



GAZEIFICAREA BIOMASEI SOLIDE ȘI COSTUL SINGAZULUI PRODUS

GHERMAN Cristina, ȘVEȚ Olga, ARSENI Lucia
Universitatea Tehnică a Moldovei

Rezumat. În lucrarea dată a fost determinat costul singazului produs din paie și chips-uri la diferite capacități ale gazificatorului, în condițiile Republicii Moldova. Pentru acesta, au fost determinate ratele de creștere ale costului anual. Costul nivelat al singazului a fost comparat cu costul nivelat al gazelor naturale.

Cuvinte cheie: biomasă solidă, gazeificare, singaz, rata de creștere, cost nivelat.

SOLID BIOMASS GASIFICATION AND THE COST OF THE SYNGAS

GHERMAN Cristina, ȘVEȚ Olga, ARSENI Lucia
Technical University of Moldova

Abstract. In this paper, there has been determined the cost of syngas produced from straw and wood chips, for gasifiers of different capacities, under the conditions of the Republic of Moldova. For this, the annual cost growth rates have been calculated. The levelized cost of syngas has been compared with the levelized cost of natural gas.

Keywords: solid biomass, gasification, syngas, growth rate, levelized cost.

ГАЗИФИКАЦИЯ ТВЕРДОЙ БИОМАССЫ И СТОИМОСТЬ ПРОИЗВЕДЕННОГО СИНГАЗА

ГЕРМАН Кристина, ШВЕЦ Ольга, АРСЕНИ Лучия
Технический Университет Молдовы

Реферат. В данной работе была рассчитана стоимость синтез-газа произведенного из соломы и чипсов, в газификаторах различных мощностей, в условиях Республики Молдовы. Для синтез-газа был определен годовой прирост стоимости. Выводенная стоимость синтез-газа была сравнена с выровненной стоимостью природного газа.

Ключевые слова: твёрдая биомасса, газификация, синтез-газ, прирост стоимости, выровненная стоимость.

1. INTRODUCERE

Republica Moldova este dependentă de resursele energetice din import. În anul 2010, consumul de gaze naturale a constituit cca 43 % din consumul total de energie în țară [1]. În ultimii ani, costul acestora este în continuă creștere. Rata anuală de creștere a costului gazelor naturale este aproximativ 8% anual (valoarea medie estimată pe o perioadă de 17 ani).

În aceste condiții, este cazul să ne orientăm către energia produsă din resurse indigene. La nivel local, cea mai accesibilă și mai ușor a fi valorificată resursă este biomasa solidă. Aceasta poate fi ușor convertită în diverse tipuri de energie, printre care și *gazul de sinteză* sau *singazul*.

Gazeificarea este o tehnologie de conversie a biomasei solide (în special a biomasei lemnoase) în gaze combustibile. În prezent, preocupările de mediu și prețurile crescânde la combustibilii tradiționali fac ca această tehnologie să devină tot mai atractivă pentru producerea energiei.

Avantajul de bază al tehnologiei constă în posibilitatea convertirii biomasei în singaz, pentru producerea ulterioară a electricității prin intermediul tehnologiilor

mature, precum motorul cu ardere internă.

În lucrarea dată se pune problema evaluării costului singazului produs din biomasă lemnoasă în condițiile Republicii Moldova. Pentru aceasta se va utiliza metoda modelului dinamic de determinare a cheltuielilor. De asemenea, în baza datelor obținute va fi determinată rata anuală de creștere a costului singazului. Costul nivelat al singazului urmează a fi comparat cu costul gazelor naturale din import.

2. O SCURTĂ PREZENTARE A TEHNOLOGIEI DE GAZEIFICARE A BIOMASEI SOLIDE

Gazeificarea biomasei reprezintă un proces termochimic de conversie a unei materii organice într-un produs gazos (singaz), prin intermediul oxidării parțiale a acesteia. Procesul are loc la temperaturi foarte ridicate, cu cantități mici de aer, pentru a nu admite arderea completă a biomasei, dar care să fie suficientă pentru realizarea gazificării [2].

Sistemele de gazeificare transformă biomasa solidă într-un amestec de gaze. Componentele de bază ale acestuia sunt, hidrogenul (H_2), metanul (CH_4) și monoxidul de carbon (CO). În afară de aceasta, în componența singazului se

mai numără bioxidul de carbon (CO_2), azotul (N_2) și alte gaze inerte.

Principalul element al unei instalații de gazeificare a biomasei solide este gazeificatorul, numit și reactor. Instalația mai include un sistem de purificare și condiționare a gazului și o instalație de stocare a singazului obținut.

Conversia biomasei începe cu procesele de uscare și fărâmițare, după care, aceasta este direcționată în buncărul reactorului de gazeificare (fig. 1).

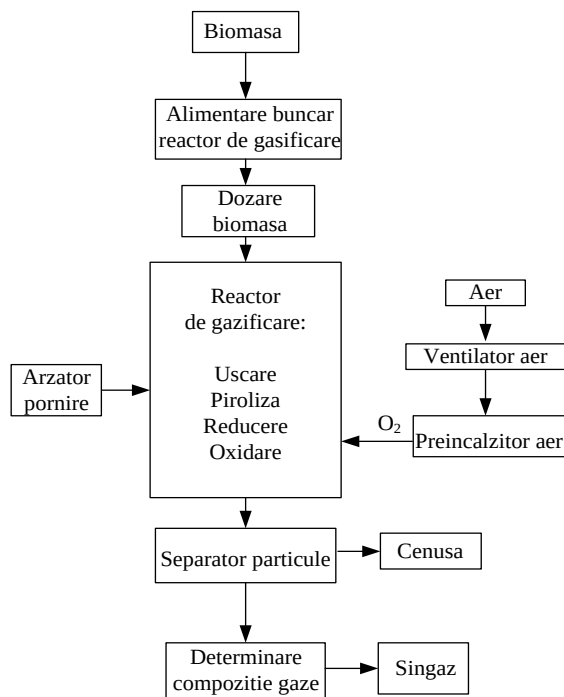


Figura 1. Procesul de gazeificare a biomasei

Alimentarea reactorului se face prin intermediul unui dozator. Cu ajutorul arzătorului de pornire, ce funcționează în baza unui combustibil fosil, are loc întreținerea procesului de oxidare a biomasei.

În calitate de agent de gazeificare este utilizat aerul. Acesta este îmbogățit inițial cu oxigen, după care este încălzit și introdus în sistem.

În reactor, biomasa este supusă următoarelor procese: uscare, piroliză, reducere și oxidare, în urma cărora se obține gazul de sinteză și cenușa.

Cu ajutorul unei pâlnii, gazul obținut este curățat de particulele solide și apoi trecut printr-un ciclon turbionar, unde are loc separarea particulelor fine. Cenușa este scoasă din proces cu ajutorul unui dozator, după care este stocată într-un colector special.

3. APLICAȚIILE PRINCIPALE ALE SINGAZULUI

Singazul este produsul final al procesului de gazificare a materiei solide organice ca rezultat al descompunerii termice a acesteia. În urma acestui proces se formează produse solide, lichide și gazoase.

Produsul *solid* are un conținut de carbon mai mare de 76 % și poate fi utilizat direct în scopuri industriale.

Produsele *lichide* pot fi folosite drept combustibil în cazane, turbine cu gaze sau motoare diesel.

Produsul *gazos* sau *singazul* poate avea mai multe aplicații în dependență de proprietățile acestuia.

Calitatea singazului produs depinde de tipul agentului de gazificare (aer, abur sau oxigen), metoda de procesare și condițiile procesului de operare.

De obicei, aerul este utilizat ca agent de gazeificare. Tehnologia gazeificării cu oxigen/abur și hidrogenarea, este, de asemenea, destul de răspândită. Utilizarea aburului drept catalizator influențează pozitiv performanța și eficiența globală a procesului de gazeificare a biomasei solide.

Singazul produs poate avea diferite valori ale căldurii inferioare de ardere (tab. 1).

Tabelul 1. Agentul de gazificare și valoarea căldurii inferioare de ardere la singazul

Nr. d/o.	Agent de gazeificare	Căldură inferioară de ardere, MJ/m ³	
1	Aer, abur/aer	mică	4-6
2	O ₂ , abur	medie	12-18
3	H ₂ , hidrogenare	înaltă	40

În dependență de valoarea căldurii inferioare de ardere, singazul poate fi utilizat în mai multe domenii (fig. 2) –

- Producerea directă a electricității (valoare mică)
- Transport - gaze combustibile (valoare mică)
- Industria chimică - producerea metanului și a metanolului (valoare medie și înaltă), etc.

Hidrogenul, un compus al singazului, în stare pură, poate fi utilizat la producerea pilelor de combustie pentru automobile și producerea energiei.

Prin intermediul procesului *Fischer-Tropsch*, un mol de CO reacționează cu doi moli de H₂ formând astfel alcooli primari (C_xH_{2x}). Prin intermediul reacției catalitice dintre CO și CO₂ cu H₂ se obține metanolul (CH₃OH).

În cele mai multe cazuri, gazeificarea biomasei se realizează cu scopul producerii gazelor combustibile (cu o valoare a căldurii inferioare de ardere medie sau joasă) care, ulterior, pot fi folosite drept combustibil pentru motoarele cu ardere internă datorită unui randament relativ bun al acestora.

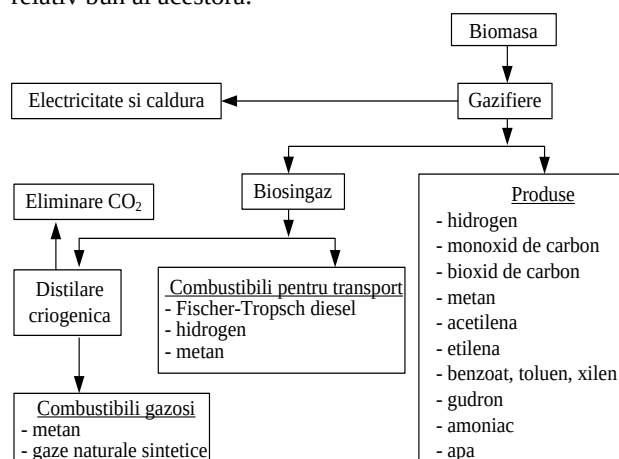


Figura 2. Derivate ale singazului produs din biomasa solidă

Producerea electricității din singaz mai poate fi realizată și prin *tehnologia turbinelor cu gaze* sau *tehnologia ciclului*

combinat cu gazeificare integrată (IGCC), ce permite valorificarea biomasei cu o eficiență destul de mare.

4. COSTUL SINGAZULUI PRODUS

ÎN INSTALAȚII DE MICĂ ȘI MEDIE PUTERE

De regulă, singazul se produce în zona locului de consum sau în zona disponibilității materiei prime. Costul acestuia depinde mult de tehnologia de gazeificare aplicată, caracteristicile materiei prime și capacitatea instalației de gazeificare.

Pentru determinarea costului singazului produs a fost aleasă tehnologia gazeificării cu aer, cu puteri instalate de: 150, 750, 1300 și 7000 kW, ce utilizează ca materie primă paiele sau așchiile de lemn (chips-uri). Tehnologia considerată este mai puțin costisitoare în comparație cu altele, însă singazul obținut are o căldură inferioară de ardere joasă. Pentru calcule a fost acceptată valoarea căldurii inferioare de ardere a singazului de 6 MJ/m³.

Costului singazului a fost determinat pentru două scenarii de calcul: *scenariul optimist* și *conservativ* pentru ambele tipuri de materie primă utilizată.

Scenariul optimist este caracterizat de un set de informații inițiale, care conduce către valoarea minimă a lui costului anual sau nivelat al singazului obținut -(rata de creștere a cheltuielilor pentru exploatare și mentenanță – min., costul combustibilului și rata anuală de creștere a acestuia – min., valoarea căldurii inferioare de ardere a combustibilului – max.).

Scenariul conservativ, la rândul său, este caracterizat de un alt set de informații inițiale, care conduce către valoarea maximă conservativă a costului anual sau nivelat al singazului.

Calculul costului singazului a fost realizat prin acceptarea unor parametri, comuni pentru utilizarea paielor și a chips-urilor drept combustibil:

- *Investiția specifică* în gazificator, este una mică, datorită tehnologiei de gazeificare considerate. Valoarea acesteia variază de la 2000 €/kW pentru capacitatea de 150 kW până la 600 €/kW pentru 7000 kW putere instalată [4].

- *Durata de studiu*. În calcule a fost acceptată o durată de studiu de 15 ani, unică pentru toate instalațiile, pentru a evita favorizarea unei sau altei opțiuni.

- *Durata de utilizare a puterii maxime*, reprezintă timpul de funcționare al instalației pe parcursul unui an, la parametri nominali. Acest parametru, de asemenea, este considerat unul comun și constituie 8000 h/an,

- *Cheltuielile pentru exploatare și mentenanță* sunt admise la nivelul de 4% din valoarea investiției în gazificator,

- *Randamentul instalației* este de 65 % [4].

- *Rata anuală de creștere a cheltuielilor pentru exploatare și mentenanță*. În calcule a fost acceptată rata de 5% pentru scenariul optimist și 7% - cel conservativ.

- *Costul combustibilului* în anul de referință. Costul paielor, acceptat în calcule: 40-60 €/t, iar costul chips-urilor: 80-100 €/t.

- *Rata anuală de creștere a costului combustibilului*: 3% pentru scenariul optimist și 5% pentru cel conservativ.

- *Căldura inferioară de ardere*, reprezintă o caracteristică importantă a biomasei utilizate. Valorile considerate în calcule - paie: 9-14 MJ/kg, așchii de lemn: 10-16 MJ/kg.

- *Rata anuală de creștere a consumului specific de combustibil* precum și *rata anuală de degradare a instalației* sunt admise la nivelul de 0,5 % anual;

- *Rata de actualizare sau costul capitalului* pentru toate instalațiile este de 12 % anual.

Costul singazului produs ($c_{t,sing}$) a fost determinat, utilizând modelul dinamic de calcul, care presupune raportarea cheltuielilor de calcul anuale (CA_t) la volumul anual de singaz produs în anul respectiv (V_t) –

$$c_{t,sing} = CA_t / V_t. \quad (1)$$

Cheltuielile de calcul anuale (CA_t) cuprind cheltuielile anuale cu investiția ($CA_{I,t}$), cheltuielile anuale pentru exploatare și mentenanță ($CA_{E\&M,t}$) și cheltuielile anuale cu materia primă ($CA_{comb,t}$) –

$$CA_t = CA_{I,t} + CA_{E\&M,t} + CA_{comb,t} \quad (2)$$

În tabelul 2 sunt prezentate rezultatele calculului realizate pentru gazificatorul cu puterea de 150 kW ce funcționează de paie și chips-uri, pentru primul și ultimul an de funcționare al instalației, scenariul optimist.

Tabelul 2. Costul singazului produs din paie, 150 kW

	Indicator	Unitate	Valoare			
			primul an		ultimul an	
			paie	chips	paie	chips
1.	$CA_{I,1}$	mii €	44	44	44	44
2.	$CA_{E\&M,1}$	mii €	12.6	12.6	24.9	24.9
3.	$CA_{comb,1}$	mii €	19.5	34.2	29.6	51.7
4.	CA_1	mii €	76.1	90.8	98.6	120.6
5.	V_1	MWh/an	1194	1194	1113.5	1113.5
6.	$c_{1,sing}$	€/mie m ³	106	127	148	181

Evoluția parametrilor de intrare determină creșterea costului singazului de la 106 €/mie m³ în primul an la 148 €/mie m³ în ultimul an al duratei de studiu în cazul utilizării paielor și pentru chips-uri 127 în primul an și respectiv 181€/mie m³ în ultimul an.

Conform tabelului 2, structura costului anual al singazului produs din paie este după cum urmează: 59% - cheltuielile cu investiția, 22% - cheltuielile cu exploatarea și mentenanța și 19% - cheltuielile cu combustibilul.

În tabelul 3 este prezentat costul singazului obținut din paie și chips-uri în primul an de funcționare a gazificatorului, pentru toate capacitățile considerate în calcule, valoarea optimistă și conservativă.

Tabelul 3. Costul singazului în primul an, €/mie m³

Capacitatea gazificatorului, kW		150	750	1300	7000
$C_{1,sing} -$	paie	106	83	71	51
$C_{1,sing} +$		144	121	109	89
$C_{1,sing} -$	chips	127	103	91	72
$C_{1,sing} +$		177	153	141	121

Datele obținute arată că costul singazului variază în limitele 51-144 €/mie m³ pentru paie și 75-177 €/mie m³,

în cazul utilizării chips-urilor.

În tabelul 4 este prezentat costul singazului produs în primul an, exprimat în echivalent gaze naturale. Acest lucru a fost realizat pentru o mai bună înțelegere a valorilor obținute.

Tabelul 4. Costul singazului în primul an, exprimat în echivalent gaze naturale, €/mie m³

Capacitatea gazificatorului, kW		150	750	1300	7000
C _{1, sing -}	paie	591	463	396	285
C _{1, sing +}		804	675	608	497
C _{1, sing -}	chips	709	575	508	402
C _{1, sing +}		988	854	787	675

Din tabelul 4 rezultă ceea ce este de așteptat, că pentru gazificatorul cu cea mai mare capacitate, costul singazului produs este cel mai mic. În particular, în cazul paielor costul singazului rezultă egal cu 285 €/mie m³ versus 349 €/mie m³ pentru gazele naturale din import [4]. Pentru o mai bună percepere a costului singazului obținut au fost admise următoarele ipoteze:

- primul an de funcționare a instalației – anul curent,
- costul singazului produs, exprimat în echivalent gaze naturale, se va compara cu costul actual al gazelor naturale, furnizate centralelor electrice cu termoficare (CET) și centralelor termice (CT), care este de 5237 lei/mie m³ [4] sau 349 €/mie m³, pentru o rată medie anuală de schimb valutar, r_s = 15 lei/€.

Astfel, comparând costul singazului produs în primul an, cu costul actual al gazelor naturale, se observă că producerea singazului din paie în la capacități mari este atractivă. De exemplu, pentru gazificatorul cu puterea de 7 MW, costul singazului în primul de funcționare variază în intervalul 285 – 497 €/mie m³.

În baza evoluției costului singazului pe întreaga durată de studiu, pentru ipotezele de calcul considerate, au fost determinate ratele anuale de creștere ale costului singazului (tab. 5).

Tabelul 5. Rate anuale de creștere ale costului singazului

Capacitatea gazificatorului, kW		150	750	1300	7000
r _{sing -}	paie	2,4	2,5	2,6	2,8
r _{sing +}		4,1	4,3	4,5	4,9
r _{sing -}	chips	2,6	2,7	2,8	3
r _{sing +}		4,4	4,6	4,7	5,1

Din analiza cifrelor obținute rezultă că rata anuală de creștere a costului singazului variază în dependență de puterea gazificatorului și are valori cuprinse între 2,4 și 4,9 % pentru gazeificarea paielor, și 2,6 - 5,1 % – pentru chips-uri.

Aceste rate pot fi utilizate la determinarea costului energiei produse prin diferite tehnologii ce utilizează singazul drept combustibil precum MAI, BIGCC etc.

Costul nivelat al singazului produs pe întreaga durată de studiu a fost determinat prin raportarea cheltuielilor totale actualizate (CTA) aferente producerii singazului, la volumul total actualizat al singazului produs pe întreaga durată de studiu (VTA) –

$$CNA_{sing} = CTA/VTA.$$

(3)

Cheltuielile totale actualizate au fost calculate ca suma cheltuielilor anuale de calcul (CA_t) actualizate, realizate pe întreaga durată de studiu –

$$CTA = \sum_{t=1}^{15} CA_t \cdot (1+i)^{-t}, \quad (4)$$

Volumul total actualizat al singazului produs se determină conform formulei –

$$VTA = \sum_{t=1}^{15} V_t \cdot (1+i)^{-t}, \quad (5)$$

unde V_t reprezintă volumul anual al singazului produs.

Costul nivelat al singazului pe întreaga durată de studiu, pentru ipotezele considerate, este prezentat în tabelul 6.

Tabelul 6. Costul nivelat al singazului, €/mie m³

Capacitatea gazificatorului, kW		150	750	1300	7000
CNA _{sing -}	paie	119	93	80	59
CNA _{sing +}		176	149	136	114
CNA _{sing -}	chips	144	118	105	83
CNA _{sing +}		220	193	179	157

Același cost, exprimat în echivalent gaze naturale, este prezentat în tabelul 7.

Tabelul 7. Costul nivelat al singazului, exprimat în echivalent gaze naturale, €/mie m³

Capacitatea gazificatorului, kW		150	750	1300	7000
CNA _{sing -}	paie	664	519	446	329
CNA _{sing +}		982	831	759	636
CNA _{sing -}	chips	804	658	586	463
CNA _{sing +}		1128	1077	999	876

Considerând datele din tabelul 6, în baza valorilor optimiste și conservative ale costului nivelat al singazului, au fost formate intervalele de incertitudine ale costului singazului, prezentate în figura 4.

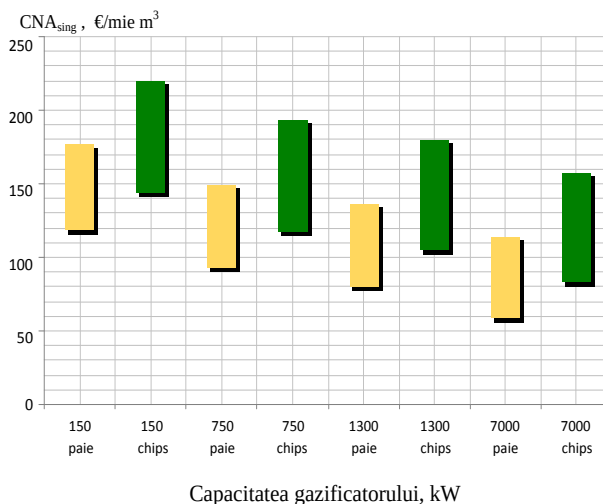


Figura 4. Intervalele valorilor costului nivelat al singazului

Din figura 4 ușor se observă că, odată cu majorarea capacității gazificatorului, costul nivelat al singazului

produs scade.

Utilizarea paielor comparativ cu chips-urile, conduce către costuri mai mici ale singazului; paiele au o căldură de ardere mai mică decât chips-urile, dar sunt și mai ieftine decât acestea.

Pentru compararea numerică a costului nivelat al singazului produs cu costul gazelor naturale, a fost determinat costul nivelat al gazelor naturale pentru perioada de studiu de 15 ani. Pentru aceasta, au fost admise 3 valori ale ratei de creștere a costului gazului natural: 2,5 și 5% (ca și în cazul evoluției costului singazului); și 8 % - o rată istorică a evoluției costului gazelor naturale. Astfel, pentru rata de 2,5% a rezultat un cost nivelat de 407 €/mie m³, pentru 5% - 478 €/mie m³, iar pentru 8% - 582 €/mie m³ gaze naturale (fig. 5).

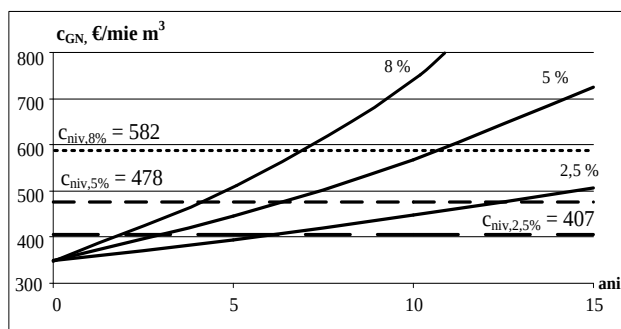


Figura 5. Evoluția costului anual al gazelor naturale și costul nivelat al acestora

Datele obținute permit de a observa că producerea singazului este atractivă din punct de vedere economic la capacități ale gazificatorului mai mari de 1300 kW.

5. CONCLUZII

- Promovarea producerii energiei din resurse regenerabile este o preocupare la nivel mondial. În Republica Moldova, biomasa solidă este o resursă regenerabilă accesibilă, ce merită a fi valorificată în scopuri energetice.
- Gazificarea biomasei solide este o tehnologie modernă, atractivă, utilizată pe larg pentru producerea energiei.
- În condițiile Republicii Moldova producerea singazului, este atractivă, din punct de vedere economic, doar pentru instalații cu capacitatea ce depășește 1 MW.
- Dacă tendința actuală de creștere a costului gazelor naturale se va menține, producerea singazului, în condiții locale, va deveni mai atractivă.
- Utilizarea paielor versus chips-urile pentru producerea singazului conduce către costuri mai mici.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Balanța energetică a Republicii Moldova, culegeri statistice 2010.
<http://www.statistica.md/pageview.php?l=ro&id=2197&idc=263>
- [2] Arion, Valentin „Biomasa și utilizarea ei în scopuri energetice”/Valentin Arion, C. Bordeianu, A. Boșcăneanu, A. Capcelea [et al.], Ch.: „Garomond Studio” SRL, 2008. – 268 p.
- [3] <http://www.altprofits.com/ref/ct/wei/wtgf/syngas.html>
- [4] Economic Assessment of Combustion Technologies for Specified Risk Material Disposal in British Columbia, STANTEC Consulting Ltd., Canada, December 2008, pp.49
http://www.agf.gov.bc.ca/resmgmt/SRM_Program/Reports/Economic_Assessment_of_Combustion_Technologies_for_SRM.pdf
- [5] <http://www.anre.md/>