

# Lucht, een belangrijke hef

Lucht is een belangrijke, soms verwaarloosde hulpstof voor processen en industrie die zeer sterk afhankelijk is van "snelle" invloeden zoals:

- \* temperatuur (dag/nacht)
- \* druk (weer, wind en tegendruk)
- \* vochtgehalte (vochtig en warm, droog en koud, gewenst of ongewenst)
- \* meegesleurde componenten (bijvoorbeeld zout in de zeelucht, chloorhoudende solventen die recuperatoren kunnen corroderen) en eventuele andere invloeden.

Het samenspel van al deze invloeden heeft een belangrijke invloed op de densiteit en ook op de zuurstofaanvoer per m<sup>3</sup> getransporteerde lucht. Voor de meeste klassieke verbrandingsprocessen is er sowieso steeds een voldoende luchtvoorraad nodig enerzijds en is de luchttoevoer een relatieve en geregelde waarde anderzijds. Voor processen die absoluut afhankelijk zijn van een klein O<sub>2</sub>-overschot of van een correcte zonale O<sub>2</sub>-ondermaat is een lokaal geregelde luchttoevoer dus van vitaal belang. Zonder in detail te gaan, noemt men deze de "bijna-stoichiometrische" processen: VSD's, lambda-sondes en CO-analysers doen hier meestal hun job, de branders volgen.

De O<sub>2</sub>-percentages aanwezig in de verschillende zones van een industriële oven kunnen een invloed hebben op kleur en product, op veiligheid en rookgaskwaliteit, op allerlei afzettingen en op doorzet en rendement. De processen die gevoelig zijn voor een juiste verbrandingsluchttoevoer zijn ook deze waar de aardgaskwaliteit - via de robuuste kwaliteitsindicator "Wobbe Index" - van groot belang is. Voorbeelden hiervan zijn de keramische industrie, bijna de gehele glassector, enkele bakprocessen, enkele chemieëniches, de inerte atmosfeergas-

sen, de procedés met "hoge thermische inertie"... In deze processen is een fijne regeling gewenst, niet in het minst om reden van houdbaarheid van de oxidische refractaire bekleding in deze ovens. De reducerende CO-partieelruimte kan de beschermende oxidelaag opeten.

Voor vergelijking van ketelrendementen (eta) enerzijds en van verbrandingswaarden (Hs) van brandstoffen anderzijds zijn er enkele interessante "standaarden" voor lucht. We geven er hier drie aan: de ASBM of "American Society of Boiler Manufacturers", de ISO-normen en ook Distrigas-Gas Services stellen een luchtstandaard voor. Deze standaarden zijn onmisbaar in ontwerp en aankoop van installaties, bij bedrijfsvoering en bij "vergelijkende" brandstoftesten. De niet-ideale beluchting van de vlam door verandering in lucht leidt tot de gekende "Siebert"-schouwverliezen.

Hierbij de tabel met voorbeelden van samenstellingen van "standaard lucht".

Naast het absolute O<sub>2</sub>-gehalte speelt de relatieve regelmatigheid van het O<sub>2</sub>-gehalte in de verbrandingslucht een even belangrijke rol. Zeg ook nooit zomaar "O<sub>2</sub>" als het over zuurstof gaat. Er is een verschil tussen de 99+% zuivere zuurstof bekomen via diepkoeling en cryodestillatie en de O<sub>2</sub> met 90+% aanrijking via PSA-absorptie. Daarnaast en aan de andere zijde van het concentratiespectrum zitten de "aangerijkte" luchtmengsels met typisch 30 à 40% O<sub>2</sub> met stikstof.

Uiteindelijk vertaalt de scheiding van O<sub>2</sub> en N<sub>2</sub> zich in een energiekost: de scheidingsenergie, uit te drukken in kWh(primair)/m<sup>3</sup>(n) zuurstofrijke stroom. Als indicatieve vuistregel: technische literatuur leert ons dat er een "equivalentie" is van grootteorde 0.5 kWh(elec) à 1 kWh(elec) scheidingsenergie per m<sup>3</sup> zuurstof, met N<sub>2</sub> als bijproduct. Deze pri-

**Door het stijgend gehalte aan CO<sub>2</sub> - nu afgerond bijna 400 ppm (v/v) achtergrondconcentratie in de atmosfeer - verandert de samenstelling van onze omgevingslucht continu met enkele ppm per jaar. Gelukkig is deze CO<sub>2</sub>-aangroei bijna 1.000 maal kleiner dan elke andere invloed. Deze "trage" CO<sub>2</sub>-aangroei is dus verbrandingstechnisch verwaarloosbaar ten opzichte van andere, "snelle" invloeden.**

**G. Verkest & J.-Cl. Beaujean  
Distrigas Gas Services  
Linkebeek**

Tabel: Voorbeelden van samenstellingen van "standaard lucht".

Luchtsamenstelling (%v)	Standaard droge atmosfeer bvb. ISO 6976 (1995)	Lucht @ 50% relatieve vochtigheid bij 20°C
Stikstof (N <sub>2</sub> )	~78.10	~77.2
Zuurstof (O <sub>2</sub> )	~20.95	~20.7
Koolzuurgas (CO <sub>2</sub> )	~0.03	~0.03
Edelgas (vnl. Ar, Ne, He)	~0.92	~0.9
Waterdamp (H <sub>2</sub> O)	afwezig	~1.2
Sporen (CO, N <sub>2</sub> O, H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , Kr, Xe) zijn hier verwaarloosd voor de eenvoud.		

# boom voor uw efficiëntie

maire energie moet in mindering gebracht worden van de "verbrandings-warmte" van  $\sim 5 \text{ kWh/m}^3(\text{n}) \text{ O}_2$ . Noteer ook dat  $\text{O}_2$  een technisch moeilijk product is gezien zijn hoge gretigheid om te reageren. Terloops, zoals  $\text{O}_2$  is  $\text{H}_2$  beter te beschouwen als een scheikundig product. Deze gaan op in het eindproduct en worden dus als massa gevaloriseerd, soms aan een veelvoud van de stookwaarde.

## Industriële toepassing

We groeperen vier redenen voor toepassing van  $\text{O}_2$  in de industrie als volgt:

- \* partiedruk aan zuurstof (of "regel van Le Châtelier");
  - \* partiedruk aan stikstof (of "gebakken" lucht);
  - \* drukverliezen en aerodynamica (of  $\text{N}_2$ - "ballast");
  - \* vlamverbeteraar (of "vlam-improver").
- Laten we op elk van deze gebruiksredenen kort even ingaan.

### Partiedruk aan zuurstof

Moelijke en trage reacties kunnen versneld worden met een "factor" twee tot vijf door de lucht van 21% naar 99+% aan te rijken. Denken we aan de staalconvertoren, non-ferro metallurgie zoals aluminium en koper... maar ook bij beluchting van afvalwaters. Op bestaande infrastructuur is er toch voorzichtigheid geboden: dak- en wandtemperaturen zijn dan te bewaken.

### Partiedruk aan stikstof

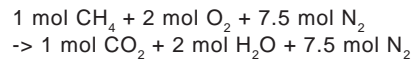
Door het drastisch verminderen van de stikstof en inerten (van 79% naar enkele procenten) verkleint de vlam en de verblijftijd in de « hotspot » van de vlam. Het resultaat kan zijn dat de  $\text{NO}_x$ -uitstoot hierdoor drastisch vermindert. We bevinnden ons hier in het gebied van de vlammodellen die de vlamhotspots proberen te vermijden, onder andere ook door het verkleinen van de massieve vlam tot kleine "vlamkorrels". Het is de Zweedse chemicus Svante Arrhenius die de T-niveau's in de reactiesnelheid kwantificeerde. Arrhenius is ook diegene die als eerste het serre-effect van de broeikasgassen voorspelde.

### Stikstofballast

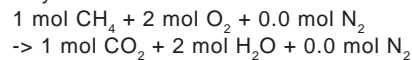
Door het drastisch reduceren van de  $\text{N}_2$ -ballast, vermindert het schouwverlies. Tevens veranderen ook de drukverliezen in de radiantbox en de stroming in de

achterliggende recuperatoren. De snelheden en turbulentie (soms gewenst, soms ongewenst) nemen drastisch af. Hieronder het verschil tussen beide:

Air:



Oxy:



Het verschil tussen Air en Oxy is ongeveer  $7.5 \text{ m}^3$  "inerten"/ $\text{m}^3$  methaangas.

Per  $\text{m}^3$  methaan is er een warmtevrijstelling op  $1.850 \text{ }^\circ\text{C}$  van  $\sim 11 \text{ kWhs/m}^3(\text{n})$  aardgas.

**Een anekdote: de man die ooit het einde van de wereld bij gebrek aan zuurstof voorspelde, is eraan voor de moeite. Zelfs al zou ooit alle fossiele koolstof naar  $\text{CO}_2$  omgezet worden, dan is er in theorie enkele duizenden ppm  $\text{CO}_2$  aanwezig in onze atmosfeer. Dit is dan bijvoorbeeld mits lineaire aannames en binnen 1.000 of meer jaren. Vergeten we terloops ook niet dat in onze uitgedamde longlucht er ook ongeveer 4% v/v aan koolstofdioxide of koolzuurgas aanwezig is.**

De afwezigheid van de ongeveer  $7.5 \text{ m}^3$  stikstof / $\text{m}^3$  reduceert het volume van de verbrandingsgassen tot een derde en wat rest is voornamelijk waterdamp! Dit vermindert en bespaart een overeenkomstige stroom "Qverlies" doorheen de schouw. Ook aan de aanvoorzijde kan dan op het ventilatorvermogen en op de nieuwbouwtoestelgrootte bespaard worden. Denken we ook aan het vermijden van de  $\text{N}_2$ -ballast (bijvoorbeeld destijds getest op Russische gasturbines, bij partiële oxidatieprocessen en in de zogenaamde Matiant-cyclus).

### Vlamverbeteraar

De inbreng van elke hoeveelheid  $\text{O}_2$  "boven 21%" geeft steeds een verhoging van de vlamtemperatuur. Dit kan interessant zijn voor het compenseren van arme "low calorific" gassen, bijvoorbeeld in glasbadovens en feroreheatovens. Als eerste vuistregel mag je stellen dat per 10%  $\text{O}_2$ -aanrijking de vlamtemperatuur met gemiddeld  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  stijgt. Vandaar de noodzaak van oxy-branders en gekoelde lensen en vandaar ook voorzichtigheid bij ombouw naar  $\text{O}_2$  in bestaande branders. Stabiele ratiocontrole van voorverwarmde, aangerijkte lucht is proces- en regeltechnisch ook niet evident.

Variatie van het  $\text{O}_2$ -gehalte per  $\text{m}^3$  aangevoerde verbrandingslucht.

Naast de absolute  $\text{O}_2$ -gehalten speelt ook de regelmatigheid een rol. Variaties - zowel oscillerende als onregelmatige "spikes" - kunnen de productie verstoren of beperken: gerichte aanpassingen in de lay-out van het fabrieksnet, buffervaten en "mengorgels" kunnen hier hulp bieden. Gemiddelde uursamenstellingen geven daar niet altijd een volledig beeld van. Vandaar dat het belangrijk is REG-modificaties op bestaande installaties te argumenteren op gegevens uit rigoureuze "in-situ"-meetcampagnes. De bestaande werking dient dan als "base case", uiteraard na eerst alle mogelijke optimalisatie en OPEX-afstelling uit te putten.

## Bestuit

Deze korte en eerste beschouwing toont aan dat in nicheomstandigheden  $\text{O}_2$  of "aangerijkte lucht" in een diffusiebrander

óf de productie-"flessenhals" óf de "SBS" (snelheidsbepalende stap) kan verplaatsen. In normale omstandigheden is  $\text{O}_2$  exergetisch nog niet competitief omwille van de cumul van irreversibiliteiten, lees: de scheidingsenergie vereist voor de  $\text{O}_2$ -productie. Met de komst van meer reverseerbare membraantechnieken zou hierin verbetering komen. Maar dat is een ander verhaal, gezien dan tegelijkertijd ook de membranen voor "koude verbranding" zouden doorbreken.

Lucht kan een belangrijke hefboom zijn naar REG en procesefficiëntie. Daarnaast komen vele praktische beschouwingen om de hoek kijken alvorens we omtrent  $\text{O}_2$  zomaar "leentje buur" bij de chemische of ferro-industrie kunnen doen. Conclusie: zeg nooit zomaar lucht....

[guy.verkest@distrigas.be](mailto:guy.verkest@distrigas.be)

