
Rapport SGC 068

ENERGIGAS OCH OXYFUELTEKNIK

Ingemar Gunnarsson
Energi-Analys AB

December 1995



Rapport SGC 068

ENERGIGAS OCH OXYFUELTEKNIK

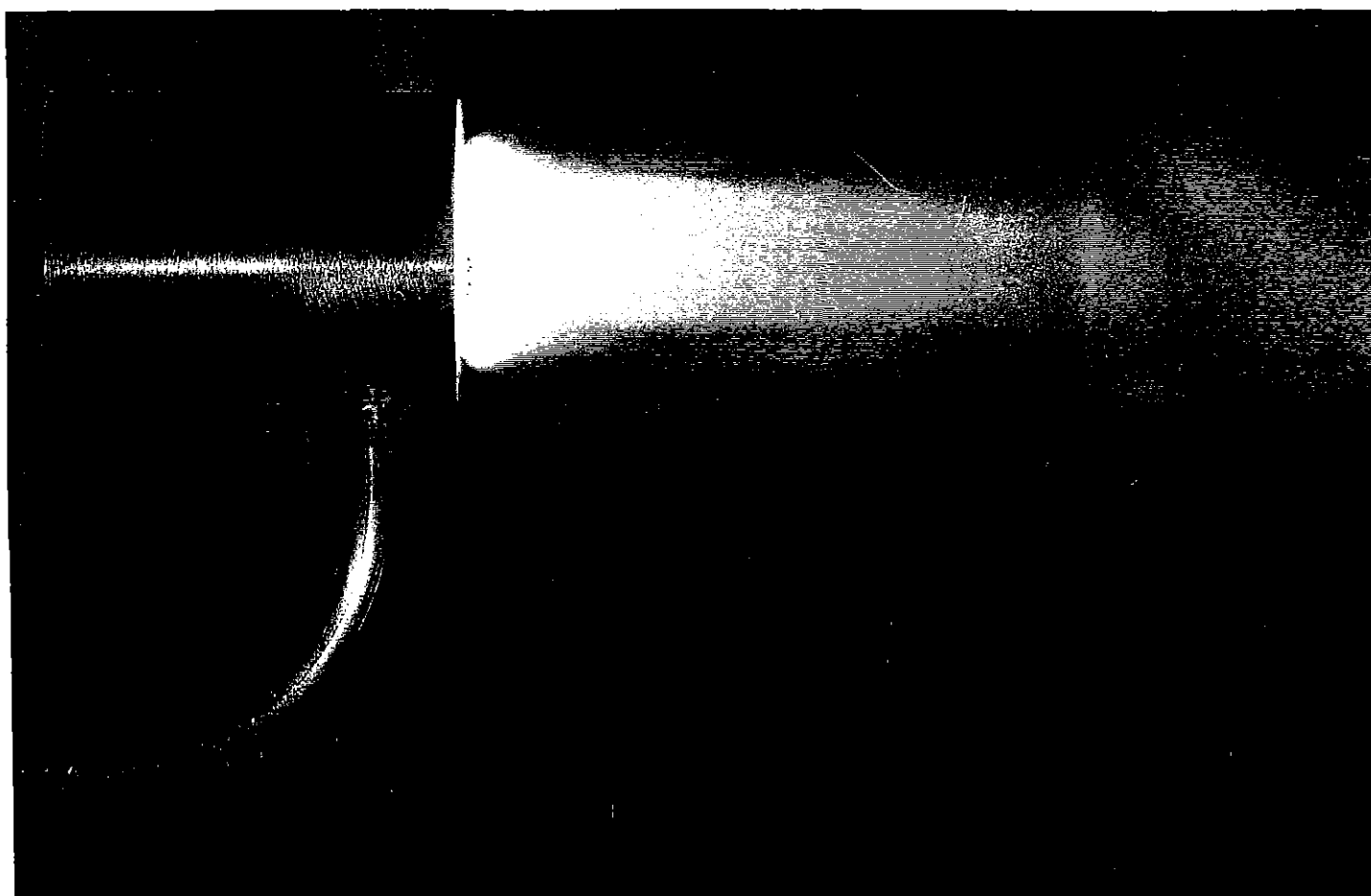
Ingemar Gunnarsson
Energi-Analys AB

December 1995

ENERGIGAS OCH OXYFUELTEKNIK

Juli 1995

**Ingemar Gunnarsson
ENERGI-ANALYS AB**



SGC:s FÖRORD

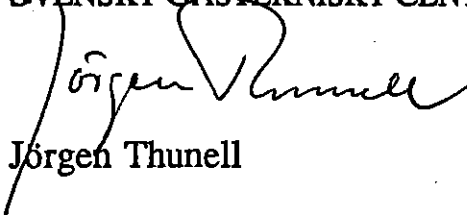
FUD-projekt inom Svenskt Gastekniskt Center AB avrapporteras normalt i rapporter som är fritt tillgängliga för envar intresserad.

SGC svarar för utgivningen av rapporterna medan uppdragstagarna för respektive projekt eller rapportförfattarna svarar för rapporternas innehåll. Den som utnyttjar eventuella beskrivningar, resultat e dyl i rapporterna gör detta helt på eget ansvar. Delar av rapport får återges med angivande av källan.

En förteckning över hittills utgivna SGC-rapporter finns i slutet på denna rapport.

Svenskt Gastekniskt Center AB (SGC) är ett samarbetsorgan för företag verksamma inom energigasområdet. Dess främsta uppgift är att samordna och effektivisera intressenternas insatser inom områdena forskning, utveckling och demonstration (FUD). SGC har följande delägare: Svenska Gasföreningen, Sydgas AB, Sydkraft AB, Göteborg Energi AB, Lunds Energi AB och Helsingborg Energi AB.

SVENSKT GASTEKNISKT CENTER AB



Jörgen Thunell

SAMMANFATTNING

Förbränning av energigas med syrgas i stället för luft – *oxyfuelförbränning* – ger stora fördelar i ett flertal industriella högtemperaturprocesser såsom värmning och smältning av metaller och glas. Den ökade syrehalten och därmed minskade andelen kväve som passerar genom förbränningsprocessen ger möjlighet till:

- Ökad produktivitet och verkningsgrad
- Minskade utsläpp av bl.a. kväveoxider och stoft
- Ökad produktionskapacitet i befintlig anläggning

Oxyfuelförbränning av energigas är en konkurrenskraftig teknologi redan idag i vissa begränsade tillämpningar speciellt när man behöver öka produktionskapaciteten på en befintlig anläggning. Rapporten visar emellertid att nya och förbättrade metoder att producera syrgas till konkurrenskraftiga priser samt existerande och förväntade miljöavgifter ger oxyfuel-tekniken ökad konkurrenskraft i framtiden. Följande faktorer talar för en ökad användning i Sverige:

1. Skärpta miljökrav (generellt i hela världen)
2. Högre elpris i Sverige vid en anpassning till övriga Europa.
3. Förbättrad tillgång på energigas, speciellt vid en utbyggnad av naturgasnätet i Sverige.
4. Sänkta syrgaskostnader p.g.a. nya produktionsmetoder och ökad konkurrens.

På kort sikt är emellertid utbyggnaden av oxyfuelinstallationer beroende av industrins behov av att snabbt öka sin produktionskapacitet vilket i sin tur är starkt konjunkturberoende.

Oxyfueltekniken kommer troligen inte ha någon avgörande betydelse för försåld gasvolym i Sverige. Däremot är den ett medel att öka gasens konkurrenskraft i applikationer där idag elenergi normalt utnyttjas.

SUMMARY

Combustion of gas with oxygen instead of air – *oxyfuelcombustion* – is most favourable in several industrial high-temperature-processes as for example heating and melting of metals and glass. The enriched oxygen content and consequently lower nitrogen content involved in the combustionprocess gives new possibilities:

- Rice in productivity and efficiency
- Lower pollution of dust and NO_x
- Increased capacity in existing plants

The oxyfuel technology is competitive today especially when it is used to increase productioncapacity in an existing plant. This report shows that new processes for oxygen production to competitive prices and existing and foreseen environmental taxes will give even more possibilities for the oxyfueltechnologies. In the long run there will be increasing possibilities for oxyfuel technology in Sweden for the following reasons:

- 1 Increasing demands on low pollution – all around the world.
- 2 An increase in electricityprices as an adjustment to the rest of Europe.
- 3 Better gas supply in Sweden will be the result when the natural gas pipelines will be built out.
- 4 Lower oxygen cost as an result of new produktionprocesses.

In the near future however oxyfuelinstallations will depend on the increased production capacity which in turn is depending on business cycles.

The oxyfuel technology will not have major impact on gasconsumption in Sweden, although it will make gas more competitive in applications where electricity is dominating today.

	INNEHÅLL	SID
1	FÖRORD	3
2	BAKGRUND	5
2.1	Förbränningsreaktion	5
2.2	Förbränning i praktiken	6
2.3	För- och nackdelar vid oxyfuelförbränning	7
2.3.1	Högre förbränningstemperatur	8
2.3.2	Mindre avgasvolym	9
2.3.3	Kapacitetsökning	9
2.3.4	Låg NO _x -bildning	10
2.4	Effektivare process – ett exempel	11
2.5	Lönsamhet	14
3	INDUSTRIPROCESSER	15
3.1	Högtemperaturprocesser	15
3.2	Kupolugnar	16
3.3	Roterugnar	18
3.3	Induktionsugnar	20
3.4	Ljusbågsugnar	22
3.5	Värmningsugnar	24
3.6	Skänktorkning/värmning	26
3.7	Sandrening	27
3.8	Glassmältning	28
3.8.1	Produktionsprocess	28
3.8.2	Oxyfuel för glasugnar	31
3.8.3	Ekonomi	34
4	BRÄNNARE	35
4.1	Allmänt	35
4.2	Syrgashalt och tillförselmetod	35
4.2.1	Syrgas/Luft-blandning	37
4.2.2	Syrgaslans	37
4.2.3	Oxyfuelbrännare	38
4.3	Exempel på oxyfuel-brännare	39
4.3.1	Maxon Oxytherm	39
4.3.2	Clean fire	40
4.3.3	AGA-gas	41
4.3.4	"Flat Jet"	42
4.3.5	AIR Liquide	43

5	SYRGASPRODUKTION	44
5.1	Allmänt	44
5.2	Kylteknisk destillation	45
5.3	Adsorption	49
5.4	Membran	52
5.4.1	Polymera membran	52
5.4.2	Täta keramiska membran	53
5.4.3	Porös membran	53
5.5	Kemisk produktion	54
5.6	Jämförelse av O ₂ -produktionsprocesser	54
6	HANTERING AV SYRE	56
6.1	Egenskaper	56
6.2	Hälsorisker	56
6.3	Explosion och brand	56
6.4	Lagar och föreskrifter	57
6.5	Installationsteknik	58
6.5.1	Tankinstallation	58
6.5.2	Brännarinstallation	59
7	MARKNADSFÖRUTSÄTTNINGAR	60
7.1	Varför oxyfuel?	60
7.2	Varför oxyfuel och energigas?	61
7.3	Markandspotential	61
7.4	Framtida utveckling	62

LITTERATUR

BILAGOR

- 1 Tekniska data
- 2 Erfarenheter från svenska anläggningar
- 3 Ekonomi och lönsamhet

1 FÖRORD

Industrin strävar ständigt mot höjd produktivitet och effektivitet samtidigt som kraven på låg miljöpåverkan skärps. Industriella högtemperatur-processer har generellt relativt höga utsläpp och ett specifikt problem är bildningen av kväveoxider (NOx) som hänger samman med processtemperaturen. Installation av rökgasrening, som är den konventionella metoden att sänka kväveoxidutsläppen, blir ofta mycket kostnadskrävande. Övergång till gasformiga bränslen har gett positiva resultat m.a.p. svavel, stoft och NOx-utsläpp. Genom att gå ytterligare ett steg och ersätta förbränningsluften helt eller delvis med syrgas (sk oxyfuelteknik) har man i ett flertal processer funnit en ny väg att både minska utsläppen men också öka effektiviteten. "Oxy-energigas-förbränning" är fördelaktig speciellt i processer som glassmältning, smältning av järn och stål men också metaller som aluminium, koppar m.fl. Den ökade syrehalten i förbränningsluften minskar luftbehovet och därmed andelen kväve som passerar genom förbränningsprocessen vilket ger fördelar i form av:

- Ökad produktivitet och verkningsgrad
- Minskade utsläpp av bl. a. NOx och stoft
- Ökad produktionskapacitet i befintlig anläggning

Hittills har användningen av oxyfuelteknik varit begränsad till ett fåtal applikationer, främst beroende på att kostnaderna för syrgas varit relativt höga samtidigt som de miljömässiga incitamenten varit begränsade. Nya och förbättrade metoder att producera syrgas till konkurrenskraftiga priser samt existerande och kommande miljöavgifter ger oxyfuel-tekniken en god möjlighet, särskilt som man i många processer även kan uppnå avsevärd produktivitetsökning vid övergång till oxyfuel. Denna nya situation har resulterat i ett relativt stort antal installationer under senare tid både i Sverige och utomlands.

Projektet har utförts med anslag från Svenskt Gastekniskt Center (SGC) samt Jernkontoret (teknikområde 51). Rapporten bygger dels på litteraturstudier dels på information från leverantörer av gas och brännarutrustningar. Dessutom har erfarenheter inhämtats från ett relativt stort antal oxyfuelanläggningar främst i Sverige.

Nedanstående referensgrupp har följt arbetet och bidragit med synpunkter och idéer:

Stellan Persson, Glafo, Växjö

Mats Holmgren, Gjuteriföreningen, Jönköping

Lars Lööv, SSAB, Borlänge (representant för Jernkontoret)

Anders Molin, Sydkraft Konsult AB, (representant för SGC)

Som författare till rapporten vill jag rikta ett stort tack till referensgruppen och alla andra som hjälpt till med information och faktaunderlag.

Alingsås 1995-07-31

Ingemar Gunnarsson

Lindvägen ENERGI-ANALYS AB

2 BAKGRUND

2.1 Förbränningsreaktion

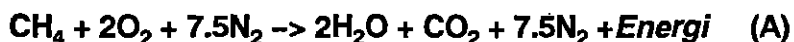
Förbränning är en kemisk reaktion mellan syre och bränsle. Reaktionen (oxidationen) är exoterm dvs sker under värmeutveckling vilket är själva avsikten med förbränningen. Vanliga bränslen som olja, kol, ved och naturgas består av olika kolväteföreningar. Syret (oxidationsmedlet) finns lätt tillgängligt som en naturlig beståndsdel i luften. Luftens naturliga sammansättning framgår av Tabell 1.

Tabell 1 – Beståndsdelar i torr luft

Gas	Volym (%)	Massa (%)
Kväve	78,03	75,47
Syre	20,99	23,19
Koldioxid, Argon	0,94	1,30
Väte	0,01	0,01
Övrigt	0,03	0,03

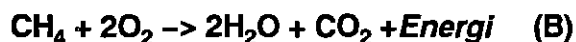
Som synes består luften till ca 1/5 av syre (oxygen). Huvuddelen eller närmare fyra femtedelar utgörs av kväve medan resterande (ca 1 procent) är koldioxid, ädelgaser mm.

Förbränning av naturgas, som huvudsakligen består av metan (CH₄), med luft kan förenklat skrivas enligt följande formel:



Som synes utgör luftens kväve enbart en ballast som ej deltar i förbrännings reaktionen.

Luftens kväve utgör huvuddelen av den gasmängd som upphettas vid förbränningen och orsakar därmed energiförluster via de avgående rökgaserna. Det skulle med andra ord finnas fördelar om man kunde låta enbart syret delta i förbränningen – **oxyfuel-förbränning** – enligt följande förenklade reaktionsformel:



Genom att utnyttja syntetiskt framställd syrgas med hög renhet kan man åstadkomma ovanstående reaktion nästan utan oönskade bireaktioner

2.2 Förbränning i praktiken

Ovanstående reaktioner (A) o (B) utgör en förenklad beskrivning av det verkliga förbränningsförloppet. I praktiken uppstår avvikelser av större eller mindre betydelse, enl. nedan.

Luftöverskott – För att åstadkomma en fullständig förbränning måste man tillföra mer luft än det teoretiska (stökiometriska) behovet. Luftöverskottet anges med luftfaktorn (n):

$n = \text{tillförd luftmängd} / \text{teoretiskt luftbehov}$

Vid förbränning av energigas med luft är en normal luftfaktor $n = 1,05 - 1,10$ (5–10% luftöverskott). Luftöverskottet innebär att en större andel kväve behöver värmas upp vilket i sin tur ger ökade förluster och sänkt termisk verkningsgrad.

Ökad syrehalt i förbränningsluften (syrgasanrikningen) ger intensivare och effektivare förbränning varför *luftöverskottet* och därmed förlusterna *kan minskas*. Ren *oxyfuel-förbränning* kan ligga mycket *nära stökiometriska förhållanden*.

Kväveoxid bildning – I praktiken reagerar en del av luftens kväve med luftens syre och bildar kväveoxider (NO_x). Dessa reaktioner är endoterma dvs energiupptagande och reaktionshastigheten ökar betydligt vid stigande förbränningstemperaturer.

Vid syrgasanrikning av förbränningsluften ökar tillgången på syre samtidigt som förbränningstemperaturen stiger. Dessa båda faktorer samverkar till en kraftigt ökande NO_x -bildning! När syrgasanrikningen ökar ytterligare når man så småningom en punkt då kvävetillgången börjar bli den begränsande faktorn. Detta inträffar vid 60–70% syrehalt i förbränningsluften. Vid högre syrehalt sjunker NO_x -bildningen dramatiskt för att bli noll vid 100% syrgas dvs ren oxyfuel förbränning (jfr fig. 1). Detta gäller under förutsättning att man använder ett kvävefritt bränsle. Naturgas har vanligtvis mycket låga kvävehalter.

Övriga föroreningar – Beroende på hur rent bränslet är kan även andra föroreningar som svavel, tungmetaller mm ingå i rökgaserna. Naturgas är normalt ett mycket rent bränsle nästan helt utan föroreningar, vilket underlättar förbränningen och minskar utsläppen.

NO_x-emission (ppm)

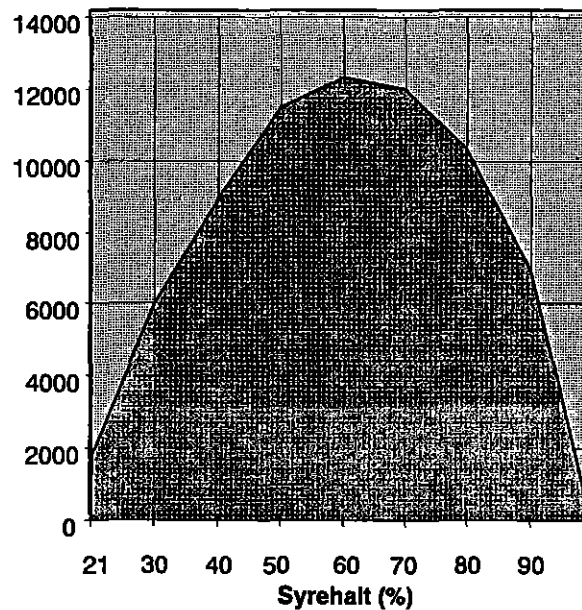


Fig. 1 Kväveoxidbildning som funktion av syrgashalt i förbränningsluften vid naturgasförbränning.

2.3 För- och nackdelar vid oxyfuelförbränning

Vid oxyfuel-förbränning uppnår man en rad fördelar men också vissa nackdelar jämfört med normal luftförbränning. Nackdelarna består främst i kostnaden för syrgas och risker i samband med hanteringen. Dessa aspekter belyses i avsnitt 5 och 6.

Fördelarna är främst av förbränningsteknisk karaktär och kan delas upp i följande fyra punkter:

1. Högre förbränningstemperatur
2. Mindre rökgasvolym
3. Kapacitetsökning av befintliga installationer
4. Låg NO_x-bildning

Nedan belyses mer ingående konsekvenserna vid övergång till oxyfuel tekniken.

2.3.1 Högre förbränningstemperaturer

Genom att öka andelen syre i förbränningsluften och därmed minska andelen kväve som ska värmas "upp i onödan" kan en relativt kraftig höjning av förbränningstemperaturen åstadkommas. Fig. 2 visar hur den sk adiabatiska förbränningstemperaturen ökar med upp till 800 °C vid ökande syreandel. I normala fall kan man inte uppnå adiabatiska förbränningstemperatur eftersom man har förluster av olika slag, men förändringen i temperatur är den samma. Den höga förbränningstemperaturen medför i sin tur förbättrad värmeöverföring och därmed en effektiv process.

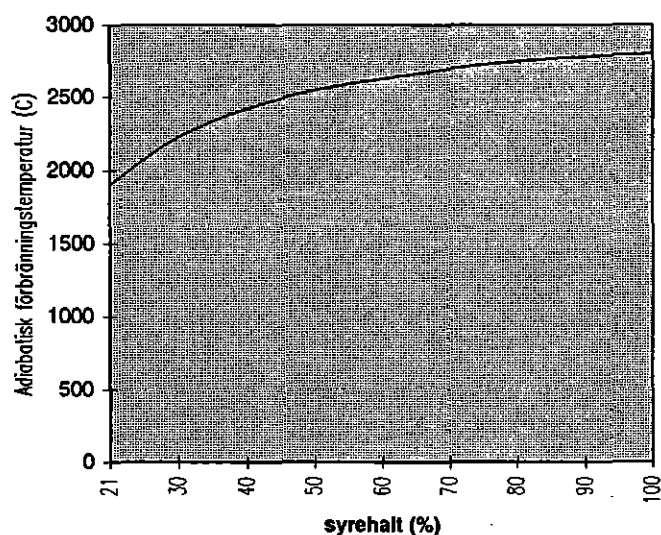


Fig.2 Adiabatisk förbränningstemperatur som funktion av syrgashalt i förbränningsluften vid naturgasförbränning.

2.3.2 Mindre avgasvolym

Som framgår av reaktionsformlerna A och B minskar avgasvolymen successivt med ökande syrehalt respektive minskande kvävehalt, för att vid ren oxyfuel-förbränning (enl. formel B) vara nere i ca 30% av rökgasvolymen vid normal luftförbränning (A). I praktiken kan man komma ännu längre genom att värmeöverföringen blir effektivare och luftöverskottet mindre vid oxyfuel-förbränning och därmed minskar bränslebehovet vid bibehållen produktionskapacitet. *Normalt kan man räkna med att rökgasvolymen vid ren oxyfuel-förbränning endast är ca 20–25% jämfört med rökgasvolymen för konventionell luftförbränning vid lika stor produktion.*

Den mindre rökgasvolymen får flera gynnsamma konsekvenser:

För det första *minskar rökgasförlusterna* och förbränningsprocessen blir effektivare.

För det andra *förbilligas en eventuell ny installation* och *driftkostnaderna* minskar genom att kanaler, fläktar och eventuell reningsutrustning dimensioneras för ett lägre avgasflöde.

För det tredje innebär den minskade rökgasvolymen att risken för *stoftmedryckning blir betydligt mindre* och att eventuell stoftrening kan förbilligas.

2.3.3 Kapacitetsökning

Vid konvertering av befintliga anläggningar till oxyfuel-förbränning finns goda möjligheter att öka kapaciteten vilket i sin tur beror på att man kan utnyttja ovan beskrivna faktorer i samverkan:

Högre temperatur och intensivare förbränning innebär att värmeöverföringen i processen kan effektiviseras och *produktionen ökas betydligt i oförändrad ugnsvolym.*

Minskad specifik avgasvolym innebär att *produktionen kan ökas utan att avgassystemet behöver förändras.* Möjligen måste bränsletillförseln uppdimensioneras med detta innebär normalt ingen större kostnad.

Minskade specifika utsläpp av stoft och kväveoxider innebär att *produktionen kan ökas utan att gällande utsläpps-gränser överskrids.*

2.3.4 Låg NO_x-bildning

Som ovan nämnts är ren oxyfuel-förbränning ett effektivt sätt att undgå NO_x-bildning. Det är emellertid inte helt trivialt eftersom ett antal faktorer måste vara uppfyllda.

- För det första ska bränslet helst inte innehålla kväveföreningar. Naturgasen Sverige är nästan helt fri från kväve, däremot innehåller olika kvalitéer av kol och olja större eller mindre halter av kväve.
- För det andra måste ugnen vara "tät" eller ha ett balanserat lufttryck så att läckluft och därmed kväve ej kommer i kontakt med flammen.
- För det tredje bör råvaran ej innehålla kvävehaltiga ämnen som kan reagera i oxyfuel-flammen.
- Slutligen måste syrgasen ha en hög renhet d.v.s. låg kvävehalt. (jfr fig. 1)

2.4 Effektivare process – ett exempel.

Låt oss studera effekten av övergång från konventionell luftförbränning till ren oxyfuelförbränning i en enkel ugn. Fig. 3 illustrerar värmebalansen för en bränsleeldad värmningsugn.

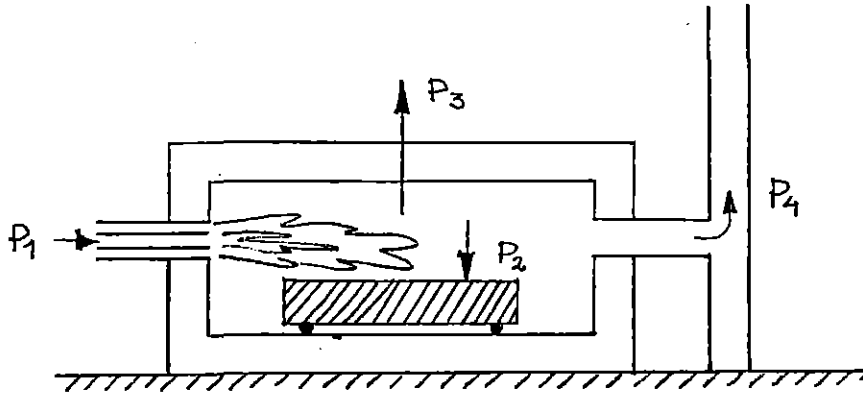


Fig. 3 Värmebalans för värmningsugn

$$P_2 = P_1 - P_3 - P_4$$

P_1 = tillförd energi via brännare

P_2 = upptagen energi av godset

P_3 = transmissionsförluster

P_4 = rökgasförluster

Den nyttiga energin P_2 som behöver tillföras godset i ugnen är konstant men eftersom flamtemperaturen är högre vid oxyfuel-eldning (jfr fig. 4) ökar såväl konvektiv som strålningsvärmeöverföring till godset.

Förlusterna genom ugnsväggen P_3 är oförändrade så länge ugnsatmosfärens temperatur är oförändrad. Förlusterna via avgaserna däremot minskar i proportion till den minskade rökgasvolymen om temperaturen är oförändrad. Den termiska verkningsgraden () anger hur stor del av tillförd energi som kommer till nytta i ugnen dvs som inte blir rökgasförluster P_4 .

$$\eta_T = (P_2 + P_3)/P_1 = 1 - P_4/P_1$$

I figur 5 nedan anges den termiska verkningsgraden som funktion av O_2 -halt och rök Gastemperatur vid förvärmad respektive ej förvärmad luft. Som synes ger ren oxyfuel-eldning en kraftigt förbättrad verkningsgrad speciellt vid höga ugnstemperaturer

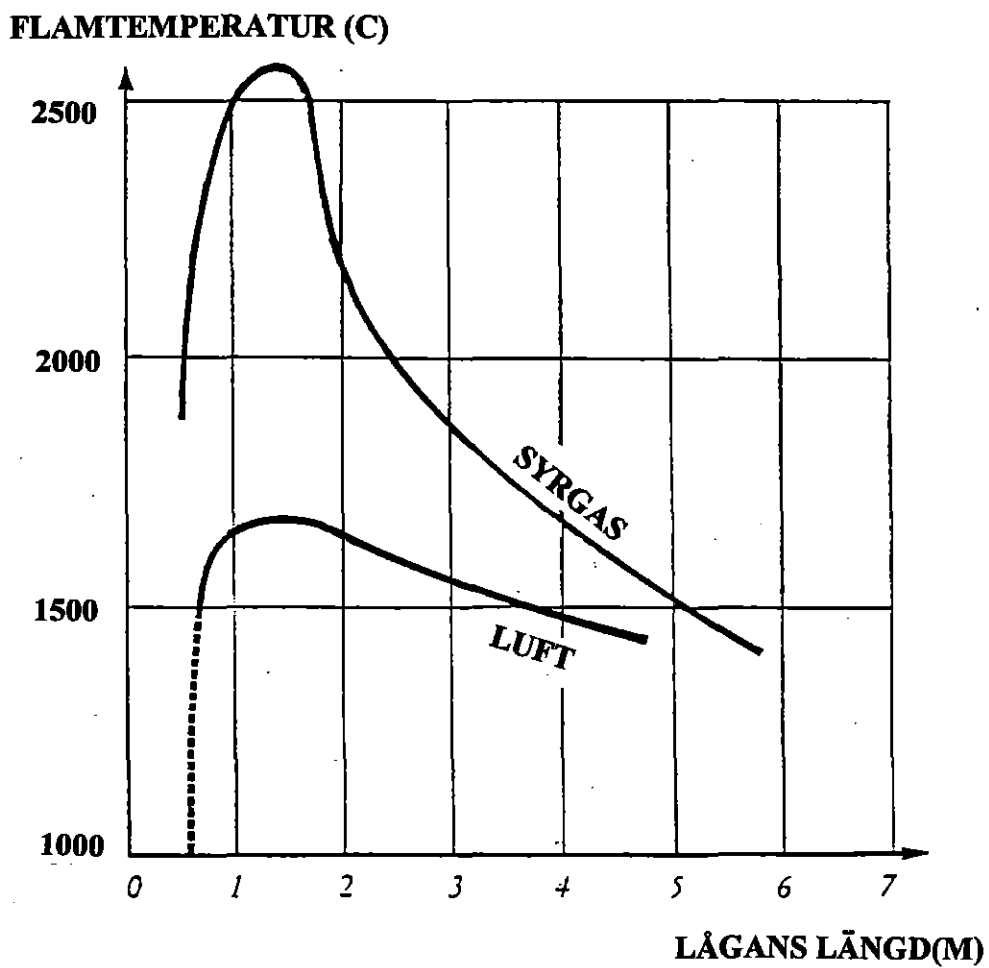


Fig. 4 Flamtemperatur i oxyfuel-brännare respektive luftbrännare.

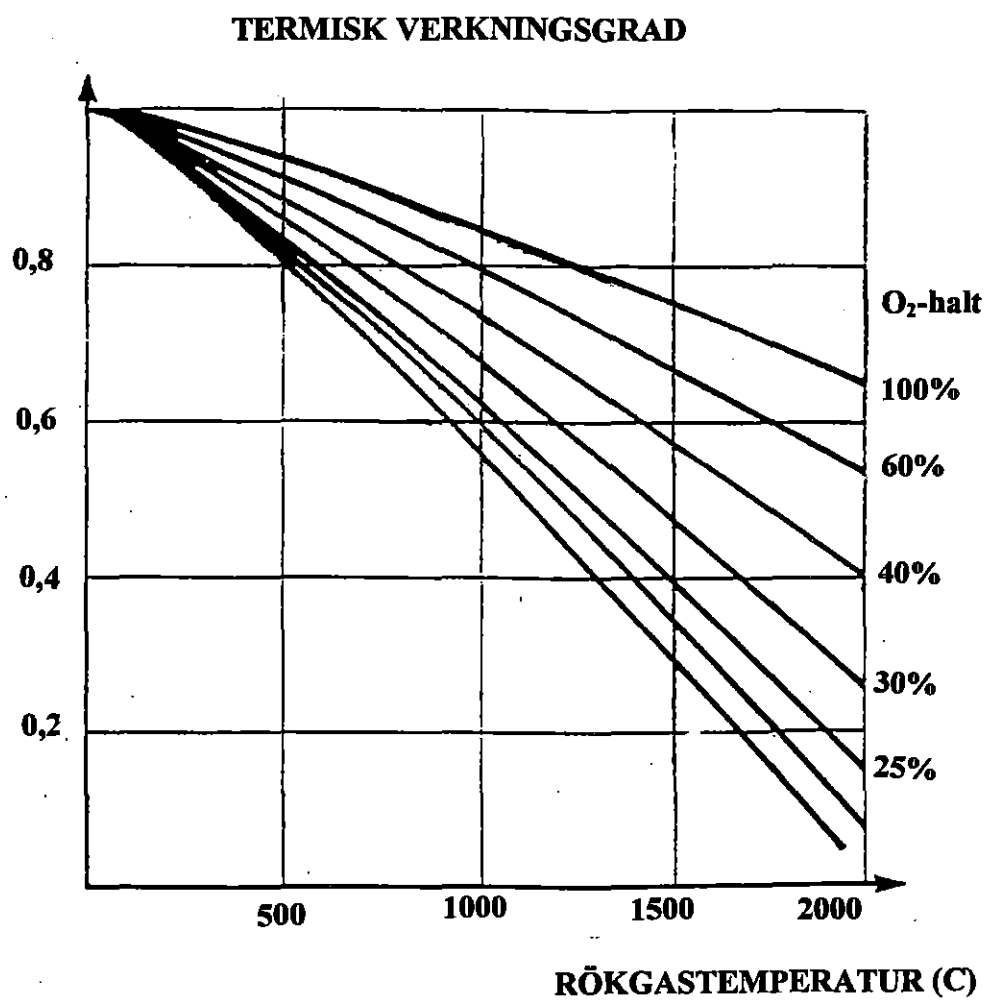


Fig. 5 Termisk verkningsgrad vid olika syrgashalt som funktion av rökgastemperatur – naturgas, luft, syrgas tillfört vid 25 C

2.5 Lönsamhet

Övergång till oxyfuel-tekniken har som synes många process-tekniska fördelar. Lönsamheten jämfört med konventionell teknik varierar däremot kraftigt från fall till fall. En viktig faktor är naturligtvis kostnader för syrgas som inte får bli högre än de process-tekniska vinsterna.

Den ekonomiska balanspunkten ligger på olika nivå för olika typer av processer men är också beroende hur man värderar fördelarna vid den aktuella anläggningen. Vissa industriprocesser t.ex. inom järn och stålindustrin har sedan länge framgångsrikt och lönsamt utnyttjat syrgas i sina processer. Andra industrier har däremot först på senare tid visat intresse för oxyfuelteknik ett viktigt skäl har varit de senaste årens ansträngningar att minska industrins miljöpåverkan.

En utveckling av nya och billigare processer för framställning av syrgasanrikad luft respektive ren syrgas innebär naturligtvis att nya tillämpningar av oxyfuel-tekniken öppnas. den aktuella prisrelationen mellan elenergi, gas och olja har stor betydelse för val av oxyfuel eller ej. Är exempelvis elpriset högt i förhållande till naturgas och olja ökar detta oxyfuel teknikens konkurrenskraft.

3 INDUSTRIPROCESSER

3.1 Högtemperaturprocesser

Oxyfuelteknikens fördelar kommer bäst till sin rätt inom olika typer av högtemperaturprocesser. Dessa finner vi framför allt inom stål, metall och glasindustrin som utnyttjar olika typer av ugnar för värmning och smältning jfr nedanstående tabell 2.

Tabell 2 Temperatur och energibehov för några högtemperaturprocesser.

Process	Ugnstyp	T_f °C	T_e °C	H_e MJ/t
Gjutjärns-smältning	- induktionsugn - rotationsugn - kupolugn	1150–1280	1450–1550	ca 300
Stål-smältning	- elektrisk ljusbågsugn - induktionsugn - roterande ugn	1450–1530	1550–1700	ca 350
Smältning av aluminium-legeringar	- degel ugn - roterande ugn - strålningsugn - induktionsugn	575–660		ca 400
Smältning av kopparlegering.	- degelugn - induktionsugn - roterande ugn	890–1290	1100–1350	ca 200
Glassmältning	- glasvanna - degelugn - elektrisk ugn	1200	1400–1530	ca 800
Värmningsugn	- induktionsugn - genomskjutnings- ugn		1200–1300	2–300

T_f = smält temp. °C

T_e = produktions temp °C

H_e = energibehov MJ/ton

Ovanstående ugnstyper lämpar sig för olika tillämpningar p.g.a. sina olika egenskaper beträffande:

- energiförbrukning och driftkostnader
- investeringskostnad
- produktionskapacitet o flexibilitet
- miljöpåverkan

Förutsättningarna på den svenska energimarknaden har bl.a. karaktäriserats av billig elenergi, begränsad tillgång på naturgas respektive relativt hårda miljökrav. Detta har bl.a. lett till ökad användning av elugnar av olika slag (induktionsugnar, ljusbågsugnar och motståndsgugnar). Vid introduktion av naturgas och andra energigaser samt utveckling av processer baserade på oxyfuel-teknik kommer nya alternativa process-tillämpningar erbjudas. Nedan görs en genomgång av ett antal processer och ugnstyper och vilka möjligheter oxyfuel ger för dessa .

3.2 Kupolugnar

Kupolugnar används främst för järnframställning i större gjuterier. Kupolugnarnas antal har minskat men de står fortfarande tonnagemässigt för en betydande del av järngjutgodset. Exempelvis smälter Volvo och Saab stora delar av sitt bilgjutgods i kupolugnar.

Kupolugnen består av en stående cylindrisk ugn som chargeras uppifrån med råvara och koks i lagom blandning. Allt efter som kolet förbränns(oxideras) reduceras och smälter järnet. Smältan tas ut i botten av ugnen. Förbränningsluft blåses in via öppningar i ugnens nedre del. avgaserna stiger uppåt genom ugnen och förvärmer chargin innan de leds bort vid ugnens toppen.

Koksen kan i befintliga ugnar delvis ersättas med naturgas, dock till maximalt 40% av energiinnehållet. Fördelen är ökad kapacitet och mindre stoftutsläpp. Det finns även ugnskonstruktioner där koksen ersätts helt av naturgas (fig. 6). Den koks fria kupolugnen skiljer sig från den konventionella kupolugnen genom att koks ersätts med ett lager keramiska kulor (diam 125–150 mm). Kulorna fungerar som värmeväxlare och vilar på ett vattenkyllt galler. Under gallret sitter ett antal brännare. Rökgaserna stiger upp genom ugnsschaktet och värmer de keramiska kulorna och chargin.

För att uppnå högre temperatur i kupolugnar kan man injicera syrgas eller tillföra syragasanrikad luft på olika nivåer genom ugnsväggen. Fördelen med syrgastillförsel är framförallt att ugnens kapacitet och flexibilitet ökar, vilket även uppnås genom naturgastillförsel enligt ovan. Ytterst är det en fråga om att optimera kostnaderna med hänsyn till gas-, koks- och syrepriset. I tabell 3:2 illustreras fördelen att kombinera naturgas med syrgasanrikning. Som synes minskar den specifika energiåtgången samtidigt som rökgaserna blir renare.

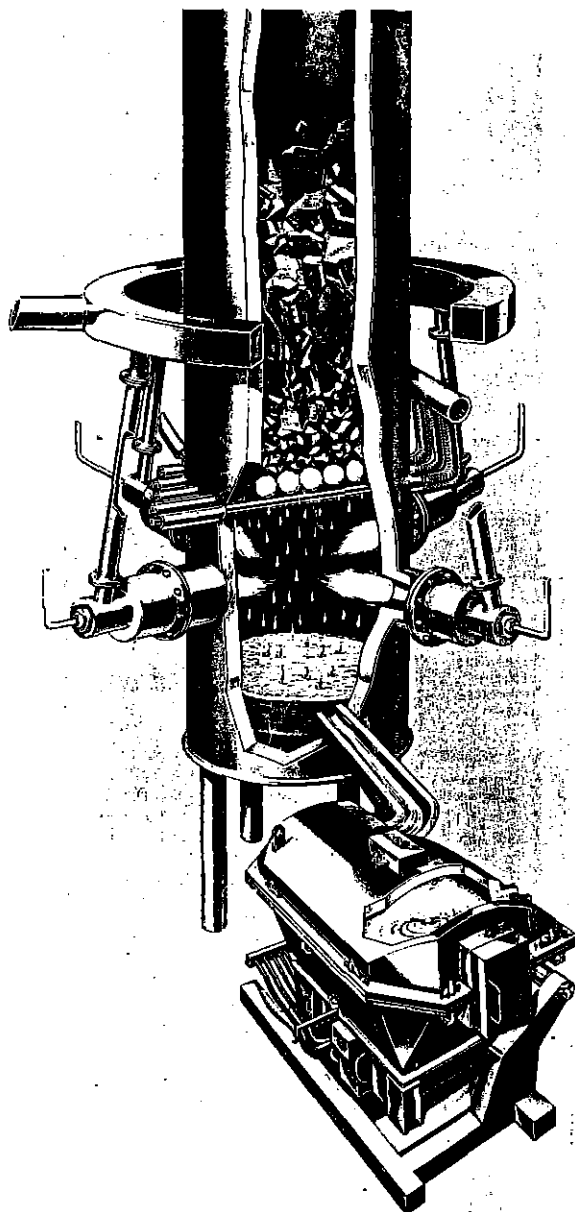


Fig. 6 Den koks fria kupolugnen.

Tabell 3:2

Energiåtgången per Mt smält metall vid kokseldad respektive helt naturgaseldad kupolugn båda med syrgasanrikning (ca 2%) enl. Dycker.

	Kokseldad kalluft		Naturgas eldad (helt utan koks)	
		MJ		MJ
Förvärmning	Olja 0,5 kg	18.8	naturgas 8m ³	284.7
Smältning	Koks 100 kg Syre 20 m ³	3684.4	naturgas 50m ³ syre 12 m ³	1779.5 21.6
Kylning, fläktar o Elfilter	El 30 kWh	108.0	-	13.5
Avtappning	Olja 1 kg	37.7		
Avsvavling	El 11,5 kWh	41.4		
Överhettare			El 70 kWh	252
SUMMA		3926.3		2619.3

3.2 Roterugnar

Roterande ugnar består av en liggande cylinder som roteras kring sin symetri-axel. Ugnen chargerar från en gavelöppning. Brännare och avgasutsug placeras i denna eller motsatta gavelöppningen.

Roterugnarna används i första hand i gjuterier för att smälta gråjärn, smidesjärn och legerade gjutjärn. Ugnstypen är också vanlig i metallgjuterier för smältning och varmhållninga av aluminium-, tenn-, bly- och kopparlegeringar.

Den roterande ugnen har tidigare använts i större omfattning i svenska gjuterier, men under senare år i minskande omfattning p.g.a. konkurrensen från elektriska induktionsugnar.

Fördelar:

- Låg investeringskostnad
- Lägre emissionsnivå än från kupolugn

Nackdelar:

- Låg verkningsgrad
- Hög bullernivå

Genom installation av oxyfuel-brännare kan ugnen effektiviseras avsevärt och bli konkurrenskraftig mot moderna ugnskonstruktioner. Jämfört med konventionell roterande ugn har man fått följande förbättringar:

- Bränslebesparing ca 40-60%
- Minskning av smälttid samt högre utbyte och därmed högre produktion med 20-40%.
- Minskning av oxidation (kol och kiselförluster)
- Minskning av ljudnivån jämfört med luftbrännare

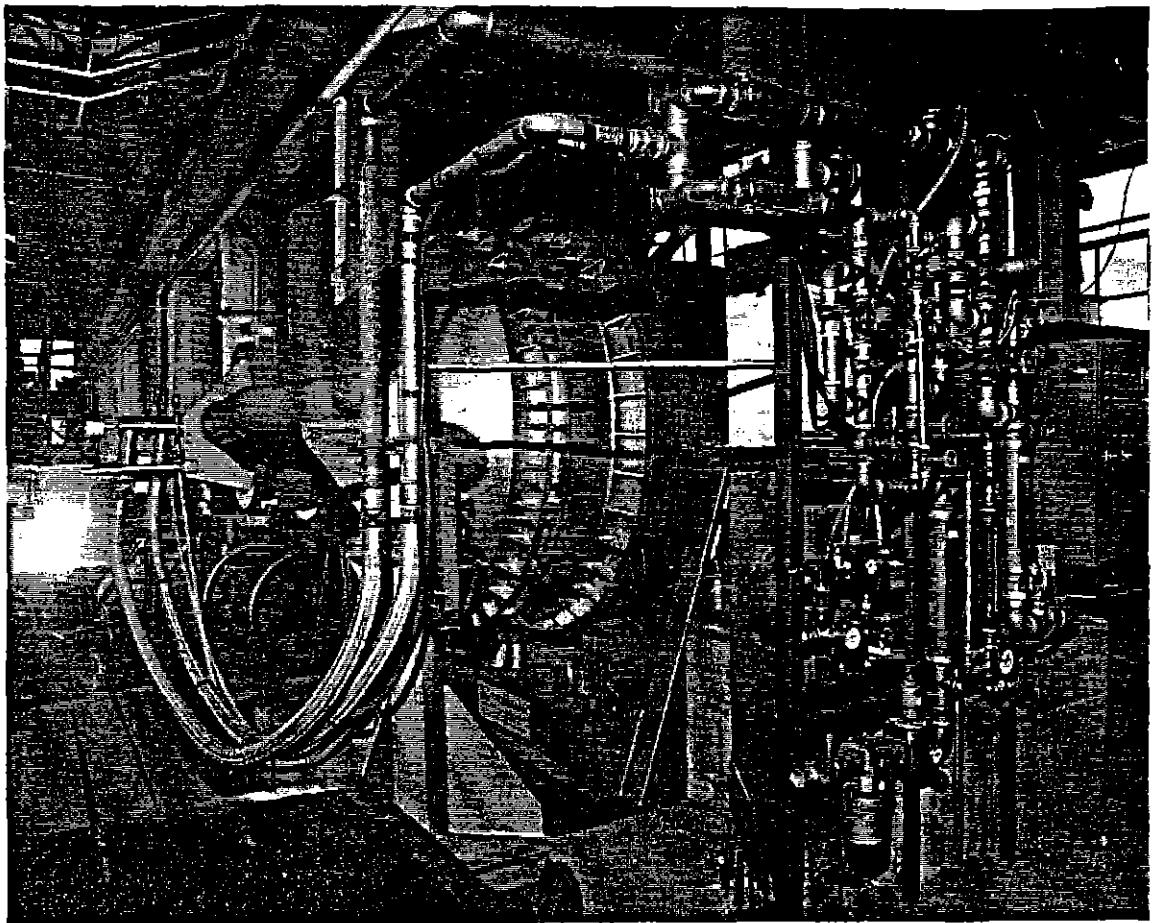


Fig. 7 Roterugn med oxyfuel-brännare monterad i gaveln

Idag finns över 130 roterande ugnar med oxyfuel runt om i Europa så erfarenheten är stor utomlands. I Sverige finns 2 st oxyfuel-eldade ugnar för Al-smältning hos Gotthard Aluminium i Älmhult, jfr bilaga 2.

3.3 Induktionsugnar

Elektriska induktionsugnar är vanliga i svenska gjuterier dels på grund av våra låga elpriser men också eftersom de kan ge en flexibel produktion med goda miljödata och hög verkningsgrad. Speciellt vid mindre produktionsvolymmer är induktionsugnen konkurrenskraftig. Produktionskapaciteten kan emellertid bli en begränsande faktor antingen på grund av ugnens smältkapacitet eller av begränsad kapacitet på elförsörjningssidan. En ökning av produktionskapaciteten kräver normalt stora investeringar i ny utrustning och nya byggnader. Då kan komplettering med oxyfuel-brännare vara ett mycket bra alternativ.

Fig. 8 visar hur en oxyfuel-brännare monterats vid ugnens topp. Under nedsmältningen riktas flammen mot det chargerade materialet. Locket dämpar brännarljud och minskar strålningsförlusterna.

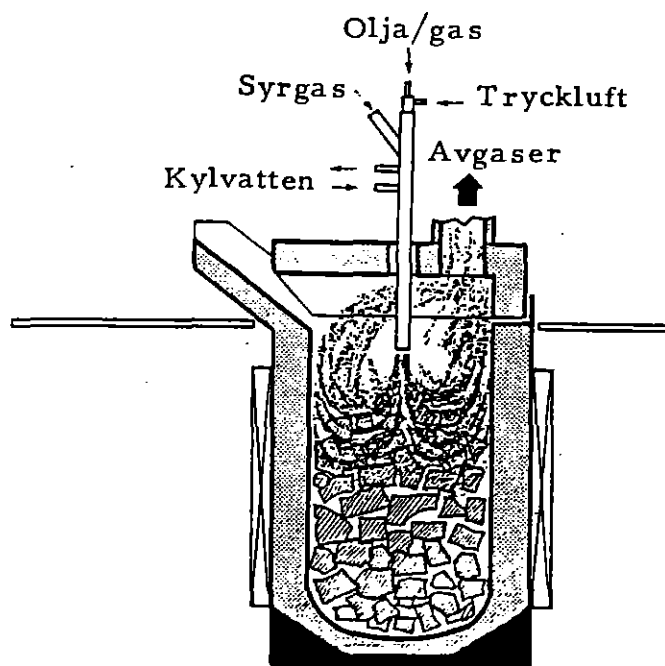


Fig. 8 Induktionsugn försedd med oxyfuel-brännare i locket.

Tillskottsenergin från brännaren kan utnyttjas på två sätt:

1. För att öka smältkapaciteten med ca 20–40%
2. För att minska elenergiebehovet vid bibehållen smältcykel.

Fig. 9 är en värmebalans för en 3,5 ton LFD-ugn, som visar att man kan uppnå en större produktion med mindre energi genom installation av oxyfuel.

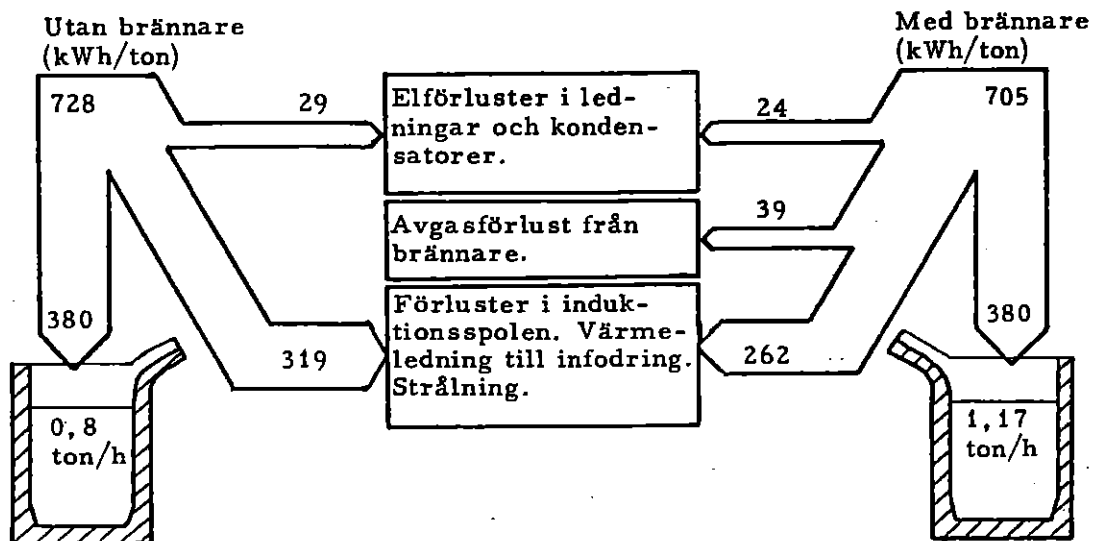


Fig. 9 Värmebalans för en induktionsugn med och utan oxyfuelbrännare.
(ugnskapacitet 3,5 ton, tappnings-temperatur 1580 °C)

Den höga temperatur som alstras, ger ett värdefullt energitillskott under nedsmältperioden. Detta uppges medföra att den termiska verkningsgraden för ugnen ökar, vilket ger mindre elförbrukning eftersom flammen snabbt värmer skrotet och därmed ökar det specifika elektriska motståndet i detta. Följden blir att även den induktiva verkningsgraden höjs hos induktionsugnen.

Chargesammansättningen är av stor betydelse. Chargen får inte enbart bestå av spån eller smått finmalt skrot då flammen i så fall har svårt att tränga igenom. I stället bör chargen bestå av en blandning av sorterad retur och fin skrot.

1984 installerades oxyfuel-brännare vid Nike-gjuteriet, Eskilstuna. Installationen förkortade smälttiden på den aktuella ugnen med ca 30–40 % vilket gjorde det möjligt att öka produktionen utan att investera i ny ugn. En nackdel var emellertid det kraftiga buller i lokalen som oxyfuel-brännarna orsakade.

För närvarande finns inte några induktionsugnar med oxyfuel-brännare i de nordiska länderna.

3.4 Ljusbågsugnar

Elektriska ljusbågsugnar används vanligen som smältugnar inom järn och stålindustrin. Hög effekt och energi överförs till smältan genom att en elektrisk ljusbåge skapas mellan grafit elektroder som sticks ner i chargen. El-effektbehovet är stort, speciellt i början av smältcyklen.

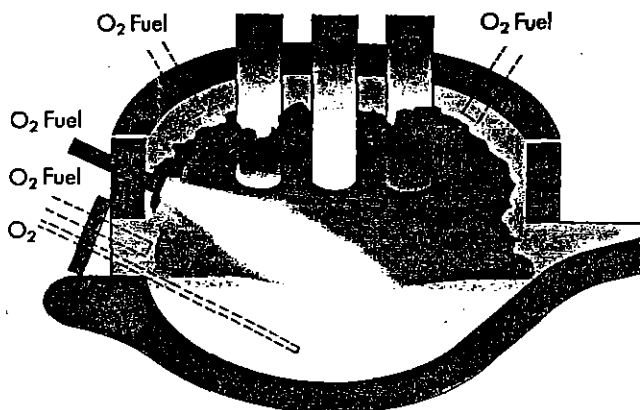


Fig. 10 Ljusbågsugn med oxyfuel-brännare

Genom att installera oxyfuel-brännare mellan elektroderna kan följande fördelar uppnås:

- ökad produktion med befintlig ugn genom att smältcykeln kan förkortas.
- lägre energiförbrukning totalt (bränsle+el) och möjlighet till lägre effektabonnemang (jfr fig. 11).
- möjlighet till jämnare temperaturfördelning i ugnen (undviker ev kalla zoner).
- högre metallurgisk flexibilitet med möjlighet att åstadkomma överskott av syre alternativt bränsle i olika delar av ugnen.
- låg investeringskostnad jämfört med att installera en ny ugn.

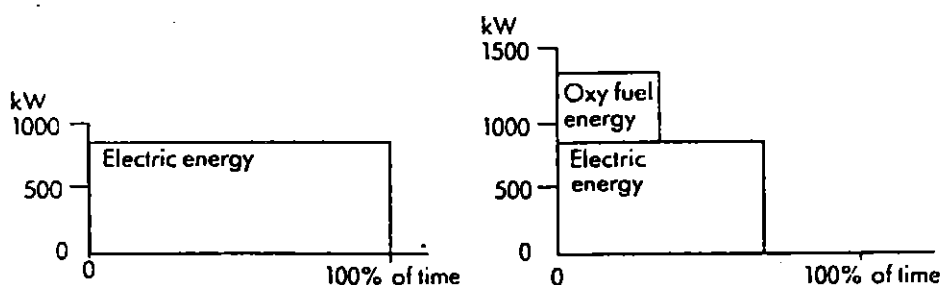


Fig. 11 Energianvändning i en ljusbågsugn med respektive utan oxyfuel.

Vid installation av oxyfuel-brännare i en ljusbågsugn måste man vara observant på att infästning av brännarna gör så att ej ugnen skadas eller onödigt slitage på infordringen uppstår. Ljud från brännarna och eventuellt ökad avgasmängd är konsekvenser som måste beaktas.

Ekonomi i oxyfuel-installationen är beroende av att ovan nämnda besparingar uppväger den ökade driftkostnaden i form av syrgas.

Normalt kan produktionskapaciteten ökas med 20–30% samtidigt alternativt elförbrukningen minskas i samma storleksordning. Jfr fig. 12. Oxyfuel-installationen kan även kompletteras med syrgaslansar sk färsugning som ger möjlighet att förbränna kolmonoxid och vätgas som bildas i processen speciellt i början av smältcykeln. Det är också intressant att tillföra syrgas mot slutet av smältcykeln för att producera oxiderad och därmed stabilare slag.

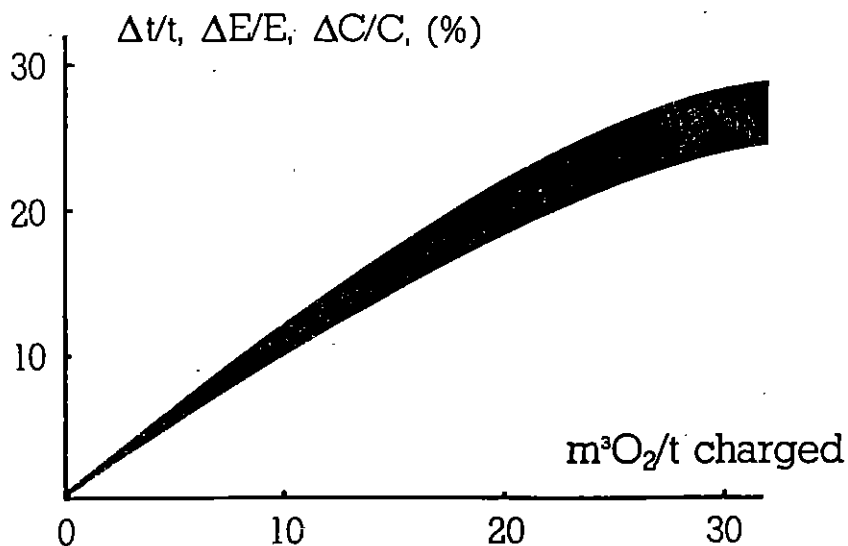


Fig. 12 Förändring i tidsåtgång (t), kapacitet (C) och energiförbrukning (E) vid övergång till oxyfuel i en ljusbågsugn. (enl L'air Liquide)

3.5 Värmningsugnar

Värmningsugn är det samlande begreppet för ett antal ugnstyper med mycket varierande konstruktion och geometri så som gropugnar, vagnugnar, genomskjutningsugnar etc. Gemensamt för de olika typerna av värmningsugnar är att de utnyttjas för värmning och värmebehandling av olika typer av gods inom gjuterier, järn och stålindustrin, mekanisk industri, keramisk industri m.fl. Vid värmebehandling är det viktigt att kontrollera temperaturförloppet så väl som möjligt i hela ugnsrummet. Vid övergång till oxyfuel måste den aktuella ugnens funktion studeras före konvertering så att oxyfuel-brännarens specifika egenskaper utnyttjas på rätt sätt. Följande faktorer ska bl.a. beaktas.

Sker värmningen satsvis eller kontinuerligt?

Vid satsvis värmning är ofta en snabb värmning till rätt temperaturnivå önskvärd. Oxyfuel-brännarens höga flamtemperatur och kraftiga strålningskomponent ger fördelar i detta avseende.

Värms ugnen direkt eller indirekt?

I indirekt värmda ugnar där själva energikällan (brännaren) är skild från godset, av en mellanvägg eller en separat brännkammare, utnyttjas inte oxyfuel-brännarens fördelar fullt ut.

Hur sker värmeöverföringen i ugnsrummet?

Vid övergång till oxyfuel ökar normalt strålningsdelen på bekostnad av konvektiv värmeöverföring. Detta kan i sin tur orsaka ojämn värmning i olika delar av ugnen. En lösning kan vara att utnyttja flera brännare eller placera brännarna i en annan geometri i ugnsrummet.

Vilka temperaturkrav ställer ugnprocessen?

Syrgasflammans högre temperatur måste beaktas i den aktuella processen.

Hur är värmeåtervinningen ordnad?

I ugnar med effektivt regenerativ eller rekuperativ värmeåtervinning är vinsten (bränslebesparingen) vid övergång till oxyfuel mindre än vid konvertering av ugnar utan värmeåtervinning. Konvertering till oxyfuel kan vara ett alternativ till installation av nya värmväxlare.

Finns det specifika krav på ugnsatmosfären?

Oxyfuel-flammans avgaser har annorlunda sammansättning än avgaserna från en luft/gasflamma, vilket kan påverka godset i ugnen.

Sammanfattningsvis kan konstateras att oxyfuel-brännare lämpar sig bäst för värmningsugnar av följande typ:

- direktvärmning
- satsvis värmning
- högtemperatur
- stor strålningsandel
- ingen fungerande värmeåtervinning

Installationsexempel framgår av bilaga 2.

3.6

Skänktorkning/värmning

För tappning och transport av metallsmälta från smältugnar används skänkar dvs behållare i eldfasta material. För att minska temperaturförlusterna förvärms skänken innan den fylls med smältan. Förvärmning sker främst med bränslebaserade system men elförvärmning förekommer också. Enkla bränslebaserade system utan värmeåtervinning uppvisar vanligen lägre verkningsgrad än elbaserade. Genom installation av en rekuperativ gasbrännare ökas verkningsgraden betydligt. Ett effektivt sätt att öka verkningsgraden utan att installera värmeväxlare är övergång till oxyfuel-brännare med avsevärt mindre rökgasförluster och hög verkningsgrad som följd jfr referensanläggning i bilaga 2.

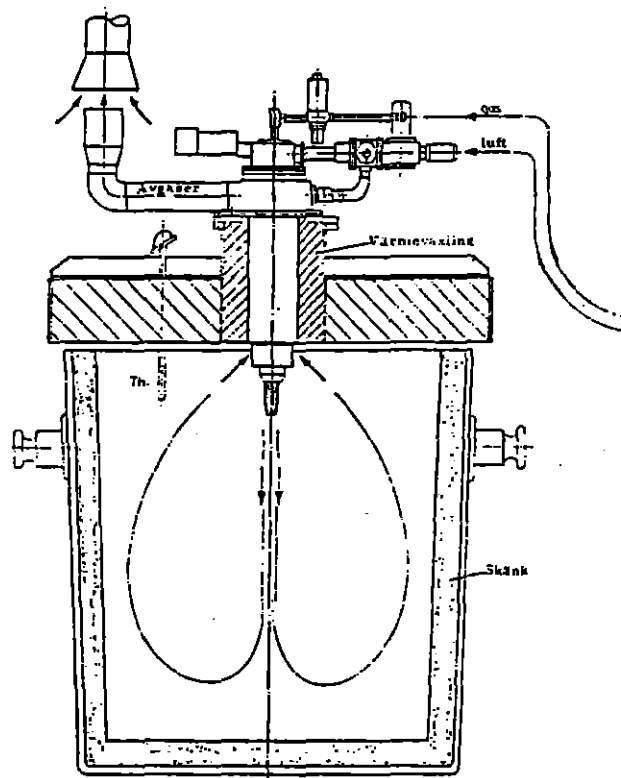


Fig. 13

Rekuperativ gasbrännare för skänkvärmning.

3.7 Sandrening

En udda tillämpning av oxyfuel-teknik är rening av gjuterisand. Gjuterisand är en restprodukt som man blivit allt mer intresserad av att återvinna i många industriländer p.g.a. ökade deponeringskostnader. I Sverige deponeras gjuterisanden oftast men kostnaderna börjar stiga även här. I Europa har större centrala anläggningar för regenerering av sand byggts upp. Termisk förbränning under omblandning är en etablerad teknik, dock med den nackdelen att sanden sönderdelas och slipas till mindre kornstorlek och damm. En mera skonsam behandling vore önskvärd. Genom att utnyttja syrgas kan föroreningarna oxideras och sanden renas utan att förlora i kvalitet.

I ECOGAL-processen behandlas sanden med syrgas som åstadkommer en spontan förbränning av de organiska föroreningarna som finns i sanden. Syrgasen injiceras i botten av en reaktortank som rymmer ca 1,5 ton sand, syret sprids genom diffusion genom sandbädden. Sandens temperatur ökas successivt till ca 650 °C, varvid syret "angriper" och oxiderar föroreningarna i sanden som avgår i form av enkla molekyler som CO, CO₂ och H₂O. Oförbrända beståndsdelar som lämnar sanden tas om hand genom efterförbränning lämpligen med naturgas.

Den behandlade sanden som har en temperatur av ca 450 °C kyls och efterbehandlas så att den uppfyller gjuteriets krav på kornstorlek etc. En sats sand regenereras på ca 1 timma. Processen kan upprepas dygnet runt. Reaktor och efterbehandlingssystem arbetar med undertryck. Frånluften renas från damm och andra föroreningar i slangfilter.

Tekniska och ekonomiska data för termisk sandrening

Reaktor kapacitet	1,2–1,5 ton/tim
Reaktions temp.	550–750 °C
Syrgas behov	45–70 m ³ /ton sand
Gas behov	6–8 m ³ /ton sand
El behov	6 kWh/ton sand

Regenereringskostnad ca 100 kr/ ton

3.8 Glassmältning

3.8.1 Produktionsprocessen

Tillverkning av glas kan ske för hand som i konstglasindustrin men också i mycket högt driven automatiserad tillverkning av exempelvis emballageglas och planglas. Oberoende av produktionskapacitet och produkter kan processen indelas i följande steg:

1. Mängberedning (beredning av råvarublandning)
2. Smältning
3. Formning
4. Kylning
5. Inspektion/Efterbehandling
6. Packning/Lagring

Ur energiteknisk synpunkt är det naturligtvis smältprocessen som är mest intressant. Glasmassan måste värmas till minst 1200 °C för att smälta. I praktiken går man emellertid upp till betydligt högre (1400–1550 °C) för att påskynda processen och förbättra glaskvalitén. Glasråvaran smälter och luttras varvid gaser och blåsor avlägsnas och glasmassan homogeniseras. Efter smältningen får temperaturen i glaset gå ner till 1100 å 1150 °C varefter formningen kan ske, antingen denna nu sker för hand eller i helautomatiska maskiner.

Glassmältningsugnar varierar kraftigt i storlek, utformning och funktion beroende på vilken produkt som skall tillverkas respektive mängden glas som skall smältas. Vid konstglastillverkning i mindre volymer dominerar den sk degelugnen jfr fig. 14. I en degelugn smälts glas satsvis d.v.s. degeln fylls med mängd varefter den placeras i ugnen. Brännarna startar och körs tills satsen är smält och homogeniserad. Därefter kan smältan tas ut för formning. Degelugnen har ofta relativt låg verkningsgrad p.g.a. att det inte är lönsamt att installera mer effektiv värmeåtervinning från rökgaserna.

Glassmältning i en sk vanna är den konventionella metoden i större maskinella glasbruk. (t.ex. för produktion av flaskor eller planglas). Vannan är utrustad med rekuperativa eller regenerativa värmeväxlare (regeneratorer) för förvärmning av förbränningsluft. Glasråvaran som matas in via ena kortsidan smälter till glas som homogeniseras och luttras, samtidigt som det transporteras mot vannans uttag. Glaset tas ut i en feeder dvs en kanal där glasets temperatur och viskositet regleras noggrant före den slutliga formningen.

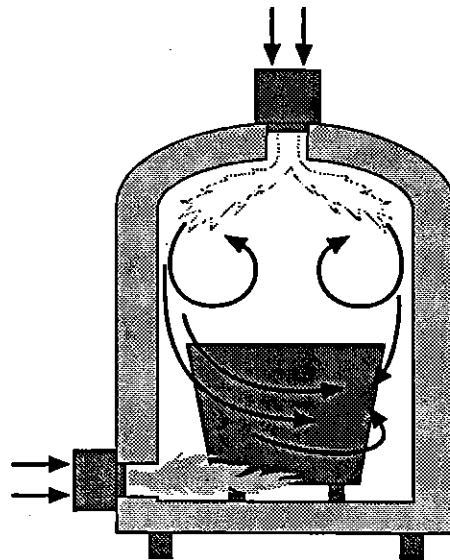


Fig. 14 Degelugn för konstglassmältning försedd med två brännarsystem.

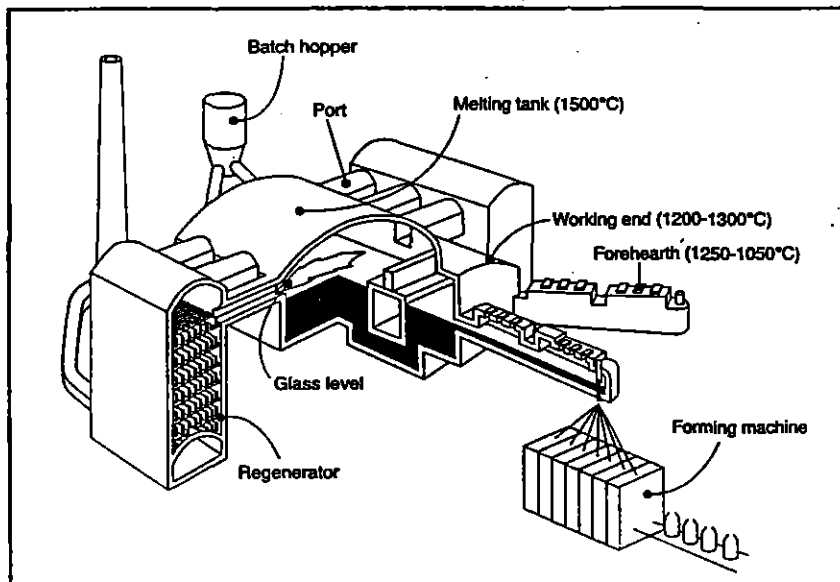


Fig. 15 Vanna för smältning av glas till flasktillverkning

Förvärmning av förbränningsluften är nödvändig för att hålla nere bränslebehovet. Som framgår av fig. 15 utgör värmeväxlarenheterna en mycket skrymmande och även kostsam del av installationen. Igensättning av värmeväxlarna och därmed försämrad funktion är ett vanligt problem, som kan bli orsaken till att vinnan måste tas ur drift och åtgärdas med produktionsbortfall som följd.

Med rekuperativa värmeväxlare kan luften förvärmas till ca 7–800 °C och regenerativa värmeväxlare ännu högre (1000–1200 °C). Speciellt det senare fallet innebär risk för NO_x-bildning som är ett av de svårare problemen att lösa inom den maskinella glasindustrin. Nedanstående diagram visar hur den förvärmda luftens temperatur påverkar NO_x-halten i avgaserna.

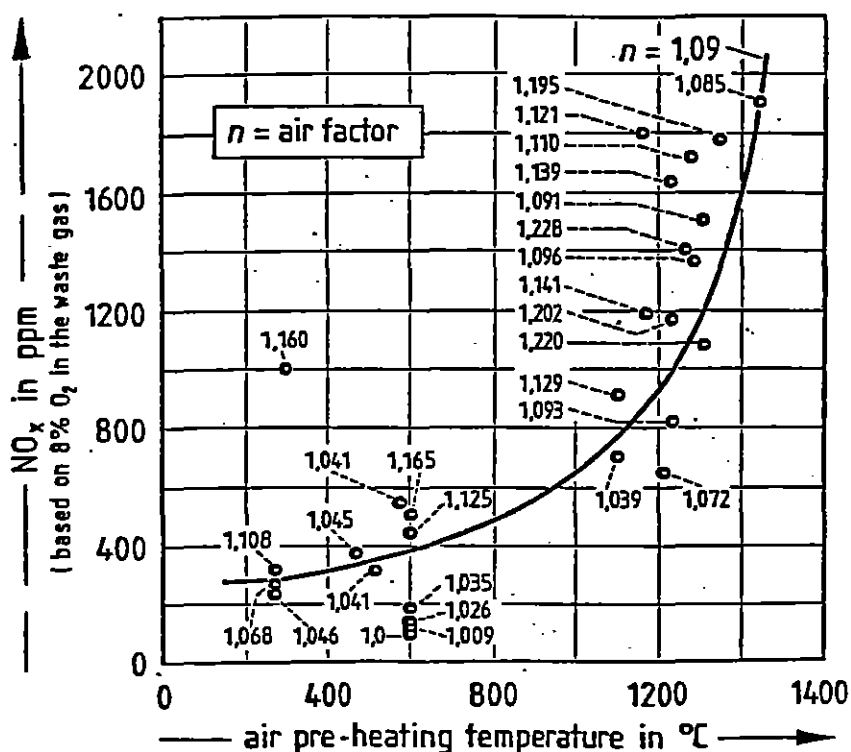


Fig. 16 Förvärmningstemperaturens påverkan på NO_x-halten i avgaserna för en glasugn.

Senare års utveckling framdriven av skärpta NO_x-krav har visat att man genom förbränningstekniska åtgärder kan minska NO_x-bildningen samtidigt som värmeöverföringen till smältan ökas och därmed bränsleekonomin förbättras.

I vissa länder är emellertid kraven på låga NO_x-utsläpp så hårda att katalytisk avgasrening eller elektrisk smältning är realistiska alternativ trots mycket höga kostnader. Konvertering till oxyfuel med naturgas utgör då ett tredje konkurrenskraftigt alternativ.

3.8.2 Oxyfuel för glasugnar

På senare år har utnyttjandet av oxyfuel-teknik vid glassmältning ökat markant. I USA finns idag ett hundratal installationer och i Europa ökar antalet snabbt. Miljökrav har ofta varit den utlösande faktorn vid övergång till oxyfuel-eldning. Samtidig har lägre syrgaskostnader, genom utveckling av PSA- o VSA-teknologin för produktion av syrgas på plats (on site) vid glasbruket bidragit till lönsamhet.

Effektivare värmeöverföring och minskade avgasflöden bidrar ytterligare att göra en oxyfuel-eldad glasvanna till ett intressant alternativ.

Ökad verkningsgrad

Oxyfuel-processen ökar andelen energi som kommer smältan till godo dels på grund av effektivare strålningsvärmeöverföring från den heta flamman och dels genom låga avgasförluster p.g.a. de små avgas-volymer. Vid oförändrad bränsleeffekt kan man alltså öka glasproduktionen från en befintlig vanna, alternativt minska bränsleåtgången vid oförändrad produktion. Följande bränslebesparingar är normala.

regenerativ vanna	- 20 %
rekuperativ vanna	- 35 %

Energibesparingen uppnås utan att glastillverkaren behöver investera i en ny värmeväxlarutrustning jfr fig 17 nedan.

Energiförbrukning för glasugn

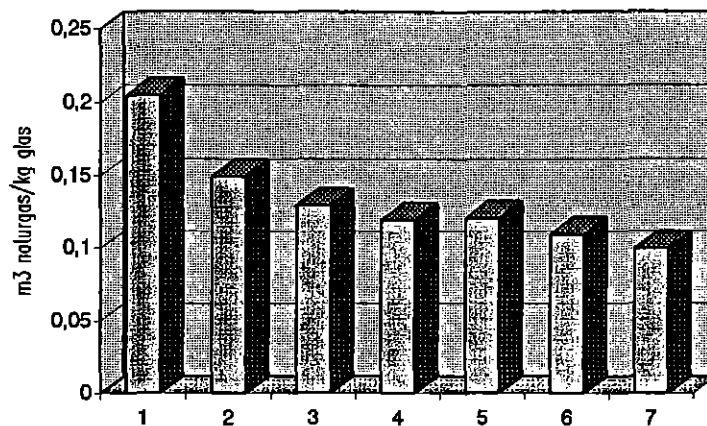


Fig. 17 Energiförbrukning för glasvanna som producerar glassmälta för flasktillverkning ca 250 ton/dygn vid olika energieffektiviserande åtgärder.

- 1 rekuperativ luftförvärmning 770 C
- 2 rekuperativ luftförvärmning 1100 C (keramisk rekuperator)
- 3 regenerativ luftförvärmning 1280 C
- 4 regenerativ luftförvärmning 1480 C (teoretiskt maximum)
- 5 regenerator (3) plus råvaruförvärmning till 350 C
- 6 100% oxyfuel utan förvärmning av luft eller råvara
- 7 100% oxyfuel utan luftförvärmning men med förvärmad råvara 250 C

Drift och underhåll

Den höga temperaturen på O₂-flamman måste beaktas vid installationen så att murverk i valv och brännarstenar ej blir direkt påverkade av flammen med risk för omedelbar sönderbränning. Ökat slitage på ugnen p.g.a. förhöjd valvtemperatur har däremot ej varit något större problem. I praktiken har t.o.m. sänkt temperatur i valv och ugnsatmosfär konstaterats. Detta är möjligt tack vare ökad penetration av strålningsenergin ner i glassmältan. Lämpligt utformad brännare i kombination med god absorption av strålningen i smältan get alltså förutsättningar för längre livslängd och minskat underhåll på ugnen!

Minskad rökgasvolym

Vid övergång till en Oxyfuel-process har avgasvolymen kunnat minskas med ca 80% vilket visat sig ha många positiva effekter.

För det första reduceras investeringskostnader med hänsyn till mindre dimensioner på kanaler, fläktar och reningsutrustning.

För det andra minskar driftkostnaden p.g.a. minskat fläktarbete samt mindre deponeringskostnader och mängdbehov. (se nedan)

För det tredje och kanske viktigaste innebär det minskade flödet avsevärt minskade utsläpp av förångade komponenter och damm från mängråvaran vilket i sin tur innebär minskat råvarubehov.

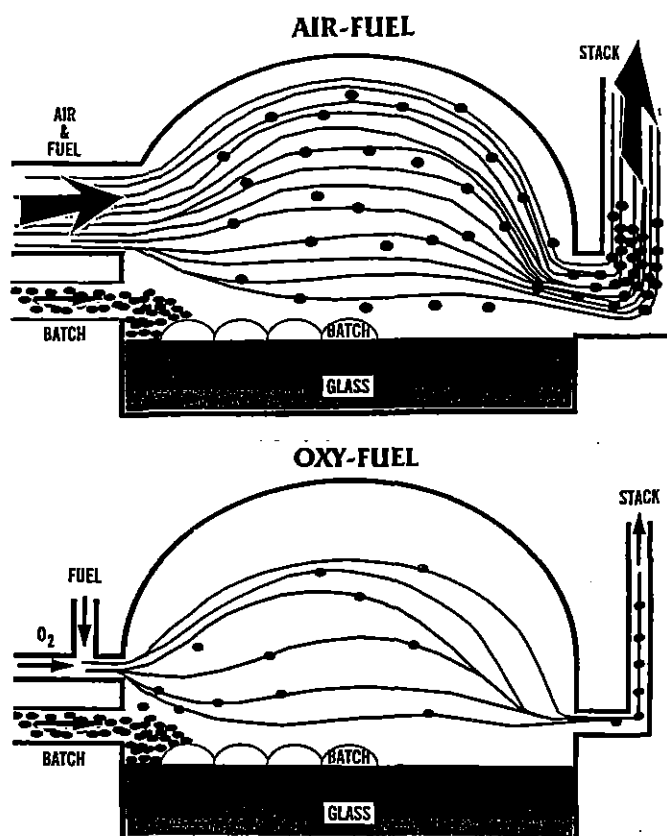


Fig. 18 Minskad rökgasvolym minskar utsläppen av gaser och stoft.

Minskade utsläpp

Den avgörande faktorn vid övergång till Oxyfuel inom glasindustrin har många gånger varit skärpta miljökrav. Förutom ovan nämnda minskning av mängdförluster kan minskade utsläpp av följande komponenter uppnås vid övergång från bränsle/luft till oxyfuel.

Kväveoxiderna kan minskas avsevärt under förutsättning att ugnen är tät och att mängden inte innehåller kvävehaltiga föreningar. Ren oxy-naturgasförbränning kan resultera i halter på $<100 \text{ mg NO}_x/\text{MJ}$.

Oförbrända kolväten ingår praktiskt taget inte i avgaserna från en oxyfuel-brännare.

CO₂-utsläppen minskar i takt med processens ökade effektivitet.

3.83 Ekonomi

Beslut om att gå över till en oxyfuel-eldad glasvanna tas efter sammanvägning av bl.a. av ovanstående faktorer som omsätts i kostnader och intäkter för verksamheten. Oxyfuel-brännare är ett av flera alternativ som glasindustrin har att välja mellan.

Nedan redovisas kostnadsjämförelser för olika alternativa system gjord med lokal förutsättningar i USA respektive Tyskland.

	Regenerative Furnace without pollution control	Regenerative Furnace with NH ₃ DeNO _x & EP	All Electric Furnace	Full Oxy-fuel Furnace without EP
Operating Cost	29DM/ton	32DM/ton	60DM/ton	35DM/ton
NO _x Emission	3-5 kg/ton glass	1.5-3 kg/ton glass	—	0.2-0.6 kg/ton glass
Particulates	high	high	—	low
Capital Cost	14.3 x 10 ⁶ DM	19 x 10 ⁶ DM	7.2 x 10 ⁶ DM	8 x 10 ⁶ DM
Furnace Life	8 Years	8 Years	2.5 Years	8 Years
Total glass produced per furnace life	730,000 tons	730,000 tons	230,000 tons	730,000 tons
Capital cost per ton of glass pulled	20 DM/ton	26 DM/ton	31 DM/ton	11 DM/ton
Total melting cost	40 DM/ton	58 DM/ton	91 DM/ton	46 DM/ton

Tabell 4 Jämförelse av smältkostnader i Tyskland för olika ugnsalternativ – konventionell ugn utan rening, konventionell ugn med rening, elugn och oxyfuel ugn utanrening (EP=elektrofilter).

Som synes kombinerar oxyfuel-ugnen goda miljödata med låg kapitalkostnad. Den relativt höga syrgaskostnaden är den faktor som gör konkurrensen med konventionella regenerativa ugnar hård.

I Sverige är elenergi ett billigt och i användarledet miljövänligt energislag samtidigt som naturgas endast är tillgänglig i begränsade delar av landet. Detta torde vara främsta orsaken till att endast en vanna konverterats till oxyfuel hittills (jfr bilaga 2).

4 BRÄNNARE

4.1 Allmänt

Valet av brännarutrustning måste anpassas helt efter de förbrännings-tekniska förutsättningarna i den aktuella processen. Några viktiga faktorer att beakta vid brännarvalet är följande:

1. Bränsleslag
2. Syrgashalt och tillförselmetod
3. Processtemperatur
4. Förbränningsrummets temperaturkänslighet och geometri
5. Produktkvalité

Oxyfuelbrännare har normalt mycket små dimensioner i förhållande till sin kapacitet, vilket möjliggör kompakta och flexibla installationer. Det är en fördel speciellt i befintliga anläggningar. Brännaren levereras oftast komplett med styr- och reglersystem som dels ska ta hand om start/stopp-sekvenser dels ska reglera brännareffekt och syre/bränsle-kvot. Ur säkerhetssynpunkt är det av största vikt att syret ej kommer i kontakt med bränsle förrän i flamman och att flamövervakningen är tillförlitlig.

Den fortsatta beskrivningen av oxyfuel-brännare avser i första hand naturgastillämpningar men kan till stor del appliceras även på andra bränsleslag som olja och gasol.

4.2 Syrgashalt och tillförselmetod

Syrgasen kan tillföras förbränningsprocessen på i princip tre olika sätt jfr fig. 19.

- A. Syrgasanrikning genom inblandning av en mindre andel syrgas i förbränningsluften sk "pre mix".
- B. Syrgastillsats i flamman genom separat syrgaslans t.ex. "undershot" anrikning.
- C. Syrgas/bränsleblandning i sk oxyfuel-brännare.

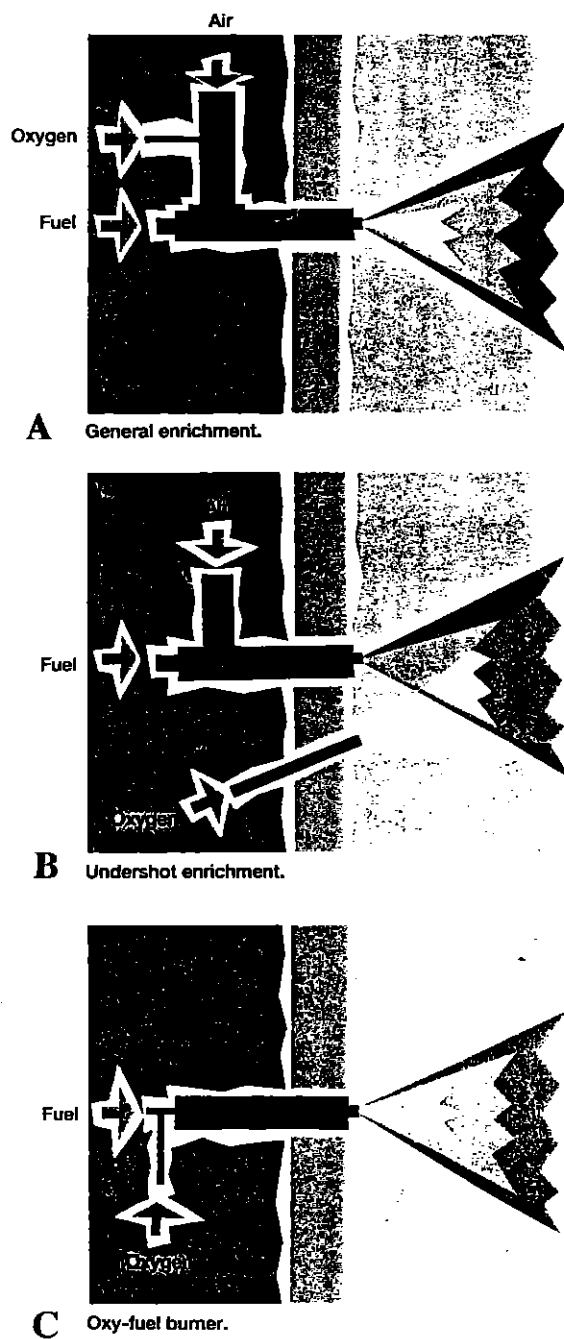


Fig. 19 Olika metoder för tillförsel av syrgas i förbränningsprocessen.

4.2.1 Syrgas/Luft blandning

Syrgasinblandning enl premix-principen är det enklaste och minst kostsamma sättet att öka syrgashalten vid förbränningen. Som framgår av fig. 19A tillförs syrgasen i förbränningsluftkanalen så att en homogen blandning uppnås, varvid förbränningsluftens syrehalt kan ökas från 21% till ca 25% utan att befintlig utrustning (brännare, ugn mm) behöver byggas om eller bytas ut.

Premix tekniken kan utnyttjas för att öka kapaciteten vid befintliga anläggningar, med i storleksordningen 10–20%. Produktionsökningen orsakas av den höjda flamtemperaturen och därmed förbättrade värmeöverföringen. Syrgashalten begränsas av tillåten temperaturökning m.h.t. att man vill bibehålla konventionella brännar- och ugnsmaterial.

Fördelen med syrgasinblandning (anrikning) är att det blir en enkel installation och att anläggningen är lättskött och driftsäker. Dessutom kan syrgas med lägre koncentration (till lägre pris) utnyttjas.

Kupolugnar, schaktugnar och glasugnar för satsvis produktion är exempel på processer där tekniken med framgång praktiserats.

En nackdel vid denna tillämpning är att NO_x-bildningen vanligen ökar p.g.a. de förhöjda förbränningstemperaturena.

4.2.2 Syrgaslans

Genom att tillföra syrgasen till flammen via en separat lans (Fig. 19B) kan man påverka flammans egenskaper, (temperatur, form mm) och därmed förbättra värmeöverföring och minska bränsleförbrukningen eller öka produktionen.

Genom att placera lansen på ett optimalt sätt kan man styra lågan och rikta värmen mot det material som ska värmas utan att överhetta ugnen i övrigt.

Metoden har med framgång använts för att höja kapaciteten på smältugnar för stål, koppar och glas. Mängden syrgas som kan tillföras begränsas av ugnsrummets utformning och infodringens värmeförmåga. Däremot krävs normalt ingen ombyggnad av det befintliga brännarsystemet.

4.2.3 Oxyfuel-brännare

Med oxyfuel-brännare avses en speciellt utformad brännare som klarar förbränning av bränsle och syre med hög renhet (90 – 100%) utan luftinblandning. (Jfr fig. 19C). En oxyfuel-brännare kan utnyttjas som komplement till en befintlig brännare eller ersätta den helt. Brännaren är ofta skraddarsydd för den aktuella installationen. Gemensamt för dessa brännare är att de måste klara höga temperaturer och flamformen ska kunna anpassas till det aktuella förbränningsrummet.

Brännaren kan konstrueras för såväl fasta bränslen (pulver) som flytande och gasformiga bränslen. Syre och bränsle blandas normalt direkt före förbränning i brännarutloppet. Gasformiga bränslen innebär naturligtvis en fördel eftersom finfördelning av bränslet (atomisering) och blandning med syret ej är något problem.

Med hänsyn till explosionsrisken med syre och bränsle i direkt kontakt är oxyfuelbrännare utformade för att separera syrgas och bränsle hela vägen fram till flammen. Vid start av brännaren måste man försäkra sig om att brännarens syrgaskanaler är helt fria från bränslerester, vilket normalt är relativt enkelt vid gasformiga bränslen.

Temperaturpåkänningarna klarar man normalt genom att kyla brännaren med vatten, luft eller syrgas alternativt att man utnyttjar värmefåliga material. Temperaturpåkänningarna är normalt lägre för naturgas-brännare än vid flytande och fasta bränslen. Genom att utforma brännardysan på rätt sätt kan flammans längd, form och intensitet anpassas till den aktuella processen och förbränningsrummet.

Flamman antänds antingen direkt via den höga temperaturen i ugnsrummet eller med separat tändutrustning.

Ljudnivån från den intensiva förbränningen vid högre syrgashalter kan bli besvärande. Hur mycket ljudnivån i lokalen påverkas beror på bl.a. hur man kan bygga in brännaren i processen. I många fall är kompletterande ljuddämpande åtgärder nödvändiga.

4.3 Exempel på Oxyfuel-brännare

Som ovan nämnts finns det ett relativt stort antal tillverkare som kan leverera utrustningar för olika oxyfuel-applikationer. Det är vanligt att syrgasleverantören utvecklar egna brännare och/eller samarbetar med en brännarleverantör för att kunna ge kunden en total funktion inklusive brännarinstallation. Speciallösningar för att lösa kundens specifika problem, måste ofta göras. Detta gör att man strävar efter flexibla brännarkonstruktioner alternativt specialkonstrueras brännare för varje processapplikation. Nedan beskrivna brännare utgör några exempel på olika typer av brännare som finns att köpa på marknaden för olika applikationer.

4.3.1 MAXON "Oxy-Therm"

Maxon "Oxy-Therm" brännare se fig. 20 har utvecklats för högtemperaturtillämpningar främst inom glas- och keramikindustrin. Brännaren är utformad med värmehärdigt brännarblock för montage i ugnsväggen varför kylning av brännaren utöver den kylning bränsle och syrgasflödet ger, ej erfordras. När brännaren ej är i drift men ugnen fortfarande är varm ska brännardysen kylas med ett mindre flöde av luft via syrgaskanalen.

Gasbrännaren finns i olika storlekar från ca 60 kW till ca 2,2 MW, normalt reglerområde är 1:5. Flamman är relativt kort och "mjuk" utan extrem utloppshastighet. Erforderligt syrgastryck är 80–135 mbar och bränsleblandningen sker i brännardysen som vid behov kan bytas utan att brännaren demonteras eller ugnen släcks.

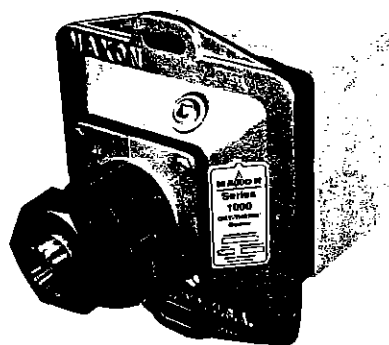
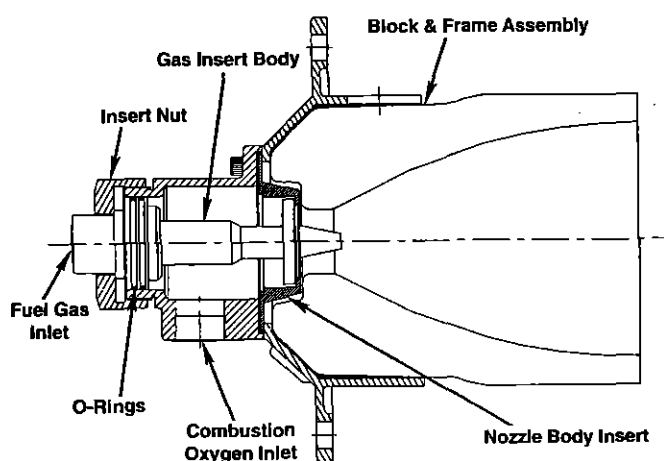


Fig. 20

Maxon Oxytherm gasbrännare

4.3.2 Clean Fire

Air Products och Combustion Tec i USA har tillsammans utvecklat en oxyfuel-brännare kallad Clean Fire i första hand avsedd för glasindustrin.

Brännaren är försedd med ett värmebeständigt brännarblock som kan monteras direkt i ugnsväggen. Särskild kylning erfordras ej. Flammans form och längd är justerbar t.ex. så att den mest intensivt strålande delen ej berör ugnsväggarna för att undvika ökat slitage och underhållsbehov. Inuti brännarblocket sönderdelas, krackas gas-molekylerna p.g.a. hög temperatur och fördröjd inblandning av syrgas. Krackningsresterna bildar sotpartiklar som längre fram ger en lysande flamma med intensiv värmeavgivning, vilket är en fördel ur såväl process- som NO_x - synpunkt, se fig. 21.

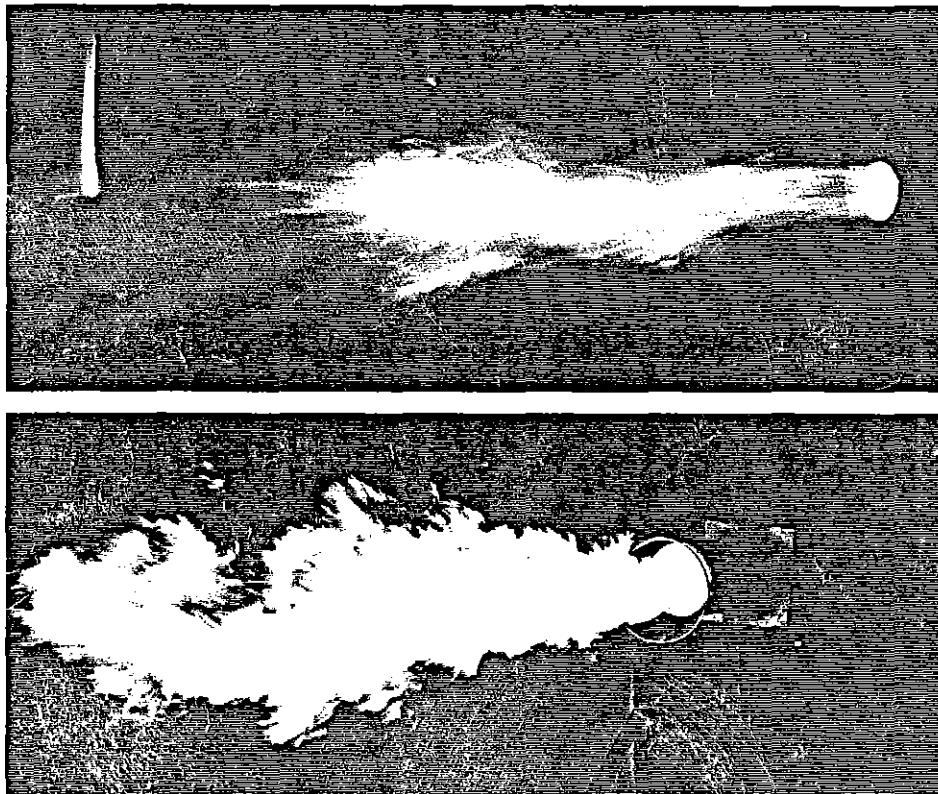


Fig. 21 Clean Fire brännare vid gasdrift (över) respektive oljedrift (under).

4.3.3 AGA-gas

AGA-gas utvecklar och tillverkar egna brännare för ett stort antal applikationer inom stål, metall och glasindustri. Varje brännare "skräddarsys" för sin uppgift varför det är svårt att ange hur en AGA-brännare ser ut.

Normalt består en AGA-brännare av tre koncentriskt monterade stålrör. Syrgasen ansluts till centrumröret medan bränslet tillförs i spalten mellan de två inre rören. Kylning sker oftast med vatten i ytermanteln men brännare utan vattenkylning finns också.

Brännardysan är normalt tillverkad i mässing eller koppar för att klara temperaturerkraven och är utformad för att åstadkomma god blandning mellan syrgas och bränsle samt rikta och forma flamman på lämpligt sätt med hänsyn till förbränningsrummet. Brännartoppen som utsätts för den största värmebelastningen är ofta tillverkad i rostfritt stål men kan även tillverkas i koppar för att bättre klara värmebelastningen.

AGA arbetar även med icke kylda keramiska brännarblock jfr installationen i Boda (Bilaga 2). Exempel på AGA-brännare visas i fig. 22.

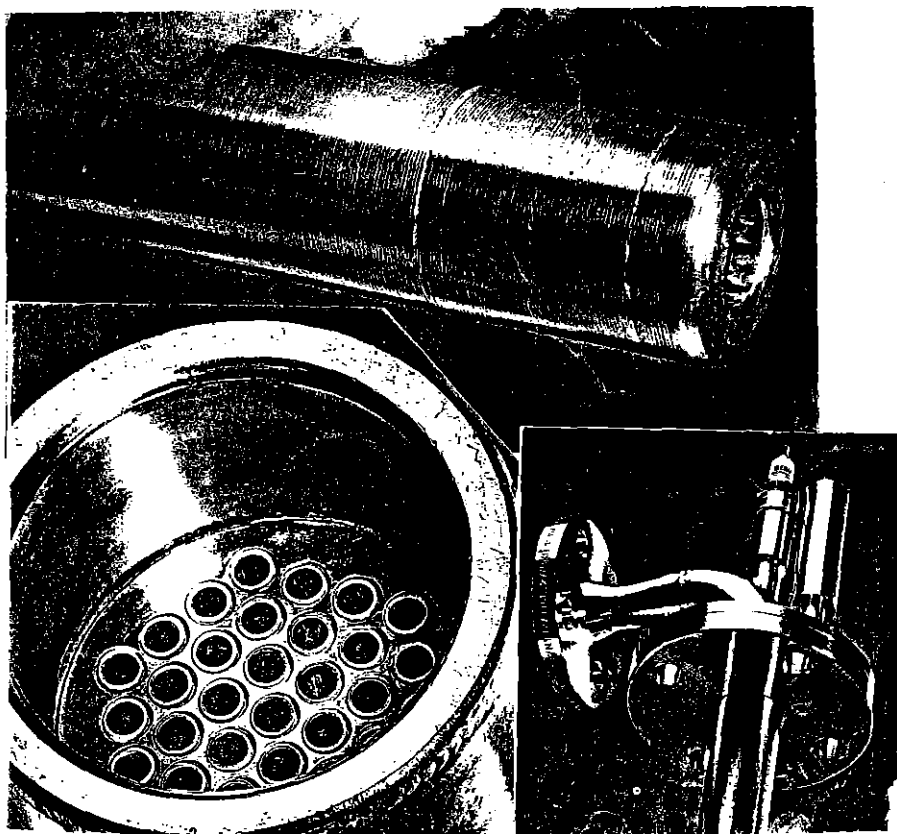


Fig. 22 AGA-gas vattenkylda brännare.

4.3.4 "Flat Jet "

BOC i USA har utvecklat en brännare speciellt för glasugnar med följande kravspecifikation:

- Hög värmeöverföring till smältan
- Låg NO_x-bildning
- Ej skapa dammproblem (med ej smält mängd)
- God flamstabilitet i ett brett effektområde
- Lågt syrgastryck (lägre syrgaskostnad)

Lösning blev en sk "Flat Jet Oxyfuel" brännare som bygger på att syrgasen tillförs med låg hastighet i två skikt över respektive under en central naturgasstråle. Närmast brännaren har flammen en blå karaktär för att längre fram bli kraftigt strålende. På detta vis undviks allt för höga temperaturer på brännare och ugnsmaterialet samtidigt som värmeavgivningen till smältan blir optimal.

Vid ett jämförande test med en konventionell oxyfuel-brännare uppnåddes följande resultat hämtade ur leverantörens broschyr:

Tabell 5

	Konventionell oxyfuelbrännare	Flat jet brännare 1 MW
Flamtemperatur C	1056	1194
NO _x g/kg	4,73	2,52
Verkningsgrad %	45	57
Ljudnivå dBA	103	94,5

4.3.5 AIR Liquide

För att illustrera enkelheten hos en oxy-naturgasbrännare väljer vi avslutningsvis en traditionell standardbrännare som använts för en rad olika applikationer. Brännaren tillhandahålls av Air-Liquide och finns i storlekar från 600 kW till 2,5 MW.

Brännaren består av två koncentriska rör. Energigasen leds in i centrumröret och syrgasen i ytermanteln varefter blandningen sker i brännarutloppet. Brännaren har ingen kylning utöver den som bränsle- och syrgasflöde ger. För att undvika korrosion och klara temperaturpåkänningarna är brännaren utförd i rostfritt stål, den monteras normalt direkt i ugnsväggen jfr fig. 23 nedan.

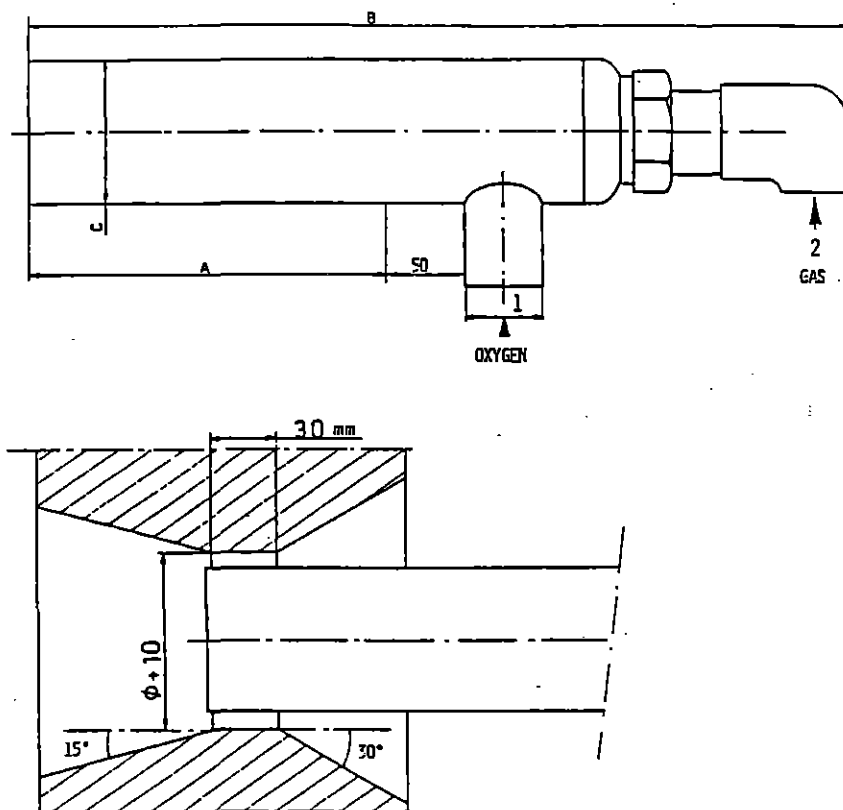


Fig. 23

Air Liquide oxyfuel-brännare. Den undre bilden visar brännardysans montering i ugnsväggen.

5. SYRGASPRODUKTION

5.1. Allmänt

Sedan lång tid har syrgasanrikad luft eller "ren" syrgas utnyttjats i olika tekniska och medicinska tillämpningar. Även kvävgas och argon som utvinns genom separation av luft har fått allt flera tekniska tillämpningar.

Syrgasproduktionen kan utgå från två naturliga råvaror nämligen luft eller vatten. Utvinning av syre från luft innebär en fysisk separation av gaser medan utvinning ur vatten innebär en kemisk dissociation av vattenmolekylerna.

Teoretiskt är minimiarbetet som åtgår för att separera luft i syre, kväve och argon ca 6 kJ/mol O_2 . Motsvarande minimienergi för att sönderdela vatten i syre och väte är ca 474 kJ/mol O_2 .

I praktiken är skillnaden i energibehov inte lika stor eftersom elektrolytisk sönderdelning av vatten kan göras med hög verkningsgrad. Dessutom genereras 2 mol vätgas för varje mol syrgas vilket kan ge en bättre lönsamhet. Kan man dessutom utnyttja billig solenergi kan sönderdelning av vatten bli en möjlig lösning för framtiden. I dagsläget är det emellertid olika metoder att separera luft som är de kommersiellt intressanta teknologierna.

Dagens produktionsteknologier kan delas in i fyra huvudgrupper

- **kylteknisk (kryogen) destillation**
- **adsorptionsteknik**
- **membranteknik**
- **kemisk anrikning**

De tre förstnämnda teknologierna är idag kommersiellt tillgängliga varav kylteknisk (kryogen) destillation är en mogen teknologi och den helt dominerande åtminstone för större anläggningar och vid framställning av flytande syrgas.

Adsorptionstekniken är också väl etablerad speciellt för mindre anläggningar hos användare som önskar kontinuerlig produktion på plats (on site).

Olika typer av membranprocesser finns också kommersiellt tillgängliga för speciella applikationer och små produktionsvolymmer. Nya membranmaterial kommer troligen att ge membranprocesserna ökad spridning.

Metoder för kemisk syrgastillverkning inte färdigutvecklade men kan bli ett intressant alternativ om några år.

Det slutliga valet av produktionsprocess är beroende av renhetskravet samt produktionsvolym och kostnader. I fig. 24 nedan jämförs några olika teknologier m.a.p. kraftkonsumtion och syrets renhet. Kurvan för flytande syre (liquid oxygen) avser marknadspriset på syre levererat till kund per tankfordon från någon central produktionsanläggning. Kurvan för MOLTOX visar förväntad prisbild för en kemisk tillverkningsprocess som är under utveckling.

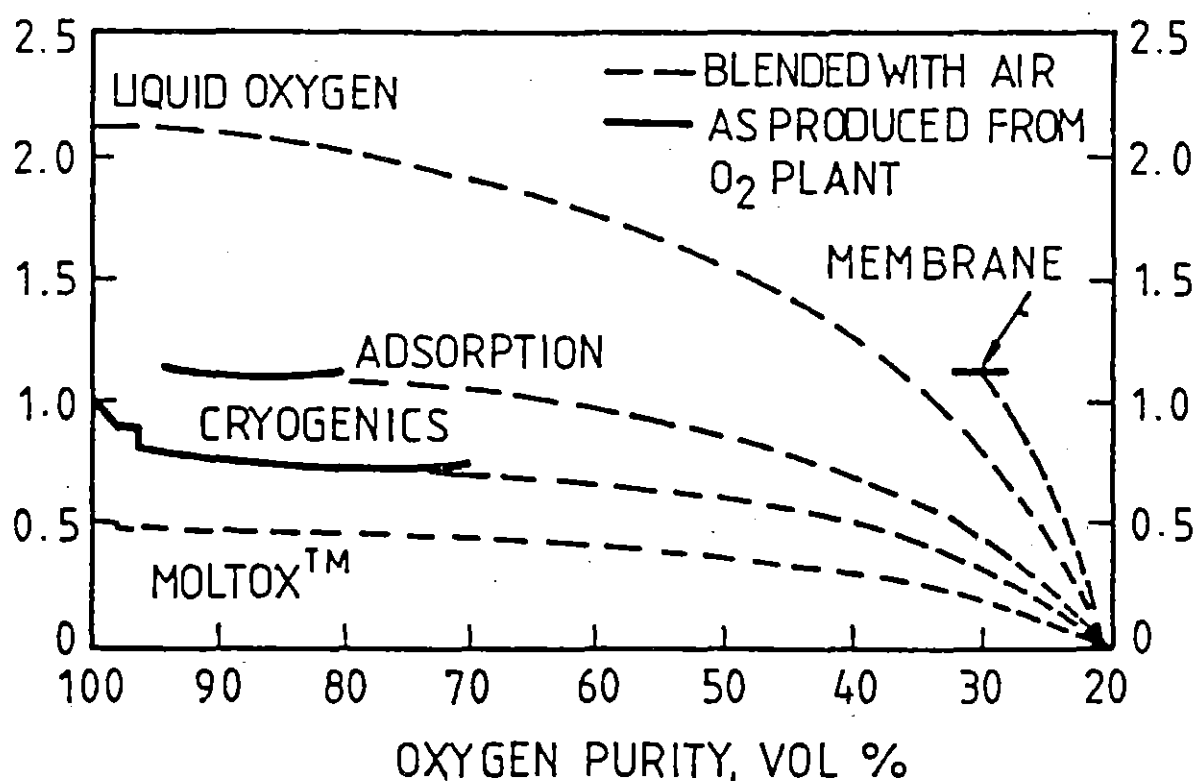


Fig. 24

Jämförelse av relativ kraftförbrukning vid olika teknologier för produktion av syrgas.

5.2 Kylteknisk destillation

Kryogen eller kylteknisk destillation är den klart dominerande metoden för industriell syrgasproduktion. Orsaken är att det är en väl etablerad teknik med relativt låga kostnader speciellt i stor skala. En typisk anläggning ägs av gasproducenten som etablerat en fabrik i anslutning till en eller flera stora kunder. Dessa storförbrukare tar huvuddelen av produktionen (100–200 ton/dag). Syret som vanligen har hög renhet (>99,5%) distribueras via gasledning direkt till storkunderna eller lagras i flytande form (LOX) i isolerade vakumtankar för vidare transport via tankbil/tankvagn till övriga mindre förbrukare. Vanligen kan även biprodukter som flytande kväve och argon utnyttjas, vilket ytterligare förbättrar ekonomin för anläggningen.

Destillationsprocessens principiella uppbyggnad framgår av fig. 25.

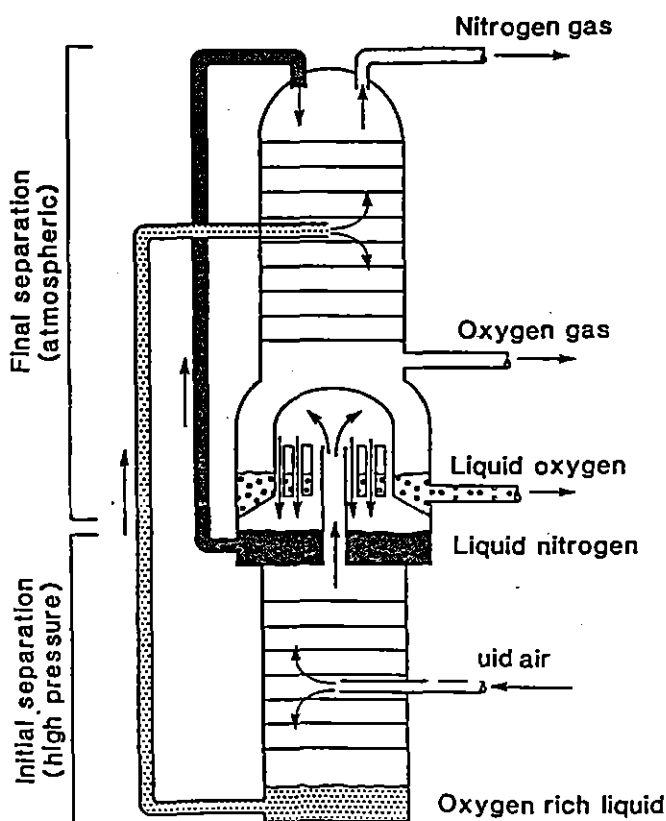


Fig. 25

Destillationskolonn i två steg för separation av kondenserad luft i syrgas och kvävgas (huvudsakligen).

Luft komprimeras till ca 7 atmosfärs övertryck och kylls tills den kondenserar. Därefter separeras syre och kväve genom destillation, vanligen i två destillationssteg för att få hög renhetsgrad.

Destillationsprocessen bygger på skillnaderna i kokpunkt för luftens olika beståndsdelar som framgår av nedanstående tabell 6.

Tabell 6 Kokpunkt för luft och några av dess beståndsdelar vid atmosfärstryck

Gas	Kokpunkt (°C)
Syre	- 183
Argon	- 186
Koldioxid	- 192
Luft	- 195
Kväve	- 196
Väte	- 253

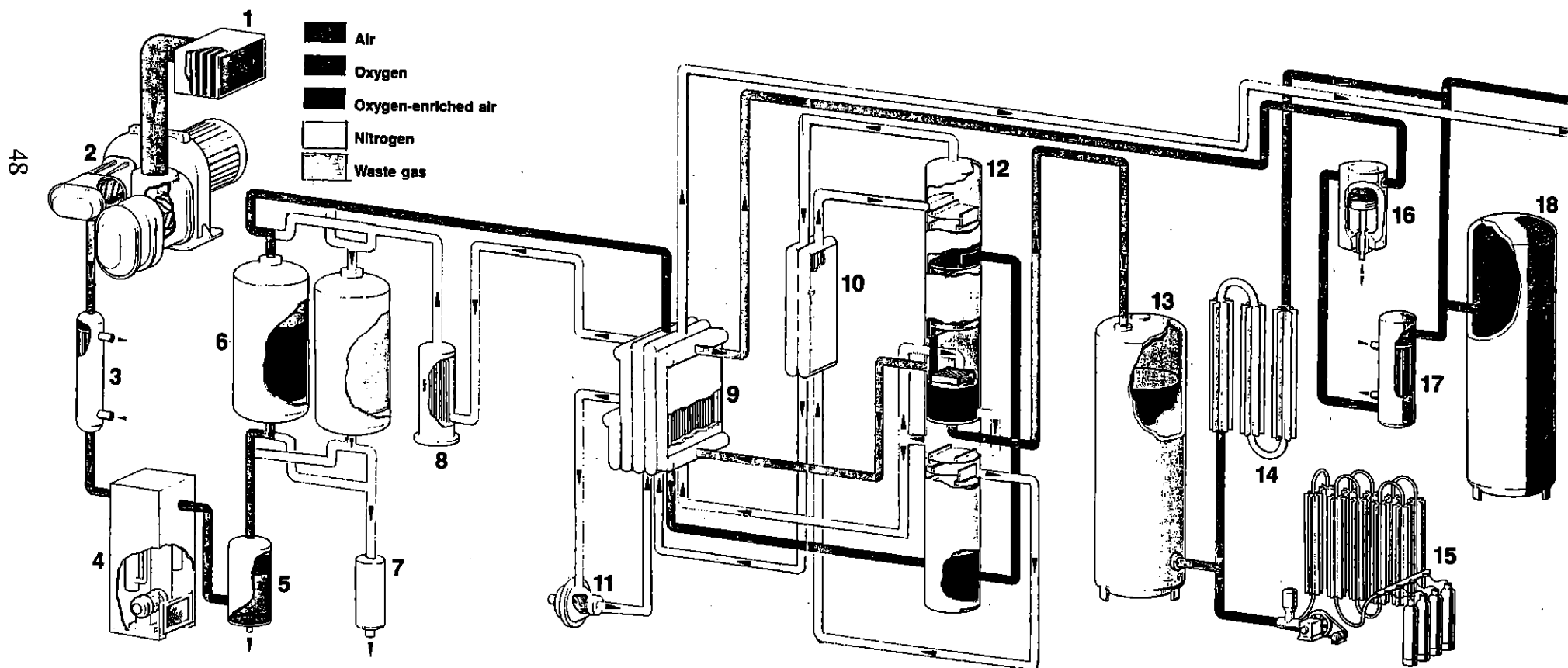
Uppbyggnaden av en komplett produktionsanläggning framgår av fig. 26.

Investeringskostnaden för kryogena syrgasproduktionsanläggningar ligger i intervallet 100 000 – 800 000 SEK/ ton, dygn för stora respektive små anläggningar. Det är alltså väsentligt billigare att bygga en stor anläggning än flera små. Driftkostnaden är till största delen elkostnader som motsvarar en förbrukning av ca 250 kWh/ton O₂ (ca 0,4 kr/Nm³) oavsett anläggningens storlek.

Den totala produktionskostnaden varierar normalt mellan 300 och 600 SEK/ton O₂ (0,4 – 0,8 kr/Nm³) beroende på anläggningsstorlek, elpris och uttagsmönster.

FIG 26 PROCESS FÖR KYLTEKNISK PRODUKTION AV SYRGAS (Figur enligt LINDE AG)

- | | | | | | |
|------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| 1. Luftfilter | 4. Kylaggregat | 7. Ljuddämpar | 10. Underkylare | 13. Lagringstank för flytande syre | 16. Syrgaskompressor |
| 2. Kompressor | 5. Vattenseparation | 8. Elektrisk värmare | 11. Expansions turbin | 14. O ₂ -förångare | 17. Vattenkylning |
| 3. Vattenkylning | 6. Adsorptionsrening | 9. Värmeväxlare | 12. Destillations kolonn | 15. O ₂ -fyllningsstation | 18. Tryckkärl för syre |



5.3 Adsorption

Sedan början av 1970-talet har utvecklats ett antal nya adsorptionsprocesser för gasrening tillämpbara för syrgasanrikning och syrgasframställning. Gemensamt för dessa processer är att de utnyttjar ett materials (adsorbentens) förmåga att adsorbera syrgas respektive kvävgas ur luft vid olika tryck och temperaturförhållanden. Exempel på adsorbenter är zeoliter och aktivt kol.

Adsorptions/desorptions cyklerna kan åstadkommas genom värmning/kylning eller genom att sänka respektive höja trycket över adsorbenten. Den första metoden kallas TSA (temperature swing adsorption) den andra PSA (pressure swing adsorption). VSA (vacuum pressure swing adsorption) har samma grundprincip som PSA fränsett att bädden tidvis arbetar med undertryck. Kombinationer av dessa metoder förekommer också. Det finns idag flera patenterade processer som producerar syre med hög renhet (80–95%), i storlekar från 5 till 100 ton/dygn (200–3000 Nm³/h). Adsorptionsprocesser med ännu högre renhetsgrad är under utveckling. För produktion av syrgasanrikad luft med syrgashalt på 23–50% finns enklare och billigare tillverkningsmetoder utvecklade.

PSA-system är hittills mest etablerade för "on-site" installationer men under senare år har VSA-teknologin gjort stora framsteg. Lägre driftkostnad och ökad produktionsflexibilitet jämfört med PSA är anledningen.

Fig. 27 visar ett förenklat processschema för en VSA-anläggning. Anläggningen består av tre tryckkärn fyllda med adsorbentmaterial. De olika kärnorna (adsorbenterna) har samma funktion men arbetar fasförskjutna, dvs när den ena adsorbenten arbetar under tryck är den andra under vakuum. Arbetscykel för ett kärn har följande förlopp:

1. Bädnen fylls med trycksatt luft från tilluftsfläkten. Huvuddelen av luftens kväve, vatten och koldioxid adsorberas vid detta tryck medan huvuddelen av luftens syre och argon passerar igenom adsorbenten.
2. Bädnen regenereras genom att trycket sänks och en blandning av i huvudsak kväve, vatten och koldioxid lämnar adsorbenten och sugas ut via vakuum-pumpen.
3. Trycket höjs åter i kärlet som förberedelse för en ny cykel.

Syrgasen som produceras går antingen direkt ut till slutförbrukaren eller lagras i en produkttank för senare förbrukning (jfr fig. 27 nedan).

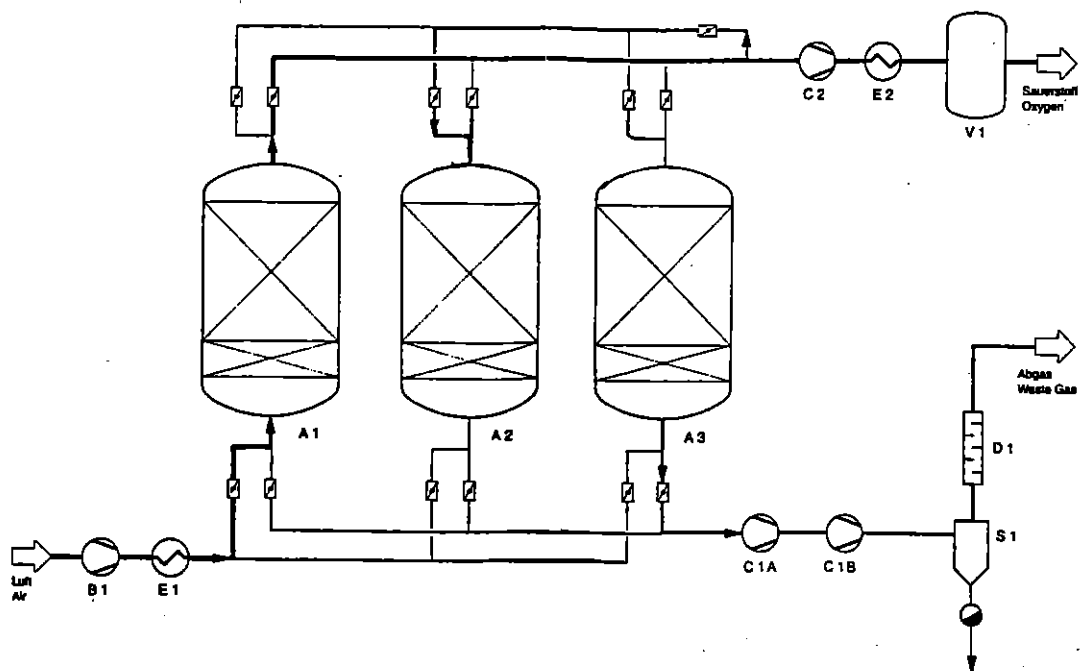


Fig. 27

VSA-anläggning med tre bäddar principschema.

A 1-3 Adsorptionsbädd

B1 Processfläkt

C1-AB Vakumpump

C2 Syrgaskompressor

E1 Luftförvärmare

E2 Syrgaskylare

V1 Syrgasbuffert

Produktionskostnaderna för syrgas från en VSA/PSA anläggning varierar från anläggning till anläggning. En avgörande parameter är renhetsgraden för syrgasen. De sista procenten i ökad syrgashalt kostar mest. En annan viktig parameter som påverkar elförbrukningen är syrgastrycket. Kapitalkostnaden för att bygga anläggningen samt kostnaden för elenergi är de viktigaste kostnadsposterna.

Nedanstående tabell visar elförbrukning och investeringskostnader kostnader för olika storlekar av VSA-anläggningar vid 93% syrgasrenhet. (Kostnaderna är omräknade till ren syrgas).

Tabell 6

Kostnader för byggnation och drift VSA- anläggningar av olika storlek. (enl. Linde).

	Syrgas- koncentration	Produktflöde		Elförbrukning (8 bar)	Invest. kostn.	Oxyfueleffekt
	%	Nm ³ /h	t/d	kWh/Nm ³	MSEK	MW
VSA 1	93 % O ₂	200	6	0,63	ca 10	1.0
VSA 2	93 % O ₂	500	17	0,63	ca 15	2.5
VSA 3	93 % O ₂	3000	100	0,63	ca 45	15

Vid atmosfärstryck på syrgasen kan elbehovet minskas till ca 50 kW/Nm³. Vid en PSA-anläggning bör man räkna med dubbla elbehovet. Ovanstående tabell kan utnyttjas för att beräkna syrgaskostnaden. Med ett elpris på 40 öre/kWh, ränta 10% och avskrivningstid 15 år hamnar syrgaskostnaden mellan 0,75 och 1,75 kr/Nm³ beroende på anläggningsstorlek vilket motsvarar 500–1000 kr/ton .

5.4 Membran

Membran för separation av luftens syre och kväve har funnits på marknaden sedan början av 80-talet. Syftet har vanligtvis varit att utvinna kväveanrikad luft men den omvända funktionen med syreanrikning har också utnyttjats.

5.4.1 Polymera membran

Fig. 28 visar en enkel separationsprocess som baseras på ett rör bestående av ett polymer-membran som tillförs trycksatt luft (ca 7 bar) på utsidan. Membranet har selektiv genomsläpplighet för syrgas O_2 jämfört med kvävgas N_2 varför en syrgasanrikad produkt avgår på (membranets) tubens insida. Resultatet blir en produktström med kvävgas (95-99 % renhet) och en ström med syrgas (30-35 % renhet). Denna typ av anläggning är enkel att bygga och kan levereras "turn key" till gasanvändaren. Begränsningen är att den lämpar sig bäst för små syrgasbehov (1-10 ton /dag) med låg renhetsgrad. Syrgaskoncentration på maximalt 40-50 % kan erhållas.

Energibehovet är ca 200-600 kWh/ton O_2 vilket tillsammans med övriga driftkostnader och kapitalkostnader ger en total produktionskostnad för syrgasen mellan 400 kr/ton och 800 kr/ton. (0,5 - 1,00 kr/ m^3) omräknat till rent O_2 .

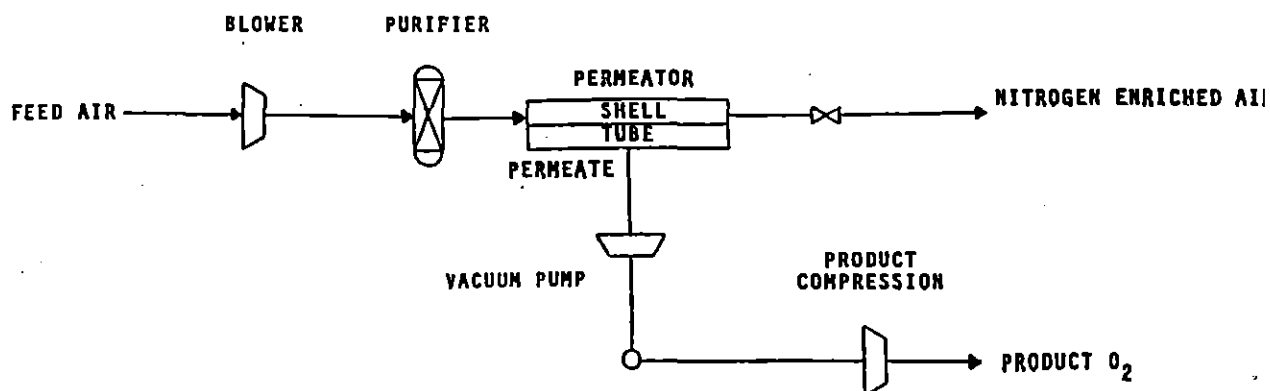


Fig. 27 Syrgas produktion med polymera membran

5.4.2 Täta keramiska membran

Utvecklingen av nya mer selektiva membran pågår med målet att uppnå högre renhet på den producerade syrgasen. En utvecklingslinje baseras på s.k. keramiska syreledande membran som endast släpper igenom syre och därmed producerar 100% rent syre. Dessa membran består av ett material som saknar syre i sin gitterstruktur. Syre-joner kan därför "hoppa" mellan "hål" i gittret pådrivna av antingen en tryckdifferens eller en elektrisk potentialskillnad (jfr fig 28). Membranen arbetar effektivast vid relativt höga temperaturer 400 – 1000°C och är ännu under utveckling.

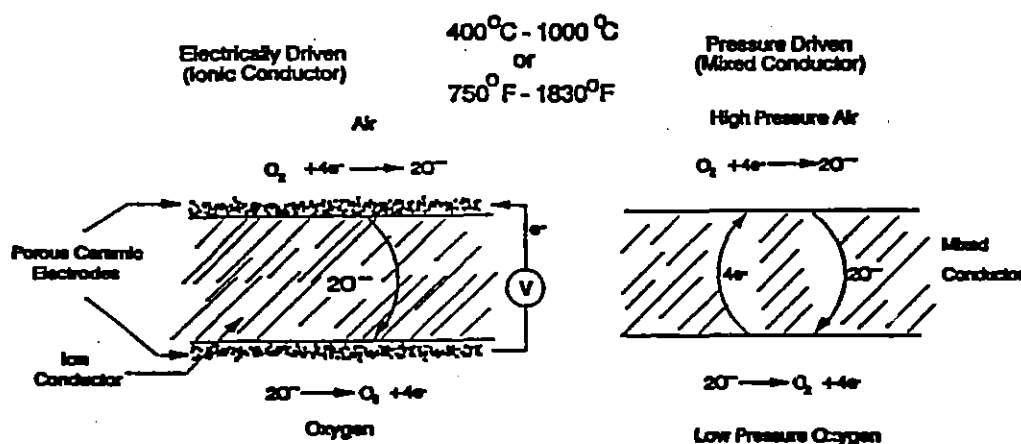


Fig. 28 Keramiskt membran för elektrolytisk resp tryck-driven separation syrgas separation.

Kommersiell användning kommer i inledningsskedet att begränsas till applikationer med små flöden och högt renhetskrav. Tillverkningskostnaden för dessa nya material är idag svår att bedöma. Dock är likheten med de material som utnyttjas i vissa bränslecell-processer relativt stor varför gemensam produktionsteknik borde kunna utnyttjas och därmed tillverkningskostnaden hållas nere.

5.4.3 Porösa membran

Användningen av porösa membran baserade på keramiska material, kol eller zeoliter har utvecklats inom kärnkraftindustrin. Beroende på porernas storlek sker växelverkan med den diffunderande gasen så att diffusionshastigheten blir olika för exempelvis kvävgas respektive syrgas. Renhetsgrader högre än de vid polymera membran kan inte förväntas, dessutom är kostnaderna redan idag till fördel för polymera material.

5.5 Kemisk produktion

Bland de kemiska produktionsprocesserna kan vi nämna MOLTOX som bygger på absorption av luftens syre i ett flytande salt under övertryck. Vid trycksänkning och värmning frigörs syret från saltet med hög renhetsgrad.

Processen som ännu inte är kommersiellt tillgängliga tycks ha stor potential m.h.t. syrets renhet och den relativt låga elenergiförbrukningen. Den bör vara speciellt fördelaktig på anläggningar med tillgång på spillvärme som kan utnyttjas i MOLTOX-processen.

5.6 Jämförelse av O₂-produktionsprocesser

Som framgår av ovanstående beskrivning pågår det en relativt intensiv utveckling av nya teknologier i konkurrens med de etablerade metoderna (kylteknisk destillation och PSA/VSA). Membranteknologier och kemisk framställning av syrgas kan i framtiden visa sig bli mycket konkurrenskraftiga. Hög renhet, låg energiförbrukning och god produktionsflexibilitet är viktiga faktorer för konkurrenskraften.

I nedanstående görs en jämförelse i dagsläget mellan de olika teknologierna med avseende på dessa faktorer. I denna jämförelse ingår även flytande syrgas levererad direkt till kunden.

Tabell 7 Jämförelse av O₂-produktionsprocesser och egenskaper

	Adsorbtion	Kemisk	Kyl-dest.	Membran	Flytande syre
Utvecklingsfas	nästan färdig	pilotskala	färdig	utveckling	färdig
Storlek	< 100T/D	<500T/D	< 20 T/D	< 20 T/D	< 50T/D
El-behov (1 = lägst)	3	1-5	2	4	5
Renhet (% O ₂)	< 95%	<99,9%	<99,8%	40-50 %	<99,5%
Starttid	tim	tim	min	min	-
Prod. flexibilitet (1 = högst)	3	5	4	2	1
Total prod. kostnad	0,6-2,0	?	0,4-0,8	0,5-1,0	2-4

Slutligen är det emellertid priset på den levererade syrgasen som är mest avgörande om nya applikationer ska bli möjliga. Det existerar inga officiella priser på syre eftersom produktionskostnaden men även kostnaden för transport och lagring varierar kraftigt.

I tabell 7 redovisas en bedömning av kostnaderna för de olika konkurrerande teknologierna . Priset på flytande syre inkluderar transport fritt kundens tank. Som synes bör det finnas ett ekonomiskt incitament för större förbrukare av syre i gasformig eller flytande form att producera sitt eget syre.

6 HANTERING AV SYRE

6.1 Egenskaper

All hantering av syre, såväl flytande som gasformigt, kräver stor försiktighet. Syre kan i kontakt med brännbara ämnen orsaka **explosionsartad förbränning**. Även en liten ökning av syrehalten i luft ökar risken för antändning och förbränning.

Vid lagring av flytande syre krävs extremt **låga temperaturer** varför direktkontakt med vätskan eller rörledningar och tankar med flytande syre i kan ge allvarliga frysskador.

En tredje faktor som måste beaktas vid hantering av syrgas är den kraftiga **volymökningen** alternativt tryckstegring som kan ske vid förångning av vätskan.

Om ett utsläpp av syrgas har skett ska man vara uppmärksam på att syrgasen är tyngre än luft och därmed har en tendens att stanna i lågpunkter eller gömma sig i porösa material relativt lång tid efter ett utsläpp.

6.2 Hälsorisker

Syrgas är ju livsnödvändigt i normala doser. Dock kan extrema koncentrationer (>75%) i inandningsluften åstadkomma symptom på syrgasförgiftning (hyperoxia) så som bröstsmärtor, hosta, svårigheter att andas och låg hjärtfrekvens. Vid hantering av syre i vätskefas ska man dessutom vara observant på risker förknippade med vätskans extremt låga temperatur (-183°C vid atmosfärstryck). Oskyddad hud får ej komma i direkt kontakt med oisolerade rör och ledningar med hänsyn till risken för fastfrysning. Kall gas kan också ge förfrysningsskador speciellt vid inandning finns risk för skador på andningsorganen.

6.3 Explosion och brand

Syre underhåller förbränning. Även material som normalt inte är brännbara i luft kan antändas vid överskott av syrgas. Brännbara material och bränslen antänds lättare och brinner mer intensivt i närvaro av syrgas eller syrgasanrikad luft.

Ett bränsles förbränningstekniska egenskaper karaktäriseras bl.a. av övre (Lö) och undre (Lu) flamgräns vilket är den högsta respektive lägsta koncentration i luft vid vilken bränslet brinner. Vid ökad syrehalt ändras flamgränserna för ett specifikt bränsle så att området utökas.

Självantändningstemperaturen (Ti) är en annan karaktäristisk parameter för ett bränsle. Självantändningstemperaturen sjunker vid ökande syrehalt.

En tredje parameter är förbränningshastigheten som ökar betydligt vid förhöjd syrgaskoncentration.

TABELL 8 Några bränslens förbränningsegenskaper vid förbränning i rent syre (25 °C, 1 atm)

Bränsle	Lu (%)	Lö(%)	Ti (°C)	Flamhast. (m/s)
Väte	4	94	560	14.4
Metan	5	61	555	3.9
Propan	2,3	45	470	3,3
Butan	1,8	49	285	—

6.4 Lagar och föreskrifter

Den som önskar bygga en anläggning för produktion, lagring och hantering av syre ska söka tillstånd hos den lokala räddningstjänsten som är tillsynsmyndighet.

Det finns ej några samlade föreskrifter för hantering av syre. Däremot skall Sprängämnesinspektionens föreskrifter om hantering av brandfarlig vara tillämpas speciellt när syre och bränsle hanteras i kombination. Vid lagring av syre ska tryckkärlsnormen uppfyllas och anläggningen besiktigas av SA. Slutligen ska Arbetarskyddsstyrelsens anvisningar för lagring och hantering av gaser följas.

Arbetarskyddsstyrelsen håller för närvarande på att utarbeta en sammanställning av råd och föreskrifter vid hantering av gasformiga ämnen inkl syrgas. Denna beräknas bli klar under 1996.

De stora gasbolagen har dessutom genom sin gemensamma organisation IGC tagit fram ett antal dokument som bl.a. ger anvisningar om hantering och lagring av syre. En förteckning av aktuella dokument som berör syre framgår av bifogad litteraturförteckning.

6.5 Installationsteknik

Stor försiktighet krävs vid hantering av syre och vid arbete i närheten. Som ovan nämnts är risken för självantändning stor. Montagearbeten måste utföras noggrant och händer, verktyg samt övrig utrustning måste hållas fria från fett. Vid förläggning av syrgassystem ska om möjligt ledningar dras så att eventuellt läckage inte kan koncentreras i instängda utrymmen. Syre i flytande form kräver ännu större försiktighet eftersom koncentrationen blir mycket högre vid läckage.

Vid projektering av anläggningar ställs höga krav på konstruktion, tillverkning och installation. Arbetarskyddsstyrelsens regelsystem för rörledningar och tryckbärande anordningar reglerar kraven på kontroll, provning och besiktning. Rörledningsnormen och andra objektnormer ska beaktas. Normen kräver i allmänhet att material som används, t.ex. rör, armaturer, tryckkärl mm ska dokumenteras med erforderliga materialintyg. Valet av material för syrgasinstallationer är viktigt med tanke på syrets höga reaktivitet och tryck samt låga temperatur. Till rörledningar – vid drifttryck över 40 bar om strömningshastigheten är större än 8 m/s, och vid drifttryck lika eller mindre än 40 bar om strömningshastigheten är större än 25 m/s – ska koppar, kopparledningar eller rostfritt stål användas. Till armatur med syrgasträck över 10 bar krävs samma material. Flytande syre kräver material som är godkänt för tillräckligt låga temperaturer. Isolering av rörsystem får ej utföras med petroleumbaserade produkter.

Efter svets och hårdlödningsmontage ska rörledningen rengöras noga. Systemet ska även tryck- och täthetsprovas. Tryckprovning ska normalt utföras med vatten. För att provtrycka med inert gas erfordras tillstånd från Yrkesinspektionen. Efter provtryckning ska systemet tömmas och torrblåsas med nitrogen (kvävgas). Därefter täthetskontrolleras systemet med nitrogen under lågt tryck.

6.51 Tankinstallation

Lokalisering av tank ska ske i samråd med lokala brandmyndighet och gasleverantör. Anvisningar för lagring och hantering ska följas. Hänsyn måste tas till gällande minimiavstånd mellan tank och omgivande bebyggelse m. m. Tankanläggningen ska vara klart avgränsad och omgiven av en fri plan, helst av betong. Ej asfalt! Anläggningen ska vara inhägnad och utestänga obehöriga från åtkomst. Tanken ska vara försedd med mätare och säkerhetsutrustning enligt objektnormernas krav. Säkerhetsventil ska placeras så att den inte kan frysa igen. Intill tanken ska en fri och skyddad plats för tankbil finnas. Området utanför tankanläggningen ska vara plant och fritt från asfalt. Anläggningen ska vara omsorgsfullt skyddad d.v.s. förbud mot rökning eller annan öppen låga, ej tillträde för obehöriga etc.

6.52 Brännarinstallation

Brännarinstallationer utförs enligt vedertagen praxis för konventionella luftbrännare. Dock ska brännaren vara så konstruerad och installerad att syret ej kommer i kontakt med bränslet förrän i brännardysen som placeras i brännarens spets (förblandning undviks). Startsekvensen ska säkerställa en säker antändning och flamvakten övervaka att förbränningen fortgår – om inte bryts bränsle och syretillförsel omedelbart. Återstart ska ske manuellt efter det att felkällan är identifierad och åtgärdad.

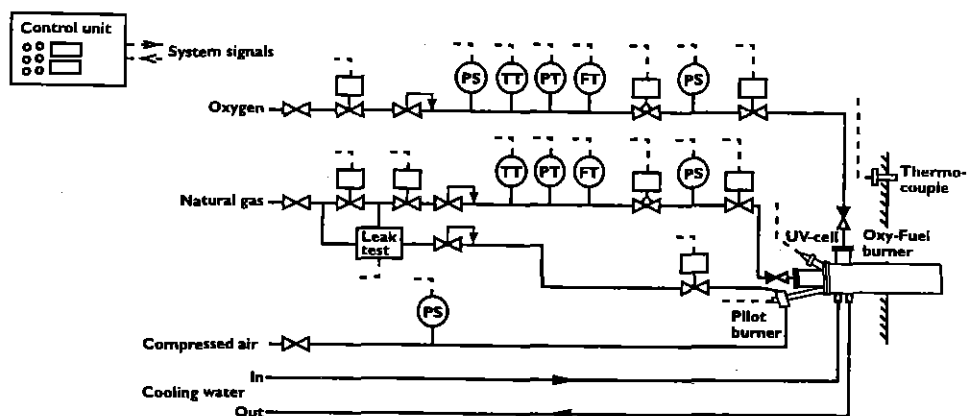


Fig. 29 Exempel på oxyfuel-brännarinstallation med tändbrännare, flamvakt (UV-cell), vattenkylning samt effekterglering via temperaturgivare.

7 MARKNADSFÖRUTSÄTTNINGAR

7.1 Varför oxyfuel?

Efter att studerat installationer både i Sverige och utomlands kan man konstatera att det är framförallt tre skäl för industrin att satsa på oxyfuelteknik nämligen:

- Energibesparing
- Miljöfördelar
- Kapacitetsökning

För att en oxyfuelinstallation ska kunna motiveras av den energi-besparing installationen innebär måste syrgaspriset vara lågt. I Sverige krävs ett pris runt 1 kr/Nm³ vilket endast kan uppnås om man har möjlighet att utnyttja en produktionsanläggning "on-site". Med billigare produktionsprocesser kan det bli lönsamt även för mindre anläggningar. I dagsläget kan det endast i undantagsfall vara motiverat att göra en oxyfuel-installation av energibesparingsskäl.

Skärpta miljökrav speciellt m.a.p. NO_x har bl.a. drivit fram en utveckling mot oxyfuel-eldade gasugnar utomlands, eftersom alternativen (katalytisk avgasrening eller elenergi) är mycket kostsamma. I Sverige har vi ännu inte dessa miljökrav på processindustrin och elpriset är fortfarande lågt i internationell jämförelse. Miljöfördelen som kan uppnås vid övergång till oxyfuel blir emellertid en viktig faktor i framtiden även här i Sverige. Dessutom kan vi räkna med att elpriset i Sverige anpassas till övriga Europa vilket bidrar till att göra oxyfuelinstallationer till ett allt mer konkurrenskraftigt alternativ i framtiden.

Möjligheten att öka produktionskapaciteten vid befintliga anläggningar är däremot redan idag ett mycket starkt argument för övergång till oxyfuel. Ofta kan man kombinera ökad kapacitet med hög produktkvalitet och driftsäkerhet vilket ger lönsamhet trots höga priser på syrgas. Priser i intervallet 2–4 kr/Nm³ är idag en normal prisnivå för flytande syrgas levererad till kundens tankanläggning. För större enskilda förbrukare bör det därför löna sig att satsa på egen O₂-produktion.

7.2 Varför oxyfuel och energigas?

Fungerande oxyfuel-anläggningar finns idag för såväl fasta, flytande som gasformiga bränslen. Vad är då de unika fördelarna att kombinera energigaser, som t.ex. naturgas, och syrgas? Följande skäl bedöms vara de mest väsentliga:

- gasen är ett rent bränsle och ger i oxyfuel-applikationer **extremt goda miljödata**.
- naturgasen är driftsäker vilket ger mycket **små inkörningsproblem och en tillförlitlig drift** vilket är extra viktigt för oxyfuel-brännare som redan vid små förändringar i funktionen kan orsaka skador på processutrustningen (exempelvis bränna sönder ugnsinfodringen).
- dessutom tillkommer de traditionella fördelarna med naturgas i form av **minimala hanterings och lagringskostnader och säkra leveranser**.

Konkurrensen med olja i oxyfueltillämpningar är emellertid hård och de ovan nämnda fördelarna motiverar inte någon stor prisskillnad mellan olja och gas. Det kan till och med vara så att oxyfuel minskar naturgasens fördelar i vissa applikationer. Oxyfuel-brännare (såväl olje- som gaseldade) är ju ett alternativ till att investera i ny värmeåtervinnings-utrustning för en befintlig ugn. Rekuperativa eller regenerativa värmeväxlare däremot lämpar sig bäst i kombination med ett rent bränsle som naturgas.

Oxyfueltillämpningar ger å andra sidan olika möjligheter för energigas att bättre konkurrera med och ersätta elenergi i högttemperaturtillämpningar exempelvis i ljusbågs- och induktionsugnar.

7.3 Marknadspotential

Det är mycket svårt att bedöma marknadspotentialen för oxyfuel med naturgas i Sverige beroende på att flera av de viktigaste parametrarna såsom syrgaspriser, energipriser och naturgastillgång är svårbedömda i framtiden.

För enkelhetens skull förutsätter vi att naturgas och övriga energigaser blir tillgänglig till ett konkurrenskraftigt pris i större delen av landet samt att nya produktionsstekniker och ökande konkurrens gör att syrgas kan köpas till priser i intervallet 1–2 kr/Nm³. Dessutom räknar vi med att miljökraven på industrin blir i paritet med dagens krav i Kalifornien. Med dessa förutsättningar bör oxyfuel vara ett konkurrenskraftigt alternativ inom Gjuterier, Järn & Stål samt Glasindustrin.

I början av 1990-talet hade dessa industrigrenar följande energiförbrukning:

Glas o Stenindustri	1 TWh
Järn o Stål	3 TWh (enbart olja o gasol)
Gjuterier	<u>0,7 TWh</u> (enbart smält energi)
	4,7 TWh

Om vi antar att maximalt 10% av denna förbrukning kan ersättas i form av oxyfuel med naturgas så blir naturgasanvändning $50 \cdot 10^6 \text{ Nm}^3$.

Vilket kan jämföras med dagens naturgasförbrukning i Sverige som är ca $800 \cdot 10^6 \text{ Nm}^3/\text{år}$. Slutsatsen är att för naturgasanvändningen innebär inte en utbredd oxyfuel-användning någon större volymökning däremot ökar naturgasens konkurrenskraft i speciella applikationer inte minst jämfört med elenergi.

7.4 Framtida utveckling

Vi har konstaterat att oxyfuel och energigas är en konkurrenskraftig teknologi redan idag i vissa begränsade tillämpningar speciellt när man behöver öka produktionskapaciteten på en befintlig anläggning. Flera utvecklingstendenser talar emellertid för ökade möjligheter för oxyfuel-tekniken under kommande år. Bland dessa kan följande speciellt nämnas:

1. Ökande miljökrav (generellt i hela världen)
2. Högre elpris – speciellt effektkostnader kan förväntas stiga i Sverige vid en anpassning till övriga Europa.
3. Förbättrad tillgång på naturgas i Sverige kan förväntas i varje fall på lång sikt.
4. Sänkta syrgaskostnader p.g.a. nya produktionsmetoder och ökad konkurrens.

LITTERATUR

OXYFUELTEKNIK

LITTERATUR OXY-FUEL TEKNIK

ÅR	TITEL	Författare	Skrift
1994	Pure oxy-fuel burners in fired glass furnaces	P Zucca	Int. Glass Journal
1994	Emission of particulates and NOx from oxy-fuel fired glass furnaces	Kobyayashi mfl	Int. Glass Journal
1994	A new oxy-fuel burner developed ...	G Brown, Sanctis, Eleaze	Int. Glass Journal
1994	Oxy-fuel Technology Applied to Art Glass	Rangmark mfl.	Glass, june 94
1994	Flat Jet Oxy-Fuel burner for Uniform Heat Transfer	dr Loo Yap	-
1994	Applying Oxygen Firing to Industrial Glass Melters	Snyder, Steigman, Tasca	Glass, june 94
1994	Oksygenanriket forbrenning for industrielle højttemperaturprosesser	Skille	Statoil forskningscenter
1994	Oxy-fuel-brännare i induktionsugnar ökad kapacitet med mindre energi	Farre	Gjuterinytt 468
1994	The development and successful application of 100% oxygen-oil comb ...	Brown, McMahon, Taylor	Journal of Non-Cristaline Solids
1994	Reduction of NOx-emissions from glass melting furnaces	Wanner	Glass Prod. Technology Int.
1994	Oxy-Fuel teknikk -forbrenning med oxygen for varmning og smeltning	Ameln	Norsk Energi
1994	Oxy-fuel technology - reducing the risk	J R Latter	Glass Prod. Technology Int.
1994	Industrial experience with oxygen-fired glass furnaces	Lauwers,Strohberg	Glass Sci. Tech. 67 No.8
1994	Control of emissions from glass melting furnaces	R S Pont	Glass Prod. Technology Int.
1994	A partial conversion of a gas -air fired television furnace...	McMahon, Ding	Journal of Non-Cristaline Solids
1993	Oxy/Gas Rotary Furnaces	Chris Ebeling, AGA	NG-applications in industry
1993	Oxy/Natural Gas is coming on strong	Charle, Baukal mfl.	NG-applications in industry
1993	Ofenabhängige Kosten von Glasschmelzwannen unterschiedlicher bauart	Pieper	GasWärme International
1992	Molecular magic produces oxygen, nitrogen from air	Borders	The Welding distributor
1992	The development of large oxyfuel glass melter ...	Ibbotson, Hunter	Thermie report
1992	The Gas Injection solution for Blast Furnaces	A Lingras	NG-applications in industry
1992	Sauerstoffanreicherung der verbrennungsluft zur Durchsatzsteigerung ...	Menges, Wolter mfl	GasWärme International
1992	Betriebsergebnisse mit einem 5-t-Drehtrommel-Schmelzofen...	Löffler mfl	GasWärme International
1992	Application of energy saving technologies for glass furnaces	Beerkens	Thermie, Wiesbaden
1992	Oxygen production	E. Ekinci	Kluwer Academic Publishers
1992	Oxy-Fuel Firing for emissions control on a fiberglass melter	Slavejkov	-
1992	Novel mixed ionic-electronic conductors and thier applications...	Liu, Shen mfl	Int. Gas Research Conf.
1992	Experimental and theoretical studies of low NOx oxygen ...	Missaghi mfl	Int. Gas Research Conf.
1992	Advanced oxygen-natural gas burner for glass melting	Slavejkov, Baukal mfl	Int. Gas Research Conf.
1991	Optimization of oxy-fuel fired glass melting	Eleazer, Slavejkov mfl	Thermie

LITTERATUR OXY-FUEL TEKNIK

1991	Oxy-fuel Glass Melting with the Cleanfire Burner	Neff, Slavejkov	Scandinavian Society of Glass
1991	Oxy-Fuel Glass Melting with the Cleanfire Burner	Slavejkov, Baukal	Glass Technology Seminar
1990	NOx Measurements in Oxygen-Enriched, Air-Natural Gas Combustion ..	Baukal Dalton	Fossil Fuel Combustion Symposium
1990	Gas Cleaning and Purification	Probstein, Hicks	utdrag ur komp- pH press
1990	Advanced Oxygen Separation Membranes	Wright, Copeland	GRI Topical Report
1989	Making your own oxygen can cut costs	-	Industrial World
1989	Oxygen enriched combustion system performance study	Delano	U.S. Department of energy
1989	Oxygen enriched combustion for NOx-redduction	Neff, Panahe	Ceramic Science and Tech. Congress
1989	Oxygen enriched air/natural gas burnersystem development	-	GRI final report
1989	Oxygen enriched air/ natural gas burner system	Dalton	GRI final report
1989	NOx-Reduction with Oxy-Fuel Burners	Baukal, Dalton	Ceramic Science and Tech. Congress
1989	Naturgasanvändning inom gjuteriindustrin	Mats Holmgren	SwedeGas FUD-rapport
1988	The US Glass Industry an Energy Perspective	Babcock	GRI Topical Report
1988	Oxygen Enriched Air Production System	Lagree	U.S. Department of energy
1988	Användning av naturgasinom järn -och stålindustrin	R Collin	kompodium KTH
1988	A Pressure Swing Adsorption Process ...	Sircar,Kratz	Separation science and technology
	SYRGAS -NATURGAS	R Collin	utdrag ur kompodium vid KTH

IGC-DOCKUMENT

som behandlar produktion, hantering och lagring av syrgas

Nr	Titel
33/86	Cleaning of equipment
11/82	Centrifugal pumps, design and operation (liquid)
32/82	Corrosion in off-shore (cylinder)
CPI	Doctionary of terms in oxygenplant
20/83	Distribution att user's works
28/80	Odorisation
13/82	Pipelines (gas)
-	Hazards associated with the Use of Activated Charcoal
43/90	Cryogenic Gas Purifiers
8/76	Prevention of enrichment and deficiency
10/81	Reciprocating compressors
16/85	Storage at users'premises
27/82	Turbocompressors
04/93	Fire hazards of oxygen and oxygenenriched atmospheres
512/93	Cryogenic Tansport Vessels
27/93	Turbocompressors

Rekvisition sänds till:

Publications du Soudage et de ses Applications
PARIS NORD II
B.P.50362
F-95942 Roissy Charles de Gaulle Cedex

eller via fax: +33(1) 49 90 36 50

BILAGA 1

TEKNISKA DATA

Bilaga 1:1

Förbränningstekniska data för olika bränslen vid förbränning med luft respektive syrgas.

BRÄNSLE	LUFTMÄNGD V_L		RÖKGASMÄNGD V_R		FLAMTEMP. T_{Ad}		VÄRME- VÄRDE H_i
	Nm ³		Nm ³		°C		kWh
	Luft	O ₂	Luft	O ₂	Luft	O ₂	
1 Nm ³							
Metan	9.6	2.00	10.60	3.00	1957	2810	10.0
Propan	23.27	4.84	25.11	6.69	2212	2840	26.0
Butan	29.77	6.19	32.38	8.51	2205	2840	34.3
Naturgas	8.46	1.76	9.90	2.76	1902	2680	10.8
1 kg:							
Kol	9.29	1.89	9.40	2.22	1950	2850	6.5
Eldningsolja 1	11.35	2.36	12.11	3.12	2005	2800	11.9
Eldningsolja 5	10.68	2.22	11.32	2.89	2000	2840	11.5

V_L = den luft- eller syrgasmängd i Nm³ som teoretiskt behövs per Nm³ alternativt kg bränsle för att fullständigt förbränna bränslet

V_R = den volym rökgas som utvecklas per mängd bränsle vid förbränning med luft respektive syrgas.

T_{Ad} = den s.k. adiabatiska flamtemperaturen: ett teoretiskt värde för flammans medeltemperatur vid jämvikt med omgivningen.

H_i = den energimängd som frigörs vid förbränningen.

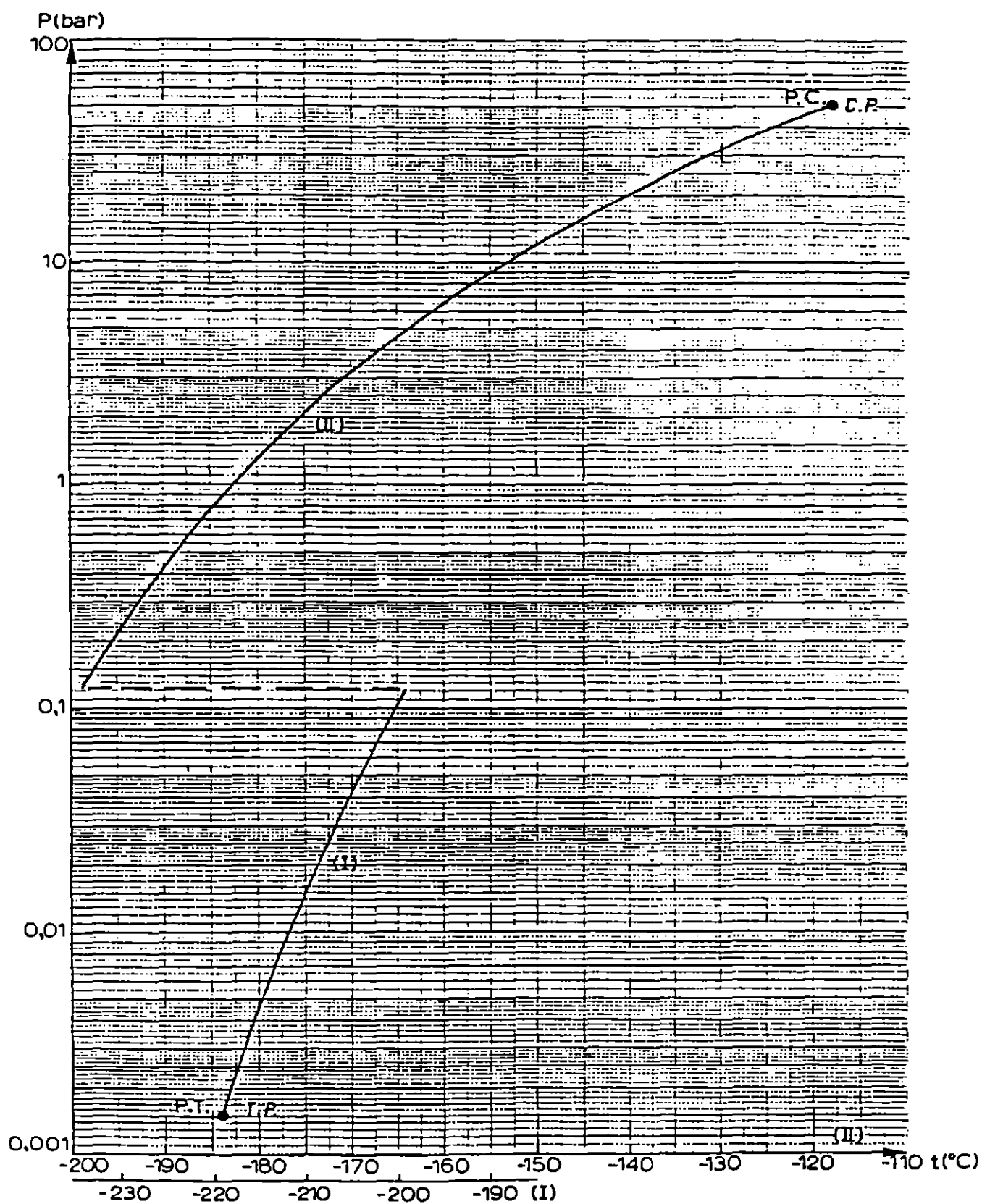
Bilaga 1:2

Syres fysikaliska egenskaper.

Densitet i gasfas (1 atm; 0 C):	1,41 kg/m ³
Kokpunkt vid atmosfärstryck:	-182,97 C (90,18 K)
Densitet i vätskefas:	1141 kg/m ³
Densitet i gasfas:	4.50 kg/m ³
Förångningsvärme:	212 kJ/kg
Kritiska punkten:	
temp	-118,57 C
tryck	50,43 bar
densitet	436,1 kg/m ³
Trippelpunkten:	
temp	-218,80 C
tryck	0,00152 bar

Bilaga 1:3

Jämviktskurva för syres vätske-/gas-fas



BILAGA 2

ERFARENHETER FRÅN SVENSKA ANLÄGGNINGAR

Bakgrund

GA Metall har två tippugnar för smältning av Al-skrot som eldas med gasol samt tre elugnar för varmhållning av smältan. Under hösten 1994 konverterades den ena smältugnen till oxy-fuel eldning med avsikten att kunna öka kapaciteten. Följande uppgifter har lämnats av GA-metall.

Tekniska data

Ugnstyp	Tippugn 50 ton
Kapacitet	före konvertering ca 5 ton/timma
Brännareffekt	före konvertering 2*3 MW efter konvertering 4*2 MW
Brännarplacering	före konvertering i ugnsgaveln efter konvertering längs långsidan
Brännarutförande	Ej vätskekyld, O ₂ -atomisering,
O ₂ -förbrukning	ca 400 Nm ³ /ton Al
O ₂ -tank	52 m ³
Bränsle	LPG (gasol)
Avgaser	mätningar saknas

Konsekvenser vid övergång till oxyfuel-teknik

- Kapaciten väntas öka till det dubbla eller mer
- Arbetsmiljö påverkas ej
- Yttre miljö - uppgift saknas
- NO_x-halt - uppgift saknas
- Bättre energieffektivitet gasolbesparing 40% vid oförändrad produktion

Lönsamhet

Målet med installationen är ökad produktion. Vid oförändrad produktion förväntas bränslebesparingen täcka merkostnaden för syrgas. Investeringen är ca 300 000 SEK för rörledningar och byggnads-tekniska åtgärder. Tank- och brännarsystem står gasleverantören för.

Kontaktperson:

Fred Mattson, GA Metall tel. 060-166100

Bakgrund

Avesta Sheffield's stålverk i Degerfors tillverkar långa ämnen för valsning, ca 70 000 ton/år. Dessa ämnen värmebehandlas i 8 st gropugnar som eldas med olja (WRD). Värmning sker upp till 1300 °C varefter värmebehandlingen avbrytes. 1992 installerades en oxyfuel-brännare i en av gropugnarna för att öka produktionen och minska energiåtgången. För att få jämnare värmefördelning i ugnen kompletterades installationen senare med ytterligare en brännare. Brännarna som är monterade i motstående sidor av ugnen körs växelvis. För att undvika "tjyvluft" och hålla NOx-bildningen så låg som möjligt har ugnen tätats noggrant i övrigt är ugnen oförändrad. Följande uppgifter har lämnats av Avesta Sheffield.

Tekniska data

- Gropugn 2x4x2,9m (bredd x längd x höjd)
- Oxy-fuel-brännare 2x1,6 MW typ AGA, vattenkylda, luftatomisering
- Bränsle WRD

Konsekvenser av övergång till oxy-fuel

- Smältcykel Genom att utnyttja oxyfuel har smältcykeln minskat från 210 till 70 min
- Energiåtgång Bränsleförbrukningen är ca 50% lägre med oxy-fuel jämfört med tidigare.
- Produktionsökning 25-40%
- Minskad rökgasvolym 75% ägre än ursprungligt flöde
- Temperaturfördelning Jämn i hela ungnsummet (+/- 5°C)
- NOx-utsläpp ca 10 mg/MJ
- Investeringskostnad 200 000 SEK

Lönsamhet

Oljebesparingen balanserar kostnaden för syrgas därtill kommer den förväntat höjda produktionstakten som ger projektet god lönsamhet. Erfarenheterna har varit så goda att idag (dec 94) är ytterligare två ugnar konverterade till oxyfuel och konkreta planer finns på att konvertera samtliga åtta gropugnar.

Kontaktperson

Sten-Åke Brännvall, Avesta Sheffield AB tel.0586/47347

Bakgrund

Boda glasbruk har en smältvann som rymmer ca 2 ton. Smältning sker satsvis varefter glassmältan överförs till en varmhållningsugn inför slutlig användning för konstglasproduktion. Anläggningen var ursprungligen försedd med två rekuperativa brännare. Rekuperatorns effektivitet började emellertid att minska (förvärmningstemperaturen sjönk). Som alternativ till ny rekuperator testades installation av syrgasberikning i förbränningsluften upp till 25,5 % som bl.a. gav bättre glaskvalitet. Sommaren 1993 gjordes en permanent installation. Februari 1994 gick man vidare och installerades oxy-fuel-brännare på prov. Konverteringen genomfördes på en helg varefter anläggningen gick i produktion igen. Test-anläggningen kördes t.o.m. midsommar 1994 med mycket goda erfarenheter. Sommaren 1994 byggdes ugnen om varvid en permanent oxy-fuel-installation gjordes. Följande uppgifter har lämnats av Orrefors Kosta Boda AB.

Tekniska data

Smältkapacitet	2000 kg/sats; ca 12-18 timmar/sats
Oxy-fuel-brännare	2*250 kW utan vätskekyllning atomisering O ₂ med alternativt luft
O ₂ -tank	28 m ³
System-leverantör	AGA
Bränsle	Eo1

Konsekvenser av övergång till Oxy-fuel**Fördelar:**

- Bränslesparning 55%
- 80% lägre avgasvolym
- Inget behov av rekuperator eller förbränningsluftfläkt.
- Service och rengöring av rekuperator och fläkt bortfaller.
- Högsta temperaturen i ugnen sänktes med ca 60°C.
- Smält kapacitet ökar vilket kan minska smältcykel med 30%.
- Ugnsregleringen blev förenklad.
- Sänkt NOx-bildning

Nackdelar:

- Värmeåtervinning via avgaspanna för varmvattenberedning fungerar inte lika bra, tack vare minskad avgasvolym.
- Tillstånd för uppställning av syrgastank har tagit tid och resurser.
- Efter endel problem med flamformen i inledningsskedet gjordes smärre förändringar av brännarutformningen. Efter förändring i brännargeometrin blev flammans form stabil och anläggningen har fungerat väl.

Ekonomi

Oljebesparingen väger ej ensam upp syrgaskostnaden. Kostnadsbesparingen p.g.a. att ny rekuperator ej behövde byggas i kombination med ökad kapacitet och god glaskvalitet är viktiga komponenter i lönsamhetskalkylen. Investering i brännare och styr och reglerutrustning har varit ca 250 000 SEK.

Kontaktperson:

Thomas Karlsson, Orrefors Kosta Boda AB 0478-34500

Bakgrund

Ljungby Stålgjuteri har 1960-talet en *ljusbågsugn* som i början av 1980-talet kompletterades med oxy-fuel-brännare för att öka kapaciteten. 1985 togs dessa ur drift dels p.g.a. minskad produktion men också med hänsyn till vissa negativa drifterfarenheter så som ljudproblem, avgaser i lokalen och skador på inmurning. Hösten 1994 har man en situation med ökande efterfrågan och renoverar därför sina oxy-fuel-brännare och planerar att ta dem i drift för att minska elkostnaden bl.a. med tanke på lägre max-effektbehov. Dessutom har förbättrad processventilation och rökgasrening installerats, vilket undanröjt ev. problem med avgaser. Sedan tidigare tillförs syrgas till smältan via lansar s.k. färskning vilket reducerar el-åtgången med ca 6-7%. Följande uppgifter har lämnats av Ljungby Stålgjuteri.

Tekniska data

Prod. kapacitet	3-4 ton/smälta
Ljusbågs effekt (el)	2 MW
Oxy-fuel-brännare	3x800 kW vattenkylda brännare (varav två samtidigt i ugnen)
Bränsle	Eo 1

Konsekvenser av övergång till oxy-fuel

Smältcykel	Genom att utnyttja oxyfuel under 20 min i början av smältcykeln kan denna minska med ca 30 min eller 20%.
Energiåtgång	oförändrad
Effekt abonnemang	Eleffekt abonnemanget behålls oförändrat alternativt minskas
Syrgasförbrukning	100-150 Nm ³ /smälta

Lönsamhet

Priset på olja+syrgas är något högre än elenergi detta ska uppvägas av den ökade produktionen och/eller den minskade eleffektkostnaden.

Kontaktperson:

Bernt Lindeborg, AB Ljungby Stålgjuteri tel. 0372-12475

Bakgrund

Gotthard Aluminium tar hand om ca 25 000 ton Al-skrot per år som smälts i två roterugnar på ca 15 ton vardera. Sommaren 1994 byggdes den ena ugnen om med oxyfuel-system levererat av AGA till en kostnad av ca 1,2 MSEK. Julen 1994 kom nästa ombyggnad från vilken data dock ej har inhämtats.

Tekniska data

Ugnstyp	Roterugn 15 ton
Kapacitet	ca 3 ton/tim
Brännareffekt	2 MW
Brännarplacering	I gaveln av roterugnen på samma sida som avgasutsug. Al-skrot matas in från satta sidan. Brännarens vinkel optimeras för maximal värmeöverföring till smältan och låg "avbränna".
Brännarutförande	Vätskekyld, luftatomisering,
Bränsle	Eo 1, gasol har diskuterats
Avgaser	2% O ₂ , ca 1000°C, ca 50 mg NO _x /MJ

Konsekvenser vid övergång till oxyfuel-teknik

- bättre arbetsmiljö - dvs lägre buller (<75dBA)
- bättre yttre miljö - stoftmängden minskar med ca 80% p.g.a. lägre avgasmängd.
- NO_x-halt 50 mg/MJ trots otät ugn och luftatomisering
- bättre energieffektivitet som kan omsättas i högre produktion (25-30%) eller lägre oljeförbrukning.

Lönsamhet

Ökad produktion förväntas ge kort återbetalningstid.

Kontaktperson

Ronny Olausson Gotthard Aluminium tel.0476-53434

Bakgrund

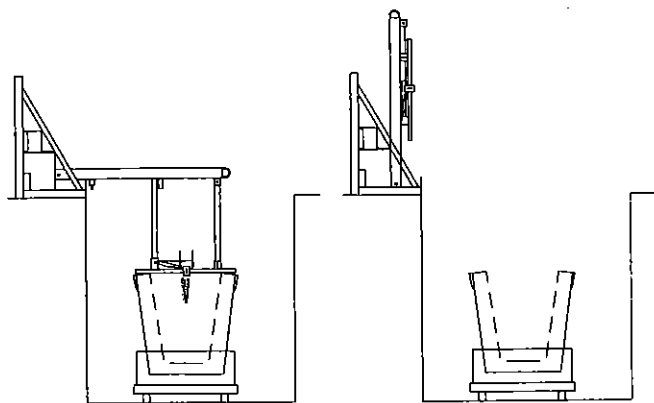
Höganäs AB tillverkar järnpulver för vidareförädling. Smältan tappas från en 70-ton ljusbågsugn ner i en stålskänk med keramisk infodring för vidare transport till pulvertillverkningen. Skänken förvärmes med en naturgas-oxygen brännare som installerats av AGA-Gas 1992 se fig nedan.

Tekniska data

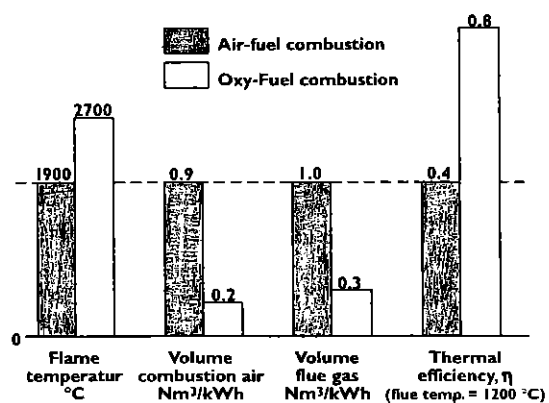
Applikation	Skänkförvärmning
Brännareffekt	0,3-3,0 MW
Förvärmningstemperatur	1500 °C
Brännarplacering	Ovanifrån (se fig.)
Brännarutförande	Vattenkyld med pilotbrännare
Bränsle	Naturgas
Avgaser	ca 0,3 Nm ³ /kWh
Ljudnivå	78 dBA (2MW, 5m avst.)

Konsekvenser vid övergång till oxyfuel-teknik

Med den heta oxyfuelflamman kan förvärmningsprocessen effektiviseras (kortare tid och högre sluttemperatur), vilket i sin tur gör det möjligt att upprätthålla tillräckligt hög temperatur på smältan i skänken under längre tid.



Förvärmningsstation vid Halmstadverken



Jämförelse mellan luft- resp. oxy-fuel-brännare med avseende på flamtemperatur, gasflöde och termisk verkningsgrad enligt AGA.

BILAGA 3

EKONOMI LÖNSAMHET

BILAGA 3:1

EKONOMI OCH LÖNSAMHET - räkneexempel

Det finns olika typer av argument för att bygga om en process till oxyfuel drift men i de allra flesta fall bygger det avgörande beslutet på någon form av lönsamhetsbedömning. *Lönsamheten måste beräknas individuellt* för varje enskild anläggning men vissa generella bedömningar kan dock göras utifrån typfall. Nedan beräknas betalbara syrgaspriset utgående från ett antal *rimliga antaganden* beträffande investeringskostnad energibesparing produktionsökning etc. Underlaget för beräkningarna bygger delvis på erfarenhet från verkliga installationer.

Antag följande gemensamma grundförutsättningar för ombyggnad av en anläggning "någonstans i Sverige" till oxyfuel:

Processanläggningen består av en gaseldad ugn med en bränsleeffekt på ca 2 MW. Energigas kan köpas för ca 200 kr/MWh. Ugnen utnyttjas ca 6000 timmar per år. Ombyggnaden till oxyfuel kostar ca 1 MSEK vilket ska återbetalas inom tre år.

Fall 1 Energibesparing

Vad får syrgasen kosta om en oxyfuelinstallation ska motiveras enbart med energibesparing ?

Antag att bränsleåtgången minskar med 40 % vid övergång till oxy-fuel och att övriga driftkostnader är lika vid de båda alternativen.

Kalkyl

Investering i oxyfuel installation	1,00 MSEK
Bränslebesparing	0,96 MSEK/år
Syrgasförbrukning	1,40 MNm ³ /år
Besparing under 3 år	2,90 MSEK
Investering	- 1,00 MSEK
Överskott	1,90 MSEK

Maximalt betalbart O₂-pris:

$$1,9 \text{ MSEK} / (3 \text{ år} \times 1,4 \text{ MNm}^3/\text{år}) = \mathbf{0,44 \text{ SEK/Nm}^3}$$

Kommentar:

Syre kan normalt inte köpas till denna låga prisnivå. Eventuellt kan en anläggning med "on site" produktion producera syrgas till en marginalkostnad (enbart rörlig kostnad) som är i denna storleksordning.

Fall 2 Alternativ till nya värmeväxlare

Vad får syrgasen kosta om man ska välja en oxyfuel installation istället för att investera 2 MSEK i nya värmeväxlare (alternativt rekuperativa eller regenerativa brännare)?

Antag att bränsleåtgången är ca 20 % lägre vid oxyfuel än vid VVX-alternativet och att övriga driftkostnader är lika vid de båda alternativen.

Kalkyl

Investering i oxyfuel installation jämfört med invest i nya vv x (1,0-2,0)	-1,00 MSEK
Bränslebesparing	0,48 MSEK/år
Syrgasförbrukning	1,90 MNm ³ /år
Besparing under 3 år	1,44 MSEK
Investering (lägre än alternativet)	1,00 MSEK
Överskott	2,44 MSEK

Maximalt betalbart O₂-pris:

$$2,44 \text{ MSEK} / (3 \text{ år} \times 1,9 \text{ MNm}^3/\text{år}) = \mathbf{0,43 \text{ SEK/Nm}^3}$$

Kommentar:

Även i detta fall är det betalbara syrgaspriset lågt jämfört med rådande marknadspris. Det bästa alternativet i denna situation torde i de flesta fall vara att effektivisera energianvändningen genom att sätta in värmeåtervinningsutrustning. Om befintliga brännare ska bytas ut bör även en lösning med rekuperativa eller regenerativa luft/gas-brännare studeras.

Fall 3 Alternativ till investering i ny reningsutrustning

Vad får syrgasen kosta om man ställs inför alternativet att investera 4 MSEK i ny stoft- och NOx-reningsutrustning eller välja en oxyfuel installation ?

Antag att bränsleåtgången vid O₂-drift är ca 30 % lägre vid oxyfuel än vid konventionell drift av befintlig anläggning och att övriga driftkostnader är lika vid de båda alternativen.

Kalkyl

Investering i oxyfuel installation	
jämfört med invest i nya vvx (1,0-4,0)	- 3,00 MSEK
Bränslebesparing	0,72 MSEK/år
Syrgasförbrukning	1,68 MNm ³ /år
Besparing under 3 år	2,20 MSEK
Investering (lägre än alternativet)	3,00 MSEK
Överskott	5,20 MSEK
Maximalt betalbart O ₂ -pris:	
5,2 MSEK /(3 år x 1,68 MNm ³ /år)=	1,03 SEK/Nm ³

Kommentar:

Investering i avancerad reningsutrustning kan vara mycket kostsam. Ofta kan en oxyfuel installation minska utsläppen i motsvarande grad i kombination med att bränsleåtgången minskar. Som synes ligger det betalbara gaspriset på en betydligt högre nivå än i tidigare exempel. Under gynnsamma förhållanden kan oxyfuel vara en lönsam miljöinvestering.

Fall 4 Produktionsökning i befintlig ugn med ca 50 %

Vad får syrgasen kosta om man istället för att investera i ytterligare en ugn ska välja en oxyfuelinstallation på befintlig ugn?

Antag att produktionen kan öka med 50 % från befintlig anläggning varvid täckningsbidraget ökar med ca 5 MSEK/år och att övriga driftkostnader är lika vid de båda alternativen.

Kalkyl

Investering i oxyfuel installation	1,0 MSEK
Bränslebesparing	0 MSEK/år
Syrgasförbrukning	2,4 MNm ³ /år

Ökat täckningsbidrag 3 år x 5,0 MSEK/år	15,0 MSEK
Investering (lägre än alternativet)	- 1,0 MSEK
Överskott	14,0 MSEK

Maximalt betalbart O₂-pris:

$$15,0 \text{ MSEK} / (3 \text{ år} \times 2,4 \text{ MNm}^3/\text{år}) = 2,03 \text{ kr/Nm}^3$$

Kommentar:

Som synes blir den betalbara nivån betydligt högre än i övriga alternativ. *Produktivitetsökning med befintlig utrustning ger alltså den största ekonomiska drivkraften till att genomföra oxyfuelinstallationer idag.* Kan man därtill addera miljövinster och eventuellt andra fördelar är oxyfuel lösningen mycket attraktiv.

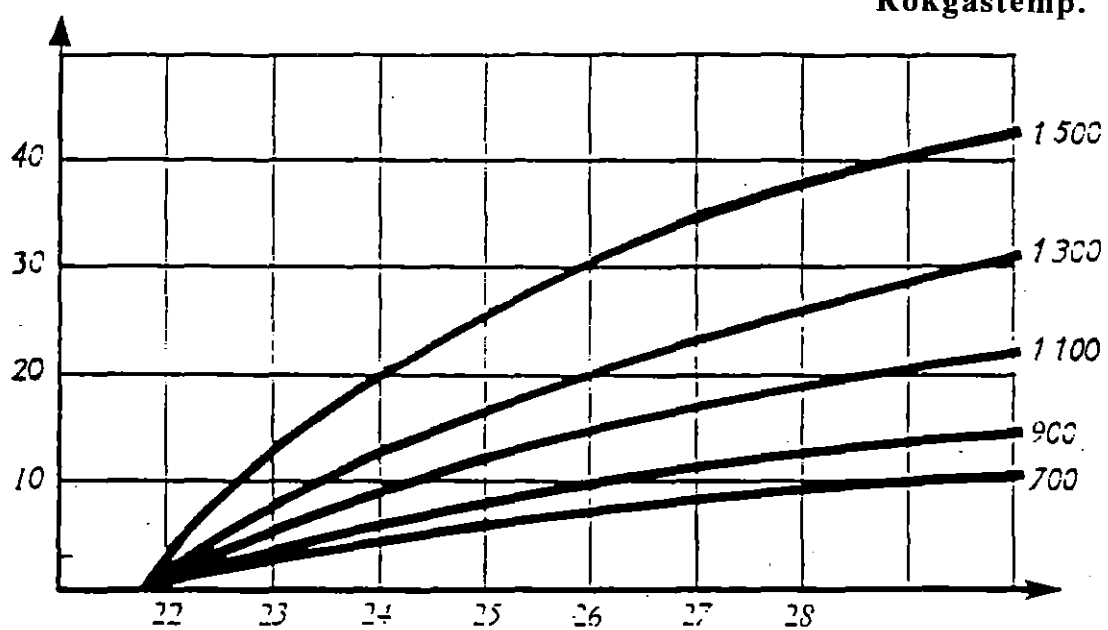
BILAGA 3:2

MINSKNING AV BRÄNSLEFÖRBRUKNING VID KONSTANT PRODUKTION SOM FUNKTION AV O₂-HALTEN

Bränsleminskning %

$n = 1,1$

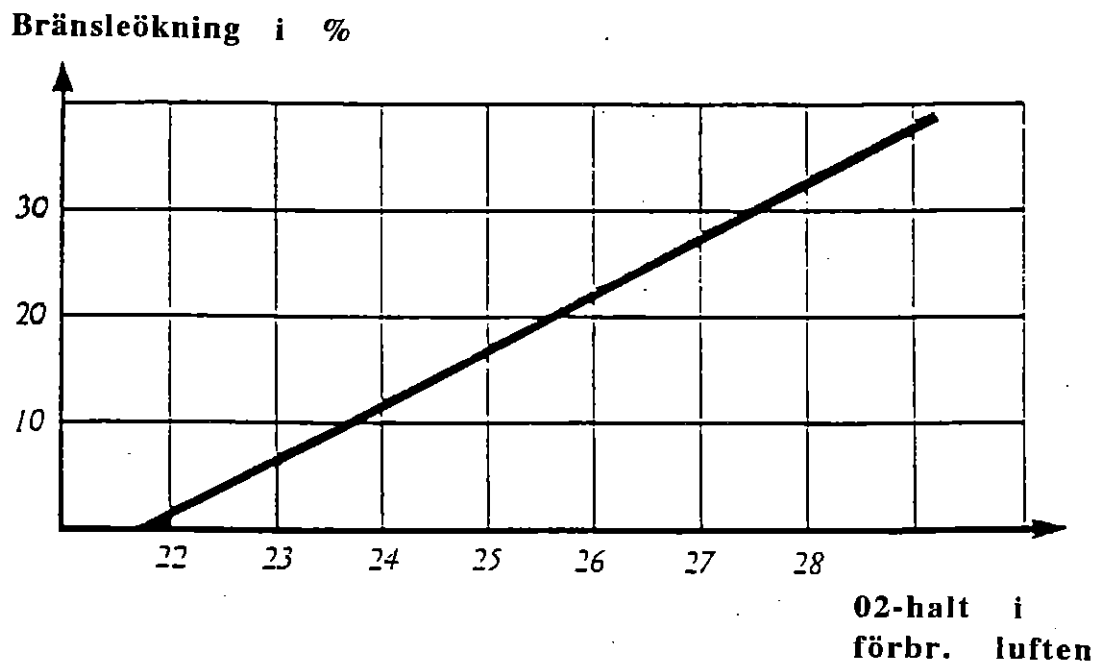
Rökgastemp. T



O₂-halt i
förbr. luften

BILAGA 3:3

BRÄNSLEÖKNING VID KONSTANT RÖKGASMÄNGD SOM
FUNKTION AV FÖRBRÄNNINGSLUFTENS O₂-HALTEN



96-01-08

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
001	Systemoptimering vad avser ledningstryck	Apr 91	Stefan Grudén TUMAB	100
002	Mikrokraftvärmeverk för växthus. Utvärdering	Apr 91	Roy Ericsson Kjessler & Mannerstråle AB	100
004	Krav på material vid kringfyllnad av PE-gasledningar	Apr 91	Jan Molin VBB VIAK	50
005	Teknikstatus och marknadsläge för gasbaserad minikraftvärme	Apr 91	Per-Arne Persson SGC	150
006	Keramisk fiberbrännare - Utvärdering av en demo-anläggning	Jan 93	R Brodin, P Carlsson Sydkraft Konsult AB	100
007	Gas-IR teknik inom industrin. Användnings- områden, översiktlig marknadsanalys	Aug 91	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	100
009	Läcksökning av gasledningar. Metoder och instrument	Dec 91	Charlotte Rehn Sydkraft Konsult AB	100
010	Konvertering av aluminiumsmältugnar. Förstudie	Sep 91	Ola Hall, Charlotte Rehn Sydkraft Konsult AB	100
011	Integrerad naturgasanvändning i tvätterier. Konvertering av torktumlare	Sep 91	Ola Hall Sydkraft Konsult AB	100
012	Odöranter och gasolkondensats påverkan på gasrörssystem av polyeten	Okt 91	Stefan Grudén, F. Varmedal TUMAB	100
013	Spektralfördelning och verkningsgrad för gaseldade IR-strålare	Okt 91	Michael Johansson Drifttekniska Instit. vid LTH	150
014	Modern gasteknik i galvaniseringsindustri	Nov 91	John Danelius Vattenfall Energisystem AB	100
015	Naturgasdrivna truckar	Dec 91	Åsa Marbe Sydkraft Konsult AB	100
016	Mätning av energiförbrukning och emissioner före o efter övergång till naturgas	Mar 92	Kjell Wanselius KW Energiprodukter AB	50
017	Analys och förslag till handlingsprogram för området industriell vätskevärmning	Dec 91	Rolf Christensen AF-Energikonsult Syd AB	100
018	Skärning med acetylen och naturgas. En jämförelse.	Apr 92	Åsa Marbe Sydkraft Konsult AB	100

96-01-08

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
019	Läggning av gasledning med plöjteknik vid Glostorp, Malmö. Uppföljningsprojekt	Maj 92	Fallsvik J, Haglund H m fl SGI och Malmö Energi AB	100
020	Emissionsdestruktion. Analys och förslag till handlingsprogram	Jun 92	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
021	Ny läggningsteknik för PE-ledningar. Förstudie	Jun 92	Ove Ribberström Ove Ribberström Projekt. AB	150
022	Katalog över gastekniska FUD-projekt i Sverige. Utgåva 4	Aug 92	Svenskt Gastekniskt Center	150
023	Läggning av gasledning med plöjteknik vid Lillhagen, Göteborg. Uppföljningsproj.	Aug 92	Nils Granstrand m fl Göteborg Energi AB	150
024	Stumsvetsning och elektromuffsvetsning av PE-ledningar. Kostnadsaspekter.	Aug 92	Stefan Grudén TUMAB	150
025	Papperstorkning med gas-IR. Sammanfattning av ett antal FUD-projekt	Sep 92	Per-Arne Persson Svenskt Gastekniskt Center	100
026	Koldioxidgödsling i växthus med hjälp av naturgas. Handbok och tillämpn.exempel	Aug 92	Stig Arne Molén m fl	150
027	Decentraliserad användning av gas för vätskevärmning. Två praktikfall	Okt 92	Rolf Christensen AF-Energikonsult	150
028	Stora gasledningar av PE. Teknisk och ekonomisk studie.	Okt 92	Lars-Erik Andersson, Åke Carlsson, Sydkraft Konsult	150
029	Catalogue of Gas Techn Research and Development Projects in Sweden (På engelska)	Sep 92	Swedish Gas Technology Center	150
030	Pulsationspanna. Utvärdering av en demo-anläggning	Nov 92	Per Carlsson, Åsa Marbe Sydkraft Konsult AB	150
031	Detektion av dräneringsrör. Testmätning med magnetisk gradiometri	Nov 92	Carl-Axel Triumf Triumf Geophysics AB	100
032	Systemverkn.grad efter konvertering av vattenburen elvärme t gasvärme i småhus	Jan 93	Jonas Forsman Vattenfall Energisystem AB	150
033	Energiuppföljning av gaseldad panncentral i kvarteret Malörten, Trelleborg	Jan 93	Theodor Blom Sydkraft AB	150
034	Utvärdering av propanexponerade PEM-rör	Maj 93	Hans Leijström Studsvik AB	150

96-01-08

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
035	Hemmatankning av naturgasdriven personbil. Demonstrationsprojekt	Jun 93	Tove Ekeborg Vattenfall Energisystem	150
036	Gaseldade genomströmningsberedare för tappvarmvatten i småhus. Litteraturstudie	Jun 93	Jonas Forsman Vattenfall Energisystem	150
037	Verifiering av dimensioneringsmetoder för distributionsledningar. Litt studie.	Jun 93	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
038	NOx-reduktion genom reburning med naturgas. Fullskaleförsök vid SYSAV i Malmö	Aug 93	Jan Bergström Miljökonsulterna	150
039	Pulserande förbränning för torkändamål	Sep 93	Sten Hermodsson Lunds Tekniska Högskola	150
040	Organisationer med koppling till gasteknisk utvecklingsverksamhet	Feb 94	Jörgen Thunell SGC	150
041	Fältsortering av fyllnadsmassor vidläggning av PE-rör med lägningsbox.	Nov 93	Göran Lustig Elektro Sandberg Kraft AB	150
042	Deponigasens påverkan på polyetenrör.	Nov 93	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
043	Gasanvändning inom plastindustrin, handlingsplan	Nov 93	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
044	PA 11 som material ledningar för gasdistribution.	Dec 93	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
045	Metoder att höja verkningsgraden vid avgaskondensering	Dec 93	Kjell Wanselius KW Energiprodukter AB	150
046	Gasanvändning i målerier	Dec 93	Charlotte Rehn et al Sydkraft Konsult AB	150
047	Rekuperativ aluminiumsmältugn. Utvärdering av degelugn på Värnamo Pressgjuteri.	Okt 93	Ola Hall Sydkraft Konsult AB	150
048	Konvertering av dieseldrivna reservkraftverk till gasdrift och kraftvärmeprod	Jan 94	Gunnar Sandström Sydkraft Konsult AB	150
049	Utvecklad teknik för gasinstallationer i småhus	Feb 94	P Kastensson, S Ivarsson Sydgas AB	150
050	Korrosion i flexibla rostfria insatsrör (Finns även i engelsk upplaga)	Dec 93	Ulf Nilsson m fl LTH	150

96-01-08

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
051	Nordiska Degelugnsprojektet. Pilot- och fältförsök med gasanvändning.	Nov 93	Eva-Maria Svensson Glafo	150
052	Nordic Gas Technology R&D Workshop. April 20, 1994. Proceedings.(På engelska)	Jun 94	Jörgen Thunell, Editor Swedish Gas Center	150
053	Tryckhöjande utrustning för gas vid metallbearbetning -- En förstudie av GT-PAK	Apr 94	Mårten Wärnö MGT Teknik AB	150
054	NOx-reduktion genom injicering av naturgas i kombination med ureainsprutning	Sep 94	Bent Karll, DGC P Å Gustafsson, Miljökons.	100
055	Trevägs-katalysatorer för stationära gasmotorer.	Okt 94	Torbjörn Karlelid m fl Sydkraft Konsult AB	150
056	Utvärdering av en industriell gaseldad IR-strålar	Nov 94	Johansson, M m fl Lunds Tekniska Högskola	150
057	Läckagedetekteringssystem i storskaliga gasinstallationer	Dec 94	Fredrik A Silversand	150
058	Demonstration av låg-NOx-brännare i växthus	Feb 95	B Karll, B T Nielsen Dansk Gasteknisk Center	150
059	Marknadspotential naturgaseldade industriella IR-strålar	Apr 95	Rolf Christensen Enerkon RC	150
060	Rekommendationer vid val av flexibla insatsrör av rostfritt i villaskorstenar	Maj 95	L Hedeén, G Björklund Sydgas AB	50
061	Polyamidrör för distribution av gasol i gasfas. Kunskapssammanställning	Jul 95	Tomas Tränkner Studsvik Material AB	150
062	PE-rörs tålighet mot yttre påverkan. Sammanställning av utförda praktiska försök	Aug 95	Tomas Tränkner Studsvik Material AB	150
063	Naturgas på hjul. Förutsättningar för en storskalig satsning på NGV i Sverige	Aug 95	Naturgasbolagens NGV- grupp	150
064	Energieffektivisering av större gaseldade pannanläggningar. Handbok	Aug 95	Lars Frederiksen Dansk Gasteknisk Center	200
065	Förbättra miljön med gasdrivna fordon	Aug 95	Göteborg Energi m fl	150
066	Konvertering av oljeeldade panncentraler till naturgas. Handbok.	Nov 95	Bo Cederholm Sydkraft Konsult AB	150

96-01-08

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
067	Naturgasmodellen. Manual för SMHI:s program för beräkn av skorstenshöjder	Dec 95	Tingnert B, SKKB Thunell J, SGC	150
068	Energigas och oxyfuelteknik	Dec 95	Ingemar Gunnarsson Energi-Analys AB	150
069	CO2-gödsling med avgaser från gasmotor med katalysator	Dec 95	Bent Karll Dansk Gasteknisk Center	150
A01	Fordonstankstation Naturgas. Parallellkoppling av 4 st Fuel Makers	Feb 95	Per Carlsson Göteborg Energi	50
A02	Uppföljning av gaseldade luftvärmare vid Arlövs Sockerraffinaderi	Jul 95	Rolf Christensen Enercon RC	50
A03	Gasanvändning för färjedrift. Förstudie (Endast för internt bruk)	Jul 95	Gunnar Sandström Sydkraft Konsult	0
A04	Bussbuller. Förslag till mätprogram	Jun 95	Ingemar Carlsson Ecotrans Teknik AB	50
A05	Värmning av vätskor med naturgas - Bakgrund till faktablad	Okt 95	Rolf Christensen Enerkon RC	50
A06	Isbildning i naturgasbussar och CNG-system (Endast för internt bruk)	Nov 95	Volvo Aero Turbines Sydgas, SGC	0
A07	Större keramisk fiberbrännare. Förstudie	Jan 96	Per Carlsson Sydkraft Konsult	50



Svenskt Gastekniskt Center AB

Box 19011, 200 73 MALMÖ
Telefon: 040- 37 55 90
Telefax: 040- 37 55 96

KFS AB, LUND