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 prioriteti 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

proteklom 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 tehnno-ekonomska 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. Stepenn korisnosti na režimu 50/30°C iznosi:

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

2. Stepenn 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 projekttnu 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):

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

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 projekttna 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 projekttna temperatura za Kraljevo po važećem pravilniku o energetskej 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	Tezinski 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:

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

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

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 isporučioaca 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 posećenog 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)	3cm ²	5cm ²	10cm ²
Procentualno učešće pojedinačnih komada u drvnoj sečki		Max 20%	Max 20%	Max 20%
		16x16mm	31.5x31.5mm	63x63mm
		60 - 100%	60 - 100%	60 - 100%
		30mm	50mm	100mm
		2.8x2.8mm	5.6x5.6mm	11.2x11.2mm
		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/tehnifki_list_biofire_500_1000.pdf

Techno-economic Analysis of Fuel Conversion in Boiler Room of District Heating System

Miljan Marasevic¹, Vladan Karamarkovic¹, Rade Karamarkovic¹, Nenad Stojic¹, Milos Nikolic¹

¹Faculty of Mechanical and Civil Engineering in Kraljevo, University in Kragujevac

The paper presents the cost benefit analysis for the fuel conversion in the boiler room “Higijenski zavod”, which consists of two heavy-fuel-oil-fired boilers, each with the capacity of 850 kW. It is the smallest and separated boiler room in the public district heating company “Toplana” Kraljevo. The conversion to natural gas and wood chips is analyzed. In addition, the implementation of condensing and non-condensing boilers are analyzed too. To determine the efficiency of condensing boilers, the average supply and return district heating temperatures are determined to be 50.1 and 30.1 °C, respectively. These temperatures are calculated based on the average degree-days, average outdoor temperatures of the heating period, and types of the heating systems connected to the boiler room. To offset the fuel and energy price fluctuations, the average prices of heat and the analyzed fuels for the period 2012-2016 are used. The implementation of a condensing natural-gas-fired boiler has the simple payback period of 6.7 years, whereas the use of a non-condensing would be less profitable with the payback period of 11.2 years. Compared with natural gas solutions, the payback period for the conversion of the boiler room to wood chips would be 10.6 years.

Key words: boiler room, district heating, heavy fuel oil, natural gas, wood chips, condensing boiler.

1. INTRODUCTIONS

The adopted strategy for energy sector development in the Republic of Serbia by 2025 gives goals and development priorities for the district heating sector. One of the important goals in this sector is the conversion of solid (coal) and liquid (heavy fuel, fuel oil) fuels with biomass and natural gas. Figure 1. shows the structure of the present fuel usage with the predictions until 2030 for the Serbian district heating companies [1].

Figure 1. Structure of fuels used for heat production in Republic of Serbia with projections until 2030.

The public district heating company „Toplana“ Kraljevo, has four boiler rooms with the total capacity of 80 MW.

Two boiler rooms have combined burners with natural gas as the main fuel type and heavy fuel oil as an alternative one. The other two boiler rooms use exclusively heavy fuel oil.

The subject of this paper is the smallest boiler room “Higijenski zavod” in the „Toplana“ company. Table 1 [2] shows the installed capacities of boiler units, and surface areas of living and office spaces connected to the boiler

room. The consumers are directly connected to the boiler room and the pipeline network is relatively short.

Table 1. Technical data for the boiler room “Higijenski zavod”

Number of boiler units	2
Type and power of boiler 1(kW)	TAM – MARIBOR, TVT ZV – 850 kW
Type and power of boiler 2 (kW)	TAM – MARIBOR, TVT ZV – 850 kW
Surface area of living spaces (m ²)	6.785
Surface area of office spaces (m ²)	118

2. PRESENT SITUATION

2.1. Location

The boiler room “Higijenski zavod” is located in an isolated part of the city near the road that connects Kraljevo and Cacak. Figure 2 shows the macro location of the boiler room, which is placed in the basement of a residential building and has two identical boiler units, each with the capacity 0.85 MW

Figure 2. Macro location of the boiler room “Higijenski zavod”

2.2. Fuel consumption

Table 2 shows the fuel consumption (heavy fuel oil), degree-days and the average outdoor temperature during the heating season for the period from 2012 to 2016. The employees of the “Toplana” company provide these data.

Figure 3 shows the change in the fuel consumption and Figure 4 the change in degree-days during the analyzed period [2].

Table 2. Fuel consumption data, degree-days and the average annual outdoor temperature during the heating period in the “Higijenski zavod” boiler room.

Year	Fuel consumption (kg/god)	Degree days	The average outdoor temperature during the heating season (°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
Mean value	140389.2	2641.8	5.85

Figure 3. The consumption of the heavy fuel oil in the boiler room “Higijenski zavod”.

Figure 4. The change of the degree-days for the period 2012 – 2016 in the boiler room “Higijenski zavod”.

2.3. Efficiency and emission parameters

Laboratory for Thermal Technique and Environmental Protection of the Faculty of Mechanical and Civil Engineering in Kraljevo, in the analyzed period carried out the emission measurements in the boiler room. Table 3. [3]-[7] shows these values for the period 2012 – 2016.

Table 3. Flue gas emissions in the boiler room “Higijenski zavod”.

Year	CO (mg/m ³)	NO _x (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
Maximal permitted level	120	100

In addition to the CO and NO_x emissions, it is important to note that the flue gas temperatures were always above 240 °C. For the boilers at nominal outputs, these temperatures were above 300 °C. Table 4 shows how high flue gas temperatures reduced the efficiencies of the boilers.

Table 4. Efficiencies of boilers in the boiler room “Higijenski zavod”

Boiler	Reduced capacity	Nominal capacity
Boiler No 1	81.1 %	79.0 %
Boiler No 2	88.1 %	83.9 %

2.4. Delivered heat

Table 5. shows the measured values of heat delivered from the boiler room in the period from 2012 to 2016 [2].

Table 5. Delivered heating energy from the boiler room “Higijenski zavod”

Year	Delivered heating energy MWh
2012	1348.45
2013	1185.5
2014	1086.86
2015	1199.47
2016	1176.92
Mean value	1199.44

Based on the present situation, a techno-economic analysis of the conversion of the boiler room has been carried out. Two solutions for substitution of heavy fuel oil with natural gas and biomass are proposed. In addition, the conversion to natural gas is studied for the implementation of condensing and non-condensing boilers. The most economical form of biomass for this kind of duty are wood chips. The part of the city, where the boiler room is situated, is connected to the national natural gas grid, which makes this connection legally and technically suitable. However, both considered fuels would require a new boiler room of container type.

2.5. Annual fuel costs

Based on the average annual consumption of heavy fuel oil, which is 140.389 t/year, the annual fuel cost for the boiler room could be calculated. To obtain a relevant data, the price of heavy fuel oil is analyzed for the period from 2012 to 2016 from NIS bulletin [8]. The average price of 45.5 rsd/kg for heavy fuel oil is obtained for the specified period. To offset the fuel and energy price fluctuations, the average prices of heat and the analyzed fuels for the period 2012-2016 are used. The consumption of heavy fuel oil (1) and its cost (2) for heat production are:

$$B_{mazut} = \frac{E_{isp.}}{H_{d,mazut} \cdot \eta_{k,mazut}}, \quad (1)$$

$$B_{mazut} = 125956 \text{ kg / year},$$

Where:

$E_{isp} = 1199.44 \text{ MWh/year}$ – is the averaged heat energy delivered from the boiler room,

$H_{dmazut} = 11.35 \text{ kWh/kg}$ – is the heating value of the heavy fuel oil [9],

$\eta_{kmazut} = 0.839$ – is the average efficiency of the existing boilers.

The annual fuel cost is (2):

$$T_{mazut} = B_{mazut} \cdot p_{u,mazut}, \quad (2)$$

$$T_{mazut} = 5730988 \text{ rsd / year},$$

Where:

$p_{u,mazut} = 45.5 \text{ rsd/kg}$ – is the average price of the heavy fuel oil. In foreign currency this price is:

$$T_{mazut,eur} = T_{mazut} / k_{eur,din.}, \quad (3)$$

$$T_{mazut,eur} = 46218 \text{ eur / year},$$

where:

$k_{eur,din.} = 124 \text{ rsd/€}$ – is the conversion rate.

3. NEW DESIGN –CONVERSION TO NATURAL GAS

Two solutions for the substitution of heavy fuel oil to natural gas in the boiler room are analyzed: with and without condensing boilers. Both of them require a new container boiler room that will be placed next to the existing one. The existing pipeline network would be retained with the connection to the present supply and return manifolds.

The solution with the condensing boilers seems promising since the average outdoor temperature during the heating season is nearly 6 °C and the consumers heating systems are developed for the outdoor design temperature of -20 °C.

3.1. Implementation of condensing boilers

This variant envisages the installation of a container boiler room with condensing natural-gas-fired boilers connected in a cascade. Thermal power of the condensing boiler analyzed in the paper, ranges from 271 kW to 290 kW depending on the operation mode. The total installed capacity is in the range from 1355 kW to 1450 kW. The power above the presently connected heating consume of 1190 kW is used as a reserve for the possible future connections. The reserve is included in all analyzed solutions.

Typical values for the efficiency of condensing natural-gas-fired boilers on the market are taken from [10]:

1. For the heating system 50/30°C (supply and return hot water temperatures) the efficiency is:

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

2. For the system 80/60°C it is:

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

Equation (4) allows the determination of the mean temperature difference between the mean hot water

temperature (the mean value between supply and return temperature of the heating system) and the average temperature of the heated space [11]:

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

where:

$Q_N = 1190 \text{ kW}$ – is the total power connected to the boiler room (the power installed at the consumers),

$\Delta t_N = 60 \text{ °C}$ – is the temperature difference between the mean design hot water temperature (the designed supply hot water temperature is 90 °C, whereas 70 °C is the designed hot water return temperature) and the average design temperature of the heated space 20°C,

$m = 4/3$ – exponential coefficient which takes into account the change in thermal output of the space heating appliances connected to the system [11]. All the residential and commercial space connected to the boiler room use sectional and panel radiators as space heating appliances.

The average heat production of the boiler room is proportional to the degree-days whereas the temperature of the supplied hot water depends on the outdoor temperature. To take both facts in estimating the average supply and return hot water temperature the average outdoor temperature for the period 2012 - 2016 (see Table 6.) is determined by (5):

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

where:

SD_i – is the number of degree-days for the i-th month,

t_i – is the mean outdoor temperature for the i-th month,

k – is the number of months during a year that require heating, and

n – is the number of heating seasons (here 5).

The average power delivered by the boiler room in the period from 2012 until 2016 is determined by (6):

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

where:

t_{sp} – is the outdoor design temperature for Kraljevo.

Figure 5. The average thermal power delivered by the boiler room in the period 2012 to 2016.

Figure 5 shows the change in the thermal output of the boiler room in dependence of the outdoor temperature. Although the valid outdoor design temperature for the Kraljevo is -14.7°C [12], the heating systems connected to the boiler room are designed when this temperature was -20°C. Based on Eq. (4), the average temperature difference between the mean temperature of the district heating system and the designed temperature of the heated space is:

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

Equation (7) defines the mean temperature difference Δt_{sr} , which is for the existing boiler room 20.1°C. This means that the average supply and return temperatures of hot water are 50.1 °C and 30.1 °C, respectively.

Table 6. The average outdoor temperature in the period 2012-2016.

Year	Month	Aaverage temperature °C	Degree days	Weighting factor	Mean temperature °C
2012	January	0.18	583.42	0.20	0.0361
	February	-4.17	671.93	0.23	-0.9628
	March	7	372	0.13	0.8948
	April	8.25	215	0.07	0.6095
	October	8.7	185.4	0.06	0.5542
	November	8.7	309	0.11	0.9237
	December	0.5	573.5	0.20	0.0985
		4.17	2910.25		2.15
2013	January	2.8	502.2	0.19	0.5349
	February	4.1	432.1	0.16	0.6739
	March	6.7	381.3	0.15	0.9718
	April	8.6	208	0.08	0.6804
	October	8.7	236.9	0.09	0.7840
	November	8.3	321	0.12	1.0134
	December	1.34	547.46	0.21	0.2790
		5.79	2628.96		4.94
2014	January	3.89	468.41	0.20	0.7705
	February	6.4	365.4	0.15	0.9889
	March	8.2	334.8	0.14	1.1609
	April	9.2	196	0.08	0.7625
	October	8.6	176.8	0.07	0.6429
	November	8.6	312	0.13	1.1346
	December	2.5	511.5	0.22	0.5407
		6.77	2364.91		6.00
2015	January	2.39	514.91	0.20	0.4751
	February	3.28	455.88	0.18	0.5772
	March	6.6	384.4	0.15	0.9794
	April	8.26	214.8	0.08	0.6849
	October	10.4	146.2	0.06	0.5870
	November	6.9	363	0.14	0.9669
	December	2.51	511.19	0.20	0.4953
		5.76	2590.38		4.77
2016	January	-0.12	592.72	0.22	-0.0262
	February	8.39	307.69	0.11	0.9507
	March	7.77	348.13	0.13	0.9962
	April	10.36	233.28	0.09	0.8901
	May	10.2	44	0.02	0.1653
	October	10.31	243.32	0.09	0.9239
	November	6.9	363	0.13	0.9225
	December	0.19	583.11	0.21	0.0408
		6.75	2715.25		4.89
Mean temperature for the period 2012-2016		Mean annual value			Mean value per month
		5.85			4.55

For the average supply and return temperatures of the district heating system, the efficiency of the condensing boiler would be $\eta = 108.8\%$. The annual consumption of the natural gas is (8):

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

$$B_{gas} = 117279 \text{ m}^3 / \text{year},$$

Where:

$E_{isp.} = 1199.44 \text{ MWh/god}$ – is the average heat energy delivered by the boiler room,

$H_{d, gas} = 9.4 \text{ kWh/kg}$ – is the lower heating value of the natural gas [9],

$\eta_{k, gas, kond.} = 1.088$ – is the average efficiency of the condensing boiler.

The average price of natural gas with all included costs is 36.06 rsd/m³ [2]. The annual cost of the natural gas is:

$$T_{gas, kond.} = B_{gas} \cdot p_{u, gas}, \quad (9)$$

$$T_{gas, kond.} = 4229081 \text{ rsd} / \text{year},$$

In the foreign currency it is:

$$T_{gas, kond., eur} = T_{gas, kond.} / k_{eur, din.}, \quad (10)$$

$$T_{gas, kond., eur} = 34105 \text{ eur} / \text{year}.$$

The investment cost includes the construction of container boiler room, setting up the equipment (boiler, burner,...), connection of the container boiler room and the existing boiler room, connection of the container boiler room to the national natural gas grid, construction of a chimney, and the design, supervision, and permission costs. According to the present labor cost and the offers from the equipment suppliers, the total investment would be 81000 €[10].

The simple payback period for the investment Eq. (12) is determined based on the fuel cost savings (11) that the new boiler room would achieved comparing with the present situation.

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

The simple payback period is:

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

where:

$I_u = 81000 \text{ €}$ – is total investment cost, and

$U = 12113 \text{ €}$ – are the fuel cost savings due to the different heat energy costs.

3.2. Implementation of non-condensing boiler

This variant suggests the installation of a container boiler room equipped with a natural-gas fired non-condensing boiler. The nominal boiler capacity would be 1400 kW.

The typical non-condensing boilers of this size that can be found in the market have the efficiency of $\eta = 94.5\%$ for the system 90/70°C.

As the average annual heat production is 1199.44 MWh, the required annual consumption of the natural gas is:

$$B_{gas} = \frac{E_{isp.}}{H_{d, gas} \cdot \eta_{k, gas}}, \quad (13)$$

$$B_{gas} = 135026 \text{ m}^3 / \text{year},$$

Where:

$E_{isp.} = 1199.44 \text{ MWh/god}$ – is the average heat energy delivered by the boiler room,

$H_{d, gas} = 9.4 \text{ kWh/kg}$ – is the lower heating value of natural gas [9],

$\eta_{k, gas} = 0.945$ – the average efficiency of the boiler.

The average price of natural gas with all included costs is 36.06 rsd/m^3 [2] giving the annual fuel cost:

$$T_{gas} = B_{gas} \cdot p_{u, gas}, \quad (14)$$

$$T_{mazut} = 4869037 \text{ din.} / \text{year},$$

which is in the foreign currency:

$$T_{gas, eur} = T_{gas} / k_{eur, din.}, \quad (15)$$

$$T_{gas, eur} = 39226 \text{ eur} / \text{year}.$$

The investment cost includes as in the all analyzed cases: the construction of container boiler room, setting up the equipment (boiler, burner,...), connection of the new boiler room and the existing one, connection to the national natural gas grid, construction of a chimney, and the design, supervision, and permission costs. According to the present labor cost and the offers from equipment suppliers, the total investment would be 78000 € [13].

The simple payback period of the investment Eq. (17) is determined based on the annual fuel savings Eq. (16).

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

The simple payback period is:

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

where :

$I_u = 78000 \text{ €}$ - is total investment cost,

$U = 6952 \text{ €}$ - are the fuel cost savings.

The plan envisages the construction of container boiler room next to the existing one, which is located in the basement of a residential building. The present solution is unfavorable because it does not obey the fire protection law for this kind of installations. This fact gives the additional importance for the conversion of the fuels in the boiler room.

4. NEW DESIGN – CONVERSION TO WOOD CHIPS

4.1. Properties of wood chips

The main advantages of the use of wood chips are: it is renewable and locally produced fuel that can be combusted with different quantities of moisture. Wood chips with moisture contents up to 30 % are considered well dried, from 30 – 35% dry, from 35 – 40 % they are considered wet, and above 40% they are very wet and not suitable for combustion [14]. The reduction of moisture content in wood increases its heating value. Figure 7 shows this dependence. Table 7 shows basic characteristics of wood chips.

Figure 7. The calorific value of wood depending on its moisture content [14].

Table 7. Properties of the wood chips [15].

Classification of wood chips ONORM 7133				
Basic information		G30	G50	G100
Size of pieces	Length (Max)	85mm	120mm	250mm
	Cross section (Max)	3cm²	5cm²	10cm²
The percentage share of individual pieces in wood chips		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%

4.2. Implementation of wood chips

The third analyzed option would require the construction of the wood chips boiler room with the space required for the fuel storage. The total capacity of the boiler room would be 1500 kW .

The efficiency of the wood chips boiler connected to the heating system $90/70^\circ\text{C}$ (supply and return temperatures) is $\eta = 90.5 \%$ [16].

Equation (18) gives the annual consumption of wood chips:

$$B_{d, sec ka} = \frac{E_{isp.}}{H_{d, d, sec ka} \cdot \eta_{k, d, sec ka}}, \quad (18)$$

$$B_{d, sec ka} = 348764 \text{ kg} / \text{year},$$

Where:

$E_{isp.} = 1199.44 \text{ MWh/god}$ – is the average value of delivered heat energy from the boiler room,

$H_{d, d, sec ka} = 3.8 \text{ kWh/kg}$ – is the lower heating of wood chips [15],

$\eta_{k, d, sec ka} = 0.905$ – is the efficiency of a new boiler.

The annual fuel cost is:

$$T_{d, sec ka} = B_{d, sec ka} \cdot p_{u, d, sec ka}, \quad (19)$$

$$T_{d, sec ka} = 27901 \text{ €} / \text{year},$$

where:

$p_{u, d, sec ka} = 80 \text{ €ton.}$ – is the average wood chips price with included transportation costs [16].

The investment includes:

- construction of the boiler room,
- construction of the wood chips storage,
- installation of the necessary equipment (boiler and feeding system),
- connection of the container boiler room to the existing on,
- design, supervision and permission costs.

Based on the offers from equipment suppliers, the total investment cost for this solution would be 195000 € [17].

The simple payback period of the investment, given by Eq. (21), is determined as the ratio of to the fuel cost savings Eq. (20) and the total investment. The fuel cost savings are the difference between the existing and the proposed scenarios. The savings are determined based on difference between working costs of heavy oil and wood chips boiler room:

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

The simple payback period is:

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

where:

$I_u = 195000 \text{ €}$ - is the total investment cost, and
 $U = 18317 \text{ €}$ - are the fuel cost savings.

5. CONCLUSIONS

Based on the techno-economic analysis for three different solutions, it can be concluded that the implementation of condensing natural-gas-fired boilers has the shortest payback period of 6.7 years. In the case of the implementation of a non-condensing natural-gas-fired boiler, the simple payback period would be 11.2 years. The similar length of the payback period, i.e. 10.6 years, gives the implementation of biomass (wood chips) as the fuel. Comparing with natural gas, wood chips are cheaper and locally produced fuel but they require higher investment costs.

The substitution of heavy fuel oil with both natural gas and wood chips would have not just economic but also the environmental benefit too. The combustion of the natural gas or wood chips results with smaller emissions of hazardous gases. Regarding the emissions of particulate matter, wood chips are less favorable foul comparing with natural gas.

The simple payback period of 6.7 years, for the solution with the condensing natural-gas-fired boilers is favorable due to the relatively long amortization period of 30 years. This means that new plant would be the most probably paid off regardless of the fluctuations of natural gas prices.

The techno-economic analysis showed validity for the conversion of the boiler room "Higijenski zavod", from heavy fuel oil to natural gas.

6. REFERENCE

[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 „Tolana“ 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. Kozić, 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 drvne sečke“. German climate technology initiative (DKTI), septembar 2014. god. Finansirana studija od strane GIZ-a.

[16] <http://bioesproject.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/tehnifki_list_biofire_500_1000.pdf