

ASPECTE PRIVIND UTILIZAREA GAZULUI KLEIN (HHO) ÎN PROCESE DE ARDERE

*Lucian PĂUNESCU¹, Gheorghe SURUGIU¹, Corneliu DICĂ²,
Paul Dan STĂNESCU³, Gheorghe IORGA⁴,
Horia NECULA⁵, Ion IVAN⁶*

¹INSTITUTUL DE CERCETARI METALURGICE, București, ²ROKURA APLICATII INDUSTRIALE, București,

³UNIVERSITATEA TEHNICA DE CONSTRUCTII, București, ⁴UZINSIDER Engineering, Galați,

⁵UNIVERSITATEA POLITEHNICA, București, ⁶MITTAL STEEL – Galați

Abstract. The paper approaches a very actual problem worldwide, concerning the replacing, in combustion processes, of classical fossil fuels by clean energy sources, in order to reduce the greenhouse effect gases, as well as for fossil fuels' saving.

The experiments aimed to obtain an oxy-hydric gaseous fuel, known as Klein gas, resulted by a new procedure of water electrolysis, obtained in a generator of USA conception and realization and improved in Romania by the company ROKURA Industrial Applications, which is in the present the owner of licence to apply this fuel in Europe and Israel. The Klein gas contains Hydrogen and oxygen and its structure is different of that molecular conventional, conferring it particular properties.

Until now they were performed researches for Klein gas combustion in association with natural gas, the mixture being realized outside the burner, as well as by injection of Klein gas in burning area of natural gas, directly into the flame.

The results obtained emphasized an intensification of combustion rate and an increase of temperature developed into the flame, depending on the proportion of Klein gas used. If in case of mixture performance outside the burner, the optimal proportion between the two fuels is of 1/5.2, in case of Klein gas injection directly.

INTRODUCERE

În ultimii ani a devenit pregnantă tendința pe plan mondial de a utiliza surse de energie nepoluante, în scopul reducerii sau eliminării produselor de ardere de tipul CO₂, CO, NO_x, care au efecte dăunătoare asupra calității mediului ambiant.

În cadrul cercetărilor științifice și tehnologice prioritare pentru platformele tehnologice dezvoltate la nivel european figurează domeniile de înaltă tehnologie, considerate strategice, în categoria cărora intră sursele de energie alternativă, inclusiv pe bază de hidrogen, în care se încadrează și gazul Klein.

Printr-un nou procedeu de electroliză a apei, un colectiv de cercetători americani a obținut la sfârșitul mileniului trecut un nou amestec gazos între hidrogen și oxigen, cunoscut sub numele de gazul Klein sau gazul HHO. Acest amestec gazos, cu proprietăți combustibile, este în mod distinct diferit față de alte gaze cunoscute anterior, fiind caracterizat prin absența unei structuri moleculare convenționale.

R.M. Santilli de la Institutul de Cercetări Fundamentale din Palm Harbor (SUA) [1] explică caracteristicile anormale ale gazului Klein printr-o structură magneculară a acestuia. Astfel, conform teoriei sale, H₂ conținut în gazul HHO se compune parțial din molecule convenționale H-H și parțial din tipul magnecular HxH, iar H₃ se compune parțial din tipul magnecular (HxH)xH și parțial din legături de tipul HxHxH. De asemenea, autorul consideră că sunt

posibile și legături magneculare de tipul HxHxO, HxOxO, (H-H)XO, OxOxH și (O-O)xO.

Din punct de vedere energetic, gazul Klein are un comportament extrem de diferit în funcție de condițiile în care se produce aprinderea și arderea acestuia, temperatura dezvoltată în flacără variind de la circa 130°C, la arderea liberă în condiții normale de temperatură și presiune, până la temperaturile de topire ale unor metale sau materiale refractare foarte greu fuzibile. În condițiile în care gazul Klein aprins este adus în contact cu suprafețele unor asemenea materiale este posibilă aplicarea sa în domeniul tăierii, brazării sau sudării.

Cu totul altele sunt problemele la utilizarea gazului Klein în instalații de ardere, în condițiile în care acesta nu vine în contact direct cu materialul supus încălzirii.

Pentru aplicarea gazului Klein în instalații de ardere aferente cupoarelor industriale de încălzire din industria metalurgică, industria construcțiilor de mașini, industria materialelor ceramice și refractare, industria sticlei se preconizează utilizarea acestuia alături de alți combustibili gazoși, fie prin aditivare înaintea aprinderii, fie prin injectare în flacără gata formată a combustibilului gazos adițional.

În cele ce urmează vom prezenta rezultatele experimentale obținute de colectivul de cercetători din România la utilizarea gazului Klein în instalații de ardere alături de gazul natural, în cele două variante precizate mai sus.

TESTAREA ARDERII PRIN ADITIVARE ÎNAINTEA INTRĂRII ÎN CORPUL ARZĂTORULUI

Descrierea echipamentelor utilizate

Testările s-au efectuat pe un arzător cu aer autoaspirat, care echipează un cazon de apă caldă tip BERETTA, cu tiraj natural. Gazul natural a fost aditivat cu gaz Klein prin intermediul unui sistem de siguranță și reglaj, compus dintr-un presostat de gaz natural (1), un regulator de presiune de gaz Klein (2) și o electrovalvă de siguranță pe circuitul gazului Klein (3), conform figurii 1.

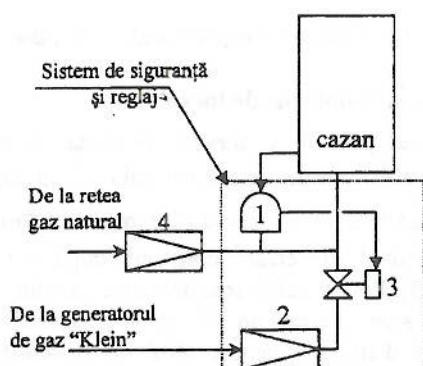


Fig. 1. Schema de principiu a instalației.

Pe traseul gazului Klein a fost montat un rotametru pentru determinarea debitului de gaz furnizat de generatorul de gaz Klein, aflat în proprietatea societății Rokura Aplicații Industriale București (fig. 2).



Fig. 2. Vedere de ansamblu a instalației.

Comanda electrică a sistemului se realizează de către blocul de automatizare al cazonului prin semnalul de acționare al propriei electrovalve de gaz natural astfel încât, la comanda de deschidere a acesteia, să se dea comandă de deschidere și electrovalvei de gaz Klein. Deschiderea electrovalvei de gaz Klein este condiționată de realizarea condiției de presiune minimă a gazului natural, astfel încât aditivarea nu mai este posibilă după scăderea acesteia sub o valoare prestabilită (prin reglajul presostatului de gaz), sub care gradul de aditivare depășește valoarea de 30 %, la care s-au efectuat încercările.

Descrierea metodologiei de lucru

Experimentările efectuate au vizat determinarea randamentului termic al cazonului, măsurarea emisiilor de noxe (CO, NO_x) și efectuarea probelor de siguranță în condițiile arderii numai a gazului natural, arderii gazului natural aditivat cu gaz Klein în proporție de 16% și respectiv, arderii gazului natural cu gaz Klein în proporție de 30%.

Rezultatele experimentale

În tabelul 1 sunt prezentate centralizat rezultatele măsurătorilor efectuate în cele trei variante de lucru.

Tabelul 1. Rezultatele experimentale

Nr. crt.	Varianta de lucru	Randament cazon (%)	Concentrație CO (mg/Nm ³)	Concentrație NO _x (mg/Nm ³)
1	Fără aditivare	89,80	54	130
2	Cu aditivare de gaz Klein în proporție de 16%	90,25	12	154
3	Cu aditivare de gaz Klein în proporție de 30%	89,28	0	216

Din datele prezentate în tabel rezultă următoarele concluzii:

- randamentul termic al cazonului este puțin influențat de aditivarea gazului natural cu gaz Klein;
- concentrația CO scade de la valoarea de 54 mg/m³ în situația neaditivării, la 12 mg/m³ în situația aditivării cu gaz Klein în proporție de 16% și atinge nivelul zero la aditivarea în proporție de 30%; explicația acestei situații este intensificarea sensibilă a procesului de ardere prin creșterea vitezei de ardere odată cu adaosul de gaz Klein;
- aditivarea cu gaz Klein conduce la creșterea concentrației de NO_x, de la 130 la 216 mg/m³, condițiile de formare a oxizilor de azot fiind influențate în mod favorabil de creșterea temperaturii dezvoltate în flacără.

În ceea ce privește condițiile de siguranță la arderea gazului Klein, se poate concluziona că până la 30% gaz Klein aditivat, procesul de ardere se desfășoară în condiții normale, fără pericol de retragere sau explozie.

Testele efectuate la arderea gazului Klein, amestecat cu gaz natural înaintea intrării în corpul arzătorului, au evidențiat influența pe care acesta o are asupra creșterii vitezei de ardere și reducerii totale a CO din gazele arse, precum și posibilitatea arderii fără pericole a gazului Klein.

Pentru de altă parte, varianta aditivării gazului natural cu gaz Klein înaintea arzătorului, nu a avut rezultatul scontat din punct de vedere energetic, adică posibilitatea reducerii consumului de gaz natural. De aceea, s-a abordat cealaltă variantă de utilizare a gazului Klein lăuat în calcul și anume injectarea acestui gaz direct în flacără rezultată prin arderea gazului natural cu aerul de

combustie, într-un arzător pilot experimental conceput, proiectat și realizat pentru acest scop.

TESTAREA ARDERII PRIN INJECTARE ÎN FLACĂRĂ

Adoptarea soluției tehnice

Având în vedere cele de mai sus, problema tehnică care trebuia rezolvată consta în găsirea soluției optime, din punct de vedere constructiv și tehnologic de distribuire a gazului Klein în corpul arzătorului, astfel încât efectul energetic și ecologic să fie maxim.

S-a plecat de la soluția adoptată în cazul utilizării în instalații de ardere a unor combustibili gazoși cu grad de risc la contactul cu oxigenul necesar arderii, constând în injectarea acestui tip de combustibil în flacăra gata formată prin arderea unui alt combustibil gazos (gaz natural, propan, butan etc.) cu aerul de combustie [3]. De altfel, această soluție se bazează pe o caracteristică a reacțiilor de ardere, care constă în capacitatea de a regenera așa-numitul „agent activ”, intensificând puternic procesul. Unul dintre agenții activi este temperatura degajată de flacăra generată prin ardere, într-o primă treaptă de aprindere a unuia dintre combustibili gazoși cu oxigenul din aerul de combustie. Distribuția celui de-al doilea combustibil gazos, radial, fie dinspre interior spre exterior, fie invers (în funcție de modul de aducere în corpul arzătorului a celor doi combustibili), în flacăra gata formată, contribuie la intensificarea procesului de ardere într-un mod mult mai puternic decât în cazul în care s-ar fi folosit un combustibil gazos obținut prin amestecarea celor doi combustibili înaintea intrării în corpul arzătorului [4].

Având în vedere cele de mai sus, s-a stabilit ca soluție tehnică pentru arderea gazului oxihidric Klein, soluția injectării acestui gaz, printr-un ajutaj central cu orificii radiale, în flacăra gata formată prin arderea combustibilului principal (gazul natural) cu aer de combustie necesar arderii acestuia.

La proiectarea arzătorului pilot experimental s-a ținut seama de faptul că gazul Klein are în compoziția sa, în proporție aproximativ stoichiometrică, hidrogen și oxigen, astfel încât pentru realizarea condițiilor de ardere nu este necesar aport suplimentar de aer de combustie.

Principiul de funcționare are la bază două trepte de amestec între combustibilul principal (gazul natural) și aer:

- în prima treaptă, gazul natural este distribuit prin mai multe orificii radiale în secțiunea inelară prin care curge aerul primar, realizându-se aprinderea;
- în a doua treaptă, se distribuie radial, de la exterior spre interior, aerul de combustie secundar în amestecul carburant – comburant aprins în treapta I.

Această soluție, testată anterior, permite realizarea unui bun amestec între gazul natural și aer, conducând la un bun randament al arderii și emisii reduse de noxe.

Gazul Klein, este adus în corpul arzătorului printr-o conductă centrală și este distribuit în flacăra formată, intensificând procesul de ardere, prin orificii radiale inclinate la 35° față de axa longitudinală a arzătorului.

În figura 3 este prezentată schema de principiu a arzătorului pilot experimental.

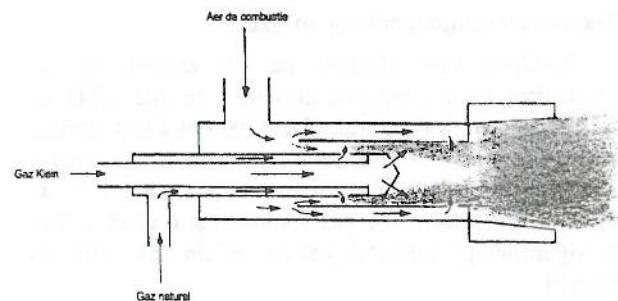


Fig. 3. Schema de principiu a arzătorului pilot.

Descrierea metodologiei de lucru

Arzătorul pilot experimental, proiectat și realizat pentru un debit nominal de gaz natural de $2,25 \text{ m}^3/\text{h}$ și un debit maxim de gaz Klein de $1,3 \text{ m}^3/\text{h}$, a fost testat pe un stand de încercări construit după standarde europene [5]. Pentru măsurarea debitelor gazului natural și aerului s-au utilizat un debitmetru pentru gaz și respectiv o diafragmă pentru aerul de combustie, iar pentru măsurarea presiunilor celor două fluide s-au utilizat manometre cu domeniul de măsurare $0\text{--}100 \text{ mbar}$.

Racordarea gazului Klein de la generatorul de gaz la arzător s-a realizat utilizând o instalație de alimentare similară celei anterioare, exceptând dispozitivul de amestecare între gazul Klein și gazul natural.

Lucrările experimentale au urmărit două aspecte:

- influența energetică a adaosului de gaz Klein peste debitul nominal de gaz natural, în diferite proporții, între $0\text{--}35\%$;
- gradul de disponibilizare a gazului natural (economia de gaz natural) rezultat ca urmare a adaosului de gaz Klein, astfel încât să se obțină același efect termic, precum și impactul ecologic al utilizării gazului Klein.

Pentru atingerea primului obiectiv experimental s-au realizat reglaile necesare pentru arderea în condiții optime a gazului natural cu aer de combustie, la debitul nominal de gaz de $2,25 \text{ m}^3/\text{h}$, cu un coeficient de exces de aer de 1,03 și s-a determinat conținutul de căldură al gazelor arse rezultate în urma arderii. Apoi, s-a adăugat gaz Klein, în diverse proporții până la 35%, urmărindu-se efectul asupra cantității de căldură conținută în gazele arse. Astfel, s-a putut identifica proporția optimă de gaz Klein pentru care efectul energetic este maxim.

Pentru cel de-al doilea obiectiv, s-au introdus în flacără proporții din ce în ce mai mari de gaz Klein, în paralel cu reducerea debitului de gaz natural, urmărindu-se menținerea constantă a conținutului de căldură a gazelor arse la valoarea corespunzătoare arderii fără adaos de gaz Klein. Pentru fiecare regim termic stabilizat s-au măsurat debitele orare de gaz natural, aer de combustie și gaz Klein, temperatura, volumul și compoziția chimică a gazelor arse.

Rezultatele experimentale

În tabelul 2 sunt prezentate rezultatele testelor de determinare a influenței adaosului de gaz Klein asupra conținutului de căldură al produselor arderii.

Tabelul 2. Influența energetică a adaosului de gaz Klein

Nr. crt.	Debit orar gaz natural [m ³ /h]	Debit orar gaz Klein [m ³ /h]	Proportie volumetrică gaz Klein [%]	Căldura gazelor arse [MJ/h]
1.	2,25	-	-	63,2
2.	2,25	0,12	5	64,8
3.	2,25	0,25	10	67,9
4.	2,25	0,40	15	72,5
5.	2,25	0,56	20	76,8
6.	2,25	0,75	25	78,9
7.	2,25	0,92	29	79,9
8.	2,25	0,96	30	79,5
9.	2,25	1,21	35	72,0

În fig. 4 este transpusă grafic influența proporției volumetrice a gazului Klein asupra căldurii conținute de gazele arse.

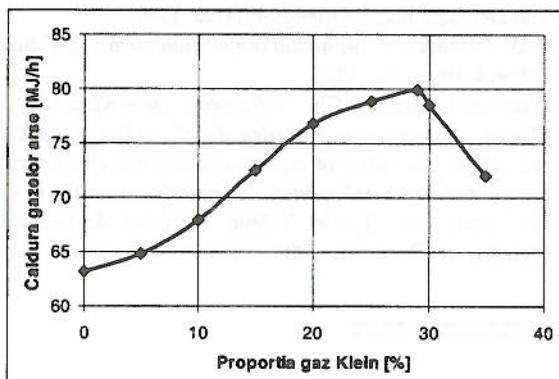


Fig. 4. Influența proporției volumetrice a gazului Klein asupra căldurii conținute de gazele arse.

Se observă creșterea conținutului de căldură al gazelor arse odată cu suplimentarea volumelor de gaz Klein adăugat, ajungând la valoarea maximă de 79,9 MJ/h, în condițiile unei proporții volumetrice a gazului Klein de 29%. Peste această proporție de gaz Klein, conținutul de căldură al gazelor arse începe să scadă.

Fenomenul nu a fost elucidat până în prezent, dar se presupune că presiunea crescută a gazului Klein (corespunzătoare debitelor mai mari de gaz Klein) influențează structura neconvențională a acestuia, înrăuțând condițiile pentru desfășurarea reacției dintre hidrogen și oxigen.

În tabelul 3 sunt prezentate rezultatele experimentale ale testelor pentru determinarea posibilităților de reducere a consumurilor de gaz natural prin adăugarea gazului Klein, precum și pentru determinarea emisiilor de noxe.

Conform datelor din tabelul 3, adaosul de 29,1% gaz Klein permite reducerea debitului de gaz natural de la 2,25 la 1,58 m³/h, adică cu 29,77%, în condițiile în care conținutul de căldură al produselor arderii este menținut constant. Concentrațiile volumetrice ale CO₂ și O₂ (în gazele uscate) rămân practic nemodificate, fenomen explicabil prin faptul că hidrogenul din gazul Klein nu are nevoie de oxigen pentru ardere, deoarece în compozitia gazului se găsește oxigen în proporție stoichiometrică. În schimb, odată cu creșterea proporției gazului Klein, CO scade sensibil de la 75 la 3 ppm (3,4 mg/m³), iar NO_x crește de la 63 ppm la 108 ppm (200 mg/m³).

Comparând rezultatele experimentale obținute prin aplicarea celor două soluții de utilizare a gazului Klein, se constată diferențe importante din punct de vedere energetic. Dacă prin amestecarea gazului Klein cu gazul natural înaintea intrării în copul arzătorului, impactul energetic este nesemnificativ, soluția injectării gazului Klein direct în flacără oferă avantaje spectaculoase.

ESTIMAREA EFICIENTEI ECONOMICE

Conform rezultatelor experimentale obținute la injectarea gazului Klein direct în flacără, intensificarea procesului de ardere permite reducerea consumului de gaz natural cu 29,77%, în condițiile obținerii același efect termic ca în cazul arderii numai a gazului natural. La prețul actual al gazului natural de 170 €/1000 m³ rezultă că valoarea economiei de combustibil raportată la 1 m³ gaz natural este de $0,2977 \times 170 \times 10^{-3} = 0,0506$ €/m³ gaz natural.

Tinând seama că pentru producerea gazului Klein în generator se consumă 1,2 kWh/m³ gaz Klein, iar necesarul de gaz Klein pentru substituirea gazului natural este 0,29 m³/m³ gaz natural, rezultă că este necesar un consum suplimentar de energie electrică de $1,2 \times 0,29 = 0,348$ kWh/m³ gaz natural.

La un preț mediu al energiei electrice de 85 €/MWh, valoarea consumului suplimentar de energie ajunge la $0,348 \times 85 \times 10^{-3} = 0,0295$ €/m³ gaz natural, deci valoarea economiei nete de gaz natural este de $0,0506 - 0,0295 = 0,0211$ €/m³ gaz natural.

Tabelul 3. Economia de gaz Klein și impactul ecologic

Nr. crt.	Gaz natural		Aer combustie		Gaz Klein		Compoziție gaze arse				Temperatură gaze arse °C	Căldura gazelor arse MJ/h	
	Debit Nm ³ /h	Presiune mbar	Debit Nm ³ /h	Presiune mbar	Debit Nm ³ /h	%	Presiune bar	CO ₂ %	O ₂ %	CO ppm	NO _x ppm		
1	2,25	26	22,0	12	-	-	-	11,35	0,66	75	63	1600	63,2
2	2,00	24	19,6	10	0,37	15,6	0,2	11,33	0,69	30	75	1710	63,2
3	1,75	20	17,2	7	0,54	23,6	0,4	11,34	0,68	11	90	1800	63,2
4	1,58	16	15,5	5	0,65	29,1	0,5	11,36	0,67	3	108	1890	63,2

Dacă considerăm că un cuptor industrial de încălzire de capacitate medie are un consum orar de gaz natural de $200 \text{ m}^3/\text{h}$ și o durată anuală efectivă de funcționare de 6000 ore, rezultă că valoarea economiei de combustibil poate ajunge la: $200 \times 6000 \times 0,092 = 25320 \text{ €/an cuptor.}$

CONCLUZII

Gazul oxihidric Klein este un gaz combustibil produs printr-un nou procedeu de electroliză a apei. Structura sa, total diferită de a altor gaze, îi conferă unele caracteristici și proprietăți care îl recomandă pentru operații de tăiere, brazare, sudare, în care gazul Klein este adus în contact direct cu materialele supuse încălzirii și topirii locale.

Obiectivul științific al cercetărilor actuale constă în identificarea soluțiilor tehnice, pe baza experimentărilor, pentru arderea gazului Klein în instalații de ardere pentru procese tehnologice de încălzire prin convecție sau radiație.

Experimentările au vizat arderea gazului Klein împreună cu gazul natural în două variante: amestecarea celor doi combustibili înaintea intrării în corpul arzătorului și respectiv, injectarea gazului Klein în flacăra gata formată prin arderea gazului natural cu aerul de combustie. Dacă prima variantă încercată nu a avut efecte energetice sesizabile, ci doar influență asupra emisiilor de CO, care au fost reduse aproape complet, cea de-a doua variantă a permis înlocuirea a circa 29% din debitul de gaz natural cu gaz Klein, în condițiile menținerii aceluiași regim termic și reducerii emisiilor de CO aproape de valoare zero.

Tinând seama de consumul suplimentar de energie electrică pentru producerea gazului Klein în generator, de $1,2 \text{ kWh/m}^3$ gaz Klein, valoarea economiei nete de gaz natural ajunge la $9,20 \text{ €/1000 m}^3$ gaz natural.

Principalele direcții de cercetare viitoare sunt legate de descifrarea mecanismului arderii gazului Klein, precum și de găsirea materialului optim pentru confecționarea rezervoarelor pentru stocarea gazului Klein, necesare pentru aplicații industriale de anvergură.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Santilli R.M., *A new Gaseous and Combustible Form of Water*, Technical Report, Institute for Basic Research, Palm Harbor, 2003.
- [2] Stănescu P.D., *Încercări funcționale și de siguranță pentru determinarea efectelor aditivării combustibilului gazos natural (G20) cu gaz Klein în funcționarea unui cazon de tip „B_{II}”*, Raport Tehnic, Universitatea Tehnică de Construcții, București, 2005.
- [3] Waibel R.T., *Advanced Burner Technology for Stringent NO_x Regulations*, American Petroleum Institute Mydyear Refining Meeting Joint Meeting of the Subcomitte on Heat Transfer Equipment, Orlando-Florida, 1990.
- [4] Gădea Suzana s.a., *Manualul inginerului metalurg*, Editura Tehnică, București, 1978.
- [5] Păunescu L., Surugiu Gh., *Utilizarea gazului Klein (HHO), obținut printr-un nou procedeu de electroliză a apei, în procese de combustie în cuptoare industriale de încălzire, pentru reducerea substanțială a emisiilor de CO₂ și CO din gazele arse*, Raport Tehnic, Institutul de Cercetări Metalurgice, București, 2005.

