_q$=6,200 h/a biće

$$\frac{c_h}{c_q} = \frac{1}{\tau}\frac{807.2\times 10^3}{1.56\times 20\times(6.2\times 10^3)} - \frac{1.7\times 20\times(6.2\times 10^3) - 80.72\times 10^3 - 2.3\times 20\times(6.2\times 10^3)}{1.56\times 20\times(6.2\times 10^3)} =$$

$$= \frac{4.173}{\tau} - (-0.8019).$$

Za τ =7 god, odnos cena $c_h/c_q = 9$.

Odnos R/P je:

$$\frac{R}{P}=\frac{TO+PT}{Q_h c_h \tau_h + Q_k c_k \tau_k}=\frac{TO+Q_{BUS} c_q \tau_h}{\frac{c_h}{c_k} Q_h c_k \tau_h + Q_k c_k \tau_k}$$, odakle $$\frac{c_h}{c_k}=\frac{1}{\frac{R}{P}}\frac{TO+Q_{BUS} c_q \tau_h}{Q_h c_k \tau_h}-\frac{Q_k c_k \tau_k}{Q_h c_k \tau_h},$$

ili konkretno

$$\frac{c_h}{c_q}=\frac{1}{R/P}\frac{80.72\times 10^3+2.3\times 20\times(6.2\times 10^3)}{1.56\times 20\times(6.2\times 10^3)}-\frac{1.7\times 20\times(6.2\times 10^3)}{1.56\times 20\times(6.2\times 10^3)}=\frac{1.892}{R/P}-1.09\,.$$

Za R/P = 1 dobija se $c_h/c_q = 0.802$.

KK: KRM, sa pogonom na električnu energiju iz mreže, toplota kondenzacije se prodaje

$C_{INV} = \cancel{C}_{BUS} + \cancel{C}_{TEP} + C_{KRM} = 0 + 0 + 307{,}200 =$ €,

$TO = 0.1 \times C_{INV} = 0.1 \times 307{,}200 = 30{,}720$ €/a,

$PT = L c_e \tau_h$, €/a, i

$Prihod = Q_h c_h \tau_h + Q_k c_k \tau_k$, €/a.

Računa se sa $c_k = c_q = 20$ €/MWh, i cenom energije iz električne mreže od $c_e = 55$ €/MWh. Opet je $\tau_h = \tau_k = \tau_q = 6{,}200$ h/a.

Vreme otplate je $$\tau=\frac{C_{INV}}{(Q_h c_h \tau_h + Q_k c_k \tau_k) - TO - L c_e \tau_h}$$, odakle

$$\frac{c_h}{c_k}=\frac{1}{\tau}\frac{C_{INV}}{Q_h c_k \tau_h}-\frac{Q_k c_k \tau_k - TO - L c_e \tau_h}{Q_h c_k \tau_h}$$, odnosno

$$\frac{c_h}{c_q}=\frac{1}{\tau}\frac{307.2\times 10^3}{1.56\times 20\times(6.2\times 10^3)}-\frac{1.7\times 20\times(6.2\times 10^3)-30.72\times 10^3-0.14\times 55\times(6.2\times 10^3)}{1.56\times 20\times(6.2\times 10^3)}=$$
$$=\frac{1.588}{\tau}-0.6841.$$

Za τ = 7 godina, biće $c_h/c_q = 46$.

Nakon otplate, odnos R/P je

$$\frac{R}{P}=\frac{TO+PG}{Q_h c_h \tau_h + Q_k c_k \tau_k}=\frac{TO+L c_e \tau_h}{\frac{c_h}{c_k} Q_h c_k \tau_h + Q_k c_k \tau_k}$$, odakle $$\frac{c_h}{c_k}=\frac{1}{\frac{R}{P}}\frac{TO+L c_e \tau_h}{Q_h c_k \tau_h}-\frac{Q_k c_k \tau_k}{Q_h c_k \tau_h}$$, ili konkretno

$$\frac{c_h}{c_q}=\frac{1}{R/P}\frac{30.72\times 10^3+0.14\times 55\times(6.2\times 10^3)}{1.56\times 20\times(6.2\times 10^3)}-\frac{1.7\times 20\times(6.2\times 10^3)}{1.56\times 20\times(6.2\times 10^3)}=\frac{0.4056}{R/P}-1.09\,.$$

Za R/P = 1 dobija se $c_h/c_q = -0.68$.

KRM prema Tabeli 16, varijante J i L (Toplota kondenzacije ne može da se prodaje)

Ako nema potrošaca toplote, tada je opravdano kondenzaciju tj. hlađenje radnog medijuma kod KRM obaviti preko ambijenta, kada je

$t_k = 15$ C,

pa je

$$COP_{KRM} = \frac{Q_h}{L} \leq \frac{T_h}{T_k - T_h} = \frac{273.15 + 5}{15 - 5} = \ .$$

Prema tome je (podsetimo L = 0.14 MW)

$Q_h = COP_{KRM} L \leq 27.82 \times 0.14 =$ MW,
$Q_k = Q_h + L = (1 + COP_{KRM})L \leq (1 + 27.82) \times 0.14 =$ MW, (ne prodaje se).

Prema dijagramu slika 27, biće sada

$C_{KRM}(Q_h) = C_M(Q_h) + C_O(Q_h) = 290{,}000 + 130{,}000 =$,000 \$, (€)

Za termoenergetsko postrojenje, uzeće se opet orijentaciono

$C_{TEP} = 500{,}000$ €.

Tabela 16, J: KRM+TEP, bušotina u vlasništvu, toplota kondenzacije se ne prodaje

$C_{INV} = C_{BUS} + (C_{TEP} + C_{KRM}) =$ 950,000 + (500,000+537,600) = €,
$TO = 0.1 \times C_{INV} = 0.1$ x = 198,760 €/a,
PT = 0, €/a,

$Prihod = Q_h c_h \tau_h + Q_k \cancel{c_k} \tau_k = Q_h c_h \tau_h + 0$, €/a.

Prema (1), vreme otplate je ovde $\tau = \dfrac{C_{INV}}{(Q_h c_h \tau_h + 0) - TO - \cancel{PT}}$, odakle sledi odnos cena:

$$\frac{c_h}{c_k} = \frac{1}{\tau}\frac{C_{INV}}{Q_h c_k \tau_h} + \frac{TO}{Q_h c_k \tau_h}.$$

Konkretno, za uslove $c_k = c_q = 20$ €/MWh, i $\tau_h = \tau_k = \tau_q$ =6,200 h/a. odnos cena tokom otplate je:

$$\frac{c_h}{c_q} = \frac{1}{\tau}\frac{1{,}987.6 \times 10^3}{3.89 \times 20 \times (6.2 \times 10^3)} + \frac{198.76 \times 10^3}{3.89 \times 20 \times (6.2 \times 10^3)} = \frac{4.121}{\tau} + 0.4121,$$

ili za τ = 7 god, $c_h / c_q = 1.0008$.

Prema (2) odnos R/P je ovde

$$\frac{R}{P}=\frac{TO+\cancel{P}T}{Q_h c_h \tau_h+0}=\frac{TO+0}{\frac{c_h}{c_k}Q_h c_k \tau_h+0}\text{, odakle }\frac{c_h}{c_k}=\frac{1}{R/P}\frac{TO}{Q_h c_k \tau_h}.$$

Za prihvaćene cene i angažovanost postrojenja važi

$$\frac{c_h}{c_k}=\frac{1}{R/P}\frac{198.76\times 10^3}{3.89\times 20\times (6.2\times 10^3)}=\frac{0.4121}{R/P},$$

odakle, za R/P = 1 sledi $c_h / c_q = 41$.

Tabela 16, L: KRM+TEP, bušotina nije u vlasništvu, toplota kondenzacije se ne prodaje

$C_{INV}=\cancel{C}_{BUS}+(C_{TEP}+C_{KRM})=$ 0 + (500,000 +) = €,
$TO=0.1\times C_{INV}=$ 0.1 x = 103,760 €/a,

$PT=Q_{BUS}c_q\tau_h$, €/a,

$Prihod=Q_h c_h \tau_h+Q_k \cancel{c}_k \tau_k=Q_h c_h \tau_h+0$, €/a.

Prema (1), vreme otplate je ovde $\tau=\dfrac{C_{INV}}{(Q_h c_h \tau_h+0)-TO-Q_{BUS}c_q\tau_h}$, odakle sledi odnos cena:

$$\frac{c_h}{c_k}=\frac{1}{\tau}\frac{C_{INV}}{Q_h c_k \tau_h}+\frac{TO+Q_{BUS}c_q\tau_h}{Q_h c_k \tau_h}.$$

Za $c_k=c_q=20$ €/MWh, i $\tau_h=\tau_k=\tau_q=$6,200 h/a odnos cena tokom otplate je:

$$\frac{c_h}{c_q}=\frac{1}{\tau}\frac{1{,}037.6\times 10^3}{3.89\times 20\times (6.2\times 10^3)}+\frac{103.76\times 10^3+2.3\times 20\times (6.2\times 10^3)}{3.89\times 20\times (6.2\times 10^3)}=\frac{2.151}{\tau}+0.4631,$$

ili za τ = 7 god, $c_h / c_q = 0.77$.

Odnos R/P nakon otplate je sada

$$\frac{R}{P}=\frac{TO+PT}{Q_h c_h \tau_h+0}=\frac{TO+Q_{BUS}c_q\tau_h}{\frac{c_h}{c_k}Q_h c_k \tau_h+0}\text{, odakle }\frac{c_h}{c_k}=\frac{1}{R/P}\frac{TO+Q_{BUS}c_q\tau_h}{Q_h c_k \tau_h}\text{, ili konkretno}$$

$$\frac{c_h}{c_q}=\frac{1}{R/P}\frac{103.76\times 10^3+2.3\times 20\times (6.2\times 10^3)}{3.89\times 20\times (6.2\times 10^3)}=\frac{0.4631}{R/P}.$$

Očigledno, za R/P=1 biće $c_h / c_q = 46$.

LL: KRM sa pogonom na električnu energiju iz mreže, toplota kondenzacije se ne prodaje

$C_{INV}=\cancel{C}_{BUS}+(\cancel{C}_{TEP}+C_{KRM})=$ 0 + (0 +) = 537,600 €,
$TO=0.1\times C_{INV}=$ 0.1 x = 53,760 €/a,

$PT = Lc_e\tau_h$, €/a,

$Prihod = Q_h c_h \tau_h + Q_k \cancel{c_k} \tau_h = Q_h c_h \tau_h + 0$, €/a.

Prema (1), vreme otplate je ovde $\tau = \dfrac{C_{INV}}{(Q_h c_h \tau_h + 0) - TO - Lc_e \tau_h}$, odakle sledi odnos cena:

$$\frac{c_h}{c_k} = \frac{1}{\tau}\frac{C_{INV}}{Q_h c_k \tau_h} + \frac{TO + Lc_e\tau_h}{Q_h c_k \tau_h}.$$

Za $c_k = c_q = 20$ €/MWh, $c_e = 55$ €/MWh, i $\tau_h = \tau_k = \tau_q$=6,200 h/a je:

$$\frac{c_h}{c_q} = \frac{1}{\tau}\frac{537.6\times 10^3}{3.89\times 20\times(6.2\times 10^3)} + \frac{53.76\times 10^3 + 0.14\times 55\times(6.2\times 10^3)}{3.89\times 20\times(6.2\times 10^3)} = \frac{1.115}{\tau} + 0.2104.$$

Za prostu otplatu u roku od 7 godina dobija se odnos $c_h / c_q = 37$.

Odnos R/P nakon otplate je

$$\frac{R}{P} = \frac{TO + PT}{Q_h c_h \tau_h + 0} = \frac{TO + Lc_e\tau_h}{\frac{c_h}{c_k} Q_h c_k \tau_h + 0}$$, odakle $$\frac{c_h}{c_k} = \frac{1}{R/P}\frac{TO + Lc_e\tau_h}{Q_h c_k \tau_h}$$, ili konkretno

$$\frac{c_h}{c_q} = \frac{1}{R/P}\frac{53.76\times 10^3 + 0.14\times 55\times(6.2\times 10^3)}{3.89\times 20\times(6.2\times 10^3)} = \frac{0.2104}{R/P},$$

te za R/P=1 je $c_h / c_q = 0.21$.