

30 години



ЗДРУЖЕНИЕ НА ЕНЕРГЕТИЧАРИТЕ НА
МАКЕДОНИЈА

MACEDONIAN ENERGY ASSOCIATION - ZEMAK

A collage of three images: wind turbines on a hill, a large dam with water cascading over it, and a field of solar panels under a sunset sky.

Зборник на трудови Conference proceedings

**МЕЃУНАРОДНА КОНФЕРЕНЦИЈА
„ЕНЕРГЕТИКА 2022“**

**INTERNATIONAL CONFERENCE
"ENERGETICS 2022"**

СТРУГА
21 - 23 септември, 2022г.

STRUGA
21 - 23 September, 2022



**ЗДРУЖЕНИЕ НА ЕНЕРГЕТИЧАРИТЕ
НА МАКЕДОНИЈА**

**MACEDONIAN ENERGY
ASSOCIATION**

**МЕЃУНАРОДНА КОНФЕРЕНЦИЈА
„ЕНЕРГЕТИКА 2022”**



**INTERNATIONAL CONFERENCE
“ENERGETICS 2022”**

**Зборник на реферати
Conference proceedings**

СТРУГА
21 - 23 септември, 2022

STRUGA
21 - 23 September, 2022



Издавач/Publisher:

ЗДРУЖЕНИЕ НА ЕНЕРГЕТИЧАРИТЕ НА МАКЕДОНИЈА

ул. Даме Груев бр.14а, 1000 Скопје

MACEDONIAN ENERGY ASSOCIATION

st. Dame Gruev no.14a, 1000 Skopje

Уредници/Editors:

Проф. Вангел Фуштиќ/ Prof. Vangel Fustik

Проф. Софија Николова-Поцева/ Prof. Sofija Nikolova-Poseva

Проф. Невенка Китева-Роглева/ Prof. Nevenka Kiteva-Rogleva

Tex. уредник/Technical Editor:

Крешимир Манојловски/Kreshimir Manojlovski

Печату/Print:

„2-ри Август“ - Штип"/"2nd August" - Shtip

Место на издавање/Place of issue: **Скопје/Skopje, 2022**



ЗДРУЖЕНИЕ НА ЕНЕРГЕТИЧАРИТЕ НА МАКЕДОНИЈА/

MACEDONIAN ENERGY ASSOCIATION

CIP - Каталогизација во публикација

Национална и универзитетска библиотека "Св. Климент Охридски", Скопје
620.9(062)

МЕЃУНАРОДНА конференција "Енергетика 2022" (2022 ; Струга)
Зборник на реферати / Меѓународна конференција "Енергетика 2022",
Струга, 21-23 септември 2022 ; [уредници: Вангел Фуштиќ, Софија
Николова-Поцева, Невенка Китева-Роглева] = Conference proceedings /
International Conference “Energetics 2022”, Struga, 21 - 23 September,
2022 ; [editors: Vangel Fustik, Sofija Nikolova-Poseva, Nevenka
Kiteva-Rogleva]. - Скопје : Здружение на енергетичарите на Македонија -
ЗЕМАК =Skopje : Macedonian Energy Association - ZEMAK, 2022. - 386 стр.
: илустр. ; 25 см

Дел од трудовите се на англиски јазик. - Библиографија кон трудовите

ISBN 978-608-4764-14-4

а) Енергетика -- Собири

COBISS.MK-ID 58874629

Тираж: 50 примероци

ISBN 978 608-4764-14-4

ОРГАНИЗАЦИОНЕН ОДБОР

Претседател

Благој Гајдарџиски (Претседател на ЗЕМАК)

Членови

Драган Мијалковски (ЗЕМАК)

Игор Шешо (ЗЕМАК)

Илија Хаџидаовски (ЗЕМАК)

Спасе Павловски (МЕПСО)

Претставник (ЕВН)

Катерина Димовски (МАКСТИЛ)

Елеонора Бекаровска (ОКТА)

МЕЃУНАРОДЕН ПРОГРАМСКИ ОДБОР

Проф. Вангел Фуштиќ - Претседател
(С.Македонија)

Членови

Акад. Љупчо Коцарев	(С. Македонија)
Акад. Глигор Каневче	(С. Македонија)
Проф. Харалд Вебер	(Германија)
Проф. Славе Арменски	(С. Македонија)
Проф. Петар Гверо	(Босна и Херцеговина)
Проф. Антон Чаушевски	(С. Македонија)
Проф. Младен Стојилјковиќ	(Србија)
Проф. Невенка К. Роглева	(С. Македонија)
Проф. Атанас Илиев	(С. Македонија)
Проф. Магдалена Крстаноски	(САД)
Проф. Зоран Панов	(С. Македонија)
Проф. Софија Н. Поцева	(С. Македонија)
Проф. Марјан Попов	(Холандија)
Проф. Имер Зенку	(С. Македонија)
Проф. Никола Попов	(Канада)
Проф. Ристо Филкоски	(С. Македонија)
Проф. Марко Цепин	(Словенија)
Проф. Даме Димитровски	(С. Македонија)
Проф. Димитар Димитров	(С. Македонија)
Проф. Зоран Марков	(С. Македонија)

ORGANIZING BOARD

Chairman

Blagoj Gajdardziski (ZEMAK)

Members

Dragan Mijalkovski (ZEMAK)

Igor Shesho (ZEMAK)

Ilija Hadzidaovski (ZEMAK)

Spase Pavlovski (MEPSO)

EVN (Delegate)

Katerina Dimovski (MAKSTIL)

Eleonora Bekarovska (OKTA)

INTERNATIONAL PROGRAMME COMMITTEE

Prof. Vangel Fustik - Chairman
(N.Macedonia)

Members

Acad. Ljupco Kocarev	(North Macedonia)
Acad. Gligor Kanevce	(North Macedonia)
Prof. Harald Weber	(Germany)
Prof. Slave Armenski	(North Macedonia)
Prof. Petar Gvero	(Bosnia & Herzegovina)
Prof. Anton Causevski	(North Macedonia)
Prof. Mladen Stojiljkovic	(Serbia)
Prof. Nevenka Kiteva Rogleva	(North Macedonia)
Prof. Zoran Panov	(North Macedonia)
Prof. Atanas iliev	(North Macedonia)
Prof. Magdalena Krstanoski	(USA)
Prof. Sofija Nikolova Poceva	(North Macedonia)
Prof. Marjan Popov	(Netherlands)
Prof. Imer Zenku	(North Macedonia)
Prof. Nikola Popov	(Canada)
Prof. Risto Filkoski	(North Macedonia)
Prof. Marko Cepin	(Slovenija)
Prof. Dame Dimitrovski	(North Macedonia)
Prof. Dimitar Dimitrov	(North Macedonia)
Prof. Zoran Markov	(North Macedonia)

**МЕЃУНАРОДНА КОНФЕРЕНЦИЈА
„ЕНЕРГЕТИКА 2022”**

ТЕМАТСКИ ОБЛАСТИ

1. ЕНЕРГЕТСКИ ПРОИЗВОДНИ КАПАЦИТЕТИ
2. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКИ СИСТЕМИ И КОМПОНЕНТИ
3. ОБНОВЛИВИ ИЗВОРИ НА ЕНЕРГИЈА
4. ЕНЕРГЕТСКА ЕФИКАСНОСТ И ПОТРОШУВАЧКА НА ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГИЈА
5. ЕНЕРГЕТИКА И ЖИВОТНА СРЕДИНА
6. ПРОЕКТЕН МЕНАЏМЕНТ И ДИГИТАЛНА ТРАНСФОРМАЦИЈА ВО ЕНЕРГЕТИКАТА
7. БЕЗБЕДНОСТ ПРИ РАБОТА И ПРОФЕСИОНАЛЕН РИЗИК

**INTERNATIONAL CONFERENCE
"ENERGETICS 2022"**

CONFERENCE TOPICS

1. ENERGY GENERATION CAPACITIES
2. POWER SYSTEMS AND COMPONENTS
3. RENEWABLE ENERGY SOURCES
4. ENERGY EFFICIENCY AND ELECTRICITY CONSUMPTION
5. ENERGETICS AND ENVIRONMENT
6. PROJECT MANAGEMENT AND DIGITAL TRANSFORMATION IN ENERGY SECTOR
7. PROFESSIONAL SAFETY AND PROFESSIONAL HEALTH RISK

ЦЕЛИ НА КОНФЕРЕНЦИЈАТА

Главна цел на конференцијата беше да обезбеди можност за демократска и стручна презентација на: искуства, важни информации, професионални постигнувања и истражување на експертите и професионалците од областа на енергетиката. Поканети беа релевантни енергетски компании, претставници од индустријата, истражувачките центри, универзитетите и останати субјекти, како и експерти од земјата и странство. Конференцијата претставуваше форум за споделување и размена на искуства и планови на локално, регионално и глобално ниво.

Според тематските области, на конференцијата беа презентирани и дискутирани предизвиците со кои се соочува енергетскиот сектор, особено компаниите, инвеститорите и корисниците. Со планираните дискусии и реферати се овозможи реална можност за

идентификација на соодветните механизми и активности со цел надминување на проблемите во земјата и регионот, како и зајакнување на меѓусебната соработката.

**СЕРТИФИКАТИ ЗА УСПЕШНО
УЧЕСТВО**

На конференцијата се одвиваа паралелно презентациски и постер сесии. Трудите беа рецензирани од страна на Меѓународниот програмски одбор и категоризирани во три категории: Информација, Стручен труд и Научен труд. За секој рецензиран и презентирани труд (без оглед на категоријата) Програмскиот одбор издаде Сертификат за успешно учество на конференцијата. Посебно беа охрабрани да земат активно учество младите истражувачи и студентите на сите три циклуси студии (дипломски, постдипломски и докторски студии), млади професионалци и истражувачи.

**МЕРЕЊЕ НА РЕФЛЕКТИВНОСТА НА
ТЛОТО И ПРИМЕНА КАЈ ФОТОВОЛТАИЧ-
НИ СИСТЕМИ**

Марија Арсова, Димитар Димитров
ФЕИТ – Скопје.....244

**MEASUREMENT OF SOIL REFLECTANCE
AND APPLICATION TO PHOTOVOLTAIC SYS-
TEMS**

Maria Arsova, Dimitar Dimitrov
FEIT-Skopje.....244

**4. ЕНЕРГЕТСКА ЕФИКАСНОСТ И
ПОТРОШУВАЧКА НА
ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГИЈА**

**ФАКТОРИ КОИ ВЛИЈААТ НА КВАЛИТЕТОТ
НА ПРОГНОЗИРАЊЕ НА ДНЕВНАТА
ПОТРОШУВАЧКА НА ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕР-
ГИЈА ВО ЕЛЕКТРОДИСТРИБУТИВНАТА
МРЕЖА НА ЕЛЕКТРОДИСТРИБУЦИЈА
(ОДС)**

Марко Димовски, Никола Ушинов
Оддел „Планирање и набавка на енергија” – ЕВН
Македонија.....253

**4. ENERGY EFFICIENCY AND
ELECTRICITY CONSUMPTION**

**FACTORS AFFECTING THE QUALITY OF
FORECASTING DAILY ELECTRICITY CON-
SUMPTION IN THE ELECTRICAL DISTRIBU-
TION NETWORK (DSO)**

Marko Dimovski, Nikola Ushinov
"Energy Planning and Procurement" Department -
EVNMacedonia.....253

**ЗГОЛЕМУВАЊЕ НА ЕНЕРГЕТСКАТА ЕФИ-
КАСНОСТ КАЈ ГАСНА ПЕЧКА ПРЕКУ
РЕКУПЕРАЦИЈА НА ТОПЛИНА**

Зоран Коцевски, Влатко Чингоски, Сашо Гелев
Електротехнички Факултет, Универзитет „Гоце
Делчев“ „Штип.....269

**INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF
A GAS FURNACE THROUGH HEAT RECOV-
ERY**

Zoran Kotsevski, Vlatko Chingoski,
Sasho Gelev
Faculty of Electrical Engineering, "Goce Delchev"
University, Shtip.....269

**ЗАШТЕДИ НА ЕНЕРГИЈА, ГОРИВА И
НАМАЛУВАЊЕ НА ЕМИСИИ НА СТАКЛЕ-
НИЧКИ ГАСОВИ ПРИ КОМБИНИРАЊЕ НА
ПОВЕЌЕ ЕНЕРГЕТСКИ ИЗВОРИ И ГОРИВА
ЗА ЗАДОВОЛУВАЊЕ НА ЕНЕРГЕТСКИТЕ
ПОТРЕБИ НА ОБЈЕКТИ НЕПОВРЗАНИ НА
МРЕЖА-ПРИМЕНА НА ТОПЛИНСКИ
ПУМПИ-ВОЗДУХ-ВОЗДУХ**

Круме СТОЈАНОВ
АД „ЕСМ” Подружница РЕК „Битола”.....279

**SAVINGS OF ENERGY, FUELS AND REDUC-
TION OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS
WHEN COMBINING MULTIPLE ENERGY
SOURCES AND FUELS TO MEET THE ENER-
GY NEEDS OF FACILITIES NOT CONNECTED
TO THE GRID - APPLICATION OF AIR-TO-
AIR HEAT PUMPS**

Krume STOJANOV
JSC "ESM" Subsidiary REK "Bitola".....279

**АНАЛИЗА НА КРИВАТА НА ОПТОВАРУВА-
ЊЕ ВО ЕЛЕКТРОДИСТРИБУТИВНАТА
МРЕЖА ПРЕДИЗВИКАНИ ОД ПРОМЕНИТЕ
НА ТАРИФНИОТ МОДЕЛ ЗА СНАБДУВАЊЕ
СО ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГИЈА ВО ПЕРИО-
ДОТ 2012-2022 ГОДИНА**

Никола Ушинов, Игор Ристов,
Марко Димовски
Оддел „Планирање и набавка на енергија” – ЕВН
Македонија.....287

**ANALYSIS OF THE LOAD CURVE IN THE
ELECTRIC DISTRIBUTION NETWORK
CAUSED BY CHANGES TO THE TARIFF
MODEL FOR ELECTRICITY SUPPLY IN THE
PERIOD 2012-2022**

Nikola Ushinov, Igor Ristov, Marko Dimovski
"Energy Planning and Procurement" Department -
EVN Macedonia.....287

1992 - 2022
ОДБЕЛЕЖУВАЊЕ 30 ГОДИНИ ОД ОСНОВАЊЕТО
НА ЗДРУЖЕНИЕТО НА ЕНЕРГЕТИЧАРИТЕ НА
МАКЕДОНИЈА - ЗЕМАК

***CELEBRATION OF 30 YEARS OF THE MACEDONIAN ENERGY
ASSOCIATION - ZEMAK***



ЗГОЛЕМУВАЊЕ НА ЕНЕРГЕТСКАТА ЕФИКАСНОСТ КАЈ ГАСНА ПЕЧКА ПРЕКУ РЕКУПЕРАЦИЈА НА ТОПЛИНА

Зоран Коцевски, Влатко Чингоски, Сашо Гелев

Електротехнички Факултет, Универзитет „Гоце Делчев“ - Штип

e-mail(s): zoran.kocevski@hotmail.com, vlatko.cingoski@ugd.edu.mk, saso.gelev@ugd.edu.mk

Abstract: The potential for energy efficiency can be divided into two groups: measures determined based on technical solutions, and measures related to human psychology and the inclusion of changes in the daily habits. Most energy efficiency measures are financially acceptable and offer a quick return on investment, while some are financially more intense and with a longer period of return of the investment. This project describes a combined project for energy efficiency improvement based on the implementation of an energy recovery system from exhaust gases on industrial gas-fired furnaces and automatic regulation and control of fan speed depending on the temperature of the product. The basic idea is to re-use the energy from exhaust gasses initially released freely into the atmosphere by the development of a new heat recuperation system. Energy gained from the recuperation was re-used in the same furnace as a pre-heat fresh air improving the energy efficiency of the same furnace. Additionally, the authors explained the regulation and control of the cooling fans with VFD speed controllers based on the online measurement of the product temperature. The ROI of the project was less than one year.

Key words: Energy efficiency, Gas-fired furnace, Heat recuperation, Variable frequency drives

Куса содржина: Потенцијалот за енергетска ефикасност (ЕЕ) може да се подели во две групи: мерки утврдени врз основа на технички решенија и мерки поврзани со човечката психологија и промена на секојдневните навики. Повеќето мерки за ЕЕ се прифатливи од финансиски аспект и нудат брз поврат на инвестицијата, додека некои се финансиски поинтензивни и со подолг период на враќање на инвестицијата. Овој проект опишува комбиниран проект за подобрување на енергетската ефикасност базиран на имплементација на систем за обновување на енергија од издувни гасови на индустриски гасни печки и автоматско регулирање и контрола на брзината на вентилаторот, во зависност од температурата на производот. Основната идеја е повторно да се искористи енергијата од издувните гасови, која првично беше ослободена во атмосферата, со систем за рекуперација на топлината. Енергијата добиена при рекуперацијата повторно се користи во печката како пред-загреан свеж воздух подобрувајќи ја ЕЕ на истата печка. Дополнително, се користи и регулацијата и контролата на вентилаторите за ладење со контрола на нивната брзина (VFD), врз основа на онлајн мерење на температурата на производот. Инвестицијата се враќа за помалку од една година.

Клучни зборови: Енергетска ефикасност, гасни печки, топлинска рекулпација, електромотори со фреквентни регулатори.

1. ВОВЕД

1.1 Енергетски менаџмент

Терминот „Енергетски Менаџмент” (ЕМ) воведен е во осумдесеттите години на минатиот век [1]. Постојат повеќе дефиниции за него. Според VDI 4602, ЕМ претставува проактивна, организирана и систематска координација на набавките, конверзија на енергија, пренос и употреба на енергија, сè за да се постигнат побарувањата [2]. Притоа, ЕМ треба паралелно да ги разгледува економските цели заедно со целите на животната средина. Од друга страна, според стандардот ISO50001: 2011 ЕМ претставува управување со енергијата и е збир на меѓусебно поврзани или интерактивни елементи за да се утврдат енергетската политика и енергетските цели, како и процесите и процедурите за постигнување на тие цели [3].

Накратко, ЕМ е систематски организирана техничка алатка која овозможува идентификација и примена на мерки за намалување на потрошувачката на енергија и трошоците за енергија и овозможува намалување на негативното влијание врз животната средина во процесот на создавање и употреба на енергијата [4]. Во рамките на една компанија, типичниот процес на ЕМ започнува со:

- анализа на постоечка енергетска состојба,
- анализа на процесот на снабдување и производство на енергија, и
- подобрување во користење на енергијата.

Имплементација на ЕМ се базира на т.н. Демингов циклус PDCA (Plan-Do-Check-Act):

- **Plan** – воспоставување на анализа на енергија, енергетски индикатори, цели, задачи и акциони мерки кои ќе ги подобрат енергетските перформанси во согласност со компанијските политики;
- **Do** – имплементација на акциските планови за ЕМ;
- **Check** – мониторирање и мерење на процесите кои ги покажуваат енергетските перформанси и нивна споредба со целите и политиките, репортирање на резултати;
- **Act** – преземање на акции за континуирано подобрување на енергетските перформанси.

1.2 Енергетска анализа во компанијата

При анализирање на потрошувачката на енергија во една компанија која припаѓа на многу интензивната енергетска индустрија, беше откриено дека постојат сериозни потенцијали за намалување на потрошувачката на енергија. За да ги загрее производите на температура од приближно 500°C, компанијата користи четири големи печки на гас, секоја со инсталиран капацитет од околу 2 MW. Овие печки користат природен гас како примарен извор на енергија за горилниците и електрична енергија за задвижување на подвижните ленти и вентилатори користени за циркулација на топол воздух во внатрешноста на печката. Температурата на издувните гасови на овие печки изнесува над 300°C со проток на топол воздух од околу 4,000 до 5,000 m³/h, така што во воздухот низ одакот се троши (неповратно се губи) значителна количина на енергија.

Основната идеја на предложениот проект е да се испита дали оваа неповратно изгубена топлина од проток на издувни гасови може повторно да се користи на друго место во рамките на процесот на производство како процесна топлина. Така, наместо да користиме свеж воздух

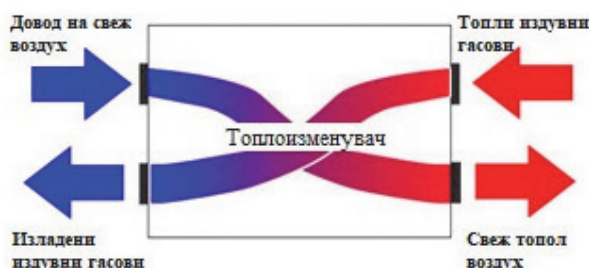
на влезот од печката со температура на околината, наш предлог е да се искористи енергијата на издувните гасови, да се поврати топлината на тие гасови преку разменуваач на топлина и да се врати топлината (енергијата) во форма на загреан свеж воздух на влезот на печката.

Дополнително, за време на процесот на следење на потрушавачката на енергија, забележано беше дека на излезот од печката постои т.н. зона на ладење. Во оваа зона, процесот на ладење на производите се изведува со дотур на свеж воздух кој не паѓа под 20°C во текот на целата година. За процесот на ладење во оваа зона инсталирани се два вентилатори, секој со инсталирана моќност од 22 kW. Нивната цел е преку циркулација на свеж воздух да ја спуштат температурата на производите на температура од околу 37°C . Авторите предлагаат преземање дополнителни мерки за заштеда на енергија со помош на контролирање на количината на свеж воздух кој се уфрла во зоната за ладење со помош на вентилатори напојувани и контролирани со регулатори на брзина со променлива фреквенција (VFD).

2. РЕКУПЕРАЦИЈА НА ТОПЛИНА ВО ГАСНА ПЕЧКА

2.1 Принцип на работа на рекуператор

Системите за рекуперација на енергијата се уреди дизајнирани да користат повторна употреба на топлина со употреба на разменуваач на топлина и вкрстен проток на медиуми во системите за вентилација и климатизација. Вообичаено, тие ја користат топлината од издувните гасови за да го загреат повратниот свеж и ладен воздух. Ваквиот систем се нарекува уште и систем на рекуперација (Сл. 1) бидејќи во него се врши преземање на енергија (топлина) од еден кон друг медиум, најчесто флуид [5]. Ваквите системи за рекуперација, кои уште можат да се сретнат под името топлоизменуваачи, вообичаено потрошената енергија повторно ја користат и на тој начин ја зголемуваат енергетската ефикасност на системот.



Сл. 1. Принцип на топлинска рекуперација [5]

Кај термички процеси каде се врши согорување на гориво со цел да се добие одредена енергија-топлина, топлоизменуваачите (рекуператори) служат за повторна употреба на дел од оваа топлина и нејзино враќање во системот подобрување на неговата ефикасност. По правило, при овој процес со цел да не се предизвика дополнително оптоварување на вентилаторите и зголемена потрошувачка на електричната енергија, падот на притисокот изнесува помеѓу 150 и 250 Pa .

Топлоизменуваач (Сл. 1) е уред која служи да направи топлинска измена помеѓу два или повеќе медиума [6]. Класификацијата на топлоизменуваачите може да биде во зависност од:

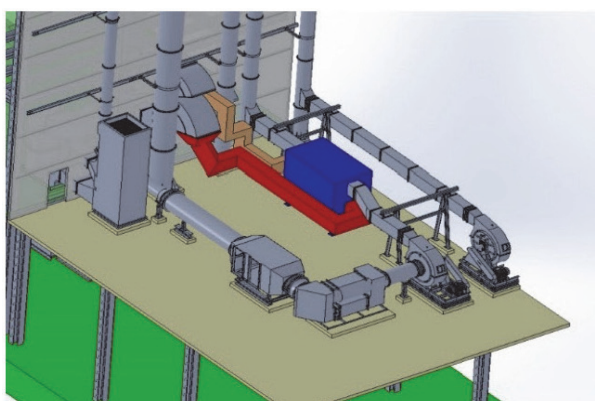
- бројот на флуиди,
- процесот на измена на топлина,

- компактоста на површината за размена на топлината,
- конструкцијата,
- насоката на проток на флуидот, и
- механизмот на трансфер на топлина.

При избор на соодветен топлоизменувач потребно е да се разгледаат сите горенаведени зависимости и типови на топлоизменувачи како би се одбрал најсоодветниот тип [7], [8].

2.2 Идејно решение за инсталација на топлоизменувачот (рекуператорот)

На Сл. 2 прикажано е идејното решение за инсталирање на рекуператорот (топлоизменувачот) на линијата за издувни гасови. Рекуператорот ќе биде поставен на тераса, веднаш позади процесниот вентилатор, а пред одакот. Предвидено е дополнително да се вградат два вентилатори во рекуператорот кои ќе служат за трансфер на свежиот воздух и за задоволување на потребниот проток и притисок. На влезните страни на примарната и секундарната страна се поставуваат соодветни филтри за воздух. Предвидено е материјалот за изработка на рекуператорот да биде SS 316 поради корозивната средина, додека рекуператорот ќе биде дизајниран така да нема да биде дозволено мешање на двата медиуми.



Сл. 2. Локација на топлоизменувачот

Предвидено е рекуператорот да биде монтажно – касетен поради потреби од проверки и редовно чистење со цел непречено функционирање на системот и можно опаѓање на енергетска ефикасност предизвикана од нечистотија. Целиот топлоизменувач ќе биде термички надворешно изолиран. За да се дефинираат димензиите и капацитетите на енергија потребно е да се направат мерења на волуменски проток и температурата на воздухот. Ова е потребно за да се дефинираат капацитетите на енергија која се исфрла преку одаците како и потребите за количина на свеж воздух.

2.3 Мерење на процесните параметри на печката

Мерењето на процесните параметри е направено во посебни мерни точки – уводи во линијата за свеж воздух и издувната линија на печката. Користен е преносен инструмент за мерење на проток и температура KURZ 4222. Направени се пет последователни мерења на различна позиција на каналите и е земена просечна вредност од добиените резултати.

Табела 1. Просечна вредност на проток и температура на воздух во печката

	Проток [Nm ³ /h]	Температура [°C]
Издувни гасови – излез од печка	5,000	300
Свеж воздух во печка – влез во печка	5,000	35

Ефикасноста на системот за топлинска рекуперација може да биде поголема, меѓутоа, заради ограничениот простор на терасата и големината на опремата, земено е само 50% ефикасност на топлоизменувачот на топлина. Количината на енергија што може да се добие се пресметува со следните формули:

$$Q = m C_p \Delta t \quad (1)$$

$$m = \rho V \quad (2)$$

$$P = \frac{Q}{t} \quad (3)$$

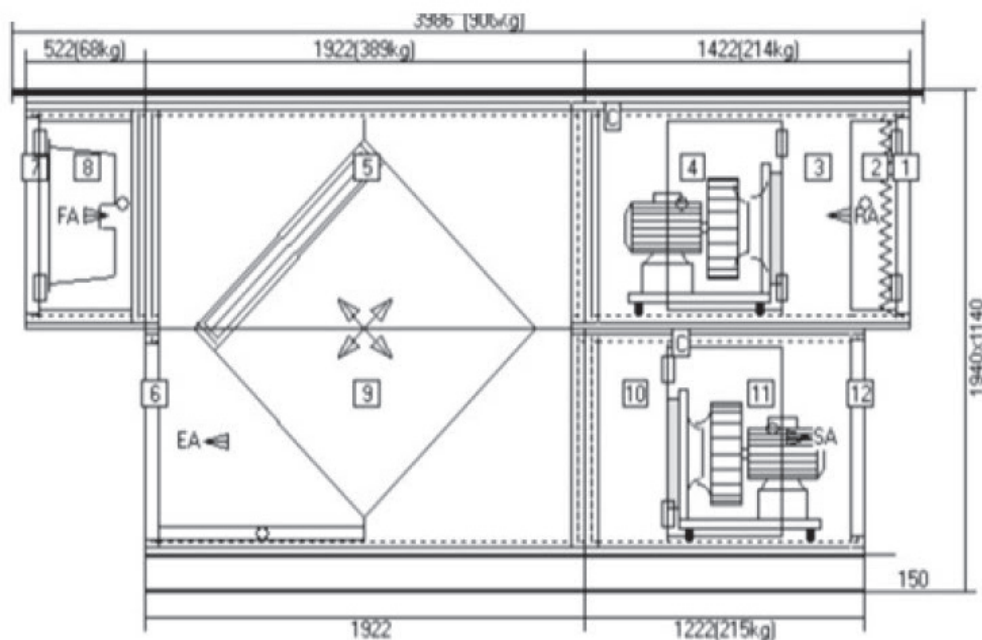
каде, Q е енергија, m е маса, $C_p = 1,006 \text{ kJ/kgK}$, е специфичен топлински капацитет, $\rho = 1.16 \text{ kg/m}^3$ е специфична густина, $\Delta t = 134.5^\circ\text{C}$, додека $V = 5,000 \text{ m}^3/\text{h}$ е волумен на протокот на свеж воздух во печката, и P е вкупната моќност.

Поради непрекинат работен процес, вкупниот број на работни часови и вкупната количина на топлина која може да се двојно искористи може да се пресмета како производ од вкупниот број на работни часови во годината и количината на искористена енергија на час, односно за 8,760 часови, вкупната вредност на рекуперира (повторно искористена) енергија изнесува:

$$Q = P \cdot t = 217 \left[\frac{\text{kW}}{\text{h}} \right] \cdot 8,760 = 1,900 \text{ MWh} \quad (4)$$

Овие едноставни пресметки покажуваат дека овој процес има голем потенцијал за заштеда на енергија во вредност од дури 217 kW/h, или вкупно, приближно 1,900 MWh/годишно. Дел од енергијата на издувните гасови преку топлоизменувачот се враќаат назад во истата печка како пред-загреан воздух на влезот на печката.

На Сл. 3 прикажан е напречен пресек на предложениот систем за рекуперација. Како што претходно напоменаваме, тој има филтри за воздух од двете страни, за свеж воздух и за повратен воздух, додека во неговата внатрешност се наоѓа топлоизменувачот кој работи на принцип воздух-воздух. Два вентилатори треба да бидат вградени на влезната и излезната страна и истите можат да бидат напојувани од регулатори на брзина со што се обезбедува континуиран проток на воздух за да не се предизвика дебаланс на притисок во внатрешноста на печката. Добиените податоци од системот за разменување на топлина се дадени во Табела 2 каде може да се забележи дека моќноста на системот за рекуперација во летните работни услови (случај 2) изнесува 217 kW/h, со излезна корисна температура на воздухот од издувната страна од $165,5^\circ\text{C}$ и проток од $5,000 \text{ m}^3/\text{h}$. Со овие карактеристики, коефициентот на енергетска ефикасност изнесува 49,1%.



Сл. 3. Напречен пресек на топлоизменувачот

Табела 2. Технички детали на топлоизменувач

Energy efficiency:49.1% Class H4			Construction			
Technical details	Case 1		Case 2		Plate material	Stainless steel 316
Sens effectiveness wet(%)	50.8		50.8		Casing material	Stainless steel AISI 316 I
Sens effectiveness dry(%)	50.8		50.8		Mode:	Single
Temp. efficiency wet (%)	50.8		50.8		Layout:	Vertically
Temp. efficiency dry (%)	50.8		50.8		Width splitted:	No
Recuperation power	258.7		217.7		Extra sealant:	Yes
	Supply	Exhaust	Supply	Exhaust	Sealing	
Presure drop[pa]	68	68	68	68	Silicine sealing (max300C)	
Face velocity	1.85	1.85	1.85	1.85	Bypass	
Condensate[l/h]	0	0	0	0	Without bypass	
In					Environment	
Volume flow[m3/h]	5000	5000	5000	5000	Level above sea level:	
Density[kg/m3]	1.16	1.16	1.16	1.16	300m(980.25hPa)	
Mass flow[kg/s]	1.610	1.610	1.610	1.610	Calculation base	
Temperature[C]	-15.0	300	35	300	input:standard volume	
Relative humidity[%]	85	0	40	0	Density define at20 C and efective level used	
Absolute humidity[g/kg]	0.9	0.0	14.6	0.0	Common information	
Enthalpy[kJ/kg]	-12.9	301.2	72.6	301.2	Max.diferential pressure=10000Pa	
Out						
Volume flow[m3/h]	5000	5000	5000	5000		
Density[kg/m3]	1.16	1.16	1.16	1.16		
Mass flow[kg/s]	1.610	1.610	1.610	1.610		
Temperature[C]	144.9	140.1	169.5	165.5		
Relative humidity[%]	0	0	0	0		
Absolute humidity[g/kg]	0.0	0.0	0.0	0.0		
Enthalpy[kJ/kg]	145.5	142.9	170.2	203.6		

3. АВТОМАТСКА КОНТРОЛА НА БРЗИНАТА НА ВЕНТИЛАТОРИТЕ

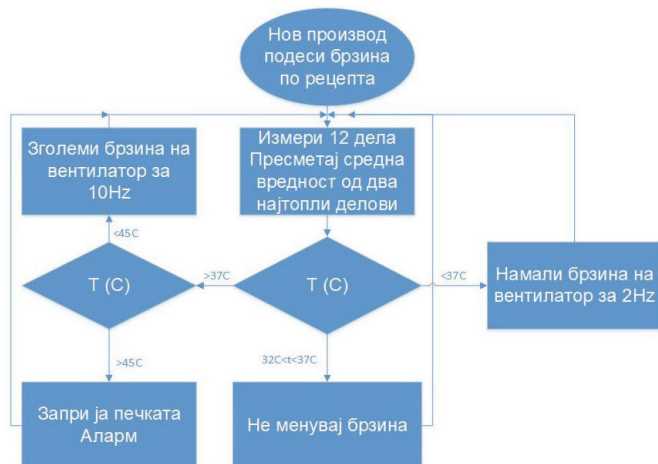
3.1 Принцип на автоматска регулација

Во функција на зголемување на енергетската ефикасност на целиот процес, покрај претходно дадената топлинска рекулпација, предложениот систем користи и систем за автоматско управување и регулација на брзината на вентилаторите на печките со што се врши контрола на количината на свеж воздух. При тоа се користи систем со повратна врска со мерење на температурата на крајниот производ како повратен параметар формирајќи функција на отстапување – грешка помеѓу мерените податоци и зададените. Заради брзината на движење на крајниот производ не се предвидува континуиран систем туку дискретен со мерење на температурата во однапред определени временски интервали. Во нашиот систем користиме т.н. секвенцијално управување, односно логички алгоритам кој се заснова на задоволување на однапред зададен услов – температурата на крајниот производ и управувачка логика – **ако (услов) => тогаш (акција)**, односно **(If – then)**.

Температурата на финалниот производ е променлива големина во зависност од големината на делот, неговата загреаност, надворешната температура како и од брзината на протокот на воздух со кој се лади делот, односно од брзината вртење на вентилаторите. Производот кој претходно е загреан на околу 500°C се лади во т.н. зона за ладење со помош на два вентилатори секој со 22 kW инсталирана моќност. Едниот вентилатор служи за внес на свеж воздух, а другиот за одведување на топол воздух од зоната за ладење. Моторите на вентилаторите се напојуваат преку фреквентни регулатори (VFD) и имаат можност за промена на брзина. Најчесто работат во двоен режим, зимски и летен и во поголемиот дел од времето работат со поголема брзина од оптималната. За мерење на температурата заради краткото време на мерење од само од 150 ms , избран е инфрацрвен бесконтактен температурен сензор Micro epsilon CTF SF15. Температурниот сензор е поставен во тесен процеп помеѓу две подвижни ленти по кои се движи делот, а времето на поминување на делот во просторот за мерење е подолго од осетливоста и брзината на мерачот и е доволно да се добијат корисни и точни вредности. Потребно е делот да биде измерен на дното бидејќи тој дел е најтопол и е референтна вредност за неговата температура.

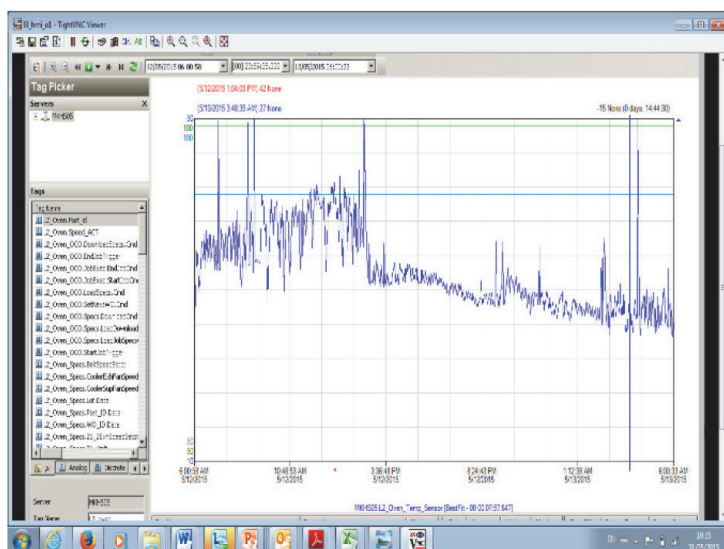
Температурниот сензор има аналоген струен излез $4 - 20\text{ mA}$ и е поврзан на аналоген влез кон PLC и има подрачје на отчитувања од $0 - 100^{\circ}\text{C}$, во кој случај регулацијата на брзината на моторите е фиксна и претходно дефинирана. Секое друго температурно читање надвор од тие граници се смета за невалидно. Земањето на податоците од температурата на делот е дискретно во точно определен момент за чија намена поставен е друг сензор за детекција на дел и во истиот момент мерачот на температура ја мери неговата температура. На тој начин се избегнува лажно отчитување на температурата без присуство на производот.

На Сл. 4 дадена е логиката на мерења и подесување на брзината на вентилаторите. Се анализираат дванаесет последователни делови и се зема средна вредност од двата најтопли делови. Подесената температура е 35°C со граници од 32°C до 37°C во кој случај брзината на вентилаторите не се менува. Ако средната температура е помала од 32°C , тогаш брзината на вентилаторот се намалува за 2 Hz (до $\min 20\text{ Hz}$).



Сл. 4. Логика на управување на брзина на вентилатор

На Сл. 5 прикажан е еден типичен тренд на промената на температурата на кој се гледа промената на температура на мерените делови во текот на еден ден во месец мај. Температурата се движи во граници од 27°C до 42°C и при тоа брзината на вентилаторите е максимална. Ова кажува дека е можна регулација, односно намалување на брзината на вентилаторите во текот на ноќта и останатите месеци во текот на целиот ден освен во текот на летото бидејќи во тој период потребно е ладење на делови со надворешен воздух и температура помала од 30°C при што брзината на двата вентилатори во зоната на ладење е максимална. При тестирањето на постапката, менувана е брзината постепено и истата е намалена до половина од нејзината номинална вредност, при што следена е температурата на деловите кои излегуваат од печка и е забележано дека температурата на деловите незначително се зголемува.

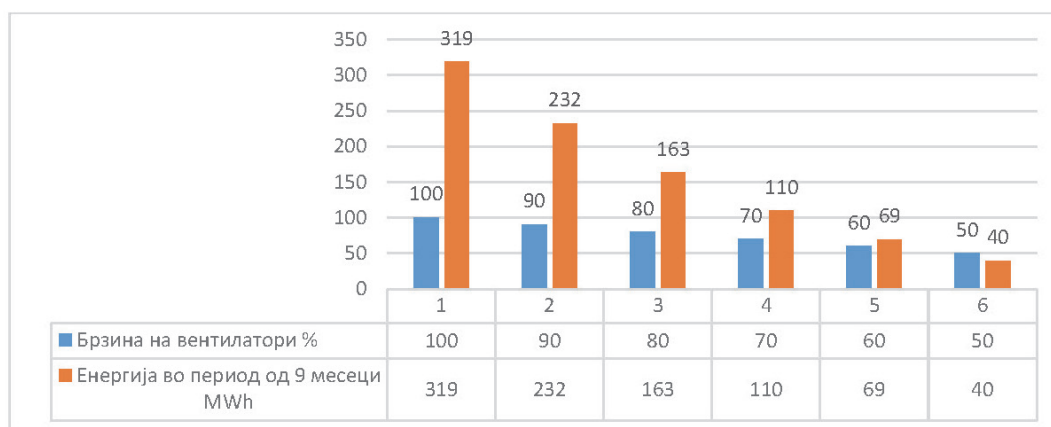


Сл. 5 Графички приказ за снимена температура на производот

Температурата на крајниот производ силно зависи од брзината на вентилаторите, односно од количината на проток на воздух за ладење, додека енергијата која ја трошат вентилаторите исто така силно зависи од нивната брзина (види Сл. 6 и 7). Од приложените резултати може да се забележи дека вкупната енергетска заштеда за период од 9 месеци (со исклучок на летните месеци) со просечно намалување на брзината на вентилаторите на 60% изнесува околу 250 MWh, додека со намалување на брзината на 50% од номиналната, енергија изнесува само 1/8 од енергијата која ја трошат вентилаторите кога работат со номинална брзина. На овој начин се продолжува и животниот век на самите вентилатори.



Сл. 6 Зависност на температура на производот од брзината на вентилаторот



Сл. 7 Зависност на енергија од брзината на вентилаторите

4. ЕКОНОМСКИ ПРИДОБИВКИ ОД ПРОЕКТОТ И ЗАКЛУЧОК

За да се определат економските придобивки од овој проект потребно е да се дефинираат цените на енергенсите како и бројот на работни часови. Имајќи ги предвид сегашните цени на природниот гас и електричната енергија кои се користат во производниот процес, заштедите можат да бидат значително големи. Во Табела 3 дадени се единечните цени на параметрите кои влегуваат во оваа пресметка, додека во Табела 4 се дадени годишните очекувани финансиски заштеди од предложениот проект.

Табела 3. Цени на енергенсите и работни часови на опремата

Потребна количина на природен гас $\text{CH}_4 \text{ Nm}^3/\text{kWh}$	10 kWh/m ³
Природен гас CH_4	150 €/MWh
Електрична енергија	200 €/MWh
Работни часови на топлоизменувач	8,760 h/y
Работни часови на регулација на брзина на вентилатори	6,600 h/y

Табела 4. Годишни пресметани заштеди

	Топлинска рекуперирација	Автоматска регулација на брзината на вентилаторите
Заштеда на енергија [MWh/годишно]	1,900	146
Финансиска заштеда [€/годишно]	285,000	29,200

Од Табела 4 се гледа дека очекуваните финансиски заштеди се на ниво од преку 300.000 €/годишно. Ако при тоа се земе во предвид дека вкупните инвестиции за целосна имплементација на овој проект не ја надминуваат вредноста од 120,000 €, тогаш може да се заклучи дека оваа инвестиција би се исплатила за помалку од една година. Во овие резултати пресметана е само можната заштеда на енергија и пари без притоа да бидат земени во предвид каматните стапки и трошоците за неработење на погонот за време на инсталација. Ваквата голема заштеда на енергија во период кога енергенсите на светскиот пазар, а соодветно и кај нас се исклучително високи, како и брзиот поврат на инвестицијата индицираат реализација на овој проект. Дополнително, со реализација на овој проект значително би се намалила и емисијата на штетни гасови во атмосферата, пред се емисијата на CO_2 .

РЕФЕРЕНЦИ

- [1] Wikipedia – https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_management
- [2] Industry Standard – VDI 4602
- [3] Industry Standard – DIN EN ISO 50001
- [4] [EnergieManager \(IHK\) | European EnergyManager](#)
- [5] Heat recovery system – http://www.soloheatinginstallations.co.uk/heat_recovery.htm
- [6] Wikipedia – https://en.wikipedia.org/wiki/Heat_exchanger
- [7] <http://web.iitd.ac.in/~pmvs/courses/mel709/classification-hx.pdf>
- [8] Wikipedia – <https://en.wikipedia.org/wiki/Recuperator>