

# Villkor för NO<sub>x</sub>-emission

Ingvar Hedman, Rüdiger Eichler, Christer Manngård, Istvan Lukacs,  
Birgitta Lindblad, Anna Ponzio

**Nyckelord:**

Kväveoxider, förbränning, brännare, värmningsugn, värmebehandlingsugn, stålindustri

## **Sammanfattning**

Villkoren för utsläpp av kväveoxider ( $\text{NO}_x$ ) från värmnings- och värmebehandlingsugnar avser vanligtvis mängden  $\text{NO}_x$  per energienhet uttryckt som  $\text{mg NO}_2/\text{MJ}$  tillfört bränsle. Under senare år har ny förbränningsteknik installerats i ugnarna. Oxy-fuelteknik och regenerativa brännare ger energibesparingar och lägre utsläpp av kväveoxider i jämförelse med konventionell teknik. Om minskningen av utsläppen av kväveoxider är mindre än energiminskningen ökar utsläppet uttryckt som  $\text{mg NO}_2/\text{MJ}$  tillfört bränsle trots att det totala utsläppet av  $\text{NO}_2$  och  $\text{CO}_2$  har minskat. I rapporten diskuteras hur villkoret för kväveoxider skall utformas med hänsyn till förhållandena med den nya brännartekniken.

# Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING .....	2
INNEHÅLLSFÖRTECKNING .....	3
ORDLISTA.....	5
<b>1 BAKGRUND.....</b>	<b>7</b>
<b>2 UTSLÄPP I SVERIGE .....</b>	<b>7</b>
<b>3 INTERNATIONELL UTBLICK .....</b>	<b>9</b>
3.1 BAT .....	9
3.2 TA-LUFT .....	10
3.3 TO51s JAPANRESA.....	10
<b>4 NOX- BILDNING, GENERELLA FÖRUTSÄTTNINGAR .....</b>	<b>10</b>
4.1 BILDNINGSMEKANISMER FÖR NOX.....	10
4.2 UGNSTEMPERATUR .....	11
4.3 BRÄNSLE .....	11
4.4 ATOMISERINGSMETOD FÖR FLYTANDE BRÄNSLEN.....	11
4.5 UGNSTYP .....	12
4.6 BRÄNNARTYP .....	12
4.7 OXIDATIONSMEDELETS SAMMANSÄTTNING OCH TEMPERATUR .....	13
<b>5 FÖRBRÄNNINGSTEKNIK FÖR ÖKAD ENERGIEFFEKTIVITET OCH MINSKADE NO<sub>x</sub>-EMISSIONER.....</b>	<b>13</b>
5.1 FÖRBRÄNNING MED LUFT .....	13
5.1.1 REKUPERATIV FÖRBRÄNNING .....	14
5.1.2 REGENERATIV FÖRBRÄNNING .....	14
5.2 FÖRBRÄNNING MED SYRGAS (OXY-FUEL).....	15
5.3 STRÅLNINGSTUBER.....	16
5.4 RELATIV JÄMFÖRELSE AV BRÄNNARTYPER.....	16
<b>6 OLIKA STÅLSORTERS KRAV PÅ VÄRMNINGSTIDER OCH - TEMPERATURER. ....</b>	<b>18</b>
<b>7 RESULTAT AV NO<sub>x</sub>-ENKÄT TILL STÅLINDUSTRIN .....</b>	<b>20</b>
<b>8 FÖR- OCH NACKDELAR MED OLIKA NO<sub>x</sub>-VILLKOR. ....</b>	<b>21</b>
1. UTSLÄPP TON NO <sub>x</sub> /ÅR.....	21
2. MG NO <sub>x</sub> /MJ TILLFÖRT BRÄNSLE - GAS/OLJA.....	21
3. G NO <sub>x</sub> /NM <sup>3</sup> RÖKGAS .....	22
4. PPM NO <sub>x</sub> VID OLIKA SYREHALTER .....	22
5. MG NO <sub>x</sub> /TON STÅL .....	22
<b>9 MÄTNING OCH BERÄKNING AV NO<sub>x</sub>-EMISSIONER.....</b>	<b>22</b>
9.1 MÄTNING AV KVÄVEOXIDER I RÖKGASER.....	22
9.2 KOMMENTARER ANGÅENDE MÄTPERIOD. ....	23
9.3 OMRÄKNING AV KVÄVEOXIDUTSLÄPP .....	23
1. Omräkning från ppm till mg/nm <sup>3</sup> .....	23
2. Omräkning av uppmätt NO <sub>x</sub> – utsläpp till 100 % NO <sub>2</sub> .....	23
3. Omräkning av gasflöden till nm <sup>3</sup> .....	24
4. Omräkning av uppmätt NO <sub>x</sub> – emission från mätt O <sub>2</sub> -halt i avgas till annan O <sub>2</sub> -halt.....	24
5. Omräkning av uppmätt NO <sub>x</sub> – emission från mätt O <sub>2</sub> -halt i avgas till mängd per energienhet (mg NO <sub>2</sub> /MJ) ...	24
6. Oxy-fuel och/eller luft, generell formel för beräkning av mgN O <sub>2</sub> /MJ från ppm.....	24

<b>10</b>	<b>UTSLÄPPSMINSKANDE ÅTGÄRDER .....</b>	<b>25</b>
10.1	EXEMPEL PÅ GENOMFÖRDA ÅTGÄRDER .....	25
10.1.1	OUOTOKUMPU STAINLESS, AVESTA.....	25
	<i>Ombyggnad av glödningsugnen år 2001 .....</i>	<i>25</i>
	<i>Oljeförbrukning i kallbandverkets glödugn 1992-2002.....</i>	<i>25</i>
	<i>Jämförelse mellan oljeförbrukning för låg-NO<sub>x</sub>-brännare och oxyfuelbrännare .....</i>	<i>25</i>
10.1.2	OUTOKUMPU STAINLESS, DEGERFORS .....	26
	<i>Energibesparing vid övergång till oxyfuel-eldning .....</i>	<i>26</i>
	<i>Oljeförbrukning i ämnesvalsverkets gropugnar .....</i>	<i>27</i>
10.1.3	SSAB TUNNPLÅT, BORLÄNGE .....	27
10.1.4	UDDEHOLM TOOLING AB, HAGFORS.....	28
	<i>Införandet av oxyfuelteknik i flera av verkets ugnar .....</i>	<i>28</i>
10.1.5	OVAKO STEEL, HOFORS .....	30
	<i>Ombyggnad av ringugn 30 .....</i>	<i>30</i>
10.1.6	OVAKO BAR BOXHOLM .....	31
	<i>Bränslebyte i valsverksugnarna.....</i>	<i>31</i>
10.1.7	SCANA SÖDERFORS .....	32
	<i>Ombyggnad av smidesugn .....</i>	<i>32</i>
<b>11</b>	<b>SLUTSATSER.....</b>	<b>32</b>
11.1	HUR KAN MAN MINSKA UTSLÄPPEN AV KVÄVEOXIDER? .....	33
11.2	VILKA KVÄVEOXIDKONCENTRATIONER KAN UPPKOMMA VID OLIKA DRIFTFÖRHÅLLANDEN? .....	34
11.3	HUR BÖR NO <sub>x</sub> -VILLKOR LÄMPLIGEN UTFORMAS?.....	34
	2. MG NO <sub>x</sub> /MJ TILLFÖRT BRÄNSLE - GAS/OLJA.....	34
	4. PPM NO <sub>x</sub> VID OLIKA SYREHALTER .....	35
11.4	PRINCIPER FÖR NO <sub>x</sub> -VILLKOR.....	35
<b>12</b>	<b>REFERENSER .....</b>	<b>36</b>

## BILAGA

## ORDLISTA

<b>Air staging</b>	Ett sätt att minska NO <sub>x</sub> genom att introducera oxidationsmedlet stegvis till bränslet.
<b>Atomisering</b>	Finfördelning av flytande bränslen inför förbränning.
<b>BAT</b>	Förkortning för ”Best Available Technology” (bästa tillgängliga teknik). Utdrag ur IPPC-direktivet: <i>Bästa tillgängliga teknik</i> : det effektivaste och mest avancerade stadium vad gäller utvecklingen av verksamheten och tillverkningsmetoderna som anger en given tekniks praktiska lämplighet för att i princip utgöra grunden för utsläppsgrensvärden och som har till syfte att hindra och, när detta inte är möjligt, generellt minska utsläpp och påverkan på miljön som helhet. Med — <i>teknik</i> avses både använd teknik och det sätt på vilket anläggningen utformas, uppförs, underhålls, drivs och avvecklas, — <i>tillgänglig</i> avses att tekniken skall ha utvecklats i sådan utsträckning att den kan tillämpas inom den berörda industribranschen på ett ekonomiskt och tekniskt genomförbart sätt och med beaktande av kostnader och nytta, oavsett om tekniken tillämpas eller produceras inom den berörda medlemsstaten, förutsatt att den berörda verksamhetsutövaren på rimliga villkor kan få tillgång till den, — <i>bästa</i> avses den teknik som är mest effektiv för att uppnå en hög allmän skyddsnivå för miljön som helhet.
<b>Bränsle NO<sub>x</sub></b>	Det NO <sub>x</sub> som bildas när kväve som finns bundet kemiskt i bränslet reagerar med luftens syre benämns <i>bränsle NO<sub>x</sub></i> .
<b>Flamrot</b>	Den del av flammen där gasblandningen tänder och från vilken flammen utgår (vid god flamhållning).
<b>Flamhållning</b>	Att vid förbränning upprätthålla en stationär flamma som börjar direkt efter brännaren där den brännbara gasblandningen tänds.
<b>FLOX</b>	Flamlös oxidation, flamlöst koncept för låg NO <sub>x</sub> . Varunamn för brännare från WS-Warmeprozestechnik GmbH, Tyskland
<b>HiTAC, HTAC</b>	Regenerativ förbränning med ”flamlöst” koncept för låg NO <sub>x</sub>
<b>HPAC</b>	Regenerativ förbränning med ”flamlöst” koncept för låg NO <sub>x</sub>
<b>Hot spot</b>	Begränsat område med betydligt högre temperatur än omgivningen.
<b>Honeycomb</b>	Vaxkaksliknande tredimensionell struktur med mycket stor yta per volymsenhet för att öka mass- och/eller värmeöverföring.
<b>Keramisk</b>	Oorganiskt, icke-metalliskt, mycket värmetåligt material.

<b>”MJ bränsle” - villkorsmässigt</b>	Med MJ bränsle avses energimängden i bränslet beräknat från bränslets undre värmevärde [10]
<b>NOx - generellt</b>	Med NOx menar man kväveoxider, främst NO och NO <sub>2</sub> då de förekommer i blandning med varandra i rökgaserna.
<b>NOx- villkorsmässigt</b>	Med NOx menas enligt naturvårdsverkets regelverk, summan av uppmätt halt NO, omräknat till NO <sub>2</sub> , plus uppmätt halt NO <sub>2</sub> i den villkorssatta mätpunkten för rökgasutsläppet.
<b>Oxy-fuel</b>	Förbränning av ett bränsle med syrgas
<b>Pellet</b>	Mindre cylindrisk form
<b>Prompt NOx</b>	Det NOx som bildas genom att oförbrända kolväten från bränslet reagerar med kvävet i luften under friställandet av en kväveradikal som sedan oxideras.
<b>REBOX<sup>®</sup></b>	AGAs varumärke för ALLA oxy-fuel användningar i värmningsugnar.
<b>Regenerativa brännare</b>	Brännare med inbyggda regeneratorer
<b>Regenerativ förbränning</b>	Förbränning där luften förvärms med regeneratorer monterade antingen efter eller integrerade med brännarna.
<b>Regenerator</b>	Värmeväxlare där heta rökgaser förvärmer förbränningsluft genom att medierna omväxlande passerar ett värmelagrande keramiskt material.
<b>Rekuperativa brännare</b>	Brännare med inbyggda rekuperatorer
<b>Rekuperativ förbränning</b>	Förbränning där luften förvärms med rekuperatorer monterade antingen efter eller integrerade med brännarna.
<b>Rekuperator</b>	Värmeväxlare där heta rökgaser förvärmer luft. De båda medierna strömmar kontinuerligt på varsin sida om ett värmeledande material.
<b>SCR</b>	Förkortning för ”Selective Catalytic Reduction”, en metod för att rena avgaserna från NOx genom att reducera den med ammoniak eller urea. För att kunna hålla relativt låga reaktions-temperaturer, används en katalysator.
<b>Slow mixing</b>	Att reducera syrehalten i den förvärmda luften med hjälp av indragning – <i>entrainment</i> - av rökgaser in i luftstrålen som injiceras in i ugnen och sedan introducera bränslet i luftstrålen. Detta ger en längre reaktionstid och sänkt flamtemperatur.

**SNCR**

Förkortning för "Selective Non Catalytic Reduction", en metod för att rena gaser från NO<sub>x</sub> genom att reducera den med hjälp av ammoniak eller urea. Till skillnad från SCR, används ingen katalysator, vilket gör att en högre temperatur måste hållas för att reaktionen ska ske med en tillräcklig hastighet.

**Termisk NO<sub>x</sub>**

Det NO<sub>x</sub> som bildas genom att luftens syre och kväve reagerar med varandra. Reaktionen sker inte i större utsträckning vid temperaturer under 1200-1300°C, men ökar däröver exponentiellt med temperaturen.

# 1 Bakgrund

Villkoren för utsläpp av kväveoxider ( $\text{NO}_x$ ) från värmnings- och värmebehandlingsugnar avser vanligtvis mängden  $\text{NO}_x$  per energienhet uttryckt som mg  $\text{NO}_2/\text{MJ}$  tillfört bränsle. Redan i en kommitté som arbetade med utsläpp av kväveoxider från högtemperaturprocesser under 1980-talet diskuterades lämplig utformning av villkoren. Man kom dock fram till att det inte fanns någon utformning som var helt bra ur alla synvinklar. Kommitténs inventering av  $\text{NO}_x$ -emissioner från svenska stålverk (omräknade till mg  $/\text{Nm}^3$ , kg/h, g/ton produkt, ton/år och mg/MJ bränsle) finns sammanställd i en rapport [1].

Problemet har ökat under senare år i och med att ny förbränningsteknik installeras i ugnarna. Oxy-fuelteknik och regenerativa brännare ger energibesparingar och lägre utsläpp av kväveoxider i jämförelse med konventionell teknik. Om minskningen av utsläppen av kväveoxider är mindre än energiminskningen ökar utsläppet uttryckt som mg  $\text{NO}_2/\text{MJ}$  tillfört bränsle trots att det totala utsläppet av  $\text{NO}_2$  och  $\text{CO}_2$  har minskat.

Det finns en miljödom som kräver att stålverk förutom förslag till ny villkorsutformning också skall föreslå nya utsläppsnivåer.

Jernkontorets miljøråd har tillsatt en kommitté med uppgift att ta fram underlag för villkorsdiskussioner vid ny förbränningsteknik. Kommittén har haft följande sammansättning.

Ingvar Hedman, ordförande	Uddeholm Tooling AB, Hagfors
Rüdiger Eichler	AGA Gas AB, Sundbyberg
Per Falck	AB Sandvik Materials Technology, Sandviken
Leeni Hirsivaara	AvestaPolarit Stainless Oy, Torneå
Istvan Lukacs	Ovako Steel AB, Hofors
Christer Manngård	AvestaPolarit AB, Avesta
Leif Näsman	Scana Steel Björneborg AB, Björneborg
Anders Strand	Scana Steel Björneborg AB, Björneborg
Birgitta Lindblad, sekr	Jernkontoret

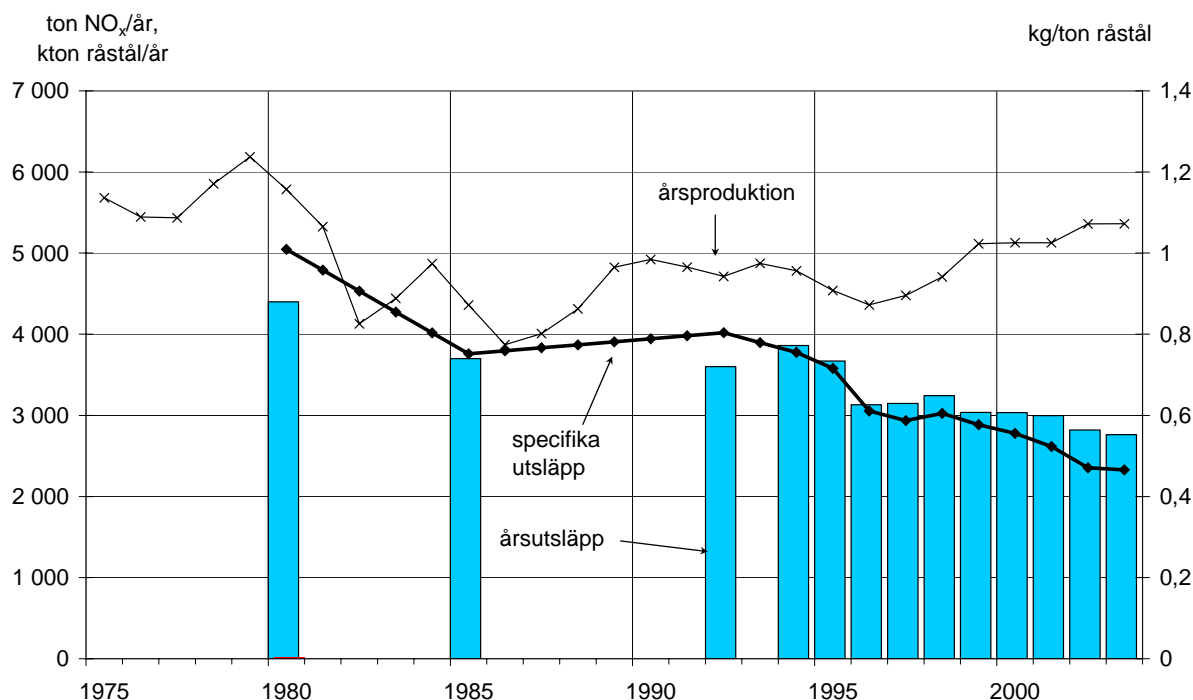
## 2 Utsläpp i Sverige

Stålintustrins totala utsläpp av kväveoxider var år 2003 knappt 2.800 ton eller 0,47 kg/ton råstål och utgjorde drygt 1% av de totala svenska utsläppen. Det specifika utsläppet har minskat stadigt under det senaste decenniet, se figur 1. Figur 2 visar utsläppen av kväveoxider i Sverige, i näringslivet och i stålindustrin.

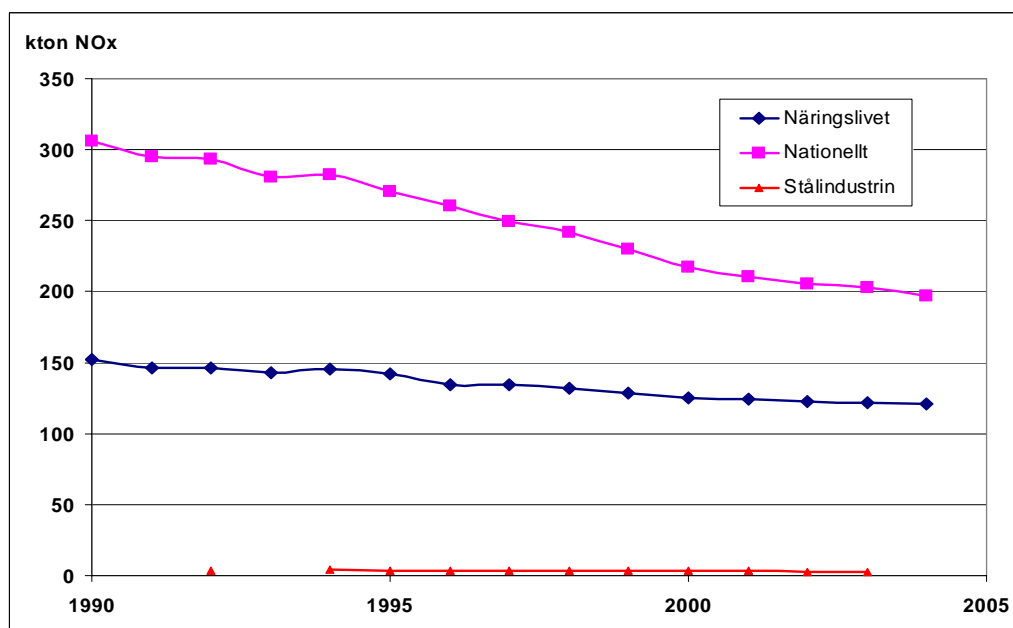
Ett antal åtgärder har vidtagits för att minska utsläppen:

- Förändrade framställningsmetoder
- Trimning av ugnar
- Ersättning av olja med gasol
- Nya brännarkonstruktioner
- Rökgasrening
- Tillsatser till betbad





Figur 1. Utsläpp av kväveoxider från svenska stålverk 1980 – 2003



Figur 2. Utsläpp av kväveoxider i Sverige, i näringslivet och i stålindustrin

Under 10-årsperioden 1992-2003 har stålproduktionen ökat med 30%, samtidigt har det totala årsutsläppet av kväveoxider minskat med 20%. Under samma period har utsläppet per ton råstål minskat med 40%.

En jämförelse med de pannor som ingår i NO<sub>x</sub>-avgiftssystemet visar att under åren 1997-2001 har utsläppen av kväveoxider från pannorna minskat med 6% [2] och från stålindustrin med 5%. Stålverkens utsläpp har reglerats via miljöskyddslagen och miljöbalken och endast mycket marginellt legat inom avgiftssystemet.

Andel kväveoxidutsläpp från värmnings- och värmebehandlingsugnar var under år 2002 mellan 40 och 50 % av de totala utsläppen från stålverken. Antalet skorstenar vid stålverken varierar mellan 2 och 28 st per företag.

### 3 Internationell utblick

Användningen av ny brännarteknik som regenerativa brännare eller oxy-fuel brännare i stålverk är en relativt ny företeelse. I en rapport från IISI "Energy Use in the Steel Industry" från 1998 nämns oxy-fuel brännare inte alls och regenerativa brännare anses som teknik som kan var intressant men enbart i vissa applikationer [3]. Trots det har oxy-fuel brännare används i Sverige redan i slutet av 80-talet och redan 1991 installerades oxy-fuel brännare i en gropugn.

Inom processindustrin där höga temperaturer är en förutsättning har oxy-fuel brännare använts under lång tid innan man blev medveten om kväveoxider. Oxy-fuel brännare har här givit möjligheten att öka eller upprätthålla produktiviteten i ugnssystem där den tillgängliga luftmängden varit/blivit för liten, där avgassystemet inte kunnat hantera större mängder avgaser eller där luftförvärmningen sjunkit pga åldrande eller läckage i rekuperator- och regeneratorsystem.

#### 3.1 BAT

I direktivet "Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC)" krävs att BAT (bästa tillgängliga teknik) redovisas i ett referensdokument. Ett sådant finns sedan år 2000 för stålbearbetning och viss ytbehandling [4]. I detta anges för utsläpp av kväveoxider från värmnings- och värmebehandlingsugnar:

- Förvärmning av förbränningsluften med regenerativa eller rekuperativa brännarsystem har en potential att minska kväveoxidutsläppen med upp till 50% med en samtidig energibesparing på 25-50%.
- Andra generationens låg-NO<sub>x</sub> brännare ger utsläpp på 250-400 mg/Nm<sup>3</sup> utan luftförvärmning vilket innebär en minskning på 65% jämfört med konventionella brännare.

Det betonas vidare att fördelarna med hög förbränningslufttemperatur vad gäller lägre energianvändning och minskning av utsläppen av SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> och CO måste vägas mot en eventuell ökad emission av NO<sub>x</sub>.

Vad det gäller NO<sub>x</sub>-rening så anger dokumentet såväl SCR och SNCR som BAT och avstår därmed från att jämföra dem med varandra med motiveringen att det finns ett för litet underlag för att göra en bedömning av vilken av dessa tekniker som är bäst. Istället ges exempel på utsläppsnivåer från två stegbalksugnar, den ena utrustad med SCR och den andra med SNCR.

Oxy-fuel (förbränning med syrgas) anges inte som BAT, men tekniken beskrivs i kapitlet om tekniker som har diskuterats som BAT. Där anges bland annat att energiförbrukningen minskar och att NO<sub>x</sub>-utsläppen totalt sett minskar även om koncentrationen av NO<sub>x</sub> i rökgaserna kan öka vid användning av oxy-fuel i jämförelse med konventionell teknik.

## 3.2 TA-Luft

Under 2002 fick Tyskland nya riktlinjer för luftemissioner [5] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz. För kväveoxider krävs utsläpp som är mindre än  $0,50 \text{ g/m}^3$  vid 5%  $\text{O}_2$ . Denna koncentration motsvaras av 244 ppm eller 161 mg  $\text{NO}_2/\text{MJ}$  vid eldning av gasol. Tidigare fanns särskilda villkor för ugnar med hög temperatur på förbränningsluften, men dessa är nu borttagna. Om ren syrgas eller syrgasanrikad luft används vid förbränningen bestäms villkor från fall till fall.

## 3.3 TO51s japanresa

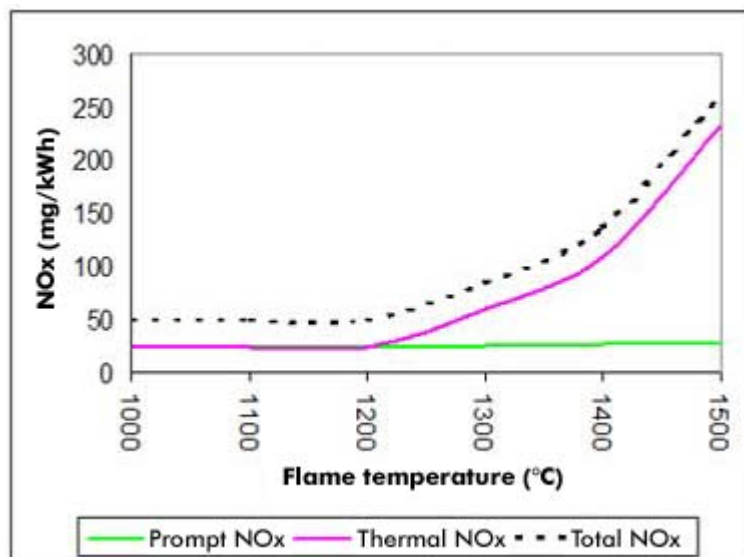
I april 2002 gjorde TO 51 Energi- och ugnsteknik en studieresa till Japan för att studera användningen av regenerativa brännare vid japanska stålverk. Fyra stålverk besöktes. Samtliga stålverk rapporterade minskad energianvändning som varierade mellan 20 och 40% när regenerativa brännare installerats. I flera fall hade dock fler åtgärder vidtagits vid ugnarna än enbart byte av brännare. Energiutbytet genom den goda värmeväxlingen angavs ligga över 80%.

	<b>Energi</b>	<b>energianvändning</b>	<b>NOx</b>
Stålverk A	- 40%	0,93 GJ/ton	- 50% (61 mg/MJ)
Stålverk B		1,17 GJ/ton	37 ppm (11% $\text{O}_2$ ). Utan avgasrecirkulation= 60 ppm
Stålverk C	- 20%	1,72 GJ/ton	81 ppm (0% $\text{O}_2$ )
Stålverk D	- 25%	1,05 GJ/ton	- 80% (20-30 $\text{mg/nm}^3$ )

## 4 NOx- bildning, generella förutsättningar

### 4.1 Bildningsmekanismer för NOx

$\text{NO}_x$  bildas vid förbränning via tre olika mekanismer. När det kväve som finns bundet kemiskt i bränslet reagerar med luftens syre talar man om *bränsle NOx*.  $\text{NO}_x$  bildat från den kvävgas som finns i vissa gasformiga bränslen (till exempel i vissa naturgaskvaliteter) är alltså inte bränsle  $\text{NO}_x$  i egentlig mening. Så kallat *prompt NOx* bildas genom att oförbrända kolväten från bränslet reagerar med kvävet i luften under friställandet av en kväveradikal som sedan oxideras. Eftersom reaktionen mellan kolvätet och luftens kväve sker vid syreunderskott, bildas prompt  $\text{NO}_x$  i flammans front. Reaktionen är endast svagt temperaturberoende och styrs av tillgången på kolväten. *Termisk*  $\text{NO}_x$  bildas genom att luftens syre och kväve reagerar med varandra. Reaktionen sker inte i större utsträckning vid temperaturer under  $1200\text{-}1300^\circ\text{C}$ , men ökar däröver exponentiellt med temperaturen. Temperaturens inverkan på bildningen av prompt och termisk ("thermal")  $\text{NO}_x$  vid förbränning finns återgiven i Figur 3.



Figur 3 NO<sub>x</sub> bildningens temperaturberoende [6]

## 4.2 Ugnstemperatur

Ugnstemperaturen har inte någon avgörande betydelse för bildningen av NO<sub>x</sub> så länge den ligger under 1200°C. Vid högre temperaturer börjar den dock att få en allt större betydelse, detta eftersom bildandet av termisk NO<sub>x</sub> ökar exponentiellt med temperaturen. Då ugnstemperaturen bestäms av produktionen kan den generellt sett inte användas som parameter för att minska NO<sub>x</sub>-utsläppen. En ugn som körs på 600 °C har betydligt lägre NO<sub>x</sub>-utsläpp än en ugn på 1350 °C, (vilket också beror på att flamman kyls bättre av ugnens väggar) men dessa ugnar är inte jämförbara ur processynpunkt och kan inte ersätta varandra. Av större betydelse för att minska NO<sub>x</sub>-bildningen är att temperaturfördelningen i ugnen är jämn så att man undviker så kallade "hot spots" det vill säga zoner där temperaturen lokalt är mycket hög. Detta kan åstadkommas med en god brännar- och ugnsgesdesign och i viss mån val av bränslen.

## 4.3 Bränsle

Bränslen som brinner eller förbränns intensivt bildar mera termisk NO<sub>x</sub>, beroende på att flamtemperaturmaximum är högre. Bränslen som innehåller kväve måste delas upp i två grupper - gasformiga och icke gasformiga. För gasformiga bränslen brukar inte kvävehalten ha någon stor betydelse vid luftförbränning eftersom molekylärt kväve redan finns närvarande i stor mängd i luften. Vid oxy-fuel förbränning däremot kan kvävehalten i vissa naturgaskvaliteter innebära en betydande ökning av NO<sub>x</sub>-emissionen om ugnen är relativt tät och inte innehåller stora mängder läckluft.

För fasta och flytande bränslen påverkar kväveinnehållet NO<sub>x</sub>-bildningen eftersom det är atomärt bundet till bränslet och lätt kan bilda kväveoxider även vid relativt låga temperaturer (se Figur 3).

## 4.4 Atomiseringsmetod för flytande bränslen

Atomiseringsmetoden har ingen stor betydelse vid luftförbränning, däremot kan "graden" av atomisering ha en viss betydelse eftersom det påverkar förbränningsförloppet och förbränningens

intensitet. Oljetryckatomisering tillför inte kväve och syre till flammans centrum, luftatomisering däremot gör det vilket leder till en högre NO<sub>x</sub>-emission. Ångatomisering sänker flamtemperaturmaximum och sänker NO<sub>x</sub>.

Atomiseringsmetoden är av stor betydelse vid oxy-fuel förbränning speciellt om ugnen är någorlunda tät och ugnsatmosfären inte innehåller allt för mycket kväve. Man bör i täta ugnar undvika att använda luft i sådana fall.

#### **4.5 Ugnstyp**

Det är viktigt att så långt som möjligt förhindra läckage av luft in i ugnen så att luftens kväve inte ytterligare bidrar till NO<sub>x</sub>-bildningen. Detta är speciellt viktigt vid oxy-fuel förbränning. Därför är ugnens täthet och kontrollsystem av stor betydelse. Vissa typer av ugnar är på grund av konstruktionen, som ju beror till stor del av värmningsprocessen, svårare att få täta än andra ugnar.

Kontinuerliga ugnar har av naturliga skäl öppningar i två ändar samt ibland otätheter i botten för matningsmekanik och/eller ofta förekommande lucköppningar. Det är därför svårt att undvika läckage av luft in i dessa ugnar. Kontinuerliga ugnar ställer därför högre krav på brännarna än tätare ugnar gör vad det gäller NO<sub>x</sub>-bildning.

Satsvisa värmningsugnar av typen grop- eller kammarugnar är jämförelsevis lätta att hålla täta. Vagnugnar däremot är svåra att hålla täta trots att ugnstypen är satsvis. Detta beror på att den otäta delen på vagnugnar är placerad långt ned på ugnen, där lyftkraften av den varma gaspelaren sammanlagt är som störst och således även undertrycket, samt att tätningen försvåras genom att de tätande elementen endast kan förskjutas parallellt i förhållande till varandra. En gropugn har otätheten i överkanten av ugnen mellan locket och ugnens överkant, där övertrycket är som störst, och i detta fall är det dessutom lättare att åstadkomma en god tätning.

Vilken typ av ugn som används i det enskilda fallet är till stor del betingat av den fysiska dimensionen och vikten hos stålämnen samt logistiken för det material som skall värmas.

Eftersom ugnstrycket alltid är som lägst i botten på en ugn bör tätning alltid ske nerifrån och uppåt och nödvändiga otätheter i konstruktionen planeras så högt som möjligt. Detta för att minska inläckage av luft, som både höjer bränsleförbrukningen och NO<sub>x</sub>-emissionen vid alla kombinationer av ugn och brännare.

#### **4.6 Brännartyp**

Brännartypen är en mycket viktig parameter för bildandet av NO<sub>x</sub>. Det finns en stor mängd olika kommersiella brännartyper, som kan klassificeras på en rad olika sätt. Det man först och främst vill undvika för att undertrycka bildandet av NO<sub>x</sub> är höga temperaturer (höga flamtemperaturmaximum) vid samtidig närvaro av syre och kväve i höga koncentrationer. *Låg-NO<sub>x</sub>-brännare* är en generell term som betecknar en rad brännare med en eller flera tekniska lösningar för att minska just flamtemperaturmaxima, uppehållstiden i flamtemperaturmaxima och tillgången på syre i förbränningszonen. Exempel på åtgärder är stegvis introduktion av oxidationsmedlet och förhöjd injektionshastighet.

**Stegvis introduktion av luft/syrgas** – I ett första steg tillsätts luft/syre i ett nära nog stökiometriskt förhållande. Bildningen av bränsle-NO<sub>x</sub> undertrycks till förmån för bildning av N<sub>2</sub>. Sekundär luft/syre tillsätts i ett andra steg för fullständig förbränning av bränslet. Viktigt är att temperaturen i detta andra steg kontrolleras noggrant för att hålla nere bildningen av termisk NO<sub>x</sub>.

**Förhöjd injektionshastighet** – Genom att öka injektionshastigheten och därmed inducera en recirkulation av rökgaserna till flammen, sänks temperaturen på flammen och temperaturprofilen utjämnas samtidigt som uppehållstiden i flamtemperaturmaxima begränsas. Förbränningsförloppet blir då mindre intensivt och sprids ut över en större volym. Bildningen av såväl termisk- som prompt- $\text{NO}_x$  minskar. Det extrema fallet är så kallad ”flamlös” oxidation där flammen har fått karaktären av en ”volym” med diffus förbränning. Vid flamlös förbränning existerar ingen egentlig flamhållning eller flamrot i traditionell betydelse. En sådan flamma kräver tändning via het luft eller via heta avgaser och ugnsväggar och bildar avsevärt mindre  $\text{NO}_x$  än traditionella flammor. Tekniken kan appliceras på både olja och gasformiga bränslen samt på luft och syrgas förbränning. Genom att skapa en zon med hög bränslekonzentration i flammen kan man underlätta för kemiskt bundet kväve i bränslet att bilda  $\text{N}_2$  med en sänkning av  $\text{NO}_x$  som följd.

#### **4.7 Oxidationsmedlets sammansättning och temperatur**

Oxidationsmedlets sammansättning och temperatur har enormt stor betydelse för förbränningsprocessens verkningsgrad och användningen av syrgas eller förvärmning av förbränningsluften ger en avsevärt förbättrad bränsleekonomi, med allt vad det innebär i minskade utsläpp av  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  och  $\text{SO}_2$ . Eftersom flamtemperaturmaxima bestäms till stor del av oxidationsmedlets sammansättning och temperatur blir också betydelsen av dessa parametrar för bildningen av  $\text{NO}_x$  stor och ofta befinner sig ökade  $\text{NO}_x$ -halter i motsatsställning till de fördelar som en ökad energieffektivitet innebär. För att hålla  $\text{NO}_x$ -utsläppen nere är det viktigt att förbränningsprocessen, brännaren och ugnen är anpassade till det aktuella oxidationsmedlet och det finns idag tekniker för såväl syre som förvärmad luft vilka kan hålla  $\text{NO}_x$ -utsläppen lägre än i konventionella brännare.

## **5 Förbränningsteknik för ökad energieffektivitet och minskade $\text{NO}_x$ -emissioner**

Som bekant är det enbart syre, bränsle och tändenergi som behövs för en förbränning. Brännarna utgör en hårdvara för att tillföra ett bränsle och ett oxidationsmedel till ett förbränningsrum. I konventionella brännare är oxidationsmedlet kall luft. För att öka verkningsgraden för förbränningen har tekniker som förvärmer luften och/eller att använder sig av ren syrgas utvecklats. Vare sig ren syrgas eller luft används som oxidationsmedel är oxidanten syre. De brännare som används inom stålindustrin idag, (bortsett från vissa undantag som plasmabrännare), är antingen brännare för luft och bränsle eller för syrgas och bränsle. I undantagsfall finns även kombinationer av dessa och man talar då om förbränning med syreberikad luft.

### **5.1 Förbränning med luft**

Luft innehåller 21% syre och 78% kvävgas, dvs en femtedel så mycket syre som ren syrgas. En luftbrännare introducerar alltså en betydande mängd kväve tillsammans med oxidanten (syret). En viss del av förbränningsenergin går åt till att värma kvävet vilket innebär en sänkning av verkningsgraden om inte värmen hos avgaserna tas tillvara på ett bra sätt. För att minska de värmeförluster som stora och varma avgasvolymerna innebär, använder luftbrännare ofta någon form av värmeåtervinning. Detta innebär att värmen i rökgaserna används för att *förvärma* förbränningsluften. Det finns i princip två sätt att förvärma förbränningsluft. Man kan göra det

*rekuperativt* eller *regenerativt*. I en rekuperator är luft och avgaser skilda åt av ett värmeledande material genom vilket värmnet passerar från de heta rökgaserna till den kalla förbränningsluften. I en regenererator sker istället värmeväxlingen genom att ett värmelagrande material omväxlande passerar av heta rökgaser och kall luft. I tabell 1 jämförs olika luftförvärmningsmetoder.

Tabell 1 Temperaturer vid luftförvärmning [7].

Typ		Gränstemperatur för avgaser	Temperatur på den förvärmda luften	Exempel på industriella tillämpningar	
Rekuperator	Metallisk rekuperator	Konventionell typ	1000°C max	300-600°C	Värningsugnar, värmebehandlingsugnar, andra industriella ugnar
		Skorstenstyp			
	Keramisk rekuperator	1200-1400°C	400-700°C	Glasugnar	
Regenerator	Konventionell typ	1000-1600°C	600-1300°C	Koksugnar, masugnar, glasugnar	
	Roterande regenerativ typ	600°C max	100-300°C	Ångpannor, masugnar, värmning vid olje- raffinaderier	

### 5.1.1 Rekuperativ förbränning

Rekuperativ förvärmning innebär att luften i en förbränningsprocess förvärms i en rekuperator. Rekuperatorn kan antingen placeras bredvid ugnen och ta emot hela avgasvolymen och förvärma hela luftvolymen som sedan fördelas på enskilda brännare, eller sitta i varje enskild brännare som tar emot en delmängd av avgasvolymen och värmer den luftmängd som passerar genom den brännaren. Med *rekuperativ brännare* menar man en brännare med inbyggd rekuperator. Med en rekuperator brukar den förvärmda luften nå temperaturer på upp till 650°C beroende på processtemperaturen [4] och temperaturen på avgaserna som lämnar rekuperatorn till skorstenen är ungefär 200-400°C. Vid rekuperativ förbränning designas ofta brännaren för att minimera NO<sub>x</sub> utsläppen. Detta kan ske på flera sätt t.ex. genom stegvis luftintroduktion eller förhöjd injektionshastighet (se kapitel 4.6).

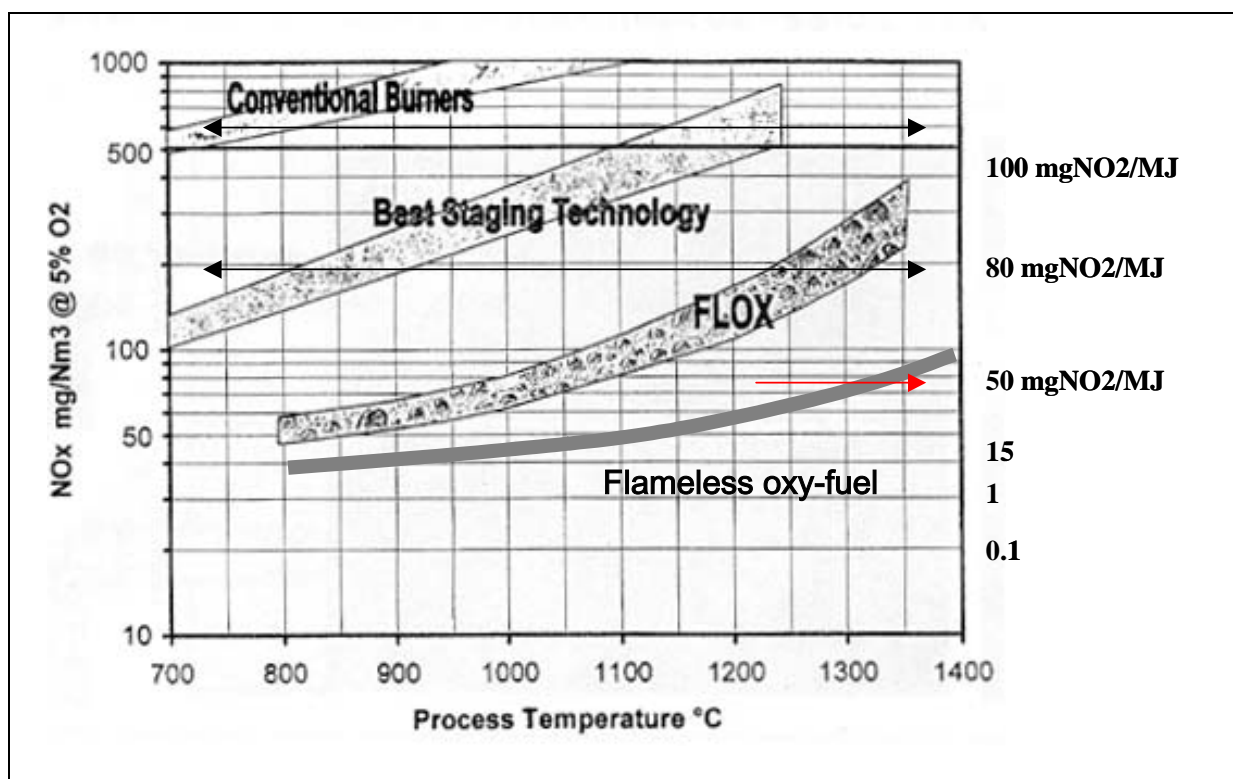
### 5.1.2 Regenerativ förbränning

Vid regenerativ förvärmning värmeväxlas de heta rökgaserna och förbränningsluften i en regenererator som växelvis passerar av rökgasen och förbränningsluften. Regenereratorn utgörs av ett värmelagrande material, vanligtvis av en keramisk honeycomb eller keramiska pellets. Sammansättningen hos det keramiska materialet i det regenerativa elementet varierar mellan olika tillverkare. Eftersom regenereratorn passerar omväxlande av rökgaser och förbränningsluft, sker alltid regenerativ förbränning via ett regenereratorpar genom vilka fläktar växelvis suger ut rökgaser och blåser in förbränningsluft. Typiskt är således att använda sig av brännarpar som arbetar växelvis, men det finns också exempel på regenerativa brännare med inbyggda regenereratorpar och således kan en regenerativ förbränning genomföras med endast en brännare. En regenererator kan extrahera mer värme ur rökgaserna än en rekuperator vilket i praktiken innebär en högre temperatur på den förvärmda luften (100-200°C lägre än processtemperaturen [4]) och en lägre temperatur på de avgaser som slutligen lämnar systemet via skorstenen än i det rekuperativa fallet (dock högre än 150°C). Resultatet är en högre verkningsgrad i förbränningen tack vare lägre energiförluster via rökgaserna.

Temperaturen efter regenereratorn styrs bland annat av växlingstiden mellan utsugning och inblåsning. Den höga lufttemperaturen kan leda till ett förhöjt flamtemperaturmaximum och

således höga NO<sub>x</sub> utsläpp. Vid användandet av regenerativ teknik blir det således utomordentligt viktigt med en god brännardesign för att utjämna temperaturprofilen i ugnen. Moderna regenerativa tekniker bygger därför på att reducera syrehalten i den förvärmade luften med hjälp av indragning – *entrainment* - av rökgaser in i luftstrålen som injiceras in i ugnen. Bränslet introduceras sedan in i luftstrålen för att få en längre reaktionstid med den utspädda luften och därmed även sänka flamtemperaturen (s.k. slow mixing). För flamlöst läge krävs att luften är förvärmad till minst 700°C. Med god brännardesign och regenerativ teknik kan lägre NO<sub>x</sub>-utsläpp åstadkommas än i det rekuperativa fallet. Det finns en rad olika regenerativa förbränningstekniker (FLOX, HTAC, HiTAC, HPAC) vilka samtliga bygger på samma grundläggande principer: hög temperatur på förbränningsluften och ”slow mixing”.

NO<sub>x</sub>-utsläpp från regenerativa flamlösa brännare jämförs med stegvis förbränning och konventionella brännare (kall förbränningsluft) i figur 4.



Figur 4 NO<sub>x</sub> utsläpp med olika tekniker, den flamlösa regenerativa tekniken i figuren är FLOX [8],[9].

## 5.2 Förbränning med syrgas (Oxy-fuel)

Användning av rent syre istället för luft (21% O<sub>2</sub>, 78% N<sub>2</sub>, 1% Ar) gör att man undviker att introducera stora mängder kväve i förbränningen. Kvävet har en negativ effekt på värmningen genom att det inte deltar i förbränningsreaktionerna på annat sätt än som en källa till kväveoxider, som energiballast och som broms för reaktion och värmeöverföring. Med en oxy-fuel brännare har man alltså mycket goda förutsättningar att undvika dessa begränsningar. Man undviker dem dock inte med nödvändighet. För att det inte ska bildas NO<sub>x</sub> krävs till exempel att ugnen är tät. Kvävet i den inläckande luften kan nämligen oxideras med stor effektivitet på grund av de extrema förhållanden som är förknippade med syrgasförbränning (höga temperaturer och/eller höga



syrehalter). Man kan följaktligen med en oxyfuelbrännare uppnå  $\text{NO}_x$ -nivåer som är betydligt lägre än vad som är möjligt med luft-brännare *eller* nivåer som är betydligt högre än vad som är vanligt med luftbrännare. Vilket resultat man får beror på hur ugnen körs.

Oxy-fuel brännare skiljer sig egentligen inte ifrån en luftbrännare på något annat sätt än att ren syrgas används istället för luft. Alla principer för att minska  $\text{NO}_x$  (se avsnitt 4.6) eller förändra flammen är tillämpbara även på oxy-fuel brännare. Om temperaturen i flammen kan hållas ”moderat” och ”jämn”, genom att recirkulera avgaser eller på annat sätt fördröja förbränningsreaktionerna kommer  $\text{NO}_x$ -bildningen att bli låg tack vare det. Den nya generationen oxy-fuel brännare använder sig av flamlös förbränning och ger mycket låga  $\text{NO}_x$ -värden (se Figur 4) även i otäta ugnar, samtidigt som värmeöverföringen och verkningsgraden blir stor.

Med oxy-fuel brännare får man dessutom ett högre partialtryck av  $\text{CO}_2$  och  $\text{H}_2\text{O}$ , vilket ökar värmeöverföringen, och en låg avgasvolym, vilket ökar verkningsgraden. Det finns ingenting som principiellt hindrar värmeåtervinning via rekuperatorer och regenerators vid syrgasförbränning men eftersom avgasvolymerna är betydligt mindre och värmeöverföringen i ugnen bättre är inte värmeåtervinningen av lika avgörande betydelse för ugnens verkningsgrad som vid luftförbränning.

### **5.3 Strålningstuber**

I nästan samtliga värmningsugnar och i många värmebehandlingsugnar värms stålet under direkt kontakt med förbränningsatmosfären (syre, kväve, bränsle och rökgaser). Vid viss värmebehandling vill man dock hålla stålet i en given atmosfär. Då kan man använda sig av så kallade *strålningstuber* som är ett bränslealternativ till elektriska värmeelement. Förbränningen sker i ett slutet rum som utgörs av ”tuben” och avgaserna leds ut från tuben i dess ena ände utan att ha kommit i kontakt med material eller atmosfär i ugnen. Tuben är gjord av ett värmeståligt material och strålar energi ut i ugnsutrymmet som då oftast är fyllt med en aktiv eller inert gas för olika typer av värmebehandling. Såväl konventionella, rekuperativa, regenerativa brännare och oxy-fuelsystem kan användas i strålningstuber. Genom att förbränningen i en strålningstube sker i ett slutet rum utan luftläckage finns det förutsättningar att med oxy-fuel förbränning i princip undvika  $\text{NO}_x$ -bildning helt eller begränsa den till mycket låga värden som endast beror av syrgasens och bränslets kväveinnehåll (gasol och syrgas från flytande försörjning innehåller kväve på ppm-nivå).

### **5.4 Relativ jämförelse av brännartyper**

En klassificering av brännartyper utgående från oxidationsmedel finns i tabell 2. I tabellen finns också angivet vilket energibehov och vilka  $\text{NO}_x$ -emissioner (grova uppskattningar) som kan förväntas med respektive teknik i jämförelse med konventionell förbränning. Med konventionell förbränning avses förbränning med kall luft ej introducerad stegvis.

Av tabellen framgår att man genom att tillämpa stegvis luftintroduktion vid kallluftsförbränning kan reducera  $\text{NO}_x$  med cirka 30% i jämförelse med en konventionell brännare utan att öka energibehovet. Stegvis luftintroduktion är alltså en tydligt  $\text{NO}_x$ -reducerande åtgärd även vid användandet av kall förbränningsluft.

Om förbränningsluften förvärms med rekuperator (extern eller sammanbyggd med brännarna) utan att förändra brännardesignen ökar  $\text{NO}_x$  i och med att flamtemperaturmaxima höjs. Genom lämplig brännardesign kan man dock få ner  $\text{NO}_x$ -emissionerna till samma nivåer som i det konventionella fallet utan stegvis introduktion av syre. Energieffektiviteten är dock bättre än i det konventionella

fallet och införandet av rekuperativ teknik är först och främst att betrakta som en energieffektiviserande åtgärd med de emissionsfördelar som höjd verkningsgrad innebär (i minskat utsläpp av till exempel CO<sub>2</sub>).

Regenerativa brännare (och externa regenerators) ger en avsevärt ökad verkningsgrad oavsett brännarutformning (65 – 70% energibehov jämfört med konventionella brännare). Att införa regenerativ teknik innebär med andra ord en avsevärd effektivisering. Eftersom flamtemperaturen ökar drastiskt när lufttemperaturen kommer upp i de nivåer som är aktuella vid regenerativ förbränning måste dock god brännardesign tillämpas om NO<sub>x</sub>-emissionerna inte skall överstiga de vid konventionell förbränning. Används flamlösa koncept (FLOX, HiTAC, HTAC, HPAC) kan dock NO<sub>x</sub>-emissionerna minska till hälften jämfört med konventionella brännare vilket gör att införandet av regenerativ teknik i de fall som flamlösa koncept tillämpas är en NO<sub>x</sub>-reducerande åtgärd.

Oxy-fuel minskar bränslebehovet till ungefär 50% jämfört med konventionell luft förbränning. Införandet av oxy-fuel innebär alltså en betydande höjning av förbränningsprocessens verkningsgrad. Eftersom NO<sub>x</sub>-bildningen i detta fall är helt beroende av läckluft, kan NO<sub>x</sub>-emissionerna såväl öka drastiskt som minska drastiskt även vid användandet av ej stegvis brännardesign. Om stegvis syreintroduktion eller flamlösa koncept används kan man avsevärt minska NO<sub>x</sub>-emissionerna även i läckande ugnar.

Det bör understrykas att brännarbyten i många fall innebär en energibesparing som är likvärdig eller större än en eventuell minskning av NO<sub>x</sub>-emissionen. Detta kan leda till att en ugn som bytt förbränningssystem och faktisk minskat NO<sub>x</sub>-utsläppen detta till trots ökar sina utsläpp uttryckta som mg NO<sub>x</sub> / MJ bränsle. Detta är viktigt att ta hänsyn till vid utformningen av NO<sub>x</sub>-villkor eftersom det är viktigt att bränslebesparande åtgärder gynnas och inte bestraffas, särskilt som den totala emissionen uttryckt som ton per år dessutom har minskat.

**Tabell 2 Schematisk översikt över olika typer av brännare**

				<b>Förbränning</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>Energibehov</b>
Luft	Konventionell förbränning	Alla brännare för kall luft		Normal	100%	100%
				Stegvis	70%	100%
	Rekuperativ Förbränning	Rekuperativa brännare		Normal	150	90
				Stegvis	100	85
				Flamlös		85
		Extern rekuperator		Normal	150	90
				Stegvis	100	85
				Flamlös		85
	Regenerativ förbränning	Regenerativa brännare	En regenerators per brännare	Normal	250	70
				Stegvis	100	70
				Flamlös, HiTAC	50	65
			Fler regenerators per brännare	Normal		
Stegvis						
Flamlös, HiTAC				10	65	
Extern regenerators		Normal		70		
Syrgas	Oxy-Fuel förbränning		Normal	50-500	50	
			Stegvis	50-150	50	
			Flamlös	25-50	45	

## 6 Olika stålsorters krav på värmningstider och -temperaturer.

Vid diskussion av värmningstider m.m. brukar man skilja på värmning för bearbetning (smidning eller valsning) respektive värmebehandling.

Värmning för valsning eller smidning är i regel en ensartad process som syftar till att ge materialet en viss förutbestämd temperatur så att det kan bearbetas. Det är väsentligt att materialet blir genomvarmt vilket kan ställa olika krav på olika stålsorter beträffande hålltider vid olika temperaturnivåer.

Värmebehandling är en operation som syftar till att ge materialet vissa önskade egenskaper, specifika för varje stålsort. Vid värmebehandlingsoperationer styrs alltid svalningsförloppet enligt ett visst schema.

För många stålverk är tendensen sedan länge att nya kvalificerade stålsorter ställer allt högre krav på olika typer av värmebehandling medförande längre och mer varierande tider i olika värmnings- och värmebehandlingsugnar. Ofta måste känsliga stålsorter förvärmnas i en separat ugn innan värmning till bearbetningstemperatur sker, i andra fall kan en värmebehandling (homogenisering) behöva ske i värmningsugnen omedelbart före slutvärmning till bearbetningstemperatur och i andra fall åter krävs en kombination av förvärmning och homogenisering före värmning. Med tanke på att stålverken ofta har fler än 100 olika stålsorter på sitt program, var och en med varierande dimensionsområden är det uppenbart att stålens "Tid i ugn" varierar högst betydligt.

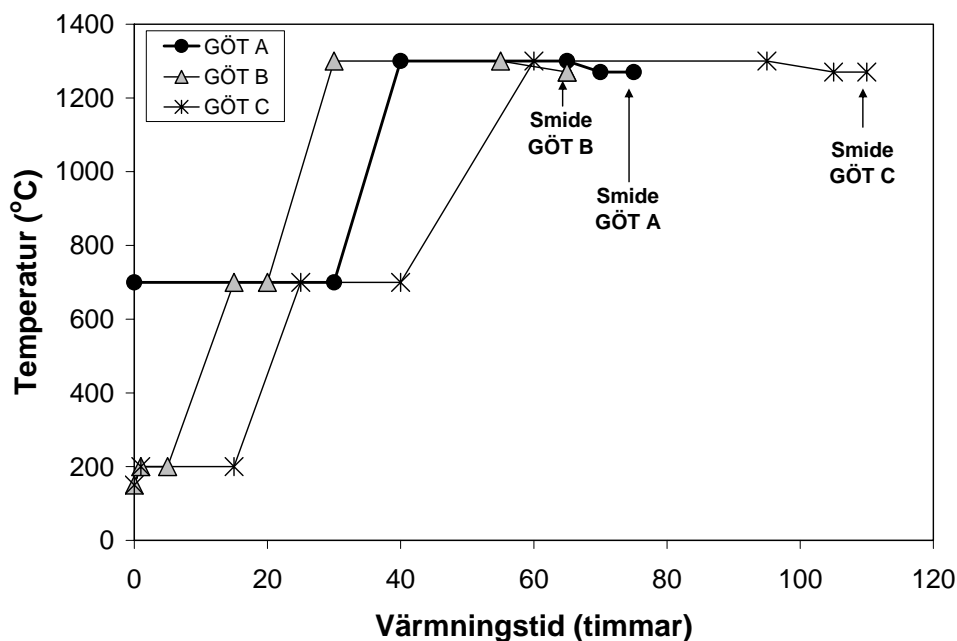
En operationsföljd för t ex en vanlig verktygsstålssort kan se ut som följer (operationer som kapning, blästring, provning, syning m.m. undantagna):

1. Etappglödning av göt (vissa stålsorter)
2. Omsmältning (vissa stålsorter), i enstaka fall två gånger
3. Förvärmning före smide alternativt valsning
4. Homogeniseringsglödning (vissa stålsorter)
5. Värmning till varmbearbetningstemperatur
6. Smidning alternativt valsning
7. Omvärmning, ibland flera gånger (vissa stålsorter respektive vissa dimensioner)
8. Fortsatt smide
9. Etappglödning av stång
10. Ev. väteglödning ( om för höga vätehalter i stålet)
11. Regenereringsglödning för att nå rätt struktur för mjukglödning (vissa stålsorter)
12. Svalning
13. Mjukglödning (de flesta stålsorter)
14. Vissa stålsorter kan i stället för mjukglödning ha härdning och flera anlöpningsoperationer (seghärdning)
15. Ibland förekommer att mjukglödgat material tas in för ny värmebehandling, seghärdning

I nedanstående tabell ges exempel på förekommande värmnings-/värmebehandlingsoperationer och deras ändamål.

<b>Operation</b>	<b>Ändamål</b>	<b>Anm.</b>
<b>Förvärmning</b>	För att undvika att materialet spricker p.g.a. för häftig påvärmning	Utförs i särskild förvärmningsugn.
<b>Värmning</b>	Möjliggöra bearbetning	För smidning och valsning till 1100-1270 °C
<b>Homogenisering</b>	För att ge vissa stål optimala egenskaper	Glödning vid relativt hög temperatur under lång tid
<b>Etapplödning</b>	Sänker stålets hårdhet så att härd- och svalningssprickor undviks.	Innebär strukturo- vändling av stålet.
<b>Väteglödning</b>	Minskar för höga vätehalter genom diffusion.	Måste föregås av etapp-glödning för att åstad-komma strukturovändling
<b>Regenererings-glödning</b>	För att ge vissa stål optimala egenskaper före mjukglödning	Forcerad kylning i specificerade kylmedier.
<b>Mjukglödning</b>	Ge materialet lämplig hårdhet före maskinbearbetning samt lämplig utgångsstruktur för vidare värmebehandling.	Innefattar styrd svalning i en eller flera etapper
<b>Härdning</b>	Ge materialet hög hårdhet.	Innefattar styrd kylning i specificerade kylmedia. Skall följas av anlöpning snarast möjligt.
<b>Anlöpning</b>	Ge materialet önskad leveranshårdhet	För de flesta stålsorter krävs anlöpning i två omgångar med mellanliggande svalning till rumstemperatur.
<b>Normalisering</b>	Lika mjukglödning	

I Figur 5 finns exempel på värmningsförfarande inför smide av tre stålsorter. Göt A läggs in varmt (700°C) och hålls vid den temperaturen i 30 timmar varefter götet upphettas till 1300°C. Efter 25 timmar vid denna temperatur sänks temperaturen till smides temperatur (1270°C) varvid det går vidare till smide. Göt B och C sätts in i ugnen vid en temperatur på 150°C och värms enligt olika program först till 700°C och sedan 1300°C och hålls sedan vid denna temperatur i 25 respektive 35 timmar. Göt C, som är det mest energikrävande stålet i exemplet tillbringar sammanlagd 110 timmar (drygt fyra och ett halvt dygn!) i ugnen innan götet är klart för smide.



Figur 5 Exempel på värmningsprogram för tre olika stålsorter (Uddeholm Tooling AB).

## 7 Resultat av NO<sub>x</sub>-enkät till stålindustrin

Kommittén genomförde under våren 2002 en enkät till stålverken med frågor om ugnar, stålsorter, utsläpp av kväveoxider m m, se bilaga 1. Svar inkom från 14 st anläggningar med en stålproduktion som utgör cirka 75 % av Sveriges totala stålproduktion. Tabell 3 visar en uppskattning av antalet ugnar i användning 2002.

Tabell 3 Ugnar i svensk stålindustri 2002.

Företag	Antal ugnar			Bränsle	
	Totalt	Värmnings- ugn	Värmebe- handlingsugn	Olja	Gasol
Avesta Polarit Avesta	5	4	1	1	4
Degerfors	8	4	4	1	7
Långshyttan	1	-	1	-	1
Torshälla	2	2	-	1	1
Torneå	5	1	4	-	5
AST Fagersta	1	-	1	-	1
Fundia Special Bar Boxholm	2	2	-	2	-
Smedjebacken	4	1	3	0	4
Ovako Steel Hofors	26	19	7	12	14
Hällefors	3	1	2	-	3
SMT, Sandviken	15	11	4	-	15
Scana Steel Björneborg	9	4	5	-	9
Surahammar	2	-	2	-	2
Uddeholm Tooling, Hagfors	21	13	8	12	9
SSAB Oxelösund	4	2	2		
SSAB Tunnpå, Borlänge	11	2	9	1	10
<b>SUMMA</b>	<b>115</b>	<b>64</b>	<b>51</b>	<b>30</b>	<b>85</b>

För 90 st ugnar redovisas uppmätta NO<sub>x</sub>-värden. 27 av dessa är oljeeldade, 63 gasoeldade.

**Oljeeldade:** 10 av 27 st har NO<sub>x</sub>-värden under 100 mg/MJ (37 %).

**Gasoeldade:** 45 av 63 st har NO<sub>x</sub>-värden under 100 mg/MJ (71 %).

**Kontinuerlig NO<sub>x</sub>-mätning** på 6 st ugnar (SSAB 3st, Sandvik 1 st, Avesta 2 st); 1 oljeeldad och 5 gasoeldade. 5 st är stegbalksugnar. Samtliga dessa ugnar har rekuperativa brännare (SSAB:s).

#### **Brännare:**

53 st ugnar har konventionella brännare,

22 st -"- -"- oxyfuelbrännare

1 st -"- -"- regenerativa brännare (tillsammans med konventionella. brännare)

32 st -"- -"- rekuperativa brännare (inberäknat ugnar med utvänd. rekuperator)

7 st -"- -"- stråltuber

#### **NO<sub>x</sub>-villkor:**

77 st ugnar har NO<sub>x</sub>-villkor. Av dessa har Avestas 5 st ugnar villkoret utformat som ett totalutsläpp från verket per år (310 ton per år). Detta gäller även Scana Björneborgs 4 vagnugnar (40 ton per år). Övriga har villkoret utformat som **mg NO<sub>2</sub>/MJ bränsle**.

## **8 För- och nackdelar med olika NO<sub>x</sub>-villkor.**

NO<sub>x</sub> villkor kan utformas på flera olika sätt. Detta avsnitt behandlar fördelar och nackdelar med några olika utformningar. Hur "NO<sub>x</sub>" i praktiken kan uttryckas och beräknas utifrån lämpliga mätningar beaktas i avsnitt 9.

### **1. Utsläpp ton NO<sub>x</sub>/år.**

Tendensen är att nya kvalificerade stålsorter kräver allt mer av olika typer av värmebehandling vilket medför att varje tillverkat ton stål behöver längre tid i olika ugnar med därav följande högre förbrukning av energi, bl.a. fossila bränslen.

En villkorsutformning som rubricerade blir mot bakgrund av detta allt för begränsande om inte värdet sätts så högt att det inte är någon som helst risk att uppnå det. Men då är det å andra sidan helt meningslöst. Detta förhållande accentueras ytterligare av det faktum att företagets affärsplan ofta kalkylerar med en icke oväsentlig produktionsökning under de kommande fem åren.

Slutsats: Ur företagets synpunkt ej användbart som villkorsutformning.

### **2. mg NO<sub>x</sub>/MJ tillfört bränsle - gas/olja.**

Av samma anledning som villkorsutformningen under 1. ovan är oanvändbar, är denna utformning användbar då den är neutral beträffande såväl energiförbrukning per ton stål som beträffande total energiförbrukning.

En nackdel är att energieffektivisering kan straffas genom att nyckeltalet ökar om man minskar energiförbrukningen utan att lyckas minska NO<sub>x</sub>-utsläppet i motsvarande grad.

Slutsats: Detta är den utformning som de flesta villkor för konventionellt fossileldade ugnar har. Med den brist den har enligt ovan är den dock fullt användbar, förutsatt att, vid bestämning av utsläppsvilkorens numeriska värden, hänsyn tas till förbränningsmetodens energibesparing relativt konventionell förbränning.

### **3. g NO<sub>x</sub>/Nm<sup>3</sup> rökgas .**

Denna villkorsutformning torde få samma effekt som utformningen under punkt 2. ovan, eftersom rökgasmängden för ett visst bränsle och en förutbestämd luftfaktor står i ett bestämt förhållande till den tillförda bränslemängden och därmed till den tillförda energimängden. Möjligen kan en ej önskvärd effekt bli att nyckeltalet minskar om läckluftmängden ökar, förutsatt att inte NO<sub>x</sub>-bildningen ökar i samma grad. Detta kan tänkas motverka intresset att se till att ugnen är tät. Dessutom tas ingen hänsyn till förändringen av rökasvolymen vid användning av oxy-fuel förbränning.

Slutsats: Användbart men något sämre än villkorsutformningen enligt 2 ovan.

### **4. ppm NO<sub>x</sub> vid olika syrehalter.**

Denna villkorsutformning tar inte hänsyn till skillnader i utspädning med kvävgas mellan förbränning med syrgas och förbränning med luft. I övrigt inga kommentarer.

### **5. mg NO<sub>x</sub>/ton stål**

Denna villkorsutformning har fördelen att vara enkel men har också flera nackdelar:

- Villkoret blir starkt beroende av vilket ståltonnage man skall räkna med, intaget i ugnen, producerad mängd göt i stålverket, ton färdiga produkter eller vad? Genom denna osäkerhet kan inga jämförelser göras mellan olika verk.
- Villkoret tar inte hänsyn till att vissa stålsorter kräver lång tid, ibland *mycket* lång tid, för värmebehandling (mjukglödning, homogenisering m.m.).

Slutsats: Med tanke på den under punkt 1 omnämnda trenden mot allt längre värmnings-/värmebehandlingstider är detta en villkorsutformning som blir alltför begränsande för företagens utveckling.

## **9 Mätning och beräkning av NO<sub>x</sub>-emissioner**

### **9.1 Mätning av kväveoxider i rökgaser**

Om halten av NO<sub>2</sub> i rökgaserna understiger 5 ppm kräver Naturvårdsverket endast att halten NO mäts kontinuerligt [11]. Till detta läggs sedan ett schablonvärde för NO<sub>2</sub> (valigen mellan 3 och 5%) som kontrolleras genom stickprovsmätningar. Detta ger en uppskattad halt av NO<sub>x</sub> i rökgaserna. Anledningen till att man i praktiken förfar på detta sätt är att det är betydligt mer komplicerat att mäta NO<sub>2</sub> än NO. När NO<sub>x</sub>-villkoren formuleras baserat på vikt (mg) istället för volym (ppm) beräknas massan som om samtliga NO<sub>x</sub> molekyler var NO<sub>2</sub> (molmassan 46).

## 9.2 Kommentarer angående mätperiod.

Rimligen skall en mätperiod innefatta minst en process cykel. D.v.s. i satsvisa ugnar borde man observera perioden från ilägg till uttag av ett ämne. Koncentrationen i rökgaserna är också mycket beroende av vilken driftfas man betraktar. Vid lågt pådrag, med låg bränsleförbrukning och liten rökgasmängd, är det ofta svårare att förhindra inläckage av luft pga uppkommande undertryck i ugnen. Härvid erhålles en högre kväveoxidkoncentration än vid högt pådrag. Emellertid är kväveoxidutsläppet i atmosfären betydligt mindre räknat i t.ex. g per tidsenhet, än vid högt pådrag. Vid formulering av utsläppsvillkor borde hänsyn till denna omständighet tas t. ex. genom att ge utsläppskoncentrationer uppmätta vid högt pådrag högre viktning än d:o vid lågt pådrag. En viktning av individuella mätvärden med avseende på avgasflöde eller bränsleflöde föreslås.

## 9.3 Omräkning av kväveoxidutsläpp

För att beräkna kväveoxidutsläpp baserat på en avgasanalys rekommenderas en generell formel som gäller oavsett om förbränningen sker med luft eller med syrgas. Den formeln förutsätter emellertid att man har en analys på både NO<sub>x</sub> och CO<sub>2</sub>. Det räcker inte med en analys på NO<sub>x</sub> och O<sub>2</sub> eftersom O<sub>2</sub>-molekyler kan ha sitt ursprung i både luft med tillhörande kväve och i syrgas utan kväve. För att entydigt påvisa utspädning i fall där syrgas används krävs därför en CO<sub>2</sub>-analys.

Nedan visas några formler eller härledningar som kan vara till hjälp.

### 1. Omräkning från ppm till mg/nm<sup>3</sup>

Vid mätningarna erhålles kväveoxidhalten i ppm – volymandel  
 $\text{ppm} \cdot \text{molvikt/molvolym} = \text{mg/kg} \cdot \text{kg/nm}^3 = \text{mg/nm}^3$

$$\text{mgNO}_x / \text{Nm}^3 = \frac{\text{ppmNO}_x \cdot \text{molvikt}}{22,4}$$

Molvikt: NO = (14 + 16) = 30  
          NO<sub>2</sub> = (14 + 2 \* 16) = 46  
Molvolum: 22,4 nm<sup>3</sup>

$$\text{NO}_x \text{ mg/nm}^3 = \text{ppm NO}_x \cdot \text{molvikt} / 22,4$$

### 2. Omräkning av uppmätt NO<sub>x</sub> – utsläpp till 100 % NO<sub>2</sub>

$$\text{NO}_2 \text{ mg/nm}^3 = \text{ppm NO}_x \text{ uppmätt} \cdot 46/22,4 = \text{ppm NO}_x \text{ uppmätt} \cdot 2,05$$



### 3. Omräkning av gasflöden till nm<sup>3</sup>

$$nm^3 = \text{gasmängd} (t \cdot C) * 273 / (273 + t)$$

### 4. Omräkning av uppmätt NO<sub>x</sub> – emission från mätt O<sub>2</sub>-halt i avgas till annan O<sub>2</sub>-halt

E <sub>M</sub>	uppmätt NO <sub>x</sub> –emission
E <sub>B</sub>	beräknad emission vid vald O <sub>2</sub> -halt (ex.vis 5 %)
O <sub>M</sub>	mätt O <sub>2</sub> -halt
O <sub>B</sub>	vald O <sub>2</sub> -halt

$$E_B = (21 - O_B) / (21 - O_M) * E_M$$

### 5. Omräkning av uppmätt NO<sub>x</sub> –emission från mätt O<sub>2</sub>-halt i avgas till mängd per energienhet (mg NO<sub>2</sub>/MJ)

O <sub>M</sub>	mätt O <sub>2</sub> -halt i torra rökgaser
G <sub>ot</sub>	torr rökgasmängd vid stökiometrisk förbränning, nm <sup>3</sup> avgas/bränsleenhet
H <sub>u</sub>	bränslets undre värmevärde, MJ/bränsleenhet

Denna formel gäller enbart förbränning med luft. Om O<sub>2</sub>-halten = 0 så har ingen utspädning skett i förhållande till den minimala/stökiometriska avgasmängden och faktorn = 1.

Om O<sub>2</sub>-halten > 0 så har en utspädning skett med luft och avgasvolymen räknas upp med en faktor > 0.

$$NO_2 \text{ mg/MJ} = \text{ppm } NO_x * 2,05 * 21 / (21 - O_M) * G_{ot} / H_u$$

### 6. Oxy-fuel och/eller luft, generell formel för beräkning av mgN O<sub>2</sub>/MJ från ppm

Denna formel är generell och bör användas då en CO<sub>2</sub>-analys finns. Jämför med formel 5 ovan och observera likheterna.

$$NO_2 \text{ mg/MJ} = \text{ppm } NO_x * 2,05 * 100/\%CO_2 * G_{ot} / H_u$$

%CO <sub>2</sub>	mätt CO <sub>2</sub> -halt i torra rökgaser
G <sub>ot</sub>	torr rökgasmängd vid stökiometrisk förbränning med syrgas, nm <sup>3</sup> avgas/bränsleenhet. Det samma som volymen CO <sub>2</sub> , (VCO <sub>2</sub> ), vid all förbränning av aktuellt bränsle, eftersom det är den enda rökgaskomponenten i torr avgas i detta fall.
H <sub>u</sub>	bränslets undre värmevärde, MJ/bränsleenhet

Om %CO<sub>2</sub>=100 så finns varken läckluft eller syreöveskott, det vill säga endast CO<sub>2</sub> och faktorn = 1.

Om %CO<sub>2</sub> < 100% så har en utspädning skett och avgasmängden räknas upp med motsvarande faktor.

## 10 Utsläppsminskande åtgärder

### 10.1 Exempel på genomförda åtgärder

#### 10.1.1 Outokumpu Stainless, Avesta

Glödugnen i kallbandverkets glödgnings-betningslinje är den enda större förbrukaren av eldningsolja för processvärme på Avestaorten. Ugnen, som är av typen kontinuerlig bandglödningssugn, togs i drift 1976. Den utnyttjas för glödning av varm- och kallvalsade rostfria band med tjocklek 1,5-13 mm och bredder upp till 2 m. Glödningstemperatur är 1 200°C. Den var ursprungligen utrustad med konventionella brännare. Oljetyp har hela drifttiden varit WRD-olja.

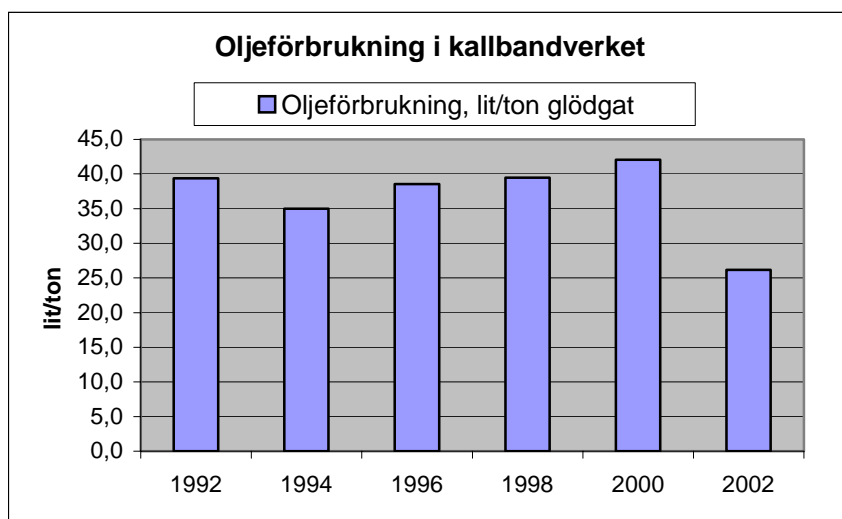
#### *Ombyggnad av glödningssugnen år 2001*

Den befintliga ugnen (fabr. Unitherm) är 24 m lång, 2,2 m bred och 5 m hög. Den hade före ombyggnaden totalt 43 st låg-NO<sub>x</sub>-brännare (installerade 1995). Avgaserna passerade en rekuperator för förvärmning av förbränningsluften till ca 250 °C.

Vid ombyggnaden byttes befintliga brännare ut mot 43 nya oxyfuel-brännare (WRD-olja och syrgas) och en ny förvärmningsugn (fabr.UTAB) ca 12 m lång placerades framför med 18 oxyfuel-brännare. För samtliga brännare installerades ånga för finfördelning av olja.

#### *Oljeförbrukning i kallbandverkets glödugn 1992-2002*

Den specifika oljeförbrukningen har ökat kontinuerligt från 1994. Från och med ombyggnaden år 2001 har den specifika förbrukningen minskat kraftigt till följd av övergång till oxyfuel-eldning.



*Jämförelse mellan oljeförbrukning för låg-NO<sub>x</sub>-brännare och oxyfuelbrännare*

En jämförelse mellan år 2000 (sista helåret med konventionella låg-NO<sub>x</sub>-brännare) och 2002 (första helåret med oxyfuelbrännare) visar följande:

År	Glödगत tonnage, kton/år	Oljeförbrukning m <sup>3</sup> /år	Spec. förbrukning lit/ton
2000	282	11 872	42
2002	372	9 663	26
Förändring	+32 %	-19 %	-38 %

Den specifika förbrukningen med oxyfuelbrännare är således 38 % lägre än med konventionella brännare, men en del av förbättringen beror sannolikt på högre verkningsgrad till följd av kraftigt ökad produktion.

Någon direkt jämförelse mellan NO<sub>x</sub>-utsläppen kan inte göras, då icke-katalytisk NO<sub>x</sub>-rening (SNCR) infördes vid ombyggnaden 2001. De faktiska utsläppen är dock:

År	NO <sub>x</sub> -utsläpp (som NO <sub>2</sub> ), ton/år	Spec. utsläpp, mg/MJ	
2000	40,2	91	LågNO <sub>x</sub> -brännare med förvärmad förbränningsluft 250 °C.
2002	43,2	120	Oxy-fuelbrännare med ångatomisering och NO <sub>x</sub> -reduktion med ammoniak (SNCR)
Förändring	+7 %	+32 %	

Också de två stora stegbalksugnarna för värmning av slabs till valsningstemperatur är sedan 1998 utrustade med icke katalytisk NO<sub>x</sub>-rening (SNCR). Installationen innebar att NO<sub>x</sub>-utsläppen sjönk från 158 till 45 mg/MJ för den ena värmningsugnen och från 56 mg/MJ till 46mg/MJ på den andra.

### 10.1.2 Outokumpu Stainless, Degerfors

#### *Energibesparing vid övergång till oxyfuel-eldning*

Koncessionsnämnden uppsköt i beslut 1995 avgörandet av slutliga villkor för utsläpp av NO<sub>x</sub> från 8 st oxyfuel-eldade gropugnar för WRD-olja i ämnesvalsverket med krav på utredningar. Som provisoriskt villkor under utredningstiden föreskrevs utsläpp av NO<sub>x</sub> = högst 80 mg/MJ vid oxyfuel-eldning.

I maj 1999 uppsköt Miljödomstolen på nytt frågan om NO<sub>x</sub>-utsläpp från gropugnarna med villkor att bolaget skulle utreda tekniska och ekonomiska förutsättningar att begränsa utsläppen till den nivå som förutsattes i beslutet 1995 (80 mg/MJ). Som provisoriskt villkor under utredningstiden sattes NO<sub>x</sub> = högst 150 mg/MJ.

Därefter har bolaget gjort omfattande försök för att minska NO<sub>x</sub>-utsläppen med:

- Syrgasfördelning
- Installation av spjäll
- Finfördelning av olja med ånga
- NO<sub>x</sub>-mätning vid 13 olika chargeringsstillfällen

Redovisning har skett år 2000 med begäran om fortsatt utredningstid för ytterligare försök med nya brännare och ångfördelning.. År 2002 ingavs slutredovisning med begäran att bolaget får lämna förslag till slutliga villkor senast 2003-12-31. I kommande redovisning i december 2003 kommer förlängd utredningstid att begäras.

Miljödomstolen beslutade i november 2002 enligt bolagets förslag samt att som provisoriskt villkor föreskriva  $\text{NO}_x =$  högst 80 mg/MJ. Mätningar under 2003 visar att detta värde inte klaras utan ytterligare åtgärder.

#### *Oljeförbrukning i ämnesvalsverkets gropugnar*

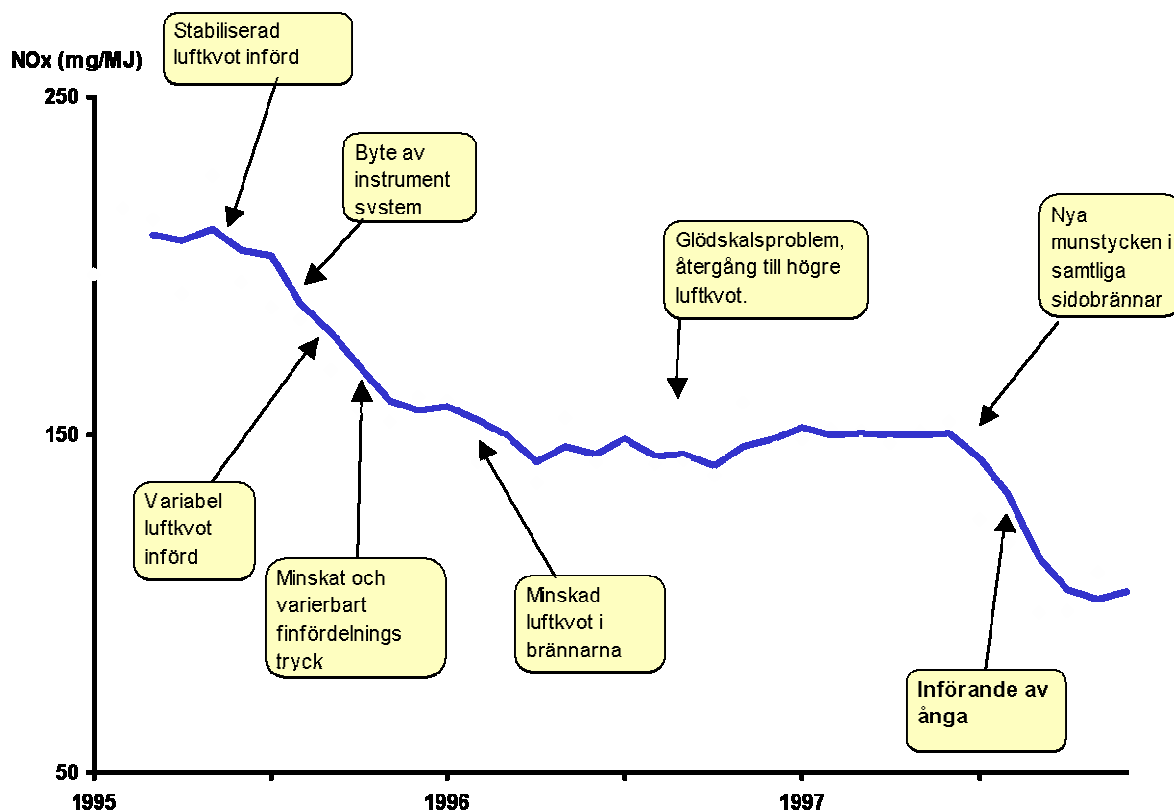
Den specifika oljeförbrukningen har minskat från 55 till 30 lit/ton vid övergång till oxyfuel-eldning, vilket motsvarar ca 45 % minskning.

Den huvudsakliga orsaken till att de specifika  $\text{NO}_x$ -utsläppen kunnat minska samtidigt med en kraftig specifik energibesparing är huvudsakligen övergången till finfördelning av olja med ånga.

### **10.1.3 SSAB Tunnbrått, Borlänge**

Värmeugnar 301 och 302 i Borlänge är Sveriges största stålvärmeugnar. De värmer slabs (1.5x0.2x15 m) till en valsningstemperatur på mellan 1050 och 1270°C. Ugn 301, som är gasoleddad är yngre än ugn 302 som är oljeeldad (Eo5). De största  $\text{NO}_x$ -utsläppen härrör från 302:an och denna har följaktligen varit huvudmål för  $\text{NO}_x$ -reducerande åtgärder. De åtgärder som utförts mellan 1995 och idag är:

- Minskad luftkvot genom ändrad utformning av brännarmunstycken
- Slopande av syrgasanrikning
- Nytt instrumentsystem
- Variabel luftkvot  $\Leftrightarrow$  pådragsnivå
- Utjämnning av tempfel  $\Leftrightarrow$  jämnare pådrag
- Byte till massflödesmätare
- Nya munstycken
- Ånga som atomiseringsmetod



Figur 6 Specifika NO<sub>x</sub>-utsläpp i värmningsugn 302 (oljeeldad) i Borlänge mellan 1995 och 1998. (NO<sub>x</sub> = uppmätt NO<sub>x</sub> omräknat till NO<sub>2</sub> + uppmätt NO<sub>2</sub> i rökgasen)

Ett ytterligare exempel på NO<sub>x</sub>-reducerande åtgärder som vidtagits vid verket i Borlänge är den SCR (katalytisk NO<sub>x</sub>-rening) som installerats vid den kontinuerliga glödningen inför miljödomstolsförhandlingar 2004. Resultatet visar en minskning av NO<sub>x</sub>-utsläppet med 70%, men till en kostnad på 110 kr/kg avskilt NO<sub>x</sub>.

#### 10.1.4 Uddeholm Tooling AB, Hagfors.

##### *Införandet av oxyfuelteknik i flera av verkets ugnar*

Införandet av oxyfuelteknik i Hagfors järnverk inleddes 1993 genom brännarbyte i en befintlig vagnugn och har därefter fortsatt genom brännarbyten i ytterligare 2 st befintliga vagnugnar samt nybyggnad av 2 st vagnugnar.

De vagnugnar som byggts om till oxyfuelteknik värmer göt (2-40 ton) till 1300°C. Ombyggnaden innebär att 8 st kallluftbrännare ersattes med 6 st oxyfuelbrännare á 400 kW/brännare, dvs totalt 2.400 kW. Investeringskostnaderna för ombygget och brännarinstallation (omräknat till 2003 års priser) presenteras i Tabell 4.

**Tabell 4** Investeringskostnader för installation av oxyfuelbrännare i befintlig vagnugn i Hagfors omräknat till 2003 års prisnivå.

Delobjekt	Kostnad. Tkr
Brännarutrustning inkl. reglering	2.730
Ugnsmurning	100
Kompletteringsarbeten på ugn (igensvetsning)	30
El	30
Dataoperatörssystem	350
Media/reglering	430
Lyft och transporter	30
Konstruktion	50
Rivningar, igångkörning	70
Summa	3.820

De nyinstallerade vagnugnarna används för värmning av göt för smidning. Götens styckevikt är 2-40 ton och ugnens max. temperatur är 1300 °C. Ugnen har 10 st oxyfuelbrännare med en total effekt av 3.500 kW. Investeringskostnaderna för nybygget (omräknat till 2003 års priser) presenteras i Tabell 5. I kalkylen ingår en kostnadspost för 245 m<sup>2</sup> lokalyta.

**Tabell 5** Investeringskostnader för installation av oxyfueleldad vagnugn i Hagfors omräknat till 2003 års prisnivå.

Delobjekt	Kostn. tkr
Byggnad, c:a 245 m <sup>2</sup>	2.200
Fundament	850
Komplett ugn inkl. stomme, infodring, brännare, brännarreglering, kompl. Montage	10.720
Varav infodring	2.750
Brännare och brännarreglering	3.470
Stomme, montage + övrigt	4.500
Tillbehör och reservdelar	1.110
El och VVS	240
Processtysystem	500
Konstruktion, besiktning, lyft och transporter	440
Utbildning, igångkörning	240
Summa	16.300

Idag är 5 av verkets 24 ugnar oxyfueleldade. Införandet av oxyfuel ledde till en halvering av bränsleförbrukningen i berörda ugnar men NO<sub>x</sub>-emissionerna minskade dessvärre inte vid införandet. Fokus har sedan dess legat på att minska mängden läckluft i de oxyfueleldade ugnarna. De åtgärder som har vidtagits är:

- Nya luckor har anskaffats till de oxyfueleldade vagnugnarna 1-3 i pressmedjan för ett investeringsbelopp på 3,1 milj. kr.
- Sandlåsen mellan vagn, lucka och ugnskropp har förbättrats på samtliga ugnar till en kostnad av 0,8 milj. kr

- Nya spjäll har satts in i gropugnarna i götverket för att underlätta tryckregleringen och därigenom minska inläckningen av luft.
- Ugnslucken har tätats och ugnarna har försetts med ny styr- och reglerutrustning, allt till en kostnad av 1,3 milj. kr.

Med dessa åtgärder anser sig bolaget ha gjort vad som är tekniskt möjligt och rimligt ur kostnadssynpunkt för att åstadkomma täta ugnar. Som ytterligare ett led i ansträngningarna att minska NO<sub>x</sub>-bildningen vid oxyfuelteknik har bolaget, under semestern 2005, investerat c:a 1 Mkr i ett utbyte av den tidigare generationens oxyfuelbrännare i en ugn (vagnugn 5) till s.k. ”**flamlös teknik**”. Om detta försök faller väl ut kommer bolaget även att göra motsvarande byte i vagnugnarna 1-3, enligt åtagen handlingsplan i komplettering till utredningen av den 2005-03-16. Detta kommer att ske under respektive semester 2006, 2007 och 2008. De mätningar och försök som hittills genomförts har inte resulterat i så låga NO<sub>x</sub>-värden som man hoppats på. Man arbetar dock med ytterligare åtgärder på den aktuella ugnen och hoppas att komma ned i de förväntade NO<sub>x</sub>-värdena så småningom.

### 10.1.5 Ovako Steel, Hofors

#### *Ombyggnad av ringugn 30*

År 1997 byggdes ugn 30 oxy-fuel teknik med gasol som bränsle. Ugn 30 betjänar rörverk 4 och ugnen är indelad i fyra zoner; en mörkzon samt värmzoner 1-3. Området för in- och uttagning (se Figur 7) skiljs åt med en baffel. En baffel är också placerad efter avgaskanalen. Ämnena placeras på en härd som roterar i ett vattenlås på både inner- och yttervarv (se bild 2). Vattenlåsen, som befinner sig under härdsnivå, är till för att hindra läckluft att tränga in i ugnen. Rökgaskanalerna är fortfarande dimensionerade för det tidigare eldnings sättet men en ejektor i skorsten kunde tas bort i och med introduktionen av oxy-fuel teknik. I övrigt har man så långt rimligt försökt ta hänsyn till oxy-fuel-eldningens krav. Ugnen levererar inte heller längre restenergi till en avgaspanna som tidigare. Huvudskälet till själva konverteringen var att åstadkomma lägre NO<sub>x</sub>-utsläpp men flexibilitet för förändringar i värmpofil mellan olika ämnesdimensioner samt inte minst en potentiell kapacitetsökning var också viktiga incitament för ombyggnaden.

Kostnads kalkylen för åtgärden innehöll följande poster (Obs 1997 års priser)

1. Åtgärder på gasolförsörjningssidan	1.020 kkr
2. Åtgärder på själva ugn, brännare och styrsystem	3.365 kkr
3. Åtgärder på syrgasförsörjningssidan	1.700 kkr
	-----
	6.085 kkr

Energibesparingen av åtgärden har konstaterats till c:a 35%.

NO<sub>x</sub>-villkoren för ugnen blev efter ombyggnaden 100 mg/MJ bränsle som också klarats med varierande marginal hittills i normal drift. De kritiska punkterna har varit inläckage av luft genom bl.a in- och utmatningsluckor, brännarinfastningar samt de speciella riskpunkterna kring vattenlåsen. Man lägger idag ned betydligt mer omsorg och speciella underhållsinsatser främst på vattenlåsen jämfört med före ombyggnaden vilket också får anses vara ett absolut krav för att kunna klara åsatt NO<sub>x</sub>-villkor. Bristande tätningar vid vattenlåsen har konstaterats påverkat NO<sub>x</sub>-värdena rejält till det sämre.

Tekniska data för ugn 30:

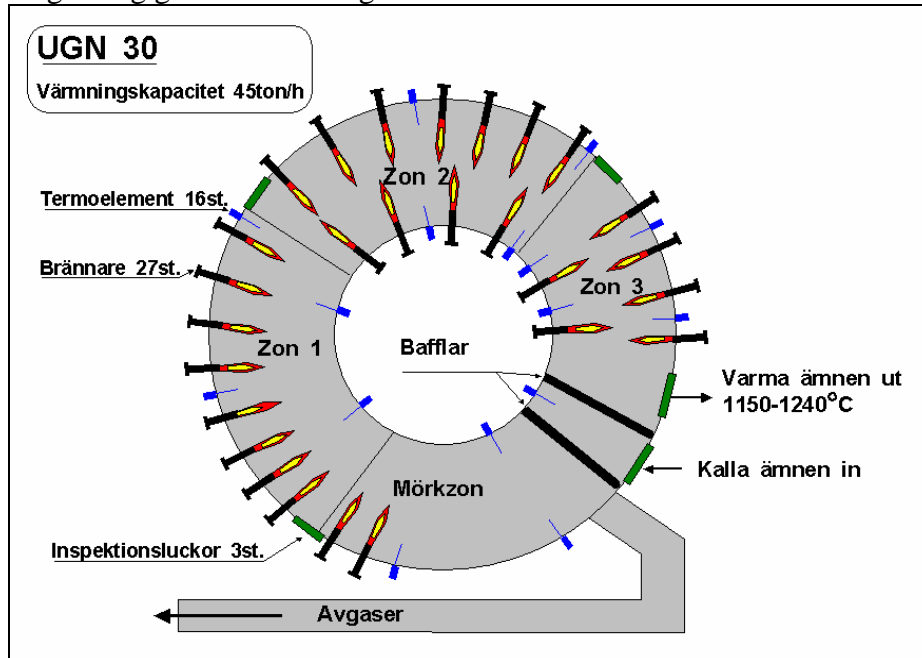
Tillverkare och byggår: UTAB 1960, ombyggd till oxy-fuel 1997

Ytterdiameter: 20,5 m. Storlek på in- och utmatningsluckor: 1,0 x 1,5 m

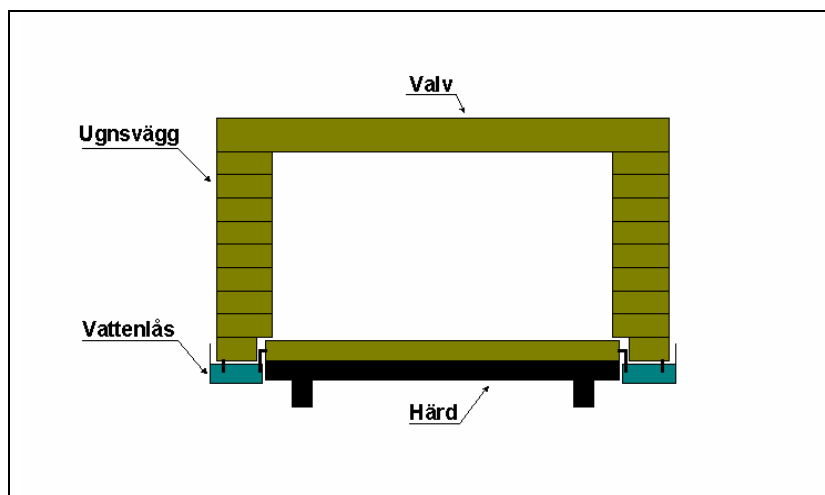
Antal ämnesplatser 150.

Antal brännare: 27. Installerad gasoleffekt c:a 11 MW

Ungefärlig gasolförbrukning: 2600 ton/år



Figur 7 Principskiss ugn 30 från ovan



Figur 8 Principskiss ugn 30 från sidan

### 10.1.6 Ovako Bar Boxholm

#### Bränslebyte i valsverksugnar

Under 2002 byttes olja för uppvärmning av valsverksugnar från Eo5 med 0.3% S till 3A ultra med max 0.1% S. Vid detta byte minskade NO<sub>x</sub>-utsläppen med ungefär hälften till 81 mg/MJ.



## 10.1.7 Scana Söderfors

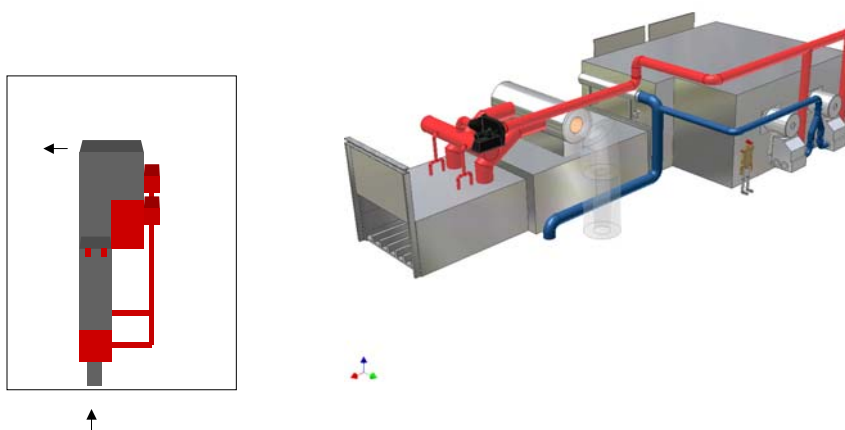
### Ombyggnad av smidesugn

I en smidesugn (leverantör UTAB) genomfördes **2001** ett byte till ett regenerativt system kallat TwinBed 2 (leverantör North American). Vid ombyggnaden bibehölls 2 st konventionella brännare. Förvärmningszonen utökades med 1,5 m och slutzonen utökades med 2 m. I investeringsuppföljningen påvisades en över förväntan stor minskning i bränsleåtgång samt ökad produktivitet.

**Tabell 6** Investeringsuppföljning för ombyggnad av en smidesugn till TwinBed 2 på Scana i Söderfors.

	<b>Mål</b>	<b>Historik</b>	<b>Uppföljning</b>	<b>Resultat</b>
<b>Energi</b>	Minskning med 30 l/ton	131 l/ton	92 l/ton	Minskning 39 l/ton
<b>Produktivitet</b>	Ökning med 5% på smide Ovako	4,18 ton/tim	4.43 ton/tim	Ökning 6%

### Investeringsuppföljning smidesugn, 2002 t o m V33



**Figur 9** Twin-bed i en smidesugn i Söderfors

## 11 Slutsatser

Med anledning av de utredningsuppdrag som en del stålverk fått i sina miljödomar samt de diskussioner som förekommit under kommitténs möten anser sig kommittén ha följande uppdrag:

1. Utreda hur man kan minska utsläppen av kväveoxider
2. Utreda vilka kväveoxidkoncentrationer som kan uppkomma vid olika driftförhållanden vid användning av oxy-fuelteknik, regenerativ förbränning resp. rekuperativ förbränning

3. Föreslå lämpligaste utformning av NO<sub>x</sub>-villkor med speciell hänsyn tagen till den senaste teknikutvecklingen inom förbränningsteknikområdet såsom oxy-fuelteknik, regenerativ förbränning, rekuperativ förbränning m.m.
4. Föreslå NO<sub>x</sub>-villkor vid förbränning med oxy-fuelteknik, regenerativ teknik samt vid rekuperativ teknik.

Kommittén konstaterade att utsläpp av kväveoxider sker i flera olika processer t.ex. från ljusbågsugn, pannor för värmeproduktion, betning, värmning och värmebehandling men beslutade att enbart behandla värmebehandlings- och värmningsugnar.

Skälet till att villkorsutformningen kan behöva ses över är teknikutveckling:

- Låg-NO<sub>x</sub>-brännare
- Rekuperativa brännare
- Oxy-fuelbrännare
- Regenerativa brännare
- NO<sub>x</sub>-rening

Kommittén beslutade att enbart behandla åtgärder på ugnen men ej rökgasreningsåtgärder.

Kommitténs första åtgärd blev att gå ut med en enkät till samtliga stålverk som är medlemmar i Jernkontoret varvid dessa ombads svara på bl a frågor om antal ugnar, ugnstyper, ugnstemperaturer, antal brännare, brännartyper, energislag, energiförbrukningar, NO<sub>x</sub>-villkor, NO<sub>x</sub>-emissioner m.m. Svaren redovisas i bilaga 1.

## **11.1 Hur kan man minska utsläppen av kväveoxider?**

Det effektivaste sättet att minska alla slag av utsläpp vid förbränning är att använda så energieffektiva metoder som möjligt. Koldioxidutsläppen minskar i direkt proportion till förbrukad energimängd medan svaveldioxidutsläppen är beroende av bränslets svavelinnehåll NO<sub>x</sub>-utsläppen är beroende av bränslets kväveinnehåll men dessutom av förbränningstemperatur och tillgång på ev. kvävgasöverskott.

De förbränningsmetoder som har behandlats i denna utredning är förbränning med oxyfuelbrännare, förbränning med regenerativa brännare och förbränning med rekuperativa brännare. Dessa är klart energisnålare än konventionell förbränning (förbränning med kallluft). Tyvärr medför de dock oftast ett större utsläpp av NO<sub>x</sub>, vilket beror på de, jämfört med konventionell förbränning, högre förbränningstemperaturerna.

Vid förbränning med oxy-fuel brännare finns goda förutsättningar för låga NO<sub>x</sub>-utsläpp tack vare att förbränningen sker med rent syre i stället för med luft som ju innehåller 78% kväve. Metoden är dock mycket känslig för inläckage av luft i ugnen då risken för NO<sub>x</sub>-bildning ökar avsevärt på den höga flamtemperaturen. Metoden att minska NO<sub>x</sub>-bildning är i dessa fall att se till att ugnen är tät. Det är också viktigt, vid oxy-fuelförbränning, att välja en atomiseringsmetod för bränslet som inte tillför extra mängd kvävgas i anslutning till lågan dvs att undvika luft som atomiseringsmedium.

Viktigt är att för alla dessa tre förbränningsmetoder (oxy-fuel, regenerativ resp. rekuperativ) gäller att  $\text{NO}_x$ -bildningen kan minskas betydligt med s.k. stegvis förbränning där förbränningsluften/syret tillsätts stegvis. Den senaste utvecklingen har dessutom visat att  $\text{NO}_x$ -bildningen kan minskas avsevärt genom att utforma brännarna för s.k. "flamlös" förbränning. Flamlös förbränning innebär i princip att en recirkulation av rökgaser till brännaren späder ut flammen på ett sådant sätt att förbränningen sker i en mycket större volym och åstadkommer en sänkning av den maximala flamtemperaturen. Flamlös förbränning kräver emellertid ofta att förbränningen övervakas på fler sätt än med endast UV-cell då UV-signalen kraftigt försvagas på grund av temperatursänkningen.

## **11.2 Vilka kväveoxidkoncentrationer kan uppkomma vid olika driftförhållanden?**

De kväveoxidkoncentrationer som kan uppkomma vid förbränning med de här diskuterade förbränningsmetoderna kan variera inom mycket vida gränser och är helt beroende av vilka åtgärder som vidtas för att begränsa dem.

Koncentrationen i rökgaserna är också mycket beroende av vilken driftfas man betraktar. Vid lågt pådrag, med låg bränsleförbrukning och liten rökgasmängd, är det ofta svårare att förhindra inläckage av luft p g a uppkommande undertryck i ugnen. Härvid erhålles en högre kväveoxidkoncentration än vid högt pådrag. Emellertid är kväveoxidutsläppet i atmosfären betydligt, mindre räknat i t. ex. g per tidsenhet, än vid högt pådrag. Vid formulering av utsläppsvillkor borde hänsyn till denna omständighet tas t. ex. genom att ge utsläppskoncentrationer uppmätta vid högt pådrag högre vikt än d:o vid lågt pådrag.

## **11.3 Hur bör $\text{NO}_x$ -villkor lämpligen utformas?**

Se avsnittet "För- och nackdelar med olika  $\text{NO}_x$ -villkor".

### *1. Utsläpp ton $\text{NO}_x$ /år.*

Slutsats: En för företagens utveckling alltför begränsande villkorsutformning för att kunna rekommenderas.

### *2. Mg $\text{NO}_x$ /MJ tillfört bränsle - gas/olja.*

Denna villkorsutformning är användbar då den är neutral beträffande såväl energiförbrukning per ton stål som beträffande total energiförbrukning.

En nackdel är att energieffektivisering kan straffas genom att nyckeltalet ökar om man minskar energiförbrukningen utan att lyckas minska  $\text{NO}_x$ -utsläppet i motsvarande grad.

Slutsats: Med den brist denna villkorsutformning har enligt ovan är den dock fullt användbar, förutsatt att, vid bestämning av utsläppsvilkorens numeriska värden, hänsyn tas till förbränningsmetodens energibesparing relativt konventionell förbränning.

3.  $mg\ NO_x/Nm^3$  rökgas.

Slutsats: Användbart för förbränning med luft men något sämre än villkorsutformningen enligt 2 ovan.

4. ppm  $NO_x$  vid olika syrehalter.

Denna villkorsformulering är likvärdig med den under punkt 3 och slutsatsen blir därför densamma.

5.  $mg\ NO_x/ton\ stål$

Slutsats: En för företagets utveckling alltför begränsande villkorsutformning för att kunna rekommenderas.

*Sammanfattningsvis är kommitténs åsikt att av de 5 ovannämnda villkorsutformningarna är den under punkt 2, " $mg\ NO_x/MJ$  tillförd bränsle", att föredra framför övriga.*

Av vad som sagts här ovan framgår att det är kommitténs mening att hänsyn även skall tas till andra miljöaspekter än utsläpp av kväveoxider, t.ex. energibesparing, utsläpp av växthusgaser etc.

En rimlig utgångspunkt vid formulering av  $NO_x$ -villkor vid användandet av rekuperativ, regenerativ och oxyfuelteknik borde vara att acceptera ett  $NO_x$ -utsläpp i nivå med det som skulle erhållas vid förbränning med konventionella kallluftbrännare. Om man t.ex. vid utnyttjande av någon av de "nya" teknikerna kan påvisa en halvering av bränsleförbrukningen borde ett dubbelt så högt  $NO_x$ -utsläppsvärde kunna accepteras. Väsentliga miljö fördelar finns ändå kvar i form av halverat koldioxidutsläpp m.m.

## 11.4 Principer för $NO_x$ -villkor.

Som framkommit av ovanstående diskussion finns det vissa principer som kommittén anser viktiga vid formuleringen av  $NO_x$ -villkor, nämligen:

1.  $NO_x$ -villkor bör uttryckas i form av  $mg\ NO_2/MJ$  för en standardmässig konventionell teknologi baserad på bränsle och fläktluft.
2. Vid formulering av  $NO_x$ -villkor bör hänsyn tas till *den aktuella* förbränningsteknikens energibesparing så att en proportionellt sett högre nivå, uttryckt som  $mgNO_2/MJ$ , kan accepteras jämfört med energiförbrukningen vid *konventionell* teknik.
3. Vid formuleringen av  $NO_x$ -villkor bör olika vikt läggas vid  $NO_x$ -emission i olika driftfaser så att högre vikt läggs vid driftfas med högt bränslepådrag än d:o med lågt pådrag. Det innebär att man räknar ut mängden  $NO_2$  i mg under en viss period och dividerar med energiförbrukningen under samma period, istället för att tillskriva varje mätvärde i koncentration samma vikt oavsett om det faktiska utsläppet då är stor eller litet.
4.  $NO_x$ -villkor bör innehålla en föreskrift om att  $NO_x$ -mätning ej skall ske vid i- och urlastning av ugn (gäller satsugn då ugnsluckan är helt öppen under i- och urlastning).

## 12 Referenser

- [ 1] NO<sub>x</sub>-emission vid högtemperaturprocesser inom svensk stålindustri. Jernkontorets D-rapport 640, mars 1990.
- [ 2] Förslag för kostnadseffektiv minskning av kväveoxidutsläpp. Naturvårdsverket rapport 5356, mars 2004.
- [ 3] Energy Use in the Steel Industry. International Iron and Steel Institute, September 1998
- [ 4] Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Reference Document on Best Available Techniques in the Ferrous Metals Processing Industry. December 2001. European Commission. Internet: <http://eippcb.jrc.es>
- [5] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft). Vom 24. Juli 2002. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
- [6] Low emissions gas fired burners, Article in Tecno Impianti number 3, 2002, published by Editoriale Elsevier
- [7] Kurslitteratur, Förbränning i industriella processer, KTH/Energi och Ugnsteknik
- [8] Broschyr för WS FLOX-brännare
- [9] AGA gas AB
- [10] Statens naturvårdsverks författningssamling, SNFS1991:6 MS:38
- [11] Statens naturvårdsverks författningssamling, SNFS1991:4 MS:36

## BILAGA

Bilaga 1 Enkätmanställning från 2002

Bilaga 1. Sammanställning NOx-enkät 2002

Ugnar med villkor

Ugn		Sandvik	SSAB Borlänge	SSAB Borlänge	Sandvik	SSAB Borlänge	Hofors	Hagfors
<b>Värmsugn</b>		Götv Gropugn 59 och 60	UGN 302	UGN 301	Götv ugn 61		X	Gropugn 1
<b>Värmebehandlingsugn</b>						Aluzinklinje		
Typ av ugn		Gropugn	Stegbalk	Stegbalk	Stegbalksugn	Aluzinklinje	6 st gropugnspar	Gropugn
Stålsorter som värms i ugnen								
Olegerat/låglegerat			X	X		X	X	
Höglegerat		x			x			x
Ugnstemperatur °C		900 - 1350	max 1350	max 1350	900 - 1340	max 1330	1250-1300	1130 - 1300
Brännartyp								
konventionell brännare	antal:	x			x			24 1 st
oxy-fuel brännare	antal:							24
regenerativa brännare	antal:							
rekuperativa brännare	antal:		196	75		24		
Bränsle		gasol	Eo5	Gasol	gasol	Gasol	Olja	Olja
för olja anges också:								
oljekvalitet			Lågsvavlig				Eo5	WRD-olja
atomiseringsmetod			Ånga				Ånga/TL	Tryckluft
NO <sub>x</sub> -villkor, värde och sort		100 mg NO2/MJ	125 mg/MJ	105 mg/MJ	100 mg NO2/MJ	100 mg/MJ	150 resp 260 mg/MJ	200 mg/MJ tillfört bränsle
Normalt NO <sub>x</sub> -utsläpp uppmätt värde samt sort		70	105 mg/MJ	80 mg/MJ	52	ca 90 mg/MJ	50-100 resp 200-250 mg/MJ	Ej uppmätt
Kontinuerlig NO <sub>x</sub> -mätning								
ja			Ja	Ja	x			
nej		x				Nej	X	x
Bränsleåtgång per år och ugn		1600	525 GWh	445 GWh	2800	55 GWh	6900	419 m3 (8 mån)
Värmt tonnage per år och ugn	ton/år	36000	1250000	1180000	80000	238000	370000	1937 ton
Totalt Nox-utsläpp vid verket	ton/år	5,2	210	134	6,7	13	c:a 200	158,5 ton

Ugnar med villkor

Ugn		Hagfors	Hagfors	Hagfors	Hagfors	Hagfors	Hagfors	Sandvik
<b>Värminingsugn</b>		Gropugn 2	Gropugn 3	Gropugn 4	Ugn 1, stångv.v.	Ringugn	Omvärminingsugn	Götvagnugn 1 och 2
<b>Värmebehandlingsugn</b>								
Typ av ugn		Gropugn	Gropugn	Gropugn	Stegbalksugn	Roterhårdugn	Dubbelkammarnugn	vagnugn
Stålsorter som värms i ugnen								
Olegerat/låglegerat								
Höglegerat		x	x	x	x	x	x	x
Ugnstemperatur °C		1130 - 1300	1130 - 1300	1130 - 1300	1130 - 1300	1150-1270	1150-1270	1250
Brännartyp								
konventionell brännare	antal:	1 st	1 st	1 st	12 st	14 st	2x6 st	x
oxy-fuel brännare	antal:							
regenerativa brännare	antal:							
rekuperativa brännare	antal:							
Bränsle		Olja	Olja	Olja	Olja	Olja	Olja	gasol
för olja anges också:								
oljekvalitet		WRD-olja	WRD-olja	WRD-olja	WRD-olja	WRD-olja	WRD-olja	
atomiseringsmetod		Tryckluft	Tryckluft	Tryckluft	Tryckluft	Tryckluft	Tryckluft	
NO <sub>x</sub> -villkor, värde och sort		200 mg/MJ tillfört bränsle	200 mg/MJ tillfört bränsle	200 mg/MJ tillfört bränsle	200 mg/MJ tillfört bränsle	200 mg/MJ	200 mg/MJ	100 mg NO <sub>2</sub> /MJ
Normalt NO <sub>x</sub> -utsläpp uppmätt värde samt sort		203 mg/MJ	88 mg/MJ	664 mg/MJ	70 mg/MJ	108 mg/MJ	126 mg/MJ (ring u + omv.u.)	75
Kontinuerlig NO <sub>x</sub> -mätning								
ja								
nej		x	x	x	x	x	x	x
Bränsleåtgång per år och ugn		409 m <sup>3</sup>	399 m <sup>3</sup>	536 m <sup>3</sup>	930 m <sup>3</sup>	1549 m <sup>3</sup>	711 m <sup>3</sup>	1100
Värmt tonnage per år och ugn	ton/år	2904 ton	2904 ton	2904 ton	6200 ton	C:a 16000 ton	Ingen uppgift	15000
Totalt Nox-utsläpp vid verket	ton/år					158,5 ton/år		3,8

Bilaga 1. Sammanställning NOx-enkät 2002

Ugnar med villkor

Ugn		Avesta	Avesta	Hofors	Hofors	Sandvik	Sandvik	Sandvik
<b>Värminugsugn</b>		Ugn A	Ugn B	X	X	Götv		Varmband- valsverk
<b>Värmebehandlingsugn</b>							Släckglöd n.-ugn 98	
Typ av ugn		stegbalks ugn	stegbalksu	Ringugn	Ringugn	Stegbalks- ugn	Stegbalks- ugn	Stegbalks- ugn
Stålsorter som värms i ugnen								
Olegerat/låglegerat				X	X			
Höglegerat		x	x			x	x	x
Ugnstemperatur °C		1 250	1 250	1120-1260	1100-1250	1250	1250	1250
Brännartyp								
konventionell brännare	antal:	46	78			x	x	x
oxy-fuel brännare	antal:			27	21			
regenerativa brännare	antal:							
rekuperativa brännare	antal:							
Bränsle		Gasol	gasol	Gasol	Gasol	gasol	gasol	gasol
för olja anges också:								
oljekvalitet								
atomiseringsmetod								
NO <sub>x</sub> -villkor, värde och sort		310 ton/år från Södra verken		100 mg/MJ	100 mg/MJ	100 mg NO2/MJ	100 mg NO2/MJ	100 mg NO2/MJ
Normalt NO <sub>x</sub> -utsläpp uppmätt värde samt sort		80 mg/MJ	70 mg/MJ	50-100 mg/MJ	50-100 mg/MJ	80	75	60
Kontinuerlig NO <sub>x</sub> -mätning								
ja		Ja	Ja					
nej				X	X	x	x	x
Bränsleåtgång per år och ugn		13 500 ton	13 000 ton	2600	1100	2400	1000	2700
Värmt tonnage per år och ugn	ton/år	341 000	343 000	68000	31000	30000	21000	29000
Totalt Nox-utsläpp vid verket	ton/år	38	32			8,8	3,4	7,5



Bilaga 1. Sammanställning NOx-enkät 2002

Ugnar med villkor

Ugn		Hofors	Avesta	Degerfors	AST Fagersta	AP Torshälla	Smedjebacken	Sandvik
<b>Värminugsugn</b>		X				Ugn L-60	äm.n.ugn medium- valsverk	Grovvals- verk
<b>Värmebehandlingsugn</b>			Glödgugn	Rullugn	UTAB			
Typ av ugn		Genomskj- ugn			Rullhärdu- gn	oljeeldad	stegbalks ugn	Roterhård
Stålsorter som värms i ugnen								
Olegerat/låglegerat		X			X		X	x
Höglegerat			x	x	X	x		x
Ugnstemperatur °C		1210-1230	1 200	1200	1080-1200	1100-1200	1200	1200
Brännartyp								
konventionell brännare	antal:	4			24	40	10 st med förvärm luft. (Blooms Låg-Nox)	x
oxy-fuel brännare	antal:							
regenerativa brännare	antal:							
rekuperativa brännare	antal:		43					
Bränsle		Gasol	eldn.olja	Gasol	Gasol Propan/bu- tan	olja	Gasol	gasol
för olja anges också:								
oljekvalitet			WRD			eo 1		
atomiseringsmetod			O2					
NO <sub>x</sub> -villkor, värde och sort		100 mg/MJ		100 mg/MJ	100mg/MJ	150 mg/MJ	100 mg/MJ tillfört bränsle	100 mg NO2/MJ
Normalt NO <sub>x</sub> -utsläpp uppmätt värde samt sort		50-100 mg/MJ	90 mg/MJ	146	63mg/MJ	ca 135 mg/MJ	84 mg/MJ tillfört bränsle	80
Kontinuerlig NO <sub>x</sub> -mätning								
ja								
nej		X	Nej	x	X	X	nej	x
Bränsleåtgång per år och ugn		300	9 280 m <sup>3</sup>	1033 t	180 ton/2001	7000 ton	6616 ton	2900
Värmt tonnage per år och ugn	ton/år	2500	290 000	80400	ca 3000	200000	207172	73000
Totalt Nox-utsläpp vid verket	ton/år		44	7,5		110	25,8	10,7

Bilaga 1. Sammanställning NOx-enkät 2002

Ugnar med villkor

Ugn		Sandvik	AP Torshälla	AP Långshyttan	Sandvik	Hagfors	Hagfors	Sandvik
<b>Värmningsugn</b>		Finvals- verk	Ugn L-55					
<b>Värmebehandlingsugn</b>				A-str,225	Glödning Betning 70	ugn 54	ugn 55	Rörverk 63 Ugn 326
Typ av ugn		Stegbalks- ugn	gasol	Sträckgl.u gn	Genomdra g- ningsugn	Vagnugn	Vagnugn	Rullhård- ugn
Stålsorter som värms i ugnen								
Olegerat/låglegerat								
Höglegerat		x	x	301,304,3 16	x	x	x	x
Ugnstemperatur °C		1200	1120-1180	1150	580 - 1150	max 1150	max 1150	1100
Brännartyp								
konventionell brännare	antal:	x		96 Low NOx	x			x
oxy-fuel brännare	antal:		36					
regenerativa brännare	antal:							
rekuperativa brännare	antal:					11 st	11 st	
Bränsle		gasol	gasol	Gasol	gasol	Gasol	Gasol	gasol
för olja anges också:								
oljekvalitet								
atomiseringsmetod				Luft				
NO <sub>x</sub> -villkor, värde och sort		100 mg NO <sub>2</sub> /MJ	100 mg/MJ; p	100 Mg/MJ	100 mg NO <sub>2</sub> /MJ	200 mg/MJ	200 mg/MJ	100 mg NO <sub>2</sub> /MJ
Normalt NO <sub>x</sub> -utsläpp uppmätt värde samt sort		60		77mg/MJ	45	Ej mätt	131 mg/MJ	60
Kontinuerlig NO <sub>x</sub> -mätning								
ja								
nej		x	X	Nej	x	x	x	x
Bränsleåtgång per år och ugn		1100	2000	1200 ton	600	127 ton	129 ton	260
Värmt tonnage per år och ugn	ton/år	30000	100000	26300 ton/år	9600	c:a 5100	c:a 4600 ton	5000
Totalt Nox-utsläpp vid verket	ton/år	3		25 ton/år	1,2		158,5 ton/år	0,7

Bilaga 1. Sammanställning NO<sub>x</sub>-enkät 2002

Ugnar med villkor

Ugn		Sandvik	Hagfors	Hagfors	Hagfors	Hagfors	Sandvik	Degerfors
<b>Värningsugn</b>							Götv Vagnugn 3	Stegbalks- ugn
<b>Värmebehandlingsugn</b>		Rörverk 68 Blankglöd- ningsugn	ugn 35	ugn 36	ugn 39	ugn 40		
Typ av ugn		Rullhård- ugn	vagnugn	vagnugn	vagnugn	Rullbotten ugn	vagnugn	
Stålsorter som värms i ugnen								
Olegerat/låglegerat								
Höglegerat		x	x	x	x	x	Zirkaloy Titan	x
Ugnstemperatur °C		1100	max 1100	max 1100	max 1100	max 1100	900 - 1065	1040
Brännartyp								
konventionell brännare	antal:	x	24 st	24 st	12 st	17 st	x	x
oxy-fuel brännare	antal:							
regenerativa brännare	antal:							
rekuperativa brännare	antal:							
Bränsle		gasol	Gasol	Gasol	Gasol	Gasol	gasol	Gasol
för olja anges också:								
oljekvalitet								
atomiseringsmetod								
NO <sub>x</sub> -villkor, värde och sort		100 mg NO <sub>2</sub> /MJ	200 mg/MJ	200 mg/MJ	200 mg/MJ	200 mg/MJ	100 mg NO <sub>2</sub> /MJ	100 mg/MJ
Normalt NO <sub>x</sub> -utsläpp uppmätt värde samt sort		45	Ej mätt	50 mg/MJ	94 mg/MJ	Ej mätt	75	173
Kontinuerlig NO <sub>x</sub> -mätning								
ja								
nej		x	x	x	x	x	x	x
Bränsleåtgång per år och ugn		360	342 ton	304 ton	336 ton	81 ton	500	3304 t
Värmt tonnage per år och ugn	ton/år	490	c:a 5300	c:a 4800	c:a 5400	c:a 900	5000	80400
Totalt Nox-utsläpp vid verket	ton/år	0,7					1,7	26,5

Ugnar med villkor

Ugn		Avesta	Sandvik	Hagfors	Hagfors	SSAB Borlänge	Degerfors	Degerfors
<b>Värminugsugn</b>		2 Haspel- ugnar	Pressverk 69				Gropugn, LP	
<b>Värmebehandlingsugn</b>				ugn 33	ugn 34	Metalliseri ngslinje2		Tabo
Typ av ugn		haspelugn	Roterhård	Rullbotten ugn	Rullbotten ugn	Galvlinje		
Stålsorter som värms i ugnen								
Olegerat/låglegerat						X		
Höglegerat		x	x	x	x		x	x
Ugnstemperatur °C		1000	950	max 900	max 900	900		845
<b>Brännartyp</b>								
konventionell brännare	antal:		x	45 st	54 st		x	x
oxy-fuel brännare	antal:							
regenerativa brännare	antal:							
rekuperativa brännare	antal:	2*7 = 14				52		
<b>Bränsle</b>		gasol	gasol	Gasol	Gasol	Gasol	Olja	Gasol
för olja anges också:								
oljekvalitet							WRD	
atomiseringsmetod								
<b>NO<sub>x</sub>-villkor, värde och sort</b>			100 mg NO <sub>2</sub> /MJ	200 mg/MJ	200 mg/MJ	100 mg/MJ	80 mg/MJ	100 mg/MJ
Normalt NO <sub>x</sub> -utsläpp uppmätt värde samt sort		35 mg/MJ	60	Ej mätt	59 mg/MJ	ca 90 mg/MJ	70	46
<b>Kontinuerlig NO<sub>x</sub>-mätning</b>								
ja								
nej		Nej	x	x	x	Nej	x	x
<b>Bränsleåtgång per år och ugn</b>		1800	360	301 ton	648 ton	22 GWh	2667 m <sup>3</sup>	196 t
<b>Värmt tonnage per år och ugn</b>	ton/år	681000	13000	c:a 3700	c:a 21200	318000	71000	
<b>Totalt Nox-utsläpp vid verket</b>	ton/år	3	1	158,5 ton/år		8	15	0,3

Ugnar med villkor

Ugn		Degerfors	Degerfors	Degerfors	Degerfors	Hagfors
<b>Värmningsugn</b>		Grop 2	Grop 3			Vagnugn 4
<b>Värmebehandlingsugn</b>				Anlöp.	Norm.	
Typ av ugn						Vagnugn
Stålsorter som värms i ugnen						
Olegerat/låglegerat						
Höglegerat		x	x	x	x	x
Ugnstemperatur °C		810	810			650-750
Brännartyp						
konventionell brännare	antal:	x	x	x	x	2x10 st
oxy-fuel brännare	antal:					
regenerativa brännare	antal:					
rekuperativa brännare	antal:					
Bränsle		Gasol	Gasol	Gasol	Gasol	Gasol
för olja anges också:						
oljekvalitet						Gasol
atomiseringsmetod						
NO <sub>x</sub> -villkor, värde och sort		100 mg/MJ	100 mg/MJ	100 mg/MJ	100 mg/MJ	200 mg/MJ
Normalt NO <sub>x</sub> -utsläpp uppmätt värde samt sort		47	36	134	211	56 mg/MJ
Kontinuerlig NOx-mätning						
ja						
nej		x	x	x	x	x
Bränsleåtgång per år och ugn		190 t	485 t	376 t	444 t	341 ton
Värmt tonnage per år och ugn	ton/år					Ingen uppgift
Totalt Nox-utsläpp vid verket	ton/år	0,3	0,8	2,3	4,3	

Bilaga 1. Sammanställning NO<sub>x</sub>-enkät 2002

Ugnar utan villkor

		Torneå	Björneborg	Björneborg	Björneborg	Hagfors	Hagfors	Hagfors
<b>Värminingsugn</b>		APU2	Smidesugn 2	Smidesugn 3	Smidesugn 4	Vagnugn 3	Vagnugn 7	Vagnugn 5
<b>Värmebehandlingsugn</b>								
Typ av ugn		stegbalksugn	Vagnugn	Vagnugn	Vagnugn	Vagnugn	Vagnugn	Vagnugn
Stålsorter som värms i ugnen								
Olegerat/låglegerat			x	x	x			
Höglegerat		x				x	x	x
Ugnstemperatur °C		1250-1300	1200-1300	1200-1300	1200-1300	1150-1300	1150-1300	1150-1300
Brännartyp								
konventionell brännare	antal:	68			x			
oxy-fuel brännare	antal:		x	x		6 st	10 st	8 st
regenerativa brännare	antal:	8						
rekuperativa brännare	antal:							
Bränsle		propan,CO	Gasol	Gasol	Gasol	Olja	Olja	Olja
för olja anges också:								
oljekvalitet						WRD-olja	WRD-olja	WRD-olja
atomiseringsmetod						Tryckluft	strypbricka	Tryckluft
NO <sub>x</sub> -villkor, värde och sort		ej villkor				Ej fastställt	Ej fastställt	Ej fastställt
Normalt NO <sub>x</sub> -utsläpp uppmätt värde samt sort						311 mg/MJ	116 mg/MJ	730 mg/MJ
Kontinuerlig NO <sub>x</sub> -mätning								
ja								
nej		x				x	x	x
Bränsleåtgång per år och ugn		osäkert ännu				308 m3	168 m3 (6 mån)	468 m3
Värmt tonnage per år och ugn	ton/år	1 000 000**				51000ton		
Totalt Nox-utsläpp vid verket	ton/år	osäkert ännu						

Bilaga 1. Sammanställning NOx-enkät 2002

Ugnar utan villkor

		Hagfors	Hagfors	Björneborg	Torneå	Torneå	Torneå	Torneå
<b>Värminingsugn</b>		Vagnugn 1	Vagnugn 2	Smidesugn 1				
<b>Värmebehandlingsugn</b>					HP1	HP2	HP3	HP4
Typ av ugn		Vagnugn	Vagnugn	Vagnugn	kontin glödning	kontin glödning	kontin glödning	kontin glödning
Stålsorter som värms i ugnen								
Olegerat/låglegerat				x				
Höglegerat		x	x		x	x	x	x
Ugnstemperatur °C		1150-1300	1150-1300	1200-1275	1100-1250(max)	1100-1250(max)	1100-1250(max)	1100-1250(max)
Brännartyp								
konventionell brännare	antal:				37	32	50	72
oxy-fuel brännare	antal:	6 st	6 st	x				
regenerativa brännare	antal:							
rekuperativa brännare	antal:							
Bränsle		Olja	Olja	Gasol	propan	propan	propan (51%2001), CO (49%2001)	propan
för olja anges också:								
oljekvalitet		WRD-olja	WRD-olja					
atomiseringsmetod		Tryckluft	Tryckluft					
NO <sub>x</sub> -villkor, värde och sort		Ej fastställt	Ej fastställt		ej villkor	ej villkor	ej villkor	ej villkor
Normalt NO <sub>x</sub> -utsläpp uppmätt värde samt sort		165 mgMJ	260 mg/MJ					
Kontinuerlig NO <sub>x</sub> -mätning								
ja								
nej		x	x		x	x	x	x
Bränsleåtgång per år och ugn		413 m3	426 m3		65 GWh	39 GWh	153 GWh	69 GWh
Värmt tonnage per år och ugn	ton/år	1 vagnugnar	3, 5 och 7:		200 000	128 000	500 000	218 000
Totalt Nox-utsläpp vid verket	ton/år	158,5 ton/år			HP1-HP4 tillsammans 95 942 t/år, 184 kg/t st			

Bilaga 1. Sammanställning NOx-enkät 2002

Ugnar utan villkor

		Björneborg	Surahammar	Björneborg	Björneborg	Björneborg	Björneborg	Smedjebacken
<b>Värningsugn</b>								
<b>Värmebehandlingsugn</b>		3897		3893	9898	Bergsten 1	Bergsten 1	Glödgn.ugn 2 st
Typ av ugn		Huvugn	gasoeldad ugn	Huvugn	Huvugn	Gropugn	Gropugn	klockugn
Stålsorter som värms i ugnen								
Olegerat/låglegerat		x	x	x	x	x	x	X
Höglegerat								
Ugnstemperatur °C		850-900	900	600-700	550-700	600-650	600-650	650
Brännartyp								
konventionell brännare	antal:	x	78	x	x	x	x	8st per ugn(Högh ast.br. Kalluft)
oxy-fuel brännare	antal:							
regenerativa brännare	antal:							
rekuperativa brännare	antal:							
Bränsle		Gasol	gasol	Gasol	Gasol	Gasol	Gasol	Gasol
för olja anges också:								
oljekvalitet								
atomiseringsmetod								
NO <sub>x</sub> -villkor, värde och sort			inga					( Rek av länsst: 60 mg/MJ )
Normalt NO <sub>x</sub> -utsläpp uppmätt värde samt sort			mäts ej					ca 38 mg/MJ tillfört bränsle
Kontinuerlig NO <sub>x</sub> -mätning								
ja								
nej								nej
Bränsleåtgång per år och ugn			1800 ton					662 ton (2 ugnar)
Värmt tonnage per år och ugn	ton/år		100 kton					42000 (2 ugnar)
Totalt Nox-utsläpp vid verket	ton/år							1,2 (2 ugnar)



Ugnar utan villkor

		Smedjebacken	Surahammar	SSAB Borlänge	Fundia Boxholm	Fundia Boxholm
<b>Värningsugn</b>					ämnes-ugnMV	ämnes-ugn FV
<b>Värmebehandlingsugn</b>		Glödgn.ug n 1 st		Prelaq		
Typ av ugn		klockugn	lacktorknin	Färglinje	stegbalks ugn	stegbalks ugn
Stålsorter som värms i ugnen						
Olegerat/låglegerat		X	x	X	ja	ja
Höglegerat						
Ugnstemperatur °C		650	300-500	350		
Brännartyp						
konventionell brännare	antal:	8 st (Höghast. br. Kalluft)	16		15	13
oxy-fuel brännare	antal:					
regenerativa brännare	antal:					
rekuperativa brännare	antal:			2		
Bränsle		Gasol	gasol	Gasol	olja	olja
för olja anges också:						
oljekvalitet					Eo5	Eo5
atomiseringsmetod					luft/ånga	luft/ånga
NO <sub>x</sub> -villkor, värde och sort		(Leverantörs garanti: 50 mg/MJ )	inga	Ej villkor	nej	nej
Normalt NO <sub>x</sub> -utsläpp uppmätt värde samt sort		34 mg/MJ tillfört bränsle	mäts ej			
Kontinuerlig NO <sub>x</sub> -mätning						
ja						
nej		nej		Nej	nej	nej
Bränsleåtgång per år och ugn		ca 150	650 ton	37.8 GWh	3743m <sup>3</sup>	7054m <sup>3</sup>
Värmt tonnage per år och ugn	ton/år	ca 8000	80 kton	112000	64200	173600
Totalt Nox-utsläpp vid verket	ton/år	0,2		14	42,8	15,4

## **DEN SVENSKA STÅLINDUSTRINS BRANSCHORGANISATION**

Organisationen grundades 1747 och ägs sedan dess av de svenska stålföretagen. Jernkontoret företräder stålindustrin i frågor som berör handelspolitik, forskning och utbildning, standardisering, energi och miljö samt skatter och avgifter. Jernkontoret leder den gemensamma nordiska stålforskningen. Dessutom utarbetar Jernkontoret branschstatistik och bedriver bergshistorisk forskning.

# **JERNKONTORET**

Box 1721, 111 87 Stockholm Kungsträdsgatan 10  
Telefon 08 679 17 00 Fax 08 611 20 89  
E-post [office@jernkontoret.se](mailto:office@jernkontoret.se) [www.jernkontoret.se](http://www.jernkontoret.se)

