

# Efekti potencijalnog korišćenja postrojenja za preradu otpadnih voda kao energetskih izvora u sistemima daljinskog grejanja u Srbiji

Dejan Ivezić, Marija Živković, Aleksandar Madžarević



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Efekti potencijalnog korišćenja postrojenja za preradu otpadnih voda kao energetskih izvora u sistemima daljinskog grejanja u Srbiji | Dejan Ivezić, Marija Živković, Aleksandar Madžarević | Stručno-naučna konferencija TOPS 2019 | 2019 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0005021>

Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду омогућава приступ издањима Факултета и радовима запослених доступним у слободном приступу. - Претрага репозиторијума доступна је на [www.dr.rgf.bg.ac.rs](http://www.dr.rgf.bg.ac.rs)

The Digital repository of The University of Belgrade Faculty of Mining and Geology archives faculty publications available in open access, as well as the employees' publications. - The Repository is available at: [www.dr.rgf.bg.ac.rs](http://www.dr.rgf.bg.ac.rs)

# ЕФЕКТИ ПОТЕНЦИЈАЛНОГ КОРИШЋЕЊА ПОСТРОЈЕЊА ЗА ПЕРАДУ ОТПАДНИХ ВОДА КАО ЕНЕРГЕТСКИХ ИЗВОРА У СИСТЕМИМА ДАЉИНСКОГ ГРЕЈАЊА У СРБИЈИ

Дејан Ивезић, Марија Живковић, Александар Маџаревић

Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, Београд, Србија

[dejan.ivezic@rgf.bg.ac.rs](mailto:dejan.ivezic@rgf.bg.ac.rs), [marija.zivkovic@rgf.bg.ac.rs](mailto:marija.zivkovic@rgf.bg.ac.rs), [aleksandar.madzarevic@rgf.bg.ac.rs](mailto:aleksandar.madzarevic@rgf.bg.ac.rs)

## РЕЗИМЕ

*Системи даљинског грејања постоје у 57 градова и општина у Србији и доминантно користе фосилна горива. У овим урбаним срединама су изграђени, или се планира градња система за пречишћавање отпадних вода. У раду је размотрена (са еколошког и енергетског аспекта) могућност додатног, енергетског коришћења топлоте пречишћене воде у СДГ, применом топлотних пумпи. На примеру Шапца је извршено поређење постојећег СДГ са системом који би применом топлотних пумпи искористио енергетски потенцијал система за пречишћавање отпадних вода. Добијени индикатори су послужили као основа за одређивање редукције емисије полутаната и ГХГ гасова у другим СДГ у Србији.*

**Кључне речи:** *системи даљинског грејања; постројења за пречишћавање отпадних вода; топлотне пумпе;*

## УВОД

Потрошња енергије у зградама (домаћинства и јавни и комерцијални сектор) чини 45,45% финалне потрошње енергије у енергетске сврхе у Србији [1]. Највећи део потрошње енергије у зградама (преко 60%,) односи се на грејање простора [2-3]. Највећи број стамбених објеката греје се индивидуално пећима или котловима на дрва, угаљ, гас, електричну енергију [3]. Око 20% укупног броја стамбених јединица, ослоњен је испоруку топлотне енергије из централизованих система снабдевања [4], [5]. Овај проценат у градским срединама достиже и 90% [5].

Примена централизованих система снабдевања топлотном енергијом у Републици Србији је започета 1961. године у Београду и Новом Саду, 1962. у Суботици и Крагујевцу, а затим и у многим другим градовима, тако да сада у 57 градова постоје изграђени системи даљинског грејања (СДГ). Укупна инсталисана топлотна снага котлова износи више од 6,500 GW.

Производња топлотне енергије у системима даљинског грејања у Србији у потпуности је заснована на процесима сагоревања. Подаци приказани у Укупном енергетском билансу Републике Србије [1], указују да се за производњу топлотне енергије доминантно користе фосилна горива, чак преко 99%, док остатак чини дрвна биомаса. Просечан степен корисности котлова износи око 83,5% [1]. Податак о губицима у дистрибутивној мрежи система даљинског грејања није експлицитно приказан у билансу, јер су губици топлотне енергије при дистрибуцији приказани збирно са губицима топлотне енергије из енергана.

У Србији постоје значајни, локално доступни извори енергије: комунални отпад, отпадна топлота из система за пречишћавање отпадних вода (СПОВ), отпадна топлота из индустријских постројења, која се у урбаним срединама могу искористити једино у

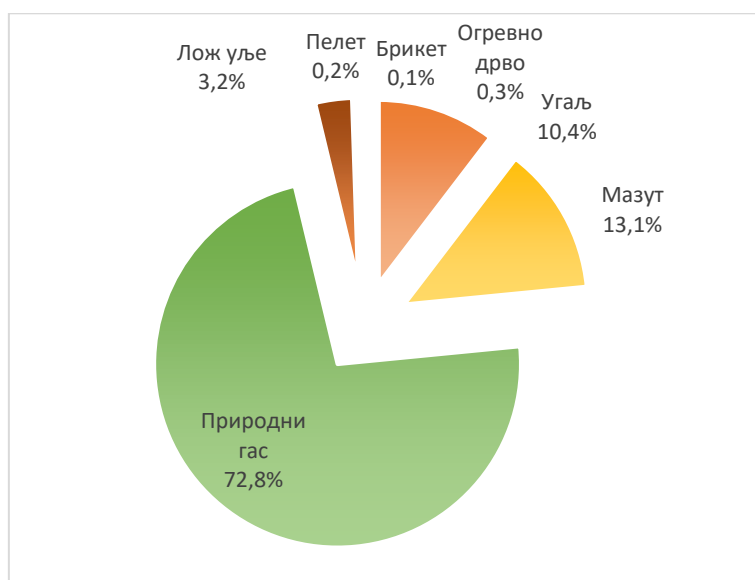
системима даљинског грејања. Ниједан од поменутих извора енергије се у Србији не користи.

У раду је размотрена могућност енергетског коришћења топлоте пречишћене воде у СДГ, применом топлотних пумпи. На примеру Шапца је извршено поређење постојећег СДГ са системом који би применом топлотних пумпи искористио сав енергетски потенцијал система за пречишћавање отпадних вода. Добијени индикатори су послужили као основа за одређивање могућности смањења потрошње горива и редукције емисије полутаната и ГХГ гасова у другим СДГ у Србији, уколико би се извршила интеграција рада система за пречишћавање отпадних вода са СДГ.

## 2 ЕНЕРГЕТСКИ БИЛАНС И ПОКАЗАТЕЉИ ПОТРОШЊЕ

Биланс потрошње енергије у системима даљинског грејања урађен је на основу података Удружења топлана Србије [5], што је омогућило детаљније сагледавање могућности смањења потрошње примарне енергије, смањења емисије гасова стаклене баште и осталих загађујућих материја за сваки град који има централизовано снабдевање топлотном енергијом.

Укупна потрошња енергената у топланама 2017. године је била 26.322,83 ТЈ (628.710 тое), са структуром приказаном на слици 1.



Слика 1 Структура потрошње примарне енергије у системима даљинског грејања у Србији у 2017. години

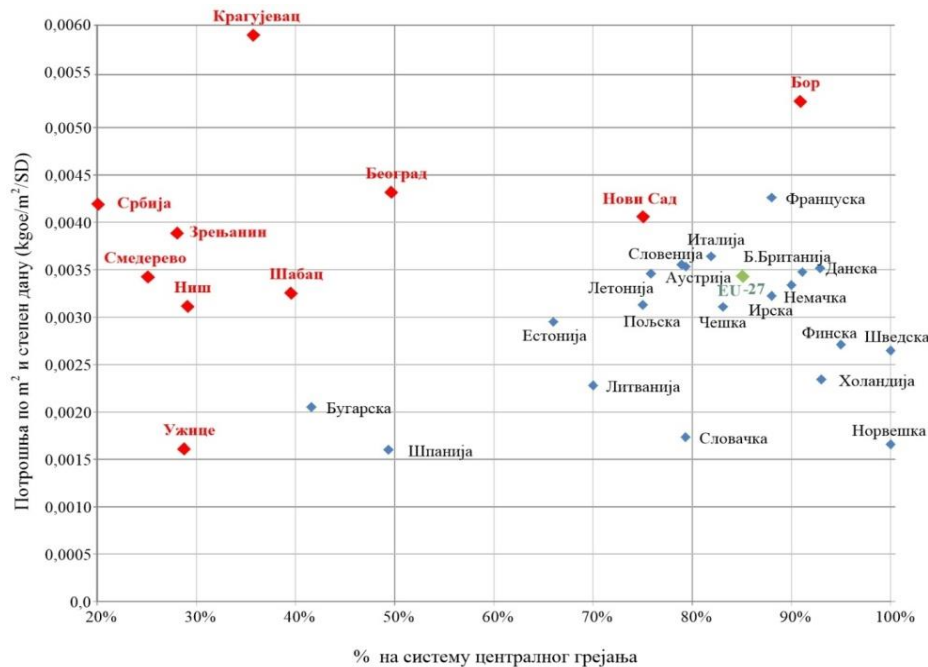
Велико учешће природног гаса је повољно са аспекта емисије загађујућих емисија у атмосферу, имајући у виду да је природни гас еколошки најприхватљивије фосилно гориво, али и са аспекта енергетске ефикасности, јер котлови на природни гас имају већи степен корисности у односу на котлове на течна или чврста горива.

За сагледавање тренутног стања израчунати су карактеристични индикатори, који омогућавају анализу тренутног стања и поређење са системима даљинског грејања у окружењу и Европи.

**Просечна потрошња топлотне енергије** из система даљинског грејања у Србији износи  $139,1 \text{ kWh/m}^2$  грејне површине. **Просечна потрошња примарне енергије** у системима даљинског грејања у Србији износи  $182,2 \text{ kWh/m}^2$  грејне површине. **Просечни однос уложене примарне енергије и енергије испоручене потрошачу**

(индикатор P/F) је 1,31, што значи да се за 1kWh топлотне енергије потроши 1,31kWh примарне енергије.

Ефикасност објеката се на прави начин може сагледати свођењем потрошње по  $m^2$  грејне површине на степен дан. Израчунате вредности за Србију, као и карактеристичне вредности за неке европске градове [6] приказане су на слици 2.



Слика 2 Годишња потрошња енергије по јединици површине и степен дану

Производња топлотне енергије у системима даљинског грејања је у потпуности заснована на процесима сагоревања [1], што има за последицу емисију гасова стаклене баште и других полутаната у атмосферу. Одређивање емисије гасова стаклене баште из процеса сагоревања у топланама извршено је у складу са методологијом IPCC, коришћењем емисионих фактора за стационарно сагоревање.

Укупна емисија угљендиоксида из топлана 2017. године била је око 1,7 милиона тона (1.669.645.759 kg) [7,8], односно 41,61 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> грејне површине (односи се на директну емисију). Поређење са европским државама указује на релативно високу вредност [6]. Мање вредности у државама са већим бројем степен дана указују да су за производњу енергије коришћени извори који не емитују угљендиоксид, на пример: отпадна топлота, геотермална енергија, комунални отпад, индустријска отпадна топлота и сл.

Што се тиче класичних загађивача, укупно се из система даљинског грејања у Србији годишње емитује: 7.766.046 kg сумпорних оксида, 3.607.909 kg азотних оксида, 10.215 kg азотсубоксида и 38.917 kg метана [7,8].

### 3 ТОПЛОТНЕ ПУМПЕ У СИСТЕМИМА ДАЉИНСКОГ ГРЕЈАЊА

У системима даљинског грејања користе се по правилу велике топлотне пумпе [9,10]. Топлотне пумпе се сматрају за велике уколико им је топлотна снага преко 100 kW. Оне су често снаге преко 1 MW, док су највеће снаге преко 35 MW. Тренутно доступне топлотне пумпе могу да обезбеде температуру у разводу до 100°C, при распону температуре извора и понора од приближно 50 K по степену компресије. За веће

распоне температура, примењује се двостепена компресија (каскадне топлотне пумпе), где се најчешће у каскадама користе различити радни флуиди.

Употреба топлотних пумпи у случајевима када је потрошачу потребна температура изнад 100°C је и даље изазов. Иако су основни принципи рада таквих пумпи познати, а неки прототипи већ постоје, оне и даље нису доступне као стандардни производи. Међутим темпо развоја технологије топлотних пумпи и интересовање за ову технологију, указују на то ће се овакве машине у будуће све чешће користити.

Неки од карактеристичних типова топлотних пумпи које се инсталирају у системе даљинског грејања су:

- Топлотне пумпе које користе неки извор на температури спољашње средине. Типичан капацитет ових инсталација је 1 до 10 MW инсталисане топлотне снаге, а температура разводне воде је 80°C. Најчешће су са механичким компресором и угљен-диоксидом као радним флуидом. Типичан COP је око 2,8, али може бити и виши, до 3,5. Инвестициони трошкови износе око 0,5-0,8 М€ по MW инсталисане топлотне снаге.

- Топлотне пумпе које користе топлотни извор температуре око 35°C, попут отпадне топлоте неког индустријског процеса. Температура разводне воде је 80°C. Типична снага ових пумпи је у распону 1 до 10 MW. Најчешће су са механичким компресором и амонијаком као радним флуидом. Типичан COP је око 3,6, али може бити и виши - до 4,5. Инвестициони трошкови износе око 0,45-0,85 М€ по MW инсталисане топлотне снаге.

- Апсорпционе топлотне пумпе које користе енергију из спалионица смећа или постројења на биомасу или чак на природни гас. Оне се користе да подигну температуру у топоводу система даљинског грејања са 40 или 60°C на око 80°C. Најчешћи радни флуид је BrLi-H<sub>2</sub>O. Типична инсталисана снага износи 2 до 15 MW. COP је око 1,7, а инвестициони трошкови се процењују на 0,35 до 0,4 М€ по MW инсталисане топлотне снаге. Инвестициони трошкови који се односе само на топлотну пумпу (уколико постројење на биомасу или спалионица већ постоје) се процењују на 0,15 до 0,2 М€ по MW инсталисане топлотне снаге.

Предност топлотних пумпи је што користе отпадну топлотну енергију или енергију околине и пребацују је на виши температурни ниво (подижу квалитет енергије), који ту енергију чини употребљивом. Недостатак је тај што је потребна додатна енергија за погон процеса (електрична енергија или топлота из извора високе температуре) и инвестиција у систем са пратећом опремом. Предност топлотних пумпи које раде на електричну у односу на апсорпционе је та што имају виши COP. Међутим, топлота за погон апсорпционих топлотних пумпи може бити доступна по ниским ценама и у том случају, овакви системи могу бити оптималан избор.

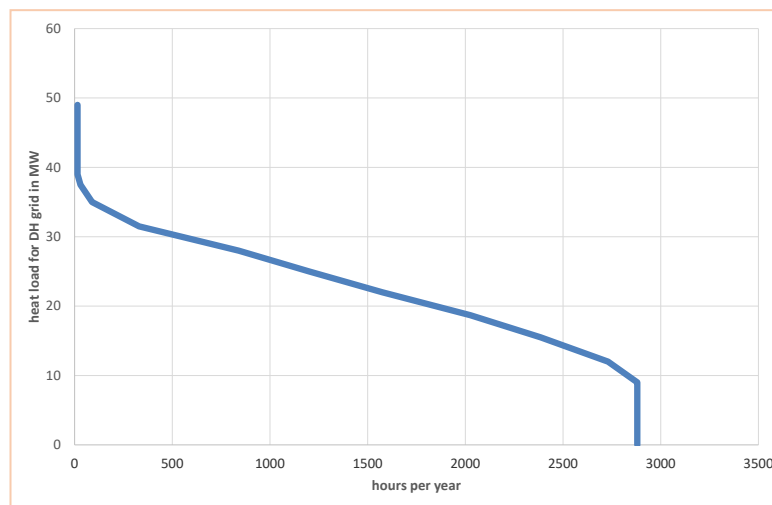
## **4 ИНТЕГРАЦИЈА СИСТЕМА ЗА ПРЕРАДУ ОТПАДНИХ ВОДА У СИСТЕМ ДАЉИНСКОГ ГРЕЈАЊА У ШАПЦУ**

### **4.1 Тренутно стање СДГ у Шапцу**

ЈКП "Топлана-Шабац" загрева више од 7.500 домаћинстава и више од 500 комерцијалних објеката. Укупно загревана површина је 473.000 m<sup>2</sup>, при чему је површина која се греје у домаћинствима око 374.000 m<sup>2</sup>, док је површина у комерцијалним зградама око 99.000 m<sup>2</sup>. Укупна дужина мреже система даљинског грејања је 22.917 m. Просечна потрошња природног гаса износи око 7 милиона m<sup>3</sup> годишње [11].

Уобичајено време загревања је 16 сати дневно у периоду од 5 до 21 сата, осим у току тзв. "ледених дана". "Ледени дани" су дефинисани као дани када су просечне дневне температуре у распону од  $-3^{\circ}\text{C}$  до  $-18^{\circ}\text{C}$ . Током "леденог дана", систем даљинског грејања ради 24 сата дневно. Могући број "ледених дана" је 10 до 15 током јануара и фебруара. Просечан број радних сати топлане износи 3.000 сати годишње у периоду од 1.10. до 30.4. Када дневне температуре прелазе  $14^{\circ}\text{C}$ , систем грејања прекида рад. Минималне температуре у току грејне сезоне су најчешће до  $-10^{\circ}\text{C}$ , док се екстремно ниским температурама сматра пад на  $-18^{\circ}\text{C}$  [11].

Број степен - дана за Шабац и његово климатско подручје је 2.588. Град Шабац у просеку у грејној сезони има 181 дан грејања са просечном средњом температуром у грејном периоду од  $5.7^{\circ}\text{C}$  [12]. Крива оптерећења у систему даљинског грејања је приказана на слици 3 [11].



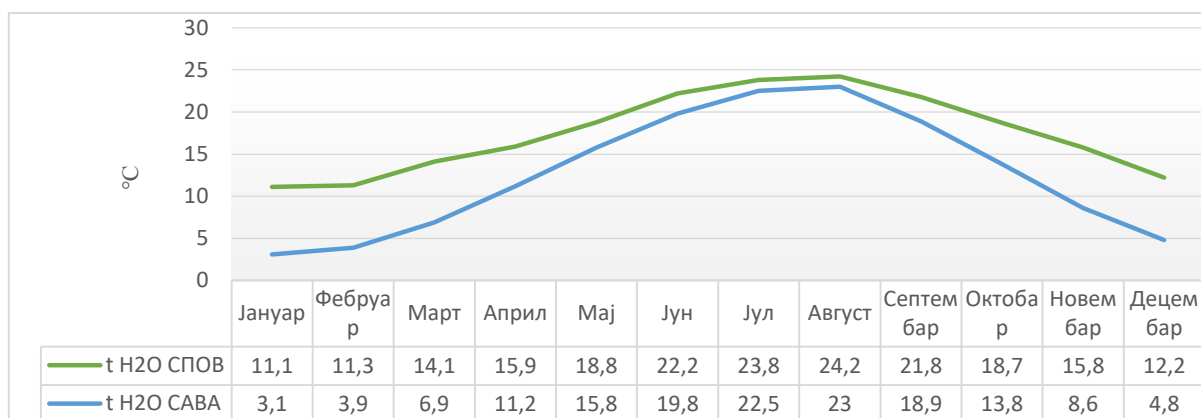
Слика 3 Крива годишњег оптерећења система даљинског грејања у Шапцу

Анализом криве топлотног оптерећења може се уочити да је могуће остварити око 2800 радних сати при топлотном оптерећењу до 9 MW, тј. око 2700 сати рада при топлотном оптерећењу од 10 MW. У Шапцу тренутно не постоји централни систем за грејање санитарне воде нити централни системи за хлађење простора у постојећим зградама.

#### 4.2 Систем за пречишћавање отпадних вода и избор топлотне пумпе

Пречишћавањем комуналних, делом третираних индустријских отпадних вода и дела воде од инфилтрације у Шапцу настаје ефлуент законски задовољавајућег квалитета који се испушта у Саву, који задовољава минималне параметре квалитета [13]. Због своје константног протока, и физичко-хемијских карактеристика (хемијски састав, температура и сл.) је погодно решење за напајање топлотних пумпи које могу потенцијално бити интегрисане у систем даљинског грејања

За примену топлотних пумпи у СДГ, неопходно је одредити количину топлоте која се из пречишћене воде као топлотног извора може користити у топлотним пумпама. Температуре воде на излазу из система пречишћавања отпадних вода су приказане на слици 4.



Слика 4 Просечна месечна температура пречишћене воде и реке Саве [13]

Подаци везани за рад СПОВ-а су приказани у Табели 1.

Табела 1. СПОВ подаци – предвиђени и остварени резултати у 2017. години [13]

Постројење СПОВ	m <sup>3</sup> /год	m <sup>3</sup> /час	kg/s	густина пречишћене воде kg/m <sup>3</sup>
Укупан испуст пречишћене воде	5.035.254	574,8	159,67	1.080
Максимални часовни проток l/s	Средњи дневни проток l/s	Максимални дневни проток l/s	Број еквивалентних становника	Тренутни број становника на систему
Пројектован 650 Остварен 474	Пројектован 325 Остварен 233	Пројектован 460 Остварен 373	126.000	84.000

Расположива топлотна снага пречишћене воде се може изразити као:

$$\dot{Q}_{PV} = \dot{m}_{pv} \cdot c_{H_2O} \cdot \Delta t, \text{ MW} \quad (1)$$

где су:

$\dot{m}_{pv}$  - масени проток пречишћене воде;

$c_{H_2O}$  - специфична топлота воде (функција температуре);

$\Delta t$  – разлика температура на улазу и на излазу из радног уређаја.

Количине расположиве толотне енергије су приказани у Табели 2. Претпостављено је 90% искоришћења протока укупно испуштене воде (разлика у расипању и рецикулацији) и за различито обарање температуре воде у размењивачу.

Табела 2. Расположива топлотна енергија пречишћене воде

Расположива топлотна енергија воде за произвољно $\Delta t$ - $Q_{PV}$ [MW]	$\Delta t = 3^\circ$	$\Delta t = 4^\circ$	$\Delta t = 5^\circ$	$\Delta t = 6^\circ$	$\Delta t = 7^\circ$	$\Delta t = 8^\circ$
за $0,90 \cdot \dot{m}_{pv}$	1,8046	2,4061	3,0076	3,6092	4,2107	4,8122

Могући инсталациони капацитети топлотних пумпи се проналазе употребом следећег израза:

$$N_{tp} = \dot{Q}_{PV} \cdot COP = 0,9 \cdot \dot{m}_{pv} \cdot c_{H_2O} \cdot COP, \text{ MW} \quad (2)$$

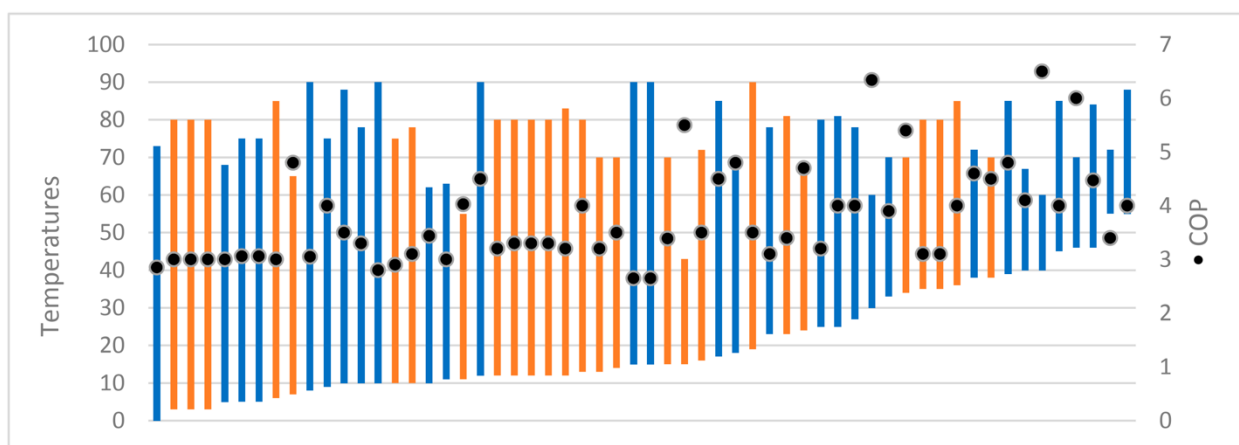
где је:

COP – Коефицијент перформансе или учинка (степен грејања) топлотне пумпе.

Коефицијент перформансе је однос предате количине топлоте и преузете електричне енергије. COP топлотне пумпе зависи од великог броја фактора, али најзначајнији утицај на COP имају температурни режим рада топлотне пумпе, односно температуре топлотног извора и топлотног понора и одабир радног флуида.

Савремене инсталације топлотних пумпи велике снаге (преко 100 kW), које треба да испоруче топлоту за високотемпературно грејање (температуре преко 80°C) и какве се могу користити у системима даљинског грејања, раде са угљен-диоксидом или амонијаком као радним флуидима.

У пракси, за топлотне пумпе које подижу температуру за 20 до 30°C, COP може да буде и до 6, док за топлотне пумпе које подижу температуру за преко 70°C COP се креће у опсегу око 2 до 3. Слика 5 приказује однос COP-а и температурног радног режима за топлотне пумпе у системима даљинског грејања у Европи.



Слика 5 Температурски режим и COP великих топлотних пумпи у системима даљинског грејања инсталираних пре 2006. (наранџасто) и после 2006 (плава) у Европи

Како се топлотне пумпе велике снаге за високотемпературно грејање не производе серијски, због конструктивних специфичности сваког изведеног постројења, као и специфичних радних услова (тип и карактеристике топлотног извора и понора), COP оваквих топлотних пумпи није могуће егзактно израчунати у раној фази планирања и пројектовања, већ га је могуће само оценити с обзиром на предвиђене услове рада.

У разматраном случају града Шапца, где би се као топлотни извор користила вода температуре 10 до 15°C, док је потрошач систем даљинског грејања који ради у високотемпературном режиму (80°C), COP би у најнеповољнијем случају износио око 2.5 а у најбољем случају нешто преко 3.5. Реално је очекивати да изведено постројење има максимални COP око 3. Такође је битно напоменути да при раду топлотне пумпе, при снижавању оптерећења, COP опада, тј. да ће топлотна пумпа имати максимални COP при номиналном оптерећењу, док ће се вредности смањивати при смањивању топлотног оптерећења.

Пројекције инсталираних капацитета топлотних пумпи са различитим стандардним вредностима COP на основу употребе 90% укупно испуштене воде (разлика у расипању и рецикулацији) за произвољне вредности температурних разлика су приказани у Табели 3.

Табела 3. Пројекције инсталираних капацитета топлотних пумпи за 0,9  $\dot{m}_{pv}$



COP	2,5	3	4
MW (za $\Delta t=3$ )	4,5115	5,4138	7,2183
MW (za $\Delta t=4$ )	<b>6,0153</b>	<b>7,2183</b>	<b>9,6245</b>
MW (za $\Delta t=5$ )	7,5191	9,0229	12,0306
MW (za $\Delta t=6$ )	9,0229	10,8275	14,4367
MW (za $\Delta t=7$ )	10,5268	12,6321	16,8428
MW (za $\Delta t=8$ )	12,0306	14,4367	19,2489

На основу прорачунских вредности и каталошких параметара, предлаже се усвајање топлотне пумпе која ће имати инсталисану снагу од 7.2 MW, при промени температуре од 4°C. Усваја се да је коефицијент грејања COP једнак 3.

### 4.3 Ефекти примене топлотне пумпе

Годишња производња топлотне енергије и режим рада топлотне пумпе зависе од тога како се топлотна пумпа интегрише у систем даљинског грејања. Као што је раније показано, базна потрошња топлотне енергије у систему даљинског грејања у Шапцу износи 9,5 MW. У том смислу постоје услови да топлотна пумпа капацитета 7,2 MW ради 2800 сати у номиналном режиму. Полазни подаци за прорачун су:

- 7.2 MW топлотне снаге
- 2800 радних сати
- COP износи приближно 3 током читавог периода грејања (2800 радних сати)

У том случају топлотна енергија коју током грејне сезоне топлотна пумпа испоручи у систем даљинског грејања износиће:

$$Q_{g,tp} = 7,2 \text{ MW} \cdot 2800 \text{ h/a} = 20.160 \text{ MWh/a},$$

односно око 160 kWh по еквивалентном становнику годишње.

Како је просечна годишња производња топлотне енергије у читавом систему даљинског грејања у Шапцу око 62.000 MWh/a, то значи да би овакав систем топлотних пумпи могао да покрије до 32,5% годишње потребе за топлотном енергијом. Утрошена електрична енергија за погон топлотне пумпе у току године износи:

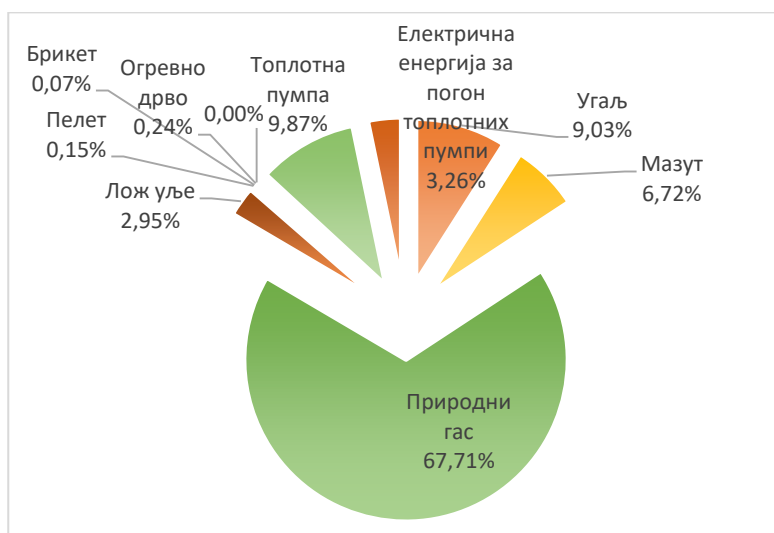
$$E_{el} = Q_{g,tp} / COP = (20.160 \text{ MWh/a}) / 3 = 6.720 \text{ MWh/a},$$

С друге стране, уколико би иста та количина топлотне енергије била произведена помоћу гасних котлова ефикасности 91% (узимајући у обзир доњу топлотна моћ природног гаса од 33,338 MJ/m<sup>3</sup>) било би потребно око 2,4 милиона стандардних m<sup>3</sup> природног гаса годишње.

Економска евалуација супституције тренутно коришћеног природног гаса енергијом из топлотних пумпи указује на релативну повољност предложеног решења. У зависности од тога да ли су трошкова емисије CO<sub>2</sub> укључени у калкулацију период повраћаја инвестиције се креће од 7 до 11 година, интерна стопа приноса од 7,21% до 10,71%, а нето садашња вредност, у зависности од усвојене каматне стопе и начина финансирања, од 44.000 евра до 1.021.356 евра.

## 5 МОГУЋИ ЕФЕКТИ ИНТЕГРАЦИЈЕ ТОПЛОТНИХ ПУМПИ У СИСТЕМЕ ДАЉИНСКОГ ГРЕЈАЊА У СРБИЈИ

Процена количине топлоте која се може произвести топлотним пумпама у СДГ у Србији извршена је на основу података мерења са постројења за пречишћавање отпадних вода у Шапцу и специфичних показатеља рада усвојене топлотне пумпе. Усвојен је приступ којим би произведена енергија прво заменили угаљ, мазут и лож уље, а на крају природни гас. Такође, претпостављена је непромењена потрошња топлотне енергије (нема примене мера енергетске ефикасности). Пројекција структуре потрошње енергије у СДГ приказана је на слици 6.



Слика 6 Структура потрошње енергије у СДГ после интеграције топлотних пумпи

Како је претпостављено да је ефикасност зграда иста као у базној години, годишња потрошња корисне енергије по  $m^2$  грејне површине је непромењена, док се мењају специфична потрошња примарне енергије и P/F однос. Добијене су вредности односа P/F од 1,16, односно 1,26 уколико се у обзир узме енергија уложена за производњу електричне енергије за погон топлотних пумпи. Смањење уложене примарне енергије за производњу топлотне енергије у топланама износи 12,5 %, а смањење укупне потрошње енергије, укључујући и енергију за производњу електричне енергије износи око 4%.

Увођењем топлотних пумпи постигло би се и смањење директне емисије угљендиоксида од 13%, док би укупно смањење емисије угљендиоксида (укључујући и емисију при производњи електричне енергије) износило 4%. Израчунате вредности смањење директне емисије угљендиоксида показују различите ефекте у различитим градовима, што је и очекивано с обзиром на постојећу структуру коришћених енергената у базној години. Тако би се директна емисија у Ужицу смањила за око 43%, у Суботици за 33%, у Београду 11%, Новом Саду 8%, Нишу 17%, итд.

Еколошки ефекти примене топлотних пумпи су везани и за смањење емисије полутаната и то:

- Метана из система даљинског грејања од 17%, односно 12.5% укупно<sup>1</sup>,
- Азотсубоксида из система даљинског грејања од 26%, односно 0,5% укупно,
- Азотних оксида из система даљинског грејања од 15,7%, односно 7% укупно и
- Оксида сумпора из система даљинског грејања од 32%, односно 18% укупно.

Јасно је да ће изградња постројења за денитрификацију и одсумпоравање у термоелектранама и значајније коришћење обновљивих извора енергије за производњу

<sup>1</sup>Узима се у обзир емисија при производњи електричне енергије потребне за рад топлотних пумпи.

електричне енергије довести до смањења укупних емисија азотних оксида и оксида сумпора, тј. да ће еколошки ефекат примене топлотних пумпи бити значајнији.

## ЗАКЉУЧАК

Ситуација са пречишћавањем отпадних вода у Србији је драматично лоша. Отпадне воде које се прикупљају обухваћене су одређеним третманом у делу мањем од 15%, док се 85% испушта у водотокове без претходног третмана. Адекватан поступак пречишћавања је заступљен за око 2%, примарни степен пречишћавања за око 5%, а за 7 % отпадних вода постројења нису у функцији због лошег руковања или одржавања или нису изграђена до краја [9].

У Уредби о ограниченим вредностима емисије загађујућих материја у води и роковима за њихово достизање (Сл. Гласник РС бр 67/2011, 48/2012 и 1/2016) наведено је да сва насеља до 2041. године која су већа од 2.000 еквивалентних становника) морају да имају постројења за пречишћавање отпадних вода (ШПОВ), па се може усвојити да је рентабилно и прихватљиво да градови са преко 50.000 ЕС имају анаеробну дигестију и производњу биогаса. У том смислу се може прихватити да ће ова постројења у средњорочном периоду представљати значајан потенцијал за коришћење енергије.

На примеру СПОВ-а у Шапцу размотрена је могућност интеграције топлотне пумпе у систем даљинског грејања. Кључне карактеристике СПОВ-а за избор топлотне пумпе су проток од 159,67 kg/s и температура пречишћене воде која се ни у зимским месецима не спушта испод 11°C.

Подаци из Шапца су послужили за анализу могућих ефеката интеграције топлотних пумпи и у друге системе даљинског грејања у Србији. Пројекција енергетског и емисионог биланса показују позитивне ефекте увођења топлотних пумпи према свим разматраним параметрима:

- Смањење потрошње примарне енергије
- Смањење директних и укупних емисија за све разматране загађујуће материје
- Побољшање вредности свих разматраних енергетских и еколошких индикатора.

Најбољи ефекти смањења емисије се постижу у СДГ која користе угаљ, а потом и мазут.

Међутим, анализа је указала и да високо учешће угља у производњи електричне енергије у Србији неповољно утиче и значајно редукује позитивне еколошке ефекте примене топлотних пумпи. Због тога би будућа истраживања требало да обухвате разматрање могућности коришћења биогаса за погон компресорских и апсорпционих топлотних пумпи.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] РЗС: Укупан Енергетски биланс Републике Србије за 2016. годину, <http://publikacije.stat.gov.rs/G2018/Pdf/G20185632.pdf>
- [2] WorldBank: *National Building Energy Efficiency Study for Serbia*, 2012.
- [3] Stojiljkovic, M., M. Todorovic: *Basics of Building Energy Balancing*, Serbian Chamber of Engineers, 2015, <http://www.ingkomora.org.rs/strucniispiti/?stranica=materijalEE>
- [4] РЗС, *Попис становништва*, 2011, <http://www.stat.gov.rs/sr-cyrl/oblasti/popis/popis-2011/тТ>
- [5] Пословно удружење "Топлане Србије", Показатељи даљинског грејања у топланама чланицама Пословног удружења "Топлане Србије", 2018.

- [6] European Environment Agency, *Energy efficiency and energy consumption in the household sector*, 2015, <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/energy-efficiency-and-energy-consumption-2/assessment-2>
- [7] IPCC, *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, 2006, <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
- [8] IPCC, *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*, 2001, <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/>
- [9] Министарство заштите животне средине Републике Србије, Пројекат: *Истраживање могућности смањења емисије полутаната и ублажавања утицаја на климатске промене система даљинског грејања у Србији – Завршни елелорат*, Уговор бр. 401-00-1207/2018-05, 2018.
- [10] A. David, B.V. Mathiesen, H. Averfalk, S. Werner, H. Lund: *Heat roadmap Europe: large-scale electric heat pumps in district heating systems*, *Energies*, 10 (4) (2017) 578.
- [11] С. Doczekal, N. Rajaković, I. BatasBjelić, S. Jerotić: *Heating/cooling demand and technical concept for district heating/cooling in Šabac*, H2020: Market uptake of small modular renewable district heating and cooling grids for communities, 691679, 2018.
- [12] BIZEE, *Degree Days – Custom Degree Day Data*, 2018, <https://www.degree-days.net>
- [13] ЈКП Водовод Шабац, *Систем за пречишћавање отпадних вода - Годишњи извештај*, 2018.