

**Владан Карамарковић, Раде Карамарковић,  
Миљан Марашевић**

Машински факултет у Краљеву, Универзитет у Крагујевцу, Србија

## **Механизам чистог развоја Кјото протокола**

Стручни рад

UDC: 502.174/.175:620.9

BIBLID: 0350-218X, 33 (2007), 1-4, 3-12

*У овом раду је показан позитиван ефекат на животну средину имплементацијом пројекта механизма чистог развоја у складу са Кјото протоколом. На овом примеру потенцијалног пројекта, постигнут је позитиван ефекат подизањем енергетске ефикасности у индустрији, искоришћењем отпадне топлоте садржане у димном гасу и смањењем топлотних губитака у околину. Инвестицијом, индустријски развијена земља са обавезом смањења емисије гасова стаклене башње, набавља сертификацију за смањење емисије, реализује пројекат који доприноси повећању енергетске ефикасности, другим речима, позитивно утиче на слабљење енергетског интензитета и помаже земљи у развоју.*

*Кључне речи: пројекат механизма чистог развоја, енергетска ефикасност, отпадна топлота, ефекат стаклене башње, топлотни губитак*

### **Увод**

Пораст броја становника на земљи и убрзани индустријски развој, условили су повећање коришћења свих ресурса, нарочито фосилног горива, и неконтролисано глобално загревање ваздуха, загађивање воде и тла, промену климе, повећање нивоа мора и оштећење озонског омотача. Процењује се да је количина угљендиоксида повећана од средине осамнаестог века до 2000. године за приближно 34%, а садашња концентрација CO<sub>2</sub> у ваздуху од 375 ppm већа од било које вредности у геолошкој историји наше планете [2]. Дуго задржавање CO<sub>2</sub> у атмосфери повећава и ефекат зрачења, због чега његов удео у глобалном загревању износи 53%. Извештаји Међу-

народног панела за промену климе показују да се у току 21. века са постојећим трендом повећања емисије гасова са ефектом стаклене баште (green hous gases) (ГХГ) очекује даље глобално загревање атмосфере и пораст глобалне температуре ваздуха крајем 2100. године у границама од 1,4–5,8 °C [2].

Вишегодишња научна истраживања климатских промена указују да ће се у наредном периоду загревање ваздуха мењати од регије до регије. Југоисточна Европа се сврстава у групу угрожених региона који ће, због повећања температуре ваздуха и смањених падавина, бити суочени са бројним негативним последицама климатских промена. Негативне последице повећања емисије ГХГ у наредном периоду су раст нивоа мора и промена у интензитету и учесталости појаве климатских екстрема са размерама непогода и катастрофа. Најоптималније анализе указују да се од краја овог века очекује раст нивоа мора од 9–88 cm.

Због све веће угрожености животне средине повећањем емисије ГХГ, Конференција Уједињених нација за животну средину и развој је јуна месеца 1992. године усвојила Оквирну конвенцију Уједињених нација о климатским променама. Основни принципи Конвенције се односе на:

- заједничку али издиференцирану одговорност чланица, и веће учешће индустријски развијених земаља у заштити климатског система,
- уважавање специфичних околности неразвијених и земаља у развоју, а посебно оних земаља на које највише утиче промена климе или које би реализујући обавезе Конвенције сносиле несразмерно велики терет,
- право земаља које су ратификовале Конвенцију на одрживи развој,
- предострожност, због великог ризика и негативног утицаја на климатски систем, и сарадња на унапређењу међународног економског система која би омогућила стабилан економски развој свих чланица, а посебно земаља у развоју.

### **Кјото протокол и механизми**

Најзначајнија одлука Конференције чланица Оквирне конвенције Уједињених нација о климатским променама је споразум донешен на трећем заседању Конвенције које је одржано 1997. године у Кјоту у Јапану усвојен као Кјото протокол. Овим протоколом 38 индустријски развијених земаља се обавезало да ће у периоду од 2008–2012. године смањити антропогену емисију ГХГ (угљендиоксид, метан, азот-субоксид, флуороугљоводоник, перфлуороугљоводоник, сумпорхексафлуорид) у просеку за 5,2% у поређењу са емисијама из 1990. године. Државе чланице Анекса 1 могу саме да одлуче које ће од наведених гасова укључити у стратегију смањивања емисије. Земљама у развоју нису уведене никакве нове обавезе осим оних које су утврђене Оквирном конвенцијом Уједињених нација о климатским променама дефинисане општим обавезама протокола [1]:

- припрема инвентара ГХГ према упутствима које је усвојила Конвенција,
- ажурирање, израду и објављивање националних програма са мерама за ублажавање промене климе,
- сарадња у развоју, примени еколошки прихватљивих технологија, и
- сарадња и унапређење програма образовања у области заштите животне средине.

Одредбама Кјото протокола предвиђено је увођење механизма трговине емисијама, чиме је омогућен изванредан степен флексибилности за индустријски разви-

јене земље и земље у транзицији у погледу испуњавања обавеза које се односе на квантификовано смањење емисије ГХГ. Дефинисани су:

- механизам заједничке имплементације,
- механизам трговине емисијама, и
- механизам чистог развоја.

Механизам заједничке имплементације могу користити земље из Анекса 1 Конвенције. Индустрijски развијене земље путем заједничке имплементације пројеката којима се смањује емисија ГХГ на простору других земаља из Анекса 1 стичу право да резултат смањења емисије остварен кроз ове пројекте припишу испуњавању дела својих преузетих обавеза сагласно Кјото протоколу.

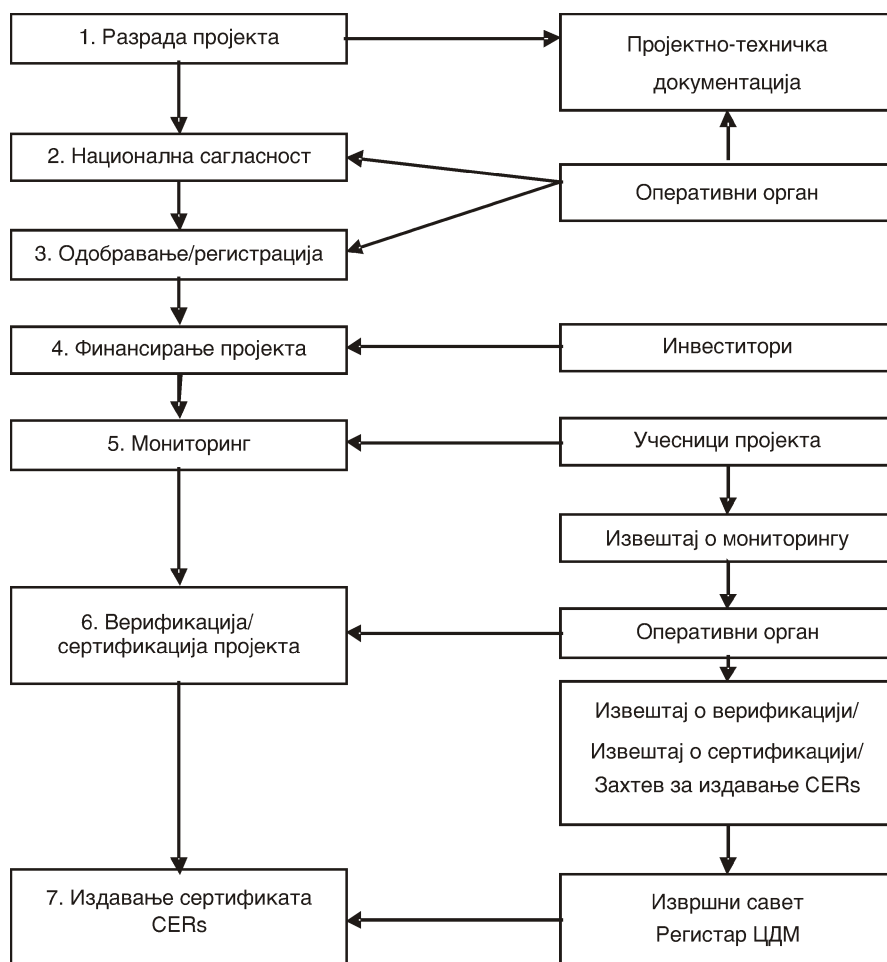
Механизам трговине емисијама је доступан само земљама које су на листи Анекса 1 Конвенције, начином да део својих додељених емисија које могу емитовати у току обавезујућег периода трансферишу другој земљи са листе Анекса 1.

### **Механизам чистог развоја**

Механизам чистог развоја (clean development mechanism) (ЦДМ) омогућава индустријски развијеним и другим земљама са листе Анекса 1 Конвенције да у земљама у развоју, међу којима је и наша земља, имплементирају пројекте којима се смањује емисија ГХГ при чему сертифициране редукције емисије генерисане таквим пројектима могу користити за испуњење дела својих обавеза у погледу смањења емисије [3]. Механизам је обострано користан. Инвестиције у смањење емисије ГХГ у развијеним земљама су много веће од инвестиција у земљама у развоју, а земље у развоју имају корист јер се средства улажу и у пројекте енергетске ефикасности што за њих има позитиван економски ефекат. Индустрijски развијене земље по основу дуга према природи испуњавају своје обавезе сагласно Кјото протоколу решавајући економске проблеме земљама у развоју. Земље учеснице у реализацији ЦДМ пројеката морају испуњавати допунске услове. Земље у развоју, да у ЦДМ пројекту учествују на добро-вољној основи, да имају именоване домаће националне органе (Domestic National Agency) и да су ратификовале Кјото протокол. Индустрijски развијене земље из Анекса 1 морају имати израчунату и регистровану емисију ГХГ гасова за први обрачунски период, успостављен национални систем за прорачун инвентара ГХГ, да врше годишњу инвентаризацију емисије ГХГ гасова, и да имају национални регистар купљених и продатих јединица редуковане емисије. ЦДМ пројекти могу бити из следећих области:

- енергетска ефикасност у производњи енергије и на нивоу корисника,
- обновљиви извори енергије (геотермална, соларна, енергија ветра, енергија биомасе и енергија малих водотокова),
- супституције горива,
- когенеративна производња топлотне и електричне енергије,
- пољопривреде (смањење емисије метана и азотсубоксида),
- индустрије, и
- пројекти апсорпције угљендиоксида (пошумљавање и ревитализација шума).

Пројектни циклус за реализацију ЦДМ пројеката представљен је на сл. 1 [2].



Слика 1. Пројектни циклус реализације ЦДМ пројекта

### ЦДМ пројекат у индустрији – енергетска ефикасност

Ефекти имплементације ЦДМ пројекта, једног од механизма Кјото протокола, биће представљен на потенцијалном пројекту повећања енергетске ефикасности у индустрији, на ротационој пећи за калцинацију доломита.

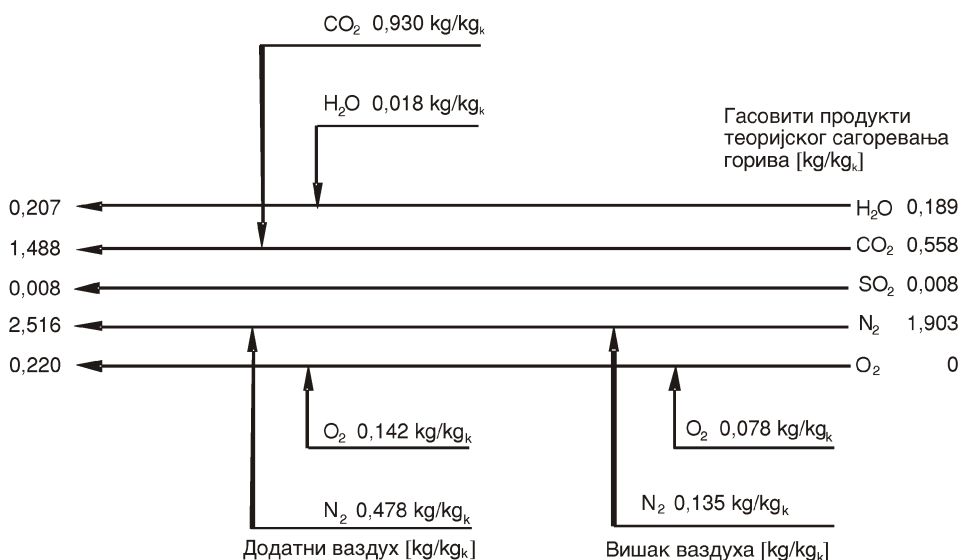
Процесе у ротационим пећима карактерише висока специфична потрошња топлоте по јединици производа. Материјални и топлотни биланс одређен на основу експерименталних резулата (табл. 1) [4] показује да су најизраженији топлотни гу-

бици услед спољашњег расхлађивања и топлотни губитак садржан у физичкој топлоти гасовитих продуката.

Три су могућности за смањење топлотног губитка кроз плашт ротационе пећи – наносење одговарајућих премаза, екранизација ротационе пећи и коришћење конвективно-зрачног размењивача топлоте (сл. 2).

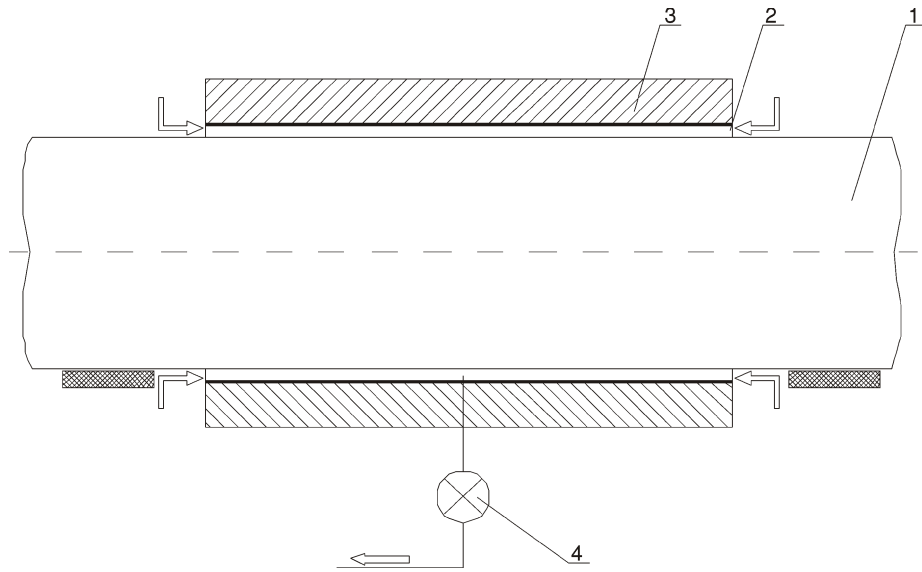
**Таблица 1. Топлотни биланс ротационе пећи**

	[kg/kg <sub>k</sub> ]	[%]
Топлота гасовитих продуката процеса	1424,6	19,65
Физичка топлота калцината	1041,2	14,37
Топлота декарбонизације	3023,1	41,70
Физичка топлота прашине	18,2	0,25
Топлота декарбонизације прашине	14,6	0,20
Топлота сушења сировине	48,0	0,66
Топлота која се губи кроз плашт пећи	1679,6	23,17



**Слика 2. Материјални биланс гасовитих продуката**

Примена конвективно-зрачног размењивача топлоте са централним извођењем загрејаног ваздуха (сл. 3) омогућава коришћење укупне топлоте која се зрачењем и конвекцијом губи са првог сегмента плашта ротационе пећи у зони калцинације. Размењивач топлоте је без покретних делова и механизма за заптивање. Основни услов који мора бити задовољен при одређивању геометријских величина рекуператора је једнакост укупне отпадне топлоте која се зрачењем и конвекцијом губи са првог сегмента плашта пећи, и топлоте загревања ваздуха. Ако је



**Слика 3. Централно извођење загрејаног ваздуха**

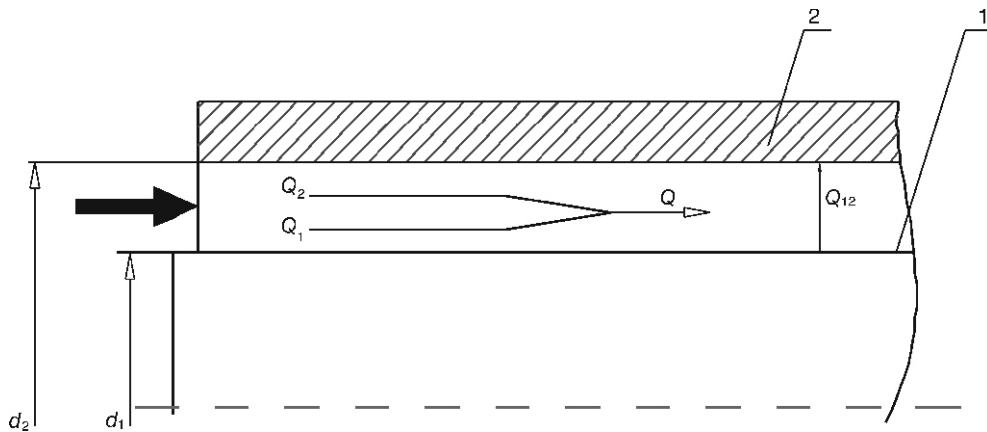
(1) – ротациона пећ, (2) – рекујерајтор, (3) – изолација, (4) – вентилатор

једнакост поремећена, настаје прегревање плашта пећи (мања размена топлоте), односно поремећај технолошки дефинисаних параметара (већа размена топлоте).

Размењена количина топлоте (сл. 4) одређује се коришћењем следећег система израза:

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (1)$$

$$Q_{12} = Q_2 + Q_g \quad (2)$$



**Слика 4. Шема размене топлоте**

(1) – ротациона пећ, (2) – рекујерајтор

Величине у изразима (1) и (2) имају следеће вредности:

$$Q_1 = h_1 A_9 (T_9 - T_{1sr}) \quad (3)$$

$$Q_2 = h_2 A_1 (T_1 - T_{1sr}) \quad (4)$$

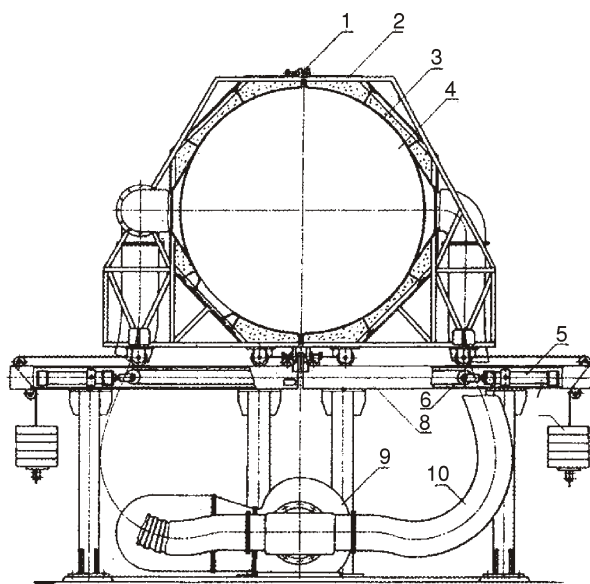
$$Q_{12} = C_{12} H_{12} \frac{T_9}{100}^4 - \frac{T_1}{100}^4 \quad (5)$$

$$Q_g = 0,03 Q \quad (6)$$

$$Q = \dot{m}_1 c_{p1} (t_{12} - t_{11}) \quad (7)$$

Познавањем протока ваздуха кроз рекуператор ( $m_1$ ), и размењене количине топлоте ( $Q$ ), из израза (7) одређује се температура загрејаног ваздуха ( $t_{12}$ ). Наведене величине су неопходне да би се коришћењем система израза (1) и (2) одредиле геометријске карактеристике и средња температура на унутрашњој површини плашта рекуператора.

Конвективно-зрачни рекуператор топлоте представљен на сл. 5. састоји се из два полуцилиндрична омотача која се међусобно додирују дејством константне силе хидрауличких цилиндара (5). Као заптивни материјал између полуцилиндара користи се азбестна трака. Спољашња површина рекуператора је изолована минералном вуном (2). Међусобно растојање између полуцилиндара се остварује регулационим завртњима (1) који су постављени по дужини рекуператора. Хладан гасовити флуид улази у прстенасти простор између ротационе пећи и унутрашње површине рекуператора топлоте (3) са чеоних страна, а изводи се на средини рекуператора помоћу флексибилног цевовода (10). Полуцилиндрични омотачи се преко металних точкава ослањају на хоризонталне шинске носаче (8). У случају ма ког поремећаја полуцилиндри се раздвајају растерећењем хидрауличких цилиндара (5) и дејством силе тежине тегова на странама полуцилиндара (7). Принудно струјање флуида кроз рекуператор се остварује помоћу стабилног вентилатора (9).



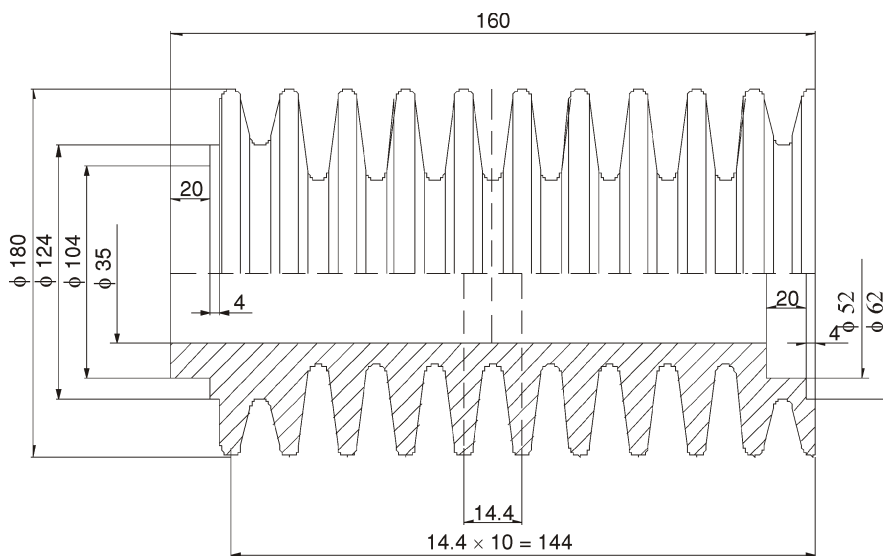
Слика 5. Конвективно-зрачни рекуператор топлоте

Анализа топлотног биланса показује да се рекуперацијом дела отпадне топлоте са првог сегмента плашта ротационе пећи термички степен корисности може повећати за 12,5%, односно за исти проценат смањити специфична потрошња топлоте по јединици производа.

Топлотни губитак садржан у физичкој топлоти продуката настаје услед постојања разлике између енталпије гасовитих продуката и енталпије околине. На вредност топлотног губитка утиче више параметара од којих су свакако најзначајнији температура, проток и састав гасовитих продуката. Основну тешкоћу при коришћењу физичке топлоте продуката представља висока концентрација чврстих летећих честица, што условљава примену специјалних, механички отпорних материјала за израду регенератора.

При одређивању геометријских карактеристика регенератора тежило се интензификацији размене топлоте са стране продуката повећањем коефицијента прелаза топлоте и површине за размену топлоте. Истовремено, одабрана конструкција рекуператора коју чини оребрени одливак (сл. 6) који је навучен преко челичне цеви спречава појаву таложења чврстих честица садржаних у гасовитим продуктима.

Применом регенеративног размењивача топлоте [4] и смањењем температуре продуката за 220 °С задржавајући температуру продуката на улазу у врећасту филтер на 120 °С, могуће је повећати термички степен корисности пећи за 13,73%.



Слика 6. Оребрени одливак рекуператора

Смањењем топлотног губитка садржаног у физичкој топлоти гасовитих продуката и коришћењем дела отпадне топлоте са плашта ротационе пећи, могуће је смањити потрошњу горива (течно гориво) по јединици производа за 26,23%, односно за 4 343 688 kg годишње.



Смањење емисије  $\text{CO}_2$  на годишњем нивоу одређено је на основу елементарне анализе течног горива односно процентуалног учешћа угљеника. Укупно годишње смањење емисије угљендиоксида које се може остварити реализацијом претходно наведеног пројекта рационализације је 13 710 417 kg  $\text{CO}_2$  годишње.

Техноекономска анализа извршена за постројење које се састоји из конвективно-зрачног и регенеративног размењивача топлоте показује да је период отплате уложених финансијских средстава као резултат смањења специфичне потрошње горива 1,9 година (без финансијских ефеката који настају смањењем емисије  $\text{CO}_2$ ).

### Закључак

Земље у развоју, од којих је највећи број презадужен, не могу значајно убрзати свој привредни развој без финансијске помоћи развијеног света. У билансу дуговања, развијене земље за свој ниво развоја дугују природи, природа неразвијеном свету који је у највећој мери сачувао биолошку равнотежу. Коначан биланс је, да развијене земље дугују неразвијеним земљама. Један од установљених механизма Кјото протокола који омогућава бржи развој неразвијених је и *Механизам чистог развоја*.

Пример потенцијалног ЦДМ показује да беневит који настаје реализацијом пројекта повећања енергетске ефикасности у индустрији коришћењем отпадне топлоте садржане у физичкој топлоти продуката и смањењем топлотног губитка услед спољашњег расхлађивања кроз плашт ротационе пећи припада инвеститору, индустријски развијеној земљи која има обавезу смањења емисије ГХГ, али и власнику постројења, земљи у развоју у којој се реализује ЦДМ пројекат. Рационализација омогућава смањење специфичне потрошње горива по јединици производа за 26,23% односно квантитативно на нивоу године за 4 343 688 kg течног горива, и представља помоћ земљи у развоју.

Инвеститору, индустријски развијеној земљи са обавезом смањења емисије ГХГ припада сертификовано смањење емисије  $\text{CO}_2$  које на годишњем нивоу има вредност од 13 710 417 kg  $\text{CO}_2$ .

### Ознаке

- $A_1$  – површина плашта ротационе пећи, [m<sup>2</sup>]
- $A_2$  – унутрашња екранска површина, [m<sup>2</sup>]
- $c_p$  – средњи специфични топлотни капацитет ваздуха, [kJ/kgK]
- $d_1$  – спољни пречник плашта ротационе пећи, [m]
- $d_2$  – унутрашњи пречник екранске површи, [m]
- $h_1, h_2$  – коефицијент прелаза топлоте, [W/m<sup>2</sup>K]
- [kg/kg<sub>k</sub>] – потрошња горива (течно средње тешког угља за ложење по килограму произведеног калцината)
- $\dot{m}_1$  – масени проток ваздуха, [kg/s]
- $Q$  – размењена количина топлоте, [W]
- $Q_1$  – размењена топлота конвекцијом између плашта пећи и ваздуха, [W]
- $Q_2$  – размењена топлота конвекцијом између плашта рекуператора и ваздуха, [W]

$Q_{12}$	– размењена топлота зрачењем између пећи и плашта рекуператора, [W]
$Q_g$	– топлотни губитак кроз изолацију рекуператора, [W]
$t_{11}$	– температура улазног ваздуха, [°C]
$t_{12}$	– температура загрејаног ваздуха, [°C]
$T_1$	– температура спољне површине плашта ротационе пећи, [K]
$T_2$	– температура унутрашње стране екранске површи, [K]
$T_{1sr}$	– средња температура ваздуха, [K]
$\alpha_1$	– коефицијент прелаза топлоте са плашта пећи на ваздух, [W/m <sup>2</sup> K]
$\alpha_2$	– коефицијент прелаза топлоте са екранске површи на ваздух, [W/m <sup>2</sup> K]

## Литература

- [1] \*\*\*, Kyoto-Protocol, United Nations Framework Convention on Climate Change Secretariat
- [2] \*\*\*, Vodič za protokol iz Kjota uz okvirnu konvenciju UN o promeni klime, Među- narodni naučni forum „Dunav † reka saradwe“ Beograd, 2006.
- [3] J. Ellis, E. Levina, The Developing CDM Marke, International Energy Agency, 2005
- [4] V. Karamarković, M. Gašić, Primena rekuperativnih i regenerativnih razmewi- vača za korišćewe fizičke toplote gasovitih produkata, *Zbornik radova Рацио- нално коришћење енерџије*, Кораоник, 1995.

## Abstract

# Clean Development Mechanism of the Kyoto Agreement

by

*Vladan KARAMARKOVIĆ, Rade KARAMARKOVIĆ, and Miljan MARAŠEVIĆ*

**Faculty of Mechanical Engineering at Kraljevo,  
University of Kragujevac, Serbia**

In this paper is shown positive effect on the environment obtained by implementation of the CDM project according to Kyoto agreement. In this example of a potential project, positive effect is obtained by increasing energy efficiency in industry by the use of west heat contained in the physical heat of the flue gas and decreasing of heat loss into surroundings. An investor, the industrially developed country with obligation to reduce emission of greenhouse gases obtains certificated emission reduction, and realization of the project that allows increase of energy efficiency, in other words positively influence decline in energy intensity, helps a developing country.

*Key words: CDM project, energy efficiency, west heat, greenhouse gas, heat loss*

*Одговорни аутор / Corresponding author (В. Карамарковић)*  
E-mail: karamarkovic.v@maskv.edu.yu