

Tehno-ekonomska analiza konverzije goriva u kotlarnici daljinskog sistema grejanja

Miljan Marašević¹, Vladan Karamarković¹, Rade Karamarković¹, Nenad Stojić¹, Miloš Nikolić¹

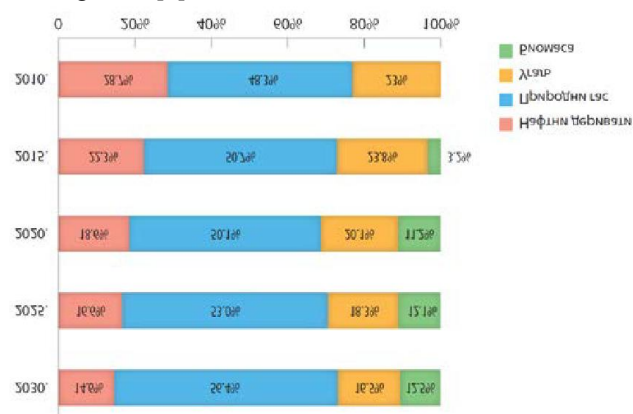
¹Fakultet za mašinstvo i građevinarstvo u Kraljevu, Univerzitet u Kragujevcu

U radu su analizirane mogućnosti promene energenta u kotlarnici "Higijenski zavod", najmanjoj kotlarnici u sastavu JEP "Toplana" Kraljevo. Kotlarnica je izdvojena u odnosu na ostala postrojenja JEP "Toplana" i poseduje dva kotla na mazut snage 850 kW. Razmatrane su mogućnosti konverzije na prirodni gas i drvenu sečku. Pri analizi priključenja kotlarnice na prirodni gas, analizirane su mogućnosti korišćenja kondenzacionih i nekondenzacionih kotlova. Radi određivanja stepena korisnosti kondenzacionih kotlova bilo je potrebno odrediti prosečan godišnji temperaturski režim 50.1/30.1 °C celog sistema daljinskog grejanja priključenog na kotlarnicu. On je određen na osnovu metodologije koja koristi prosečne mesečne vrednosti temperature i broj stepen dana tokom grejnog perioda, kao i vrstu grejnih sistema kod krajnjih korisnika. U cilju dobijanja što relevantnijih perioda otplate investicija, cene energenata i energije su osrednjene za period 2012. – 2016. godina. Ugradnjom kondenzacionih kotlova prost period otplate novog postrojenja je 6.7 godina. Ugradnjom jednog gasnog kotla ovaj period raste na 11.2 godine, dok u slučaju konverzije kotlarnice na drvenu sečku prost period otplate iznosi 10.6 godina.

Ključne reči: kotlarnica, daljinsko grejanje, mazut, prirodni gas, drvena sečka, kondenzacioni kotlovi.

1. UVOD

Usvojenom strategijom razvoja energetike Republike Srbije do 2025. godine postavljeni su ciljevi i prioriteta razvoja u oblasti energetike u koje spadaju i sistemi daljinskog grejanja [1]. Kao jedan od važnih ciljeva u oblasti sistema daljinskog grejanja navedeno je smanjenje udela čvrstih goriva (uglja) i tečnih goriva (mazuta i lož ulja), pri čemu se potencira povećanje udela biomase i prirodnog gasa. Na slici 1. može se videti struktura energenata koji se koriste u sistemima daljinskog grejanja u Republici Srbiji, sa predviđenim promenama do 2030. godine [1].



Slika 1. Struktura energenata koji se koriste za proizvodnju toplotne energije u Republici Srbiji sa projekcijama do 2030. god.

Javno energetska preduzeće „Toplana“ Kraljevo, u svom sastavu poseduje kotlovska postrojenja raspoređena u četiri kotlarnice ukupnog kapaciteta 80 MW. Dve kotlarnice kao energente koriste prirodni gas i alternativno mazut, dok druge dve kotlarnice kao gorivo koriste isključivo mazut.

Predmet ovog rada je najmanja kotlarnica u sastavu JEP „Toplana“ Kraljevo, locirana u delu grada koji se kao i kotlarnica naziva Higijenski zavod. Instalirana snaga kotlovskih jedinica, površina grejnog stambenog prostora i površina grejnog poslovnog prostora koji obuhvata kotlarnica prikazan je u Tabeli 1.[2].

Tabela 1. Tehnički podaci kotlarnice "Higijenski zavod"

Broj kotlovskih jedinica	2
Tip i snaga kotla 1 (kW)	TAM – MARIBOR, TVT ZV – 850 kW
Tip i snaga kotla 2 (kW)	TAM – MARIBOR, TVT ZV – 850 kW
Površina stambenog prostora (m ²)	6.785
Površina poslovnog prostora (m ²)	118

2. POSTOJEĆE STANJE

2.1. Položaj kotlarnice

Kotlarnica "Higijenski zavod" nalazi se u izdvojenom delu grada stacioniranom neposredno prema magistralnom putu Kraljevo - Čačak.



Slika 2. Makrolokacija kotlarnice "Higijenski zavod"

Kotlarnica je smeštena u podrumu stambene zgrade u kojoj se nalaze dve kotlovske jedinice identične snage od po 0.85 MW. Makrolokacija kotlarnice data je na slici 2.

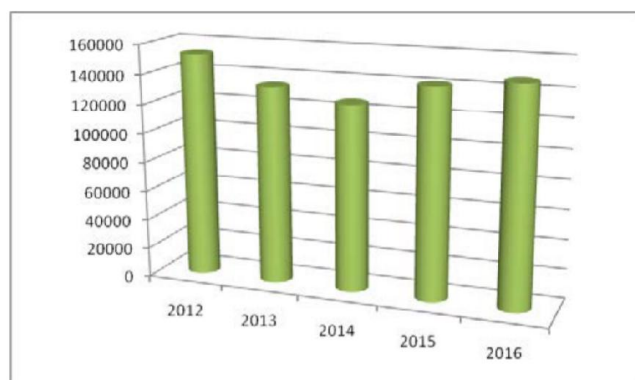
2.2. Potrošnja goriva

Na osnovu podataka dobijenih od stručne službe JEP "Toplana" Kraljevo, u Tabeli 2. prikazane su vrednosti potrošnje goriva (mazuta), stepen dana i prosečne godišnje temperature u grejnom period od 2012. do 2016. godine.

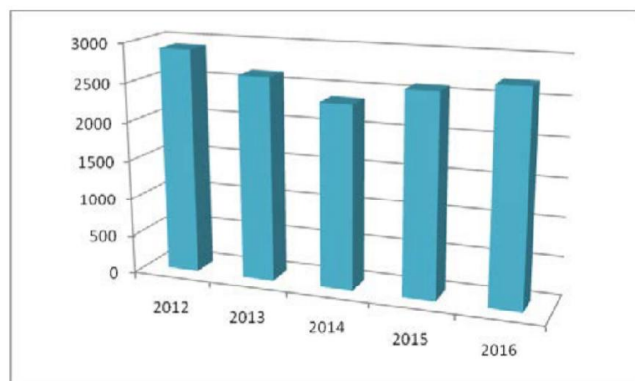
Na slici 3. prikazana je potrošnja goriva, dok je na slici 4. prikazan dijagram stepen dana u navedenom periodu [2].

Tabela 2. Podaci o potrošnji goriva, stepen danima i srednjoj temperaturi u grejnom periodu dobijenom od stručne službe JEP "Toplana" Kraljevo

Godina	Potrošnja goriva (kg/god)	Stepen dani	Srednja godišnja temperatura u toku grejne sezone (°C)
2012	152680	2910	4.17
2013	134236	2629	5.79
2014	126460	2365	6.77
2015	141530	2590	5.76
2016	147040	2715	6.75
Srednja vrednost	140389.2	2641.8	5.85



Slika 3. Izmerena potrošnja mazuta u kotlarnici "Higijenski zavod"



Slika 4. Promena stepen dana u periodu 2012. – 2016. god

2.3. Emisioni parametri i stepen korisnosti

Laboratorija za toplotnu tehniku i zaštitu životne sredine Fakulteta za mašinstvo i građevinarstvo u

protekloj periodu izvršila je merenje emisionih parametara na kotlovima kotlarnice "Higijenski zavod". Vrednosti emisionih parametara izmerenih u periodu od 2012. do 2016. godine prikazani su u Tabeli 3. [3]–[7].

Tabela 3. Emisione vrednosti kotlarnice "Higijenski zavod"

Godina	CO (mg/m ³)	NO ₂ (mg/m ³)
2012	21.5	1295.3
2013	82.5	1497.9
2014	55.9	188.4
2015	25.5	1874.6
2016	82.3	577.0
GVE	120	100

Pored navedenih emisionih vrednosti važno je napomenuti da temperature produkata sagorevanja nikada nisu bile niže od 240 °C. Pri maksimalnoj produkciji kotlova imale su vrednosti i preko 300 °C. Visoke temperature produkata sagorevanja imale su za posledicu smanjenje stepena korisnosti kotlova što se vidi u Tabeli 4.

Tabela 4. Stepen korisnosti kotlova u kotlarnici "Higijenski zavod"

Kotao	Režim rad: min.	Režim rad: max.
Kotao broj 1	81.1 %	79.0 %
Kotao broj 2	88.1 %	83.9 %

2.4. Isporučena toplotna energija

Na osnovu instalisanih mernih uređaja, u kotlarnici se vrši merenje toplotne energije koja se predaje korisnicima. Merenja se vrše od 2012. godine, a u Tabeli 5. prikazane su vrednosti za period od 2012. do 2016. godine [2].

Tabela 5. Isporučena toplotna energija iz kotlarnice "Higijenski zavod"

Godina	Isporučena toplotna energija MWh
2012	1348.45
2013	1185.5
2014	1086.86
2015	1199.47
2016	1176.92
Srednja vrednost	1199.44

Na osnovu postojećeg stanja izvršena je tehnokonsomska analiza konverzije kotlarnice koja kao gorivo koristi mazut. Predložena su dva rešenja. Prvo da se konverzija izvrši sa tečnog goriva (mazut) na gasovito gorivo (prirodni gas), i druga da se konverzija izvrši sa tečnog goriva (mazut) na čvrsto gorivo (drvena sečka). Važno je naglasiti da je izvršeno priključenje ovog dela grada na nacionalnu mrežu prirodnog gasa, i da se u blizini kotlarnice nalazi izgrađen gasovod.

2.5. Godišnji troškovi goriva

Na osnovu srednje godišnje potrošnje mazuta koja iznosi 140.389 t/god, mogu se izračunati godišnji troškovi za gorivo. Da bi se dobili relevantni podaci izvršena je analiza cene mazuta za period od 2012. do 2016. godine. iz biltena NIS-a [8], usvojena je srednja vrednost cene mazuta za navedeni period koja iznosi 45.5 din/kg. Sve cene energenata i energije su osrednjene za period 2012. –

2016. godina kako bi se uprosečile fluktuacije cena energije i energenata i kako bi se dobili što relevantniji periodi povraćaja investicija. Potrošnja goriva (1) i troškovi (2) za mazut koji se troši na proizvodnju isporučene energije, su:

$$B_{mazut} = \frac{E_{isp.}}{H_{d,mazut} \cdot \eta_{k,mazut}}$$

$$B_{mazut} = 125956 \text{ kg / god.} \quad (1)$$

gde su:

$E_{isp} = 1199.44 \text{ MWh/god}$ – srednja vrednost isporučene toplotne energije iz kotlarnice,

$H_{dmazut} = 11.35 \text{ kWh/kg}$ – toplotna moć mazuta [9],

$\eta_{kmazut} = 0.839$ – srednji stepen korisnosti kotlova u kotlarnici.

Godišnji troškovi određuju se (2):

$$T_{mazut} = B_{mazut} \cdot p_{u,mazut}$$

$$T_{mazut} = 5730988 \text{ din. / god} \quad (2)$$

gde je:

$p_{u,mazut} = 45.5 \text{ din/kg}$ – cena mazuta.

odnosno:

$$T_{mazut,eur} = T_{mazut} / k_{eur,din.}$$

$$T_{mazut,eur} = 46218 \text{ eur / god} \quad (3)$$

gde je:

$k_{eur,din.} = 124 \text{ din/€}$ - koeficijent konverzije valute.

3. NOVOPROJEKTOVANO STANJE – PRIRODNI GAS

Za tehno-ekonomsku analizu konverzije kotlarnice sa tečnog goriva (mazut) na gasovito gorivo (prirodni gas), razmatrana su dva rešenja. Oba rešenja podrazumevaju izgradnju kontejnerske kotlarnice koja bi bila smeštena u neposrednoj blizini postojeće kotlarnice. Zadržala bi se postojeća razvodna mreža a nova kotlarnica bi se priključila na postojeće razdelnike i sabirnike.

Prvo rešenje podrazumeva ugradnju kondenzacionih kotlova koji su kaskadno povezani u zajednički sistem. Kotlarnica je kontejnerskog tipa smeštena u neposrednoj blizini postojeće kotlarnice.

Drugo rešenje koje se analizira u radu zasniva se na jednom klasičnom gasnom kotlovskom postrojenju sa jednom kotlovskom jedinicom.

3.1. Postrojenje sa kondenzacionim kotlovima

Ovom varijantom predviđa se ugradnja kontejnerske kotlarnice sa kondenzacionim kotlovskim jedinicama povezanim u kaskadu. Toplotna snaga jedne kotlovske jedinice koja se analizira u radu, kreće se od 271 kW do 290 kW u zavisnosti od usvojenog režima rada. Ukupna instalisana snaga iznosila bi od 1355 kW do 1450 kW. Veća instalisana snaga uključuje i rezervu za objekte koji će biti priključeni u narednom periodu. Ova rezerva je uzeta u obzir i za druge razmatrane varijante konverzije u ovom radu.

Tipične vrednosti stepena korisnosti kondenzacionih kotlova na tržištu su [10]:

1. Stepen korisnosti na režimu 50/30°C iznosi:

$$\eta = \frac{57.7}{53} = 108.8 \%$$

2. Stepen korisnosti na režimu 80/60°C iznosi:

$$\eta = \frac{51.6}{53} = 97.3 \%$$

Na osnovu jednačine za određivanje srednjeg radnog režima iz [11]:

$$\left(\frac{Q_{sr}}{Q_N} \right) = \left(\frac{\Delta t_{sr}}{\Delta t_N} \right)^m \quad (4)$$

gde su:

$Q_N = 1190 \text{ kW}$ – nominalna snaga u kotlarnici,

$\Delta t_N = 60 \text{ °C}$ – srednja nominalna temperatura (za režim rada 90 °C /70 °C i unutrašnju projektnu temperature od 20°C),

$m = 4/3$ – eksponencijalni koeficijent koji uzima u obzir promenu snage radijatorskog grejanja sa promenom temperaturske razlike između srednje temperature grejnog tela i temperature prostorije [11].

Srednja temperatura kotlarnice u periodu od 2012. do 2016. godine (videti Tabelu 6.) određuje se prema (5):

$$t_{sr,k} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k SD_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k SD_i} \quad (5)$$

gde su:

SD_i – broj stepen dana i-tog meseca,

t_i – srednja temperatura i-tog meseca,

k – broj grejnih meseci u godini,

n – broj grejnih sezona.

Srednja snaga koju kotlarnica isporučuje u periodu od 2012. do 2016. godine određuje se prema (6):

$$Q_{sr} = Q_N \cdot \frac{12 - t_{sr,k}}{12 - t_{sp}} \quad (6)$$

gde je:

t_{sp} – spoljna projektna temperatura za Kraljevo.



Slika 5. Srednja snaga koju kotlarnica isporučuje u periodu od 2012. do 2016. god.

Ova promena prikazana je na slici 5. Iako je spoljna projektna temperatura za Kraljevo po važećem pravilniku o energetske efikasnosti [12] -14.7°C, instalacije koje greje razmatrano postrojenje su projektovane u vreme kad je ova temperatura iznosila -20°C. Na osnovu (4), srednja temperaturska razlika između srednje temperature vode u sistemu daljinskog grejanja i projektovane temperature grejnog prostora je:

$$\Delta t_{sr} = \Delta t_N \cdot \left(\frac{Q_{sr}}{Q_N} \right)^{1/m} \quad (7)$$

Iz jednačine (7) određuje se nepoznata srednja temperatura Δt_{sr} koja iznosi 20.1°C. Srednja temperatura određuje srednji radni režim koji iznosi 50.1°C/30.1°C.

Tabela 6. Srednje temperature po mesecima u periodu 2012.-2016. god.

Godina	Mesec	Prosečna temperatura °C	Stepen dani	Težinski faktor	Srednja temperatura °C
2012	januar	0,18	583,42	0,20	0,0361
	februar	-4,17	671,93	0,23	-0,9628
	mart	7	372	0,13	0,8948
	april	8,25	215	0,07	0,6095
	oktobar	8,7	185,4	0,06	0,5542
	novembar	8,7	309	0,11	0,9237
	decembar	0,5	573,5	0,20	0,0985
		4,17	2910,25		2,15
2013	januar	2,8	502,2	0,19	0,5349
	februar	4,1	432,1	0,16	0,6739
	mart	6,7	381,3	0,15	0,9718
	april	8,6	208	0,08	0,6804
	oktobar	8,7	236,9	0,09	0,7840
	novembar	8,3	321	0,12	1,0134
	decembar	1,34	547,46	0,21	0,2790
		5,79	2628,96		4,94
2014	januar	3,89	468,41	0,20	0,7705
	februar	6,4	365,4	0,15	0,9889
	mart	8,2	334,8	0,14	1,1609
	april	9,2	196	0,08	0,7625
	oktobar	8,6	176,8	0,07	0,6429
	novembar	8,6	312	0,13	1,1346
	decembar	2,5	511,5	0,22	0,5407
		6,77	2364,91		6,00
2015	januar	2,39	514,91	0,20	0,4751
	februar	3,28	455,88	0,18	0,5772
	mart	6,6	384,4	0,15	0,9794
	april	8,26	214,8	0,08	0,6849
	oktobar	10,4	146,2	0,06	0,5870
	novembar	6,9	363	0,14	0,9669
	decembar	2,51	511,19	0,20	0,4953
		5,76	2590,38		4,77
2016	januar	-0,12	592,72	0,22	-0,0262
	februar	8,39	307,69	0,11	0,9507
	mart	7,77	348,13	0,13	0,9962
	april	10,36	233,28	0,09	0,8901
	maj	10,2	44	0,02	0,1653
	oktobar	10,31	243,32	0,09	0,9239
	novembar	6,9	363	0,13	0,9225
	decembar	0,19	583,11	0,21	0,0408
		6,75	2715,25		4,89
Srednja temperatura za period 2012-2016. god		Srednja godišnja vrednost			Srednja vrednost po mesecima
		5,85			4,55

Na osnovu izvršenih proračuna stepen korisnosti novoprojektovanih kotlovskih jedinica iznosi $\eta = 108.8\%$. Sada se određuje potrebna količina prirodnog gasa na godišnjem nivou (8):

$$B_{gas} = \frac{E_{isp.}}{H_{d,gas} \cdot \eta_{k,gas,kond.}} \quad (8)$$

$$B_{gas} = 117279 \text{ m}^3 / \text{god.}$$

gde su:

$E_{isp} = 1199.44 \text{ MWh/god}$ – srednja vrednost isporučene toplotne energije iz kotlarnice,
 $H_{d,gas} = 9.4 \text{ kWh/kg}$ – toplotna moć prirodnog gasa [9],

$\eta_{k,gas,kond.} = 1.088$ – srednji stepen korisnosti novoprojektovanih kondenzacionih kotlova.

Prosečna cena prirodnog gasa sa svim uključenim troškovima iznosi 36.06 din/m³ [2]. Sada možemo izračunati troškove na godišnjem nivou koji iznose:

$$T_{gas,kond.} = B_{gas} \cdot p_{u,gas}$$

$$T_{gas,kond.} = 4229081 \text{ din.} / \text{god} \quad (9)$$

odnosno:

$$T_{gas,kond.,eur} = T_{gas} / k_{eur,din.}$$

$$T_{gas,kond.,eur} = 34105 \text{ eur} / \text{god} \quad (10)$$

Investiciona vrednost obuhvata izgradnju kontejnerske kotlarnice, ugradnju opreme, povezivanje kontejnerske i postojeće kotlarnice, priključivanje kontejnerske kotlarnice na gasnu mrežu, projektovanje, nadzor i pribavljanje upotrebne dozvole. Na osnovu ponude isporučioca opreme, kao i na osnovu poznavanja odgovarajućih tržišnih cena, investiciona vrednost bi iznosila 81000 € [10].

Period otplate investicije (12) određuje se na osnovu investicione vrednosti i uštede (11) koja se postiže konverzijom sa kotlarnice na tečno gorivo na kotlarnicu na prirodni gas. Ušteda se određuje na osnovu razlike u troškovima rada kotlarnice na mazut i prirodni gas.

$$U = T_{mazut,eur} - T_{gas,kond.,eur} = 12113 \text{ €} \quad (11)$$

Period otplate iznosi:

$$p_b = \frac{I_u}{U} = 6.7 \text{ god} \quad (12)$$

gde su:

$I_u = 81000 \text{ €}$ - ukupna vrednost investicije, i
 $U = 12113 \text{ €}$ - ušteda na osnovu razlike u troškovima goriva.

3.2. Postrojenje sa jednim gasnim kotlom

Ovom varijantom predviđa se ugradnja kontejnerske kotlarnice sa jednim klasičnim gasnim kotlom. Ukupna instalisana snaga iznosila bi 1400 kW.

Klasični gasni kotlovi koji se mogu naći na tržištu imaju stepen korisnosti na režimu rada 90/70°C od $\eta = 94.5\%$.

Kako je neophodno proizvesti 1199.44 MWh, možemo odrediti potrebnu količinu prirodnog gasa (13) na godišnjem nivou:

$$B_{gas} = \frac{E_{isp.}}{H_{d,gas} \cdot \eta_{k,gas.}}$$

$$B_{gas} = 135026 \text{ m}^3 / \text{god.} \quad (13)$$

gde su:

$E_{isp} = 1199.44 \text{ MWh/god}$ – srednja vrednost isporučene toplotne energije iz kotlarnice,
 $H_{d,gas} = 9.4 \text{ kWh/kg}$ – toplotna moć prirodnog gasa [9],

$\eta_{k,gas.} = 0.945$ – stepen korisnosti novog gasnog kotla.

Prosečna cena prirodnog gasa sa svim uključenim troškovima iznosi 36.06 din/m³ [2], tako da možemo izračunati troškove na godišnjem nivou:

$$T_{gas} = B_{gas} \cdot p_{u,gas}$$

$$T_{mazut} = 4869037 \text{ din.} / \text{god} \quad (14)$$

odnosno:

$$T_{gas,eur} = T_{gas} / k_{eur,din.}$$

$$T_{gas,eur} = 39226 \text{ eur} / \text{god} \quad (15)$$

Investiciona vrednost obuhvata izgradnju kontejnerske kotlarnice, ugradnju opreme (kotao, gorionik,...), povezivanje kontejnerske i postojeće kotlarnice, priključivanje kontejnerske kotlarnice na gasnu mrežu, izgradnja dimnjaka, projektovanje, nadzor i pribavljanje upotrebne dozvole. Na osnovu ponude isporučioaca opreme, kao i na osnovu poznavanja odgovarajućih tržišnih cena, investiciona vrednost bi iznosila 78000 € [13].

Period otplate investicije (17) određuje se na osnovu investicione vrednosti i uštede (16) koja se postiže konverzijom sa kotlarnice na tečno gorivo na kotlarnicu na prirodni gas. Ušteda se određuje na osnovu razlike u troškovima rada kotlarnice na mazut i prirodni gas.

$$U = T_{mazut,eur} - T_{gas,eur} = 6952 \text{ €} \quad (16)$$

Period otplate iznosi:

$$p_b = \frac{I_u}{U} = 11.2 \text{ god} \quad (17)$$

gde su:

$I_u = 78000 \text{ €}$ - ukupna vrednost investicije,

$U = 6952 \text{ €}$ - ušteda na osnovu razlike u troškovima goriva.

Predviđena je ugradnja kontejnerske kotlarnice na mestu garaža koje se nalaze u neposrednoj blizini postojeće kotlarnice.

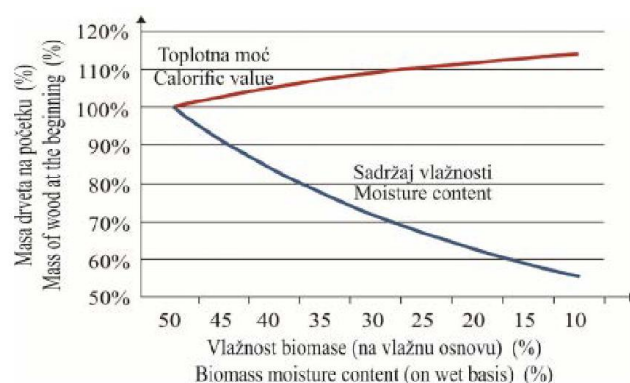
Postojeća kotlarnica se nalazi u podrumu stambene zgrade što je sa aspekta protivpožarne zaštite veoma nepovoljno. Iz tog razloga konverzija kotlarnice sa mazuta na prirodni gas dobija dodatno na značaju.

Konverzijom kotlarnice na prirodni gas prestala bi potreba za korišćenjem rezervoara mazuta.

4. NOVOPROJEKTOVANO STANJE – DRVNA SEČKA

4.1. Karakteristike drvene sečke

Osnovna prednost korišćenja drvene sečke kao goriva je da se ona može koristiti u procesu sagorevanja sa veoma velikim procentom vlage. Drvena sečka vlažnosti do 30 % smatra se dobro suvom, od 30 – 35% suvom, od 35 – 40 % smatra se vlažnom, a preko 40% vlažnosti drvena sečka je jako vlažna (kao kod posečenog drveta) [14]. Smanjenjem vlažnosti u drvetu za sagorevanje, povećava se njegova toplotna moć. Na slici 7. prikazana je zavisnost smanjenja procenta vlage u drvetu i toplotne moći drveta, u slučaju prirodnog sušenja. Na slici 8. prikazane su osnovne karakteristike drvene sečke.



Slika 7. Toplotna moć drveta u zavisnosti od procenta vlažnosti [14]

Klasifikacija drvene sečke ONORM 7133				
Osnovni podaci		G30	G50	G100
Veličina komada	Dužina (Max)	85mm	120mm	250mm
	Poprečni presek (Max)	3cm²	5cm²	10cm²
Procentualno učešće pojedinačnih komada u drvnoj sečki		Max 20%	Max 20%	Max 20%
		16x16mm	31.5x31.5m m	63x63mm
		60 - 100%	60 - 100%	60 - 100%
		30mm	50mm	100mm
		2.8x2.8mm	5.6x5.6mm	11.2x11.2m m
		Max 20%	Max 20%	Max 20%
		1x1mm	1x1mm	1x1mm
		Max 4%	Max 4%	Max 4%

Slika 8. Karakteristike drvene sečke [15]

4.2. Potrošnja goriva – drvene sečke

Predviđena je izgradnja kotlarnice na drvenu sečku sa prostorom za skladištenje i manipulaciju gorivom. Ukupna instalisana snaga iznosi 1500 kW.

Stepen korisnosti kotla na režimu rada 90/70°C iznosi $\eta = 90.5 \%$ [16].

Kako je neophodno proizvesti 1199.44 MWh, možemo odrediti potrebnu količinu drvene sečke (18) na godišnjem nivou, i poznavajući prosečnu energetska vrednost drvene sečke koja iznosi $H_d = 3.8 \text{ kWh/kg}$, dobijamo:

$$B_{d,secka} = \frac{E_{isp.}}{H_{d,d.secka} \cdot \eta_{k,d.secka}}$$

$$B_{d,secka} = 348764 \text{ kg} / \text{god.} \quad (18)$$

gde su:

$E_{isp.} = 1199.44 \text{ MWh/god}$ – srednja vrednost isporučene toplotne energije iz kotlarnice,
 $H_{d,d.secka} = 3.8 \text{ kWh/kg}$ – toplotna moć drvene sečke [15],

$\eta_{k,d.secka} = 0.905$ – stepen korisnosti novog kotla na drvenu sečku.

Prosečna cena drvene sečke sa svim uključenim troškovima iznosi 80 €/t, tako da se mogu izračunati troškovi na godišnjem nivou:

$$T_{d,secka} = B_{d,secka} \cdot p_{u,d.secka}$$

$$T_{d,secka} = 27901 \text{ €} / \text{god} \quad (19)$$

gde je:

$p_{ur,d.secka} = 80 \text{ €/ton.}$ - cena drvene sečke koja obuhvata i troškove transporta [16].

Investiciona vrednost obuhvata:

- izgradnju objekta kotlarnice,
- izgradnja skladišta drvene sečke,
- ugradnju opreme (kotao i sistem za doziranje),
- povezivanje kontejnerske i postojeće kotlarnice,
- projektovanje, nadzor i pribavljanje upotrebne dozvole.

Na osnovu ponude isporučioa opreme, kao i na osnovu poznavanja odgovarajućih tržišnih cena, investiciona vrednost bi iznosila 195000 € [17].

Period otplate investicije (21) određuje se na osnovu investicione vrednosti i uštede (20) koja se postiže konverzijom sa kotlarnice na tačno gorivo na kotlarnicu na drvenu sečku. Ušteda se određuje na osnovu razlike u troškovima rada kotlarnice na mazut i drvenu sečku.

$$U = T_{mazut,eur} - T_{d.secka,eur} = 18317 \text{ €} \quad (20)$$

Period otplate iznosi:

$$p_b = \frac{I_u}{U} = 10.6 \text{ god} \quad (21)$$

gde su:

$I_u = 195000 \text{ €}$ - ukupna vrednost investicije,

$U = 18317 \text{ €}$ - ušteda na osnovu razlike u troškovima goriva.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu izvršene tehno-ekonomske analize za definisana varijantna rešenja, može se zaključiti da bi ugradnjom kondenzacionih kotlova period otplate bio 6.7 godina. U slučaju ugradnje jednog gasnog kotla period otplate bi bio 11.2 godine. Ako bi se izvršila konverzija kotlarnice na biomasu, odnosno drvenu sečku, period otplate bi bio 10.6 godina. Iako se najveća ušteda postiže korišćenjem drvene sečke, zbog velike investicione vrednosti period otplate je duži nego u slučaju kondenzacionih kotlova.

Važno je napomenuti da se konverzijom kotlarnice sa mazuta na prirodni gas ili drvenu sečku utiče na zaštitu životne sredine. Sagorevanjem prirodnog gasa ili drvene sečke postižu se bolje emisije vrednosti u odnosu na sagorevanje mazuta. Razmatrana varijantna rešenja koja kao gorivo koriste prirodni gas imaju prednost u odnosu na varijantu kada se kao gorivo koristi drvena sečka. Pri sagorevanju drvene sečke može doći do povećanja emisije čvrstih čestica, što nedvosmisleno daje prednost korišćenju prirodnog gasa kada konverziju goriva u kotlarnici posmatramo sa aspekta zaštite životne sredine.

Period povrata investicije od 6.7 godina za varijantu kada se ugrađuju kondenzacioni kotlovi je relativno kratak period imajući u vidu da je period amortizacije uređaja 30 godina. To znači da će se postrojenje višestruko isplatiti u periodu rada, bez obzira što se mora uzeti u obzir i promenljivost cena energenata.

Tehno ekonomska analiza je pokazala opravdanost konverzije kotlarnice "Higijenski zavod" koja se nalazi u sastavu JEP "Toplana" Kraljevo, sa postojećeg goriva (mazut) na prirodni gas.

6. LITERATURA

- [1] Strategija razvoja energetike Republike Srbije do 2025. godine sa projekcijama do 2030. godine.

http://www.srbija.gov.rs/vesti/dokumenti_sekcija.php?id=45678.

[2] Interna dokumentacija JEP „Toplana“ Kraljevo, tehnička služba i proizvodnja toplotne energije.

[3] Laboratorija za toplotnu tehniku i zaštitu životne sredine Mašinski fakultet Kraljevo. *Merenje emisije produkata sagorevanja u kotlarnici "Higijenski zavod" JEP "Toplana" Kraljevo*. 2012. god.

[4] Laboratorija za toplotnu tehniku i zaštitu životne sredine Mašinski fakultet Kraljevo. *Merenje emisije produkata sagorevanja u kotlarnici "Higijenski zavod" JEP "Toplana" Kraljevo*. 2013. god.

[5] Laboratorija za toplotnu tehniku i zaštitu životne sredine Fakultet za mašinstvo i građevinarstvo u Kraljevu. *Merenje emisije produkata sagorevanja u kotlarnici "Higijenski zavod" JEP "Toplana" Kraljevo*. 2014. god.

[6] Laboratorija za toplotnu tehniku i zaštitu životne sredine Fakultet za mašinstvo i građevinarstvo u Kraljevu. *Merenje emisije produkata sagorevanja u kotlarnici "Higijenski zavod" JEP "Toplana" Kraljevo*. 2015. god.

[7] Laboratorija za toplotnu tehniku i zaštitu životne sredine Fakultet za mašinstvo i građevinarstvo u Kraljevu. *Merenje emisije produkata sagorevanja u kotlarnici "Higijenski zavod" JEP "Toplana" Kraljevo*. 2016. god.

[8] Naftna industrija Srbije, <http://www.nispetrol.rs/sr-lat/veleprodaja/cenovnik>

[9] Đ. Kozic, B. Vasiljević, V. Bekavac.: Priručnik za Termodinamiku u jedinicama SI. Mašinski fakultet u Beogradu. 1995.

[10] www.weishaupt.de/@/download-file?uid=18963114cd064e3ebfd5cf51f1d4354c WTC-GB 300 proizvođača Weishaupt

[11] B. Todorović "Projektovanje postrojenja za centralno grejanje. Mašinski fakultet u Beogradu. 2006.

[12] http://www.ingkomora.org.rs/strucniispiti/download/ee/PRAVILNIK_O_EEZ_za%20obuku.pdf

[13] <http://www.buderus.co.rs/proizvodi/gasno-grejanje/ogrevna-vrednost-gasa/logano-ge615-4.html>

[14] Prof. Dr Branko Glavonjić.: Drvena goriva: vrste, karakteristike i pogodnosti za grejanje. Univerzitet u Beogradu Šumarski fakultet, 2011.

[15] „Kvalitet i karakteristike drvene sečke“. German climate technology initiative (DKTI), septembar 2014. god. Finansirana studija od strane GIZ-a.

[16] <http://bioresproject.eu/wp-content/uploads/2016/11/2016-Market-information-Serbia-in-Serbian.pdf>

[17] http://www.herzmediaserver.com/data/_www/srb/obnovljivi_izvori_energije/brosure/tehnicki_list_biofire_500_1000.pdf