



JERNKONTORETS FORSKNING

Serie	Nr	Datum	Forskningsuppgift nr
D	784	2001-10-31	Miljörådet

KVÄVEOXIDER VID LJUSBÅGSUGNAR OCH VÄRMNINGSUGNAR

Rapport av Karin Hoppe, Jernkontoret

Key words : Järn- och stålindustri, emission, kväveoxider, ljusbågsugnar, värmningsugnar

SAMMANFATTNING

Följande arbete har genomförts med avsikt att samla aktuell information som berör stålindustrin och dess utsläpp av kväveoxider (NO_x ¹) från ljusbågs- och valsverkugnar. Rapporten syftar till att ge en överblick över politiska, juridiska och tekniska förutsättningar för att minska stålindustrins kväveutsläpp. Den redogör också för svenska stålföretags åtgärder och investeringar relaterade till NO_x -bildning vid förbränningsprocesser i valsverksugnar och ljusbågsugnar.

Utsläpp av NO_x kan påverkas redan i konstruktionsstadiet. Fungerande processtyrning och god drift och underhåll kan avsevärt sänka producerad mängd NO_x . SNCR tekniken vilken tidigare inte ansågs vara applicerbar på valsverksugnar har under vissa förutsättningar gett lyckat resultat. Rening på LB kan vara teknisk möjlig. Låg NO_x -brännare ger inte alltid bästa resultat.

Kunskapslucka om sambandet mellan NO_x och olika processparametrar gör att det vid kontakter med myndigheter är svårt att hävda verksspecifika förutsättningar för en rimlig utsläppsnivå.

Mätvärdet mgNO_x/MJ tillfört bränsle missgynnar energieffektiva lösningar, t ex oxyfuel.

De flesta åtgärder som genomförts inom stålindustrin har en kostnad som överstiger 40 kr/kg avskilt NO_x .

¹ Om inget annat anges är NO_x uttryckt som NO_2 .

Inledning	1
Internationella konventioner och lagstiftning	1
FN	1
Luftvårdskonventionen	1
Klimatkonventionen	2
Regionala konventioner	3
Helsingforskonventionen	3
Oslo-Pariskonventionen	3
EU	4
IPPC direktivet	4
Direktiv om gränsvärden för luftutsläpp	5
Svensk miljöpolitik	5
Miljömålsutredning	5
NO _x avgift	6
Avgiftsgräns för investering	7
Kväveoxider i omgivningsluft	7
Myndighetskrav	8
Ljusbågsugnar	9
Valsverksugnar	9
BAT-referensdokument (BREF)	11
Rekommendationer ljusbågsugnar	11
Rekommendationer valsverksugnar	11
Övergripande metoder	12
Ugnsautomatisering och kontroll	13
Låg NO _x -brännare	13
Oxy-fuel teknik	14
Regenerativa brännarsystem	14
Rekuperatorer och rekuperativa brännare	15
Extern flödesgasrecirkulering (FGR)	15
Selektiv katalytisk rening (SCR)	15
Selektiv icke katalytisk rening (SNCR)	15
Bildningsmekanismer	16
Termisk NO	16
Bränslets NO	17
Prompt NO	17
Ljusbågsugnar	17
Styrande faktorer	17
Tillverkad stålsort	18
Skrot	18
Flussmedel	18
Ugnsatmosfär	18
Ugnstryck	19
Efterförbränning i rökaskanalerna	20
Temperatur	20
Körning av ugnen	20
NO _x bildande processteg	20
Processintegrerade lösningar	22
Valsverksugnar	22
Låg NO _x brännare	22
Oxy-fuel teknik	23
Regenerativa brännare	24

Reningsteknik	25
Selektiv katalytisk Avgasrening (SCR)	25
Selektiv icke katalytisk avgasrening (SNCR)	26
Åtgärder och investeringar	26
Fundia	26
Ljusbågsugn	26
Valsverksugnar	26
Ovako Steel	27
Ljusbågsugn	27
Valsverksugnar	27
AvestaPolarit	28
Ljusbågsugn	28
Valsverksugnar	29
Sandvik Steel	30
Valsverksugnar	30
SSAB Tunnpått, Borlänge	30
Valsverksugnar	30
Framtida strategier	34
Slutsatser	36
Bilagor	37
Bilaga 1: Sofia protokollets tekniska bilaga för stationära källor	37
Bilaga 2: Förordning om miljö kvalitetsnormer;	45
Bilaga 3: Utdrag ur; Rådets direktiv om gränsvärden för svaveldioxid, kvävedioxid, partiklar och bly i luften.	46
Bilaga 4: Resultatet av kväveoxidavgiften mellan åren 1992 och 1999.	47
Bilaga 5: Jämförelse mellan de olika NO _x reduktionsmetoderna för ugnar.	48
Bilaga 6: Utdrag ur sammanfattningen; BREF -dokumentet för vidarebehandling av stål	49
Bilaga 7: Praktiska problem som kan uppstå vid SCR- och SNCR- rening	50
Bilaga 8: Förkortningar och dess betydelse	52
Bilaga 9: Länkar	53
Referenser	54

Inledning

Följande arbete har genomförts med avsikt att samla aktuell information som berör stålindustrin och dess utsläpp av kväveoxider (NO_x ²) från ljusbågs- och valsverkugnar. Rapporten syftar till att ge en överblick över politiska, juridiska och tekniska förutsättningar för att minska stålindustrins kväveutsläpp. Den redogör också för svenska stålföretags åtgärder och investeringar relaterade till NO_x -bildning vid förbränningsprocesser i valsverksugnar och ljusbågsugnar.

I samband med denna kartläggning har besök och diskussioner genomförts hos fem stålproducerande företag. Dessa är: Ovako Steel, AvestaPolarit³, Fundia Special Bar, Sandvik Steel samt SSAB Tunnpålat i Borlänge. Arbetet har även resulterat i kontakt med KTH, AB Combustion & Incineration (ABC&I) och AGA Gas AB.

Internationella konventioner och lagstiftning

NO_x är ett samlingsnamn för en grupp av luftföroreningar där främst kväveoxid (NO) och kvävedioxid (NO_2) ingår. Ibland inkluderas även lustgas (N_2O). NO_x uppstår vid all typ av förbränning och kan resultera i en rad negativa miljö- och hälsoeffekter.

För att minimera utsläppen och dess negativa konsekvenser har under de senaste årtiondena en rad internationella konventioner tillkommit. Dessa konventioner har i sin tur påverkat svensk lagstiftning och miljöpolitik. I följande avsnitt ges en sammanfattning av internationella konventioner, lagstiftning och ekonomiska styrmedel vilka påverkar stålverkens myndighetskrav inom området.

FN

Inom ramen för FN har två internationella konventioner tillkommit, luftvårdskonventionen och klimatkonventionen vilka berör NO och NO_2 respektive N_2O .

Luftvårdskonventionen

Konventionen om långväga gränsöverskridande luftföroreningar¹ (CLRTAP) undertecknades i Genève 1979 och trädde i kraft 1983. Konventionen är allmänt formulerad och anger att

"Parterna skall bemöda sig om att begränsa och så långt möjligt gradvis minska och förhindra luftförorening".

För att uppnå detta ska parterna använda resurssnåla tekniska lösningar som är de bästa ekonomiskt tillämpbara. Ett program för övervakning och utvärdering av gränsöverskridande luftföroreningar i Europa instiftades också. (Cooperative programme for the monitoring and evaluation of the long-range transmission of air pollutants in Europe, EMEP). Programmet har tre huvudsakliga syften;

1. Samla in utsläppsdata för SO_2 , NO_x , VOCs och andra luftföroreningar.
2. Mäta kvalitén på luft och nederbörd.
3. Modellering av atmosfärisk spridning.

² Om inget annat anges är NO_x uttryckt som NO_2 .

³ Under tiden som projektet fortlöpte bytte företaget namn. Genomgående i rapporten används det nya företagsnamnet AvestaPolarit AB istället för Avesta Sheffield AB.

Konventionen har sedan utökats med ytterligare åtta protokoll. NO_x berörs i tre av dessa protokoll:

- 1984 års protokoll för långsiktig finansiering av samarbetsprogrammet för övervakning och utvärdering av de långväga luftföroreningarna i Europa EMEP, Genève.
- 1988 års protokoll angående kontroll av kväveoxider och deras transnationella flöden, Sofia.
- 1999 års protokoll angående minskning av försurning, övergödning och marknära ozon, Göteborg.

Genève protokollet

Under mötet i Genève kom man överens om internationell kostnadsfördelning av övervakningsprogrammet, EMEP. Protokollet trädde i laga kraft 1988 och är undertecknat av 34 ECE -länder och EU.

Sofia -protokollet

Protokollet är en överenskommelse om att som ett första steg frysa utsläppsnivåerna av kväveoxider och dess transnationella flöden. Generellt har 1987 valts som referensår. Hittills har 19 av 25 nationer uppnått målet och stabiliserat eller tom reducerat sina utsläpp till under 1987 års nivå. Totalt sett har utsläppen baserat på 1994 års värden minskat med 9%.

Till protokollet hör en teknisk bilaga (bilaga 1.) vilken inkluderar bland annat metoder och tekniker för reduktion av NO_x -utsläpp inom stål- och metallindustrin. Bilagan är avsedd att fungera som vägledning konventionens parter för att identifiera NO_x -kontrollerande möjligheter och tekniker. För stationära källor baseras förslagen på den kunskap och erfarenhet som hade uppnåtts 1992.

Som allmänna råd för att minska utsläppen av NO_x vid förbränning har följande möjligheter identifierats;

- (a) Energirelaterade åtgärder
 - Energibesparing
 - Energikällor
- (b) Tekniska möjligheter
 - Byta/rena bränsle
 - Andra förbränningstekniker
 - Förändring av processer och förbränningsmetoder
 - Avgasrening

Göteborgsprotokollet

Göteborgsprotokollet vill gemensamt angripa de miljökonsekvenser som uppstår genom utsläpp av fyra förorenande ämnen: svavel, NO_x, VOC och ammoniak. Protokollet har ännu inte implementerats. Målet för kväveoxider är Europas utsläpp då ska ha reducerats med 41 procent jämfört med 1990 års nivå.

Klimatkonventionen

Lustgas (N₂O) räknas som en av de sex växthusgaser som bidrar till växthuseffekten. Utsläpp av NO_x berörs därför av Klimatkonventionenⁱⁱ vilken undertecknades i anslutning till FN: s Rio-konferens om miljö och utveckling 1992. Konventionen syftar huvudsakligen till att stabilisera utsläppen av växthusgaser till en nivå där halterna av växthusgaser inte medför en farlig påverkan på klimatsystemet.

Mål för vilka utsläppsreduceringar som ska uppnås under perioden 2008-2012 sattes upp på konventionens tredje möte i Kyoto, Japan, i december 1997. Baserat på 1990 års nivå åtog

sig Sverige liksom övriga EU länder att reducera utsläppen av växthusgaser med 8 procent, USA med 7 procent och Japan 6 procent.

Tanken är att EU ska bilda en gemensam ”utsläppsbubbla” där EU-länderna kan omfördela åtagandena mellan sig. I protokollet anges att en del av ländernas åtaganden kan klaras genom åtgärder i andra länder genom bl.a. utsläppshandel. Metoder för användning och eventuella begränsningar för hur det ska gå till orsakade omfattande diskussioner. Inget beslut är ännu fattats i frågan. Beslut togs inte heller under mötet som hölls i Haag i november 2000

Mötet är ajournerat tills vidare.

Regionala konventioner

Det marina området runt Sverige och Skandinavien är känsligt och utsatt för hård miljöbelastning. Detta har lett till regionala konventioner såsom Helsingfors- och Oslo-Paris konventionen vilka har tillkommit för att skydda och vidta åtgärder i Östersjön respektive Nordostatlanten. Ursprungligen ingick endast de länder vilka direkt gränsade till havsområdena men konventionerna har omarbetats och inkluderar nu även EU.

Helsingforskonventionen

Helsingforskonventionenⁱⁱⁱ berör alla former av havsföroreningar i Östersjöområdet. Ett av målen är att komma till rätta med miljöproblem som försurning, övergödning och fotokemiska oxidanter. Konventionen tillkom ursprungligen 1974. En ny omarbetad konvention antogs 1992. Den är ratificerad och trädde i kraft den 17 januari 2000. För närvarande ingår förutom EU även övriga länder kring Östersjön som Estland, Lettland, Litauen, Polen, Ryssland. Konventionen ger ländernas regeringar i uppdrag att se till att åtgärda identifierade stationära utsläppskällor. Åtgärder ska ske genom att tillämpa principerna bästa tillgängliga teknik (BAT) och att förorenaren betalar (PPP).

Oslo-Pariskonventionen

Oslo-Paris konventionen (OSPAR)^{iv} har tillkommit för att skydda miljön i Nordostatlanten,. Konventionen tillkom 1992 och ersatte därmed de två tidigare Oslo- och Pariskonventionerna mot dumpning i havet respektive landbaserade föroreningskällor.

Under senare år har betydande insatser gjorts för att branschvis utarbeta åtgärdsprogram för punktkällor och diffusa utsläpp samt förbättra och utveckla övervakningen av den marina miljön. Förutom det politiska arbetet inbjuds även industrin och internationella organisationer att delta. Rekommendationer för att bedöma BAT och Best Environmental Practice (BEP) har utarbetats och ska granskas minst vart tionde år.

Ett övergripande mål är att bli av med övergödning inom området och för att sedan upprätthålla en frisk miljö där detta inte förekommer. Bland de strategier som har satts upp ska följande principer vara vägledande:

- Försiktighetsprincipen
- Förebyggande åtgärder ska vidtas
- Miljörelaterad skada ska avhjälpas vid källan
- Förorenaren betalar (PPP)

Ett övervakningsprogram har även inrättats för att ha uppsikt över förorenande ämnen i området, Comprehensive Atmospheric Monitoring Programme (CAMP). Rekommendationer för att bedöma BAT och Best Environmental Practice (BEP) har utarbetats och ska granskas minst vart tionde år.

EU

Miljö är ett av de områden inom EU där medlemsländerna överlåtit delar av sin nationella suveränitet till EU:s institutioner. Den gemensamma miljöpolitiken har skärpts i olika steg sedan EU:s rätt att formellt föra gemensam miljöpolitik skrevs in i EG-fördraget genom den Europeiska enhetsakten. Den senaste översikten av EU:s miljösamarbete skedde genom Amsterdamfördraget. Då fastslogs även att principen om hållbar utveckling blir ett av de grundläggande målen för EU:s verksamhet. Man följer då den princip som utvecklades under FN:s miljökonferens i Rio de Janeiro 1992.

EU har hittills antagit mer än 250 rättsakter med miljöanknytning. Dessa utgörs i huvuddrag av förordningar och direktiv. Förordningar gäller direkt som de är skrivna i samtliga medlemsländer medan EU-direktiven anger mål som ska uppnås genom nationell lagstiftning.

1990 bildades European Environmental Agency (EEA) vilka bl.a. genomfört studier om hur effektiva olika miljöavgifter har varit, om målen har uppnåtts till rimliga kostnader. Som exempel på särskilt lyckade miljöavgifter nämns avgifterna på svaveldioxid och kväveoxider i Sverige.

IPPC direktivet

För att minimera föroreningar från industriella punktkällor tillkom 1996 det s.k. IPPC-direktivet IPPC står för Integrated Pollution Prevention and Control. I direktivet fastslås att produktionstillstånd för flertalet industriella aktiviteter inom EU ska vara baserade på bästa tillgängliga teknik, BAT. Från det att direktivet skrevs 1996 hade medlemsländerna tre år på sig införliva direktivet i nationell lagstiftning. I början av år 2000 hade endast ett fåtal länder helt eller delvis införlivat direktivet i den nationella lagstiftningen. Målet är att direktivet ska gälla alla existerande produktionsenheter inom ett 30-tal industrisektorer. Tillstånden ska ges av det egna landets myndigheter. Det ska vara vad man kallar ett integrerat tillstånd. Med detta menas att tillståndet måste betrakta verkets totala miljömässiga prestation^v. För att få en decentraliserad arbetsmetod där utrymme även ges för de fall då de lagstiftade gränsvärdena uppnås ska vid beslut myndigheterna även beakta;

- Installationens tekniska karaktär
- Dess geografiska läge
- De lokala miljöförhållandena

Sedan oktober 1999 ska direktivet gälla på alla nya installationer samt industrier med pågående produktion där omfattande förändringar av produktionen genomförs.

För att industrin ska kunna införa och anpassa sig till de nya och strängare BAT reglerna på alla existerande produktionsenheter har 11 års övergångsperiod införts. På detta sätt vill man försäkra sig om att inte äventyra antalet arbetstillfällen inom unionen.

I direktivet definieras termen BAT^{vi} som

”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 utsläppsgränsvärden och som har till syfte att hindra och, när detta inte är möjligt generellt minska utsläpp och påverkan på miljön som helhet”.

Via Europeiska IPPC-byrån anordnar Europeiska kommissionen ett informationsutbyte mellan experter från EU-länderna, näringslivet och miljörörelsen. Arbetet är uppdelat efter de

trettiotal sektorer i linje med direktivets bilaga I. För varje sektor tar det ungefär två år att slutföra arbetet och utarbeta en så kallad BREF (*BAT-referensdokument*). Alla BREF:ar kommer att vara klara senast i slutet av 2004. Dokumenten för stålindustrin är redan färdiga och går att ladda ner från IPPC-byråns webbplats för BREF:ar. Innehållet i dessa dokument som berör utsläpp av kväveoxider beskrivs mer detaljerat i avsnittet BREF samt under de olika tekniska beskrivningarna

Direktiv om gränsvärden för luftutsläpp

1999 kom ett EU-direktiv om gränsvärden för svaveldioxid, kvävedioxid och kväveoxider, partiklar och bly i luften^{vii}. Medlemsstaterna är skyldiga att vidta åtgärder för att säkerställa att koncentrationerna i luften av kväveoxider inte överstiger angivna gränsvärden för omgivningsluft. Gällande gränsvärdena för omgivningsluft i Sverige finns i förordning (2001:527) om miljö kvalitetsnormer för utomhusluft.

Svensk miljöpolitik

I regeringförklaringarna de fyra senaste åren har regeringen uttalat att

”Sverige skall vara ett föregångsland i en regional och global strävan mot en ekologiskt hållbar utveckling där arbetet med att ställa om Sverige till ekologisk hållbarhet skall fortsätta och påskyndas.”

I april 1999 antog riksdagen 15 nationella miljö kvalitetsmål. Målen anger det miljö tillstånd som skall uppnås inom ett generationsperspektiv. Att reducera utsläppen av kväveoxider är en förutsättning för att flera av miljömålen ska kunna uppnås och kan relateras till elva av de femton miljö kvalitetsmålen. Främst berörs miljömålen enligt tabell 1-1.

Miljö kvalitetsmål	Relaterad effekt av kväveoxidutsläpp
<i>Frisk luft</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Nivåer omgivningsluft för allergi överkänslighet</i> • <i>Marknära ozon</i> • <i>Övergödning</i>
<i>Ingen övergödning</i>	
<i>Bara naturlig försurning</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Försurning</i> • <i>Skadar kulturföremål och byggnader</i> • <i>Hälsoeffekter</i>
<i>God bebyggd miljö</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Hälsa,</i> • <i>Marknära ozon</i> • <i>Klimatpåverkan (N₂O)</i>
<i>Begränsad klimatpåverkan</i>	

Tabell 0-1 Miljö kvalitetsmål och relaterade effekter av NO_x -utsläpp

Miljö målsutredning

Riksdagen har tillsatt en miljö målskommitté för att ytterligare precisera miljö målen. Avsikten har varit att säkerställa att miljö kvalitetsmålen ska kunna uppnås inom en generation. Nedan följer en sammanfattning av de förslag till preciseringar för delmål, etappmål, strategier och styrmedel vilka involverar utsläpp av kväveoxider^{viii}.

Delmål

Delmålen ska vara vägledande för såväl centrala politiska beslut om lagar och styrmedel som beslut i kommuner, regioner, företag och organisationer. Även här är meningen är att miljömålsarbetet skall vara en pågående process och återkommande revideras.

Kommitténs har föreslagit två preciseringarna av miljömålet frisk luft där förslaget är att det ändras till:

- Halterna av luftföroreningar överskrider inte lågrisknivåer för cancer eller riktvärden för skydd mot sjukdomar i luftvägarna eller påverkan på växter, material och kulturvärden. Riktvärdena ska sättas med hänsyn till överkänslighet och allergi.

Det nya förslaget inkluderar ett förslag till nya normer för halten kväveoxider i omgivningsluft se tabell 1-2

Förorening	Halt som inte bör överskridas [mikrogram/m ³]	Medelvärdestid
Kvävedioxid	100	Timme
	20	År

Tabell 0-2 Miljökommitténs förslag till nya luftkvalitetsnormer.

Etappmål

För att kunna uppnå miljökvalitetsmålen har konkreta etappmål utarbetats som ska ha uppnåtts senast 2010 och är som följer:

- Halterna (angivna i tabell 1-2 ovan) för svaveldioxid och kvävedioxid är i huvudsak uppnådda i samtliga kommuner redan år 2005 respektive år 2010.
- Före år 2010 är trenden mot ökad försurning bruten i områden som försurats av människan och en återhämtning har påbörjats.
- År 2010 har utsläppen i Sverige av kväveoxider till luft minskat med minst 55 procent från 1995 års nivå till 155 000 ton.

Strategier

Man fastslår att det är mycket viktigt att Sverige håller en fortsatt hög profil vad det gäller forskning inom försurnings- och luftkvalitetsområdet. För att begränsa utsläppen av försurande ämnen behövs en sektorsövergripande svensk strategi för det fortsatta internationella arbetet. En sådan strategi bör integrera hälso-, miljö- och klimataspekterna. Kravet på utsläppsreduktioner i förslaget går längre än vad som överenskommit inom ramen för luftkonventionen. Motiveringen för att ytterligare minska utsläppen med fem procent jämfört med luftkonventionen är att positiva effekter nås på flera av miljömålen. Ett nytt förslag på gränsvärden för omgivningsluft ingår också i utredningen, se bilaga 2

Ekonomiska styrmedel

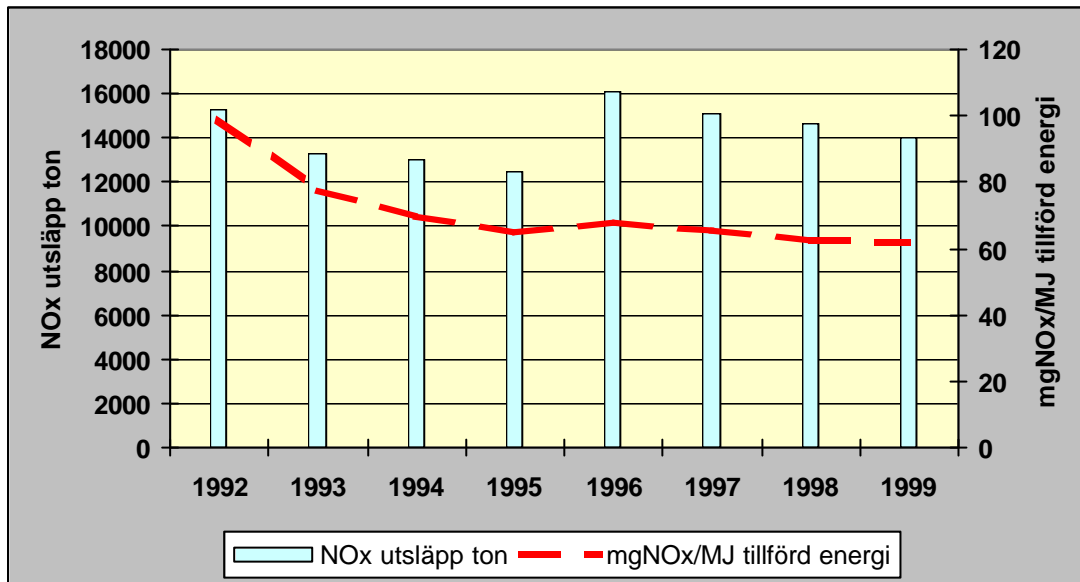
Det poängteras i förslaget att användningen av ekonomiska styrmedel är en viktig del för att nå ekologisk hållbar utveckling. Viktiga aspekter då styrmedlen utformas anses vara att stimulera till teknisk utveckling, effektivisering och snabba på utbytet av gammal teknik. Det lyckosamma resultatet av kväveoxidavgiften gör att man bör se över vilka nya branscher som skulle kunna omfattas av avgiften.

NOx avgift

1992 infördes en lagstadgad kväveoxidavgift på 40 kr per kilo NO_x för utsläpp hos energiproducerande företag. Kväveoxidavgiften syftar till att åstadkomma en snabbare

minskning av utsläppen än vad som är möjligt enbart genom miljöskyddsprövning. Motivet för att minska kväveoxidutsläppen var främst att motverka försurning.

Avgiften, som är ett ekonomiskt styrmedel, ska vara en drivkraft för att uppnå en kostnadseffektiv reduktion av utsläppen. Sedan det blev känt att kväveoxidavgiften skulle införas har utsläppen från de avgiftsskyldiga anläggningarna minskat kraftigt^{ix}. Räknat från slutet av 1980-talet, dvs. innan avgiften infördes, har utsläppen minskat med ca 50%. Se figur 1-1.



Figur 0-1 Inverkan av NO_x avgiften mellan åren 1992 och 1999

Det goda resultatet för utsläppsminskningen beror på kombinationen av införandet av NO_x - avgiften och krav ställda i samband med koncessionsansökningar. Den nuvarande gränsen för avgiftsskyldighet 25 GWh/år. Resultaten från tidigare år och resultatet för 1999 sammanfattas i bilaga 3.

Avgiftsgräns för investering

NO_x -avgiftens gynnsamma utveckling för energiproducenter har resulterat i önskemål att införa liknande system på andra områden. Eftersom andra verksamheter än kraft- och värmeproduktion svårigen införlivats i avgiftssystemet har Naturvårdverket infört en generell rekommendation på en avgiftsgräns för investeringar. Kravet ställs i samband med förhandlingar om produktionsstillstånd och innebär att en investering som minskar utsläppen av kväveoxider ska genomföras om kostnaden för investeringen högst uppgår till 40 kr/kg avskilt NO_x. Någon uppföljning av effekten av avgiftsgränsen finns ännu inte tillgänglig.

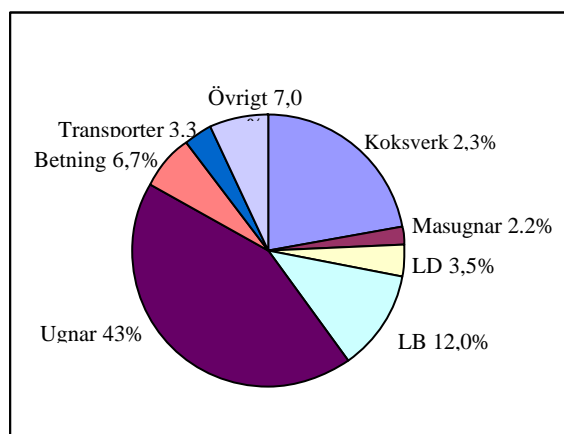
Kväveoxider i omgivningsluft

De gränsvärden uppsatta för omgivningsluft är främst avsedda för att skydda människors hälsa och växter. Avsikten är inte att dessa gränsvärden ska vara ett styrmedel för industriell produktion, men de kan ändå få den effekten. Gränsvärdena för omgivningsluften kan även påverka förutsättningarna för produktionen. AvestaPolarit fick vid en koncessionsansökan 1996 kravet att genomföra en utredning om produktionsökningens effekt på omgivningsluft i närliggande tätort. I samarbete med SMHI genomfördes en spridningsberäkning av kväveoxider. Baserat på dåvarande kända utsläppsnivåer från samtliga punktkällor inom verksamhetsområdet beräknades spridningen av utsläppen vid önskad utökad produktion. Resultatet av beräkningarna tangerade gällande gränsvärden för luftkvalité. Företaget blev därför tvunget att vidta NO_x- reducerande åtgärder för att få tillstånd om utökad produktion.

Myndighetskrav

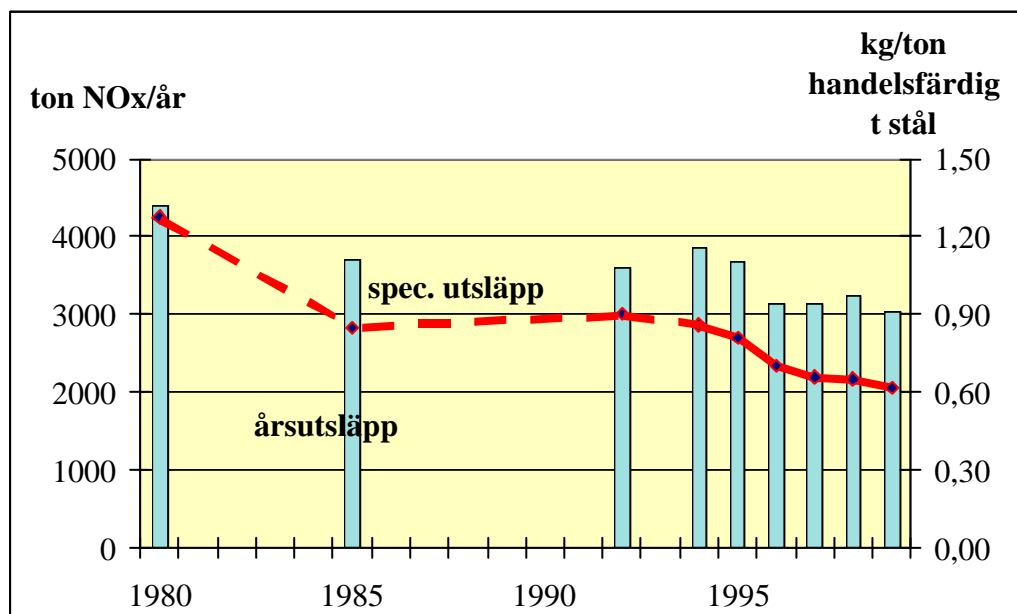
Naturvårdsverket ansvarar för tillsynsvägledning och ger rekommendationer för vilka utsläppsnivåer som skall gälla i samband med omprövningar av produktionstillstånd

Kravet att minska utsläppen av kväveoxider har pågått sedan Sveriges riksdag satte upp målet att mellan åren 1980 och 1995 skulle utsläppen minska med 30 procent. Målet uppfylldes dock inte förrän 1997. Från svensk stålindustri var det totala utsläppen av kväveoxider 1999 3037 ton (totalutsläpp i Sverige var 263 000 ton NO_x). Utsläppen från de olika processtegen är fördelade enligt figur 2-1.



Figur 0-1 Utsläppskällor av NO_x inom svensk stålindustri, Källa: Jernkontoret 1998

Sedan 1980 då beslutet togs att minska NO_x -utsläppen har det specifika utsläppet (kgNO_x/ton handelsfärdigt stål) ungefär halverats. Se figur 2-2.



Figur 0-2 Utsläpp av kväveoxider från svensk stålindustri mellan 1980 och 1999. Källa: Jernkontoret 2000

Varje företags villkor sätts genom enskilda förhandlingar vilket medför att deras gränsvärden är olika. Nedan följer en sammanställning av myndighetskraven för ljusbågsugnar och valsverksugnar för de företag som ingår i studien.

Ljusbågsugnar

Hittills förekommer inga gränsvärden enbart för ljusbågsugnen. En sammanställning över myndighetskrav kan ses i tabell 2-1. För närvarande pågår utredningar för att reducera utsläppsnivån hos AvestaPolarit samt Sandvik Steel.

Myndighetskrav ljusbågsugnar	
AvestaPolarit AB	Inget specifikt krav för ljusbågsugnen eller stålverket. Frågan är under utredning. Som riktvärde och årsmedelvärde får under prövotiden det samlade utsläppet från Södra verken inte överstiga 310 ton /år.
Fundia Special bar	Utsläppet av NO _x från stålverket efter filter (ljusbågsugn och skänkgugn) får som riktvärde och medelvärde för en charge inte överskrida 0,15 kg/ton stål i skänk.
Ovako Steel	Inga restriktioner.
Sandvik Steel	Inga restriktioner men frågan är under utredning.

Tabell 0-1 Myndighetskrav på ljusbågsugnen för de företag som ingår i studien.

Valsverksugnar

Standardkraven på valsverksugnar har hos de flesta stålföretagen sedan början av 1990 talet varit:

- 150 mg NO_x/MJ oljeeldade ugnar.
- 100 mg NO_x/MJ gasformigt bränsle

I de flesta företag gäller fortfarande dessa nivåer, men en rad variationer förekommer. Fastställda utsläppsnivåer för de företag som ingår i studien ser ut enligt följande tabell 2-2.

Företag	Myndighetskrav valsverksugnar NO _x räknat som NO ₂
<i>AvestaPolarit AB</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Avesta: Månadsmedelvärde och riktvärde 100 mg/MJ tillfört bränsle för gasoleldade haspelugnar. • Valsverksugnar ingår i begränsningen enligt punkt 2.1 av det samlade utsläppet från verksamheten. • Degerfors: Provisoriskt riktvärde 150 mg/MJ tillfört bränsle för oljeeldade gropugnar. (tidigare prov. riktvärde = 80 mg/MJ)
<i>Fundia Special bar</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Riktvärde och dygns- medelvärde får inte överskrida 100 mg/MJ tillfört bränsle i mediumvalsverkets gasoleldade ugnar.
<i>Ovako Steel</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Utsläppet får uppgå till 260 mg/MJ (ej ombyggd gropugn) • Riktvärde som inte får överstiga 150 mg/MJ för ombyggd gasoleldad. • 210 mg/MJ gäller provisoriskt för gasoleldade ugn 30.
<i>Sandvik Steel</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Månadsmedelvärde och riktvärde 100 mg/MJ tillfört bränsle för gasoleldade ugnar. • Månadsmedelvärde och riktvärde 150 mg/MJ tillfört bränsle för oljeeldade ugnar.
<i>SSAB Tunnpålat</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Månadsmedelvärde samt riktvärde får inte överstiga 125mg/MJ för den oljeeldade ugnen i bredbandverket. • D:o 105 mg/MJ för den gasoleldade ugnen. • Som årsutsläpp får det sammantagna utsläppet av NO_x från ugnarna i bredbandverket inte överstiga 115 mg/MJ. • Årsmedelvärdet för metalliseringslinje 2 får inte överstiga 100 mg/MJ. • Årsmedelvärdet för kontinuerliga glödgningslinjen får inte överstiga 100 mg/MJ.

Tabell 0-2

Myndighetskrav för valsverksugnar för de företag som ingår i studien.

BAT-referensdokument (BREF)

Dokumenterna har för avsikt att vara ett hjälpmedel för myndigheter att pådriva miljöarbetet och i enskilda fall för att underlätta definitionen av BAT. I dokumentet '[Iron and Steel production](#)' behandlas alla processteg relaterade till både sekundär och primär ståltillverkning fram t o m gjutning.

Vidarbehandling av stål behandlas i dokumentet "ferrous metal processing". Här ingår avsnitt om varm- och kallvalsning, kontinuerlig beläggning, galvanisering samt ett gemensamt avsnitt med tekniska beskrivningar till miljörelaterade åtgärder gemensamma för övriga sektorer. Dokumenterna är omfattande och följer i stort sett en gemensam uppbyggnad där för varje processteg följande delar i allmänhet ingår.

1. Allmän information för avsedd industriell process.
2. Data och information om utsläppsnivåer i nu existerande installationer.
3. Mer detaljerad beskrivning om tekniker vilka anses vara de mest relevanta för att bestämma BAT och ge produktionstillstånd baserade på BAT. Här anges (om informationen finns tillgänglig) för varje teknik;
 - Konsumtions- och emissionsnivåer i befintliga anläggningar
 - Ungefärlig kostnad och sameffekter
 - Utsträckning i vilken tekniken är applicerbar
 - Exempel på installationer
4. Presentation av de tekniker, emission och konsumtionsnivåer som allmänt sett kan betraktas som BAT

Rekommendationer ljusbågsugnar

I BREF dokumentet för ståltillverkning står det mycket lite om NO_x i ljusbågsugnar. Nivåerna anses så låga att inga åtgärder behöver vidtas. Utsläppsnivåerna anges ligga mellan 120-240 g NO_x/ton tillverkat stål^x. Nämnas kan även att förutom sex mätningar från en tysk anläggning kommer samtliga mätdata från svenska stålverk.

Rekommendationer valsverksugnar

Materialet för NO_x och valsverksugnar är betydligt mer omfattande. Utsläpp av kväveoxider anses främst bero på bränslet, brännartyp och brännarnas design^{x1}. En rad metoder föreslås för vilka enbart syftar till att minska utsläppen av NO_x.

Dessa är:

- Låg NO_x -brännare
- Begränsa temperaturen på den förvärmade förbränningsluften
- Flödesgasrecirkulering
- Selektiv katalytisk rening (SCR)
- Selektiv icke katalytisk rening (SNCR)

I bilaga 4 ges ett utdrag ur BREF -dokumentet där man identifierat för och nackdelar med dessa metoder.

En viss uppmärksamhet har också riktats mot tekniker under utveckling. De som anses vara av intresse är;

- FLOX brännare
- Ultra låg NO_x -brännare
- Vatteninjektion

Reningstekniker under utveckling är:

- Shell de-NO_x processen
- Regenerativ aktiv kol processen
- Degaussa H₂O₂ processen

En sammanfattning av vad som i BREF -dokumentet definieras som BAT finns i bilaga 5 Dessa definitioner baseras på de tekniska och ekonomiska analyser vilka redovisas nedan. Eftersom NO_x -bildning och energiförbrukning är kopplat till varandra ingår här fler åtgärder än de som enbart är direkt kopplade till att sänka utsläppen av NO_x.

Övergripande metoder

För att uppnå energieffektiv drift med låga emissioner ges övergripande rekommendationer. Här inräknas parametrar som ugnsgesdesign, drift och underhåll samt val av bränsle.

Ugnsgesdesign

Redan på designstadiet bör man beakta att installera

1. Radiant burners i taket genom att energin leds bort snabbt produceras lägre NO_x halter.
2. Recirkulering av förbränningsgaser till brännarna påverkar nivån på NO_x -emissionen.
3. Minskning av mängden läckluft in i ugnen uppnås genom förbättrad tätning och installation av specialdesignade dörrar.

Drift och underhåll

Även sofistikerad utrustning kan ge dåliga resultat vad det gäller utsläpp och termisk verkningsgrad om processen inte körs riktigt och om installationer inte underhålls återkommande. Goda yrkeskunskaper är därför viktiga.

Turbulens i flammen bör undvikas. Undersökningar har visat markant högre NO_x värden vid temperaturfluktuationer jämfört med en stabil flamma under drift med samma medeltemperatur. Detta kan styras med ett passande kontrollsystem.

Mängden överskottsluft är en viktig faktor för kontroll av NO_x emissioner, energianvändning likväl som för bildning av glödska. Överskottsluften ska minimeras utan att extra CO bildas. Särskild omsorg bör därför vidtas för att undvika läckluft vilket ökar både energianvändningen och mängden bildad NO_x. En masspektrometer är användbar för att hålla luft/gas kvoten på en optimal nivå med varierande eller okänd sammansättning.

Val av bränsle

Olika förbränningsgaser skiljer sig åt gällande mängden bildad NO_x. Som exempel innehåller avgaser från förbränning med koksugns gas 50 till 100 procent mer NO_x än avgaser från eldning med naturgas.

Bränslets sammansättning kan relateras till flammans temperatur. Metan (naturgas) förbränns relativt långsamt jämfört med bränslen med ett högt vätgas innehåll (tex koksugns gas) vilken brinner snabbare med högre NO_x -emission.

Ugnsautomatisering och kontroll

Med hjälp av datorstyrd processtyrning kan uppvärmningsprocessen optimeras i enlighet med krav på materialets kvalitet och dimensioner. Samtidigt kan parametrar som proportionen av förbränningsluft kontrolleras mer noggrant. De huvudsakliga fördelarna är reducerad energianvändning och NO_x bildning vilket sker genom kontroll av ugnstryck och bränsleknot.

Om ugnstrycket är under atmosfärstrycket kommer kall luft att dras in i ugnen genom dörrar och öppningar. Motsatsen gäller för övertryck då varma gaser tränger ut ur ugnen in i lokalen. För att uppnå energieffektivitet, jämn drift och produktkvalité körs ugnarna vanligtvis med ett svagt positivt övertryck.

Kontroll av luft/bränsle kvoten är nödvändig för att styra förbränningens kvalitet då rätt inställd kvot försäkras flammstabilitet och fullständig förbränning.

Tabell 0-2 Resultat och kostnader för investering i ugnsautomation En ekonomisk analys

Ugns automation ²	Reduktion %		Investerings kostnad [M ECU]	
	NO _x	Energi ¹	Nya anläggningar	Existerande anläggningar
	10	10	2.0	2.0

Källa EUROFER HR. Siffrorna är baserade en naturgas eldad ugn utan förvärmning av förbränningsluft med en årlig kapacitet på 1,5 M ton. Investeringskostnaderna kan vara verksspecifika.
¹ Minskad energianvändning resulterar i minskade utsläpp av SO₂, CO och CO₂.
² Med ugnsautomation menas här alla åtgärder som tillåter en snabb anpassning av ugnparametrarna för att förändra produktionen och upprätthåller en noggrann kontroll av excessluften.

av genomförda investeringar för ugnsautomation visas i tabell 3-1.

Tabell 0-1 Resultat och kostnader för investering i ugnsautomation

Låg NO_x -brännare

I begreppet låg NO_x -brännare inkluderas även tekniker som utnyttjar förvärmad förbränningsluft dvs. regenerativa låg NO_x -system Låg NO_x -brännarna har delats upp i första och andra generationens brännare. Första generationen innebär att man utnyttjar interncirkulering av förbränningsgaser. Andra generationens brännare har interncirkulering av förbränningsgaser kombinerats med stegvis förbränning. Tekniken kan utan problem införas på nya ugnar. Vid installation i redan befintliga ugnar kan det krävas mer omfattande ingrepp.

För att installera första generationens låg NO_x -brännare räcker det vanligtvis med att ändra munstycken och brännar geometrin (konstruktionen).

NO_x halten reduceras vid internrecirkulationen men en negativ bieffekt kan vara att energianvändningen ökar. Detta är beroende av brännarnas design.

För andra generationens brännare är installationen mer komplicerat och kräver förändringar av infodringen.

För lågNO_x -brännare är den bildade NO_x nivån svagt beroende av den förvärmade luftens temperatur. Vid industriell tillämpning ger låg NO_x -brännare inte alltid de lägsta NO_x halterna och ibland uppnås inte förväntat resultat. Detta beror på att mängden bildad NO_x påverkas av flera parametrar såsom ugnens design, typ av bränsle, uppvärmningstemperatur, drift och underhåll. Särskilt uppmärksamhet bör därför riktas mot kontroll och ugnens driftförhållande. En särskild omsorg för driftförhållandena och ugnskontroll är därför av stor betydelse.

En ekonomisk analys av genomförda investeringar första och andra generationens låg NO_x -brännare visas i tabell 3-2.

	Reduktion %		Investering kostnad [M ECU]
	NO _x	Energi	Nya anläggningar
Låg NO _x -brännare med interngasrecirkulering (1a generationens)	40	0	0.8
Låg -NO _x brännare med interngasrecirkulering (2a generationen)	65	0	1.2

Källa EUROFER HR. Siffrorna är baserade en naturgas eldad ugn utan förvärmning av förbränningsluft med en årlig kapacitet på 1,5 M ton. Investeringkostnaderna kan vara verksspecifika.
1 Minsk ad energianvändning resulterar i minskade utsläpp av SO₂, CO och CO₂.

Tabell 0-3 Resultat och kostnader för investering i 1: a och 2: a generationens låg NO_x -brännare.

Oxy-fuel teknik

Tekniken ingick inte i de första upplagorna av BREF dokumenten och uppgifterna är ännu mycket begränsade. T.ex. saknas den tekniska beskrivning som finns för övriga förbränningstekniker. Tekniken bidrar till bränslebesparingar men kan ge upphov till högre NO_x -koncentrationer om luft tränger in i ugnsummet. Den totala mängden bildad NO_x är lägre. Tekniken kräver låga investeringskostnader. Om ingen produktionsökning är kopplad till investeringen innebär den höga driftkostnader. Drivkrafter för investering är ökad produktivitet, bränslebesparingar och totalt lägre NO_x -emissioner.

Regenerativa brännarsystem

Dessa brännarsystem resulterar i lägre energiförbrukning och sänkt total volym av flödesgaser. Tekniken kan tillämpas på nya anläggningar samt existerande anläggningar förutsatt att extra utrymme finns tillgängligt. Den minskade energianvändningen resulterar även i mindre utsläpp av SO₂ och CO₂. Höga NO_x -halter kan förekomma (typiskt värde 350 mg/Nm³). Om man däremot tar hänsyn till systemets lägre energianvändning och minskade volymer av förbränningsgaser är den specifika NO_x -emissionen (baserat på g NO_x per ton producerat stål) på samma nivå som andra förbränningssystem.

En ekonomisk analys av genomförda investeringar i regenerativa system visas i tabell 3-3.

Regenerativa system	Reduktion %		Investering kostnad [M ECU]	
	NO _x	Energi ¹	Nya anläggningar	Existerande anläggningar
	50	40	4.0	4.5

Källa EUROFER HR. Siffrorna är baserade en naturgas eldad ugn utan förvärmning av förbränningsluft med en årlig kapacitet på 1,5 M ton. Investeringskostnaderna kan vara verksspecifika.
¹ Minskad energianvändning resulterar i minskade utsläpp av SO₂, CO och CO₂.

Tabell 0-4 Resultat och kostnader för investering i regenerativa system.

Rekuperatorer och rekuperativa brännare

Tekniken leder till sänkt energianvändning. Den appliceras bäst på nya anläggningar och redan befintliga anläggningar i samband med omfattande förbättringar eller reparationer. En ekonomisk analys av genomförda investeringar i rekuperatorer och rekuperativa brännare visas i tabell 3-4.

Rekuperatorer med låg-NO _x (Andra generationens)	Reduktion %		Investering kostnad [M ECU]	
	NO _x	Energi ¹	Nya anläggningar	Existerande anläggningar
	50	25	1.0	2.2
Rekuperativa brännare	30	25	4.5	5.0

Källa EUROFER HR. Siffrorna är baserade en naturgas eldad ugn utan förvärmning av förbränningsluft med en årlig kapacitet på 1,5 M ton. Investeringskostnaderna kan vara verksspecifika.
¹ Minskad energianvändning resulterar i minskade utsläpp av SO₂, CO och CO₂.

Tabell 0-5 Resultat och kostnader för investering i rekuperatorer och rekuperativa brännare.

Extern flödesgasrecirkulering (FGR)

Metoden syftar till att reducera NO_x -emissionerna. Metoden kan tillämpas på både nya och redan befintliga anläggningar. För anpassning av en gammal ugn kan det i praktiken uppstå problem med tillgänglighet och rörinstallationer. Problem kan även uppstå då bränslets sammansättning och därmed avgasernas sammansättning varierar. Tekniken kan medföra ökad bränslekonsumention.

Selektiv katalytisk rening (SCR)

Som en sekundär åtgärd för att sänka NO_x -emissionerna kan selektiv katalytisk rening tillämpas. Tekniken kan appliceras både på nya och existerande anläggningar. En rad negativa bieffekter som kan uppstå i samband med att tekniken tillämpas är t.ex. ökad energikonsumtion samt ammoniakläckage. Ett utdrag ur dokumentet vilket pekar på de praktiska problem som kan uppstå då SCR appliceras på värmning- och värmebehandlingsugnar visas i bilaga 6.

Selektiv icke katalytisk rening (SNCR)

Ett alternativ till SCR-tekniken är den icke katalytiska avgasreningen. Tvivel har även uttryckts för SNCR -teknikens lämplighet för värmningsugnar pga. de stora variationerna av processförhållanden (avgastemperaturen, volymflödet etc). För mer detaljerad information se bilaga 7. Som exempel på installation anges här installationen i AvestaPolarits valsverksugn i Avesta. Denna installation beskrivs närmare under rubriken "Åtgärder och investeringar".

Bildningsmekanismer

Vid förbränning kan kväveoxider bildas på principiellt tre sätt nämligen via bränslet, termisk eller genom så kallat prompt NO. Delar av bildad NO ombildas sedan till NO₂ och en liten mängd N₂O. Reaktionerna sker i flammans eller när förbränningsprodukterna lämnar ugnen.

Kvävekälla	Reaktionszon	Reaktionsmekanismer	Resultterande NO
Luftens kväve	Ugnsgaser	$\left\{ \begin{array}{l} \text{N} + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{NO} + \text{O} \\ \text{O} + \text{N}_2 \rightleftharpoons \text{NO} + \text{N} \\ \text{N} + \text{OH} \rightleftharpoons \text{NO} + \text{H} \end{array} \right.$	→ Termisk NO
Bränslets kväve	Flamfront	allm. $\text{CN} + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{NO} + \text{CX}$	→ Bränslets NO
		$\left\{ \begin{array}{l} \text{CN} + \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{HCN} + \text{H} \\ \text{CN} + \text{N}_2 \rightleftharpoons \text{HCN} + \text{N} \\ \text{CN} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCN} + \text{OH} \end{array} \right.$	→ Prompt NO

Figur 4-1 ger en överblick av händelseförloppet då kväveoxider uppstår vid förbränning. Samma principer gäller även för ljusbågsugnar.

Figur 0-1 Bakomliggande bildningsmekanismer för NO_x⁴

De olika bildningsmekanismerna som orsakar NO samverkar och kan ofta inte tydligt särskiljas. I följande avsnitt beskrivs de olika mekanismerna mer i detalj.

Termisk NO

Den termiska bildningsmekanismen av NO, även kallad Zeldovich -mekanismen, syftar på de reaktioner mellan kväve och syre som sker vid höga temperaturer. Den hastighetsbestämmande reaktionen är:



Samtliga reaktioner är i praktiken mycket beroende av driftstemperaturen, lokala stökiometrin och uppehållstiden. Termisk NO dominerar vid temperaturer över 1300°C och över 1500 °C ökar bildandet av NO exponentiellt^{xii}. För att bilda stora mängder NO_x då den lokala stökiometrin har luftöverskott i förbränningsgaserna krävs det mycket korta uppehållstider t.ex.

- >1600 °C krävs några sekunder
- >2000 °C endast någon millisekund.

Stora mängder NO kan alltså bildas vid höga temperaturer. Återbildningen är undertryckt då reaktionen är långsam vid normal temperatur.

⁴ CX i den allmänt skrivna formeln för bildandet av bränslets NO anger att olika typer av kolföreningar kan uppstå. Ekvationerna skrivna för prompt NO anger de mellanprodukter vilka sedan reagerar vidare.

Bränslets NO

Denna mekanism för bildandet av NO orsakas av oxidation av kväveföreningar bundet i fossila bränslen vilka i flamfronten spaltats upp till lättflyktiga organiska föreningar. Bildningshastigheten av bränslebundna kväveoxider är betydligt högre än den för bildning ur luftkväve. Bränslets NO är starkt beroende av bränsle/luft –blandningen. Stor betydelse för mängden bildad NO är lokala syrgaskoncentrationer. Flammans temperatur är däremot av mindre betydelse. I allmänhet gäller att en förändring som ökar bränsle/luft blandningen kommer öka mängden NO. Anledningen är att mer av de lättflyktiga kväveföreningarna görs tillgängliga för att reagera. Ökad kvävehalt i bränslet ökar NO-bildningen men bara upp till en viss nivå. Den största ökningen fås i intervallet 0.5 – 1.5 %.

Prompt NO

Prompt NO bildas genom att luftkväve reagerar med kolväteradikaler som kan härröra från bränslet (eller för LB även från oljehaltigt skrot). Mellanprodukter liknande reaktionerna för bränslets NO uppstår. Dessa oxideras sedan till NO av syreatomer eller syrehaltiga radikaler. Mekanismen uppstår främst i flamregionen och är en funktion av flammans temperatur och stökiometri. Bevis finns för att NO_x kan bildas under bränslerika och lågtempererade förhållanden med en kort uppehållstid.

Ljusbågsugnar

Det finns relativt få studier genomförda gällande NO_x i ljusbågsugn. Endast i Sverige och USA har frågan uppmärksammats genom strängare myndighetskrav på tillåtna utsläpp. Idag finns det kunskapsbrister om sambandet mellan NO_x -bildning och dess processparametrar vilket gör det svårt för företagen att vidta lyckade åtgärder och bemöta myndighetskraven^{xiii}. I Sverige har under det senaste årtiondet en rad mätningar genomförts. Förutom en undersökning utförd åt Jernkontorets miljøråd har mätningarna genomförts efter utredningskrav från myndigheter. Undersökningarna skiljer sig åt både vad det gäller syfte och resultat. Statistisk säkerhet har inte alltid kunnat fastställas vilket medför en osäkerhet hos många av mätresultaten. Vidare arbete krävs således för att ge en tydligare bild av faktorer som styr NO_x-bildningen och hur de samverkar.

Styrande faktorer

Ur tillgängliga undersökningar har en rad faktorer identifierats vilka inverkar på NO_x - bildningen.(Någon värdering av faktorerna förekommer inte.) Dessa faktorer är:

- Tillverkad stålsort
- Skrot
- Flussmedel
- Ugnsatmosfär
- Ugnstryck
- Efterförbränning i rökgaskanalerna
- Temperatur
- Körning av ugnen

Tillverkad stålsort

Sandvik Steel har i tre undersökningar bl.a. försökt ta reda på vilken effekt tillverkad stålsort har på NO_x -bildningen. En av undersökningarna^{xiv} kunde man med statistisk säkerhet fastställa att rostfritt stål ger högre NO_x -emissioner än kolstål och kromstål. Tabellen nedan visar uppmätt NO_x för de olika stålsorterna. (I undersökningen analyserades även effekten av olika spjälläge vilket framgår av tabellen).

Stålsort	Spjälläge %	NO _x -emission Kg/ton
Rostfritt	60	0,44
Rostfritt	100	0,64
Kolstål	60	0,29
Kromstål	100	0.32

Under smältperioderna (dvs. smältning av samtliga korgar fram till effektnedgång) tillkom vid

Tabell 0-1 Effekten på NO_x emissionen vid tillverkning av olika stålsorter på Sandvik steel

tillverkning av rostfritt stål och kromstål 50 procent av den totala emissionen. För kolstål var motsvarande värde 75 procent. Däremot fann man i den senast utförda undersökningen^{xv} på Sandvik inga markanta skillnader mellan rostfria- och kolstålchargers. I den tredje undersökningen var spridningen i de enskilda rostfria chargernas totala NO_x -emission så stor^{xvi} att några slutsatser inte kunde dras gällande stålsortens inverkan på utsläppen av NO_x.

Skrot

Grovleken på skrotet påverkar NO_x bildningen. Hos Kloster Speedsteel AB i Söderfors fann man att mängden bildad NO_x var högre hos charger med grovt fragmenterat skrot^{xvii}. Anledningen är troligen att smälttiden förkortas vid smältning av finfördelat skrot vilket medför att perioden som ljusbågen är i kontakt med luft minskar. När stålet väl är smält kommer luften inte i kontakt med ljusbågen och mycket små mängder kväveoxider bildas. Mätningar hos Fundia Spedsteel AB^{xviii} i Smedjebacken⁵ bekräftar speedsteels mätningar. Förutom skrotets fragmentering inverkar även skrotets renhet på NO_x -bildningen. I Sandviks senaste undersökning¹⁵ fann man att plast och lack på skrotet inledningsvis hämmade bildandet av NO_x. Detta beror på att halten kolmonoxid i ugnen ökar då dessa beläggningar förbränns.

Flussmedel

Vid Kloster Speedsteel tappas slaggen då allt skrot är smält (tvåslaggsförfarande) för att sedan tillsätta flussmedel⁶ och bilda en ny slagg. En markant NO_x -topp uppstod vid tillsatsen av flussmedel¹⁷. Förutom direkt inverkan av tillsatt medel antas NO_x -toppen även bero på andra faktorer. (Se avsnittet processteg.)

Ugnsatmosfär

NO_x bildas inte i en reducerande atmosfär. På samma sätt som syre gynnar NO_x -bildningen hämmas den av kolmonoxid. Kol och syre tillsätts processen under olika delar och inverkar

⁵ Företaget hade då namnet Fundia Svenska AB

⁶ Vilken typ av flussmedel eller upplysningar om ytterligare tillsatser ges inte i rapporten.

således på förutsättningarna att upprätthålla en önskad ugnsatmosfär. För att bilda skummande slagg injiceras både kol och syrgas i ugnen. Om ugnen används för färskning injiceras enbart syre. Kol kan också tillsättas för att uppnå en effektivare nedsmältning. Mätresultat från Sandvik visar att NO_x emissionen framför allt påverkas av ugnsatmosfärens reducerande förmåga under perioder med kol/syrgasinblåsning. Under dessa perioder reduceras NO_x -halten i utgående rökgas¹⁶ från maximala 300-500 ppm ned till 10-20 ppm samtidigt som CO -halten når 1500-3000 ppm. Den skummande slaggen i sig själv minskar också NO_x-emissionen då luftens kontakt med ljusbågen därmed minskar.

Koltillsats

I samtliga mätningar där kolinjektion förekommit har NO_x -halten minskat eller varit i stort sätt obefintlig under dessa perioder.

På Sandvik Steel fann man en lägre NO_x -halt vid kolpulverinjicering¹⁴. Detta gällde vid tillverkning av rostfritt stål under den avslutande perioden, då stålet värms och körs på en lägre effekt. Av 25 charger visade mätningarna att under kolpulverdoseringsen var intensiteten på NO_x-bildning 7,2 – 10,6 kgNO_x/h . Värdet kan jämföras med medelvärde för hela chargen på 23–32 kgNO_x/h . Emissionsintensiteten vid kolpulverinjicering var endast 20-25 procent av intensiteten under motsvarande tillverkningsperiod utan koltillsats.-

I AvestaPolarit^{xix} fann man att emissionen i det närmaste var obefintlig under perioder av kolpulverinblåsning.

Syre tillförsel

I studien^{xx} genomförd åt Jernkontorets miljöråd fann man att främst är det tillgången på syre som begränsar NO_x -bildningen. Granskning av chargeprotokollen visade att operationer som tillför syre i överskott ofta medför en ökning. Vid perioder då kol och syrgas samtidigt injiceras bildas NO_x först då CO -bildningen har upphört.

Tillsatt syre bidrar till att järnoxid bildas. Enligt en undersökning av Yokokawa et al^{xxi} katalyseras NO_x -bildningen genom närvaro av järnoxid. Järnoxiden orsakade i genomförda försök en kraftig ökning av NO_x -halten, speciellt i temperaturområdet 700-800 °C.

Ugnstryck

Ett svagt övertryck i ugnen kan medföra att mängden inläckt luft minskar och därmed även mängden bildad NO_x. Ovako har undersökt effekten av ugnstrycket^{xxii}. Slutsatsen drogs att ett förhöjt medelugstryck leder till minskat medelvärde av NO_x. Vidare konstaterades att en eventuell ugnstryckshöjning endast resulterar i att man kommer åt en mindre del av NO_x-produktionen. För Ovako är det andra produktionsfaktorer som främst styr NO_x-bildningen. Det bör även påpekas att övertryck i ugnen ofta resulterar i arbetsmiljöproblem då rökgaser tränger ut ur ugnen. I Smedjebacken¹⁸ genomfördes 1992 en ugnstrycksförhöjning med lyckat resultat. (se avsnitt Investeringar och åtgärder)

Spjälläge

Effekten av spjällägets inställning på mängden bildad NO_x har undersökt vid ett flertal mätningar på olika verk. Spjällets inställning påverkar rökgasflödet ut ur ugnen och därmed även ugnstrycket.

På Avesta fann man att den totala NO_x -emissionen ökar med stigande avsugningskapacitet¹⁹ (se tabell 5-2).

Spjälläge (öppet)	50%	60%	80%	100%
Total NO_x -emission	Kg/ton	Kg/ton	Kg/ton	Kg/ton
Smältning korg 1	3,2	4,3	4,2	15,3
Smältning korg 2	9,7	14,9	15,5	25,2
Kolinjektion	0,3	0,7	0,5	0,3
Raffinering	3,2	6,2	6,0	5,9
Summa	16,4	25,6	26,1	46,7

Tabell 0-2 Förändringen av NOx emissionen med varierande spjälläge hos AvestaPolarit

Vid det lägsta undersökta spjälläget observerades en tydlig förskjutning av emissionen från direktavsug till takavsug. Vid denna inställning anmärkte ugnoperatörerna på ökad inrykning från ugnen och lägre inställningar var inte praktiskt möjligt att undersöka.

Sandvik^{xxiii} har undersökt effekten av 60 och 100 procent öppet spjälläge. Trots mätningarnas osäkerhet drogs slutsatsen att spjällägets inställning har betydelse för NO_x-emissionen under smältning av de två första korgarna. Under dessa perioder var vid spjälläge 60 procent emissionen 4-8 kg NO_x vilket kan jämföras med 19-24 kg NO_x vid helt öppet spjälläge.

I ytterligare en mätning på Sandvik¹⁴ konstaterades att NO_x-emissionen produktion av rostfritt stål är en funktion av spjälläget. Högre avsuingskapacitet ger högre NO_x-emission under samtliga perioder av chargin.

Efterförbränning i rökgaskanalerna

Kväveoxider kan också bildas i ugnens rökgassystem. Hos Ovako Steel²² konstaterades en fördelning mellan NO_x bildad i ugnen och total NO_x ligga mellan 1:2 och 1:3. Total NO_x anger här både det som bildas i själva ugnen och den mängd NO_x som uppkommer direkt i flammen. I flammen förbränns oförbrända gaser och partiklar vilka kommer in med läckluft mellan spalten och fjärde hålet.

Temperatur

Högre temperatur i smältan kan leda till ökade NO_x-halter, särskilt i slutet av en charge. I undersökningen genomförd åt Jernkontorets miljöråd²⁰ fann man att mängden NO_x ökade med ökad temperatur. Samtidigt konstaterades att temperaturens inverkan även beror på andra faktorer som gasflöden och syretillgången. Dessa faktorer är i sin tur beroende av den fria ljusbåglängden och slaggens egenskaper.

Körning av ugnen

Vid undersökning som genomförts parallellt på tre olika verk²⁰ uppstod 70 % av den emitterad NO_x-mängden under de tre första mätningarna vid ett av verken. Under denna period producerades endast 15 % av det producerade stålet under hela mätperioden. Ugnen kördes under dessa charger på ett sätt vilken resulterade i hög NO_x-bildning, slet på ugnsfodringen, gav höga produktionskostnader och sämre stålqualität.

NO_x bildande processteg

De parametrar som diskuterats i föregående avsnitt samverkar under de olika processtegen. Eftersom processförfarandet och ugnarna skiljer sig åt görs ingen sammanställning av var i processen NO_x uppstår utan varje undersökning presenteras separat.

En av de tidigaste mätningar som genomfördes gjordes i ljusbågsugnen hos Kloster Speedsteel i Söderfors. Tre charger ingick i undersökningen och ur resultaten kunde man identifiera följande toppar av kväveoxider¹⁷.

1. Start av smältning- Ljusbågens urladdning mellan skrot och elektrod sker i luft och medför att luftkvävet oxideras. Skillnader mellan olika charger anses bero på skrotfördelningen.
2. Elektrod upp/ned- Så snart elektroden tas upp ur smältan och elektrod spänningen slås av upphör emissionen. Ur detta drog man slutsatsen att bildad kväveoxid endast kommer från oxidation av luftkväve. När elektroden förs ned och spänningen slås på

uppstår en tidsmässigt kort topp. Orsaken anses vara att luft har kommit in under valvet och att en ljusbågeurladdning kan ske i luften.

3. Påfyllning av skrot- När elektroderna förs ned efter skrot charging upp kommer en topp vilken antas vara en kombination av punkt 1 och 2 ovan.
4. Flussmedeltillsats- Vid tillsats av flussmedel uppstod den mest markanta toppen. Förutom beroende av själva flussmedlet antas även luft kommit in i ugnsrummet.

I Smedjebacken hos Fundia Special bar AB har man genom flertalet mätningar vid olika tillfällen konstaterat att förekomsten av kväveoxider kan kopplas till följande händelser¹⁸.

1. Start av smältning – ”ström på”. Ljusbågens urladdning mellan elektrod och skrot sker i luft och medför att kväve oxideras. När stålet är smält kan luften ej komma i kontakt med ljusbågen och mycket små mängder kväveoxider bildas.
2. Så snart elektroderna tas upp och strömmen till elektroderna slås av upphör utsläppet av kväveoxider.
3. Under chargens slutfas kan en NO_x-topp uppstå då slaggluckan öppnas för slaggtömning.

På Ovako Steel uppstod liknande toppar mellan första och andra korg²². Vid el på efter charging av första korgen uppstod en kraftig ökning av NO_x bildningen. Värdet uppgick till mellan 30 och 130 kg NO_x per timma. Bildningshastigheten sjönk därefter momentant till ett mycket lågt värde vilket ofta höll i sig under hela första korgen. Vid el på efter charging av andra korgen syns en liknande topp och efterföljande nedgång av bildningshastigheten som vid nedsmältning av första korgen. Topparna vid el på sammanföll med att det var mycket luft i ugnen.

I AvestaPolarits ljusbågsugn visade det sig att den största NO_x- emissionen uppstod under smältning av andra korgen (innan kolinjektionen startar)¹⁹. Detta steg svarar för 50-56 procent av den totala NO_x-emissionen. Vid effektförslag samt vid kolpulverinblåsning är emissionen i det närmast obefintlig. I samband med öppning av ugnsvälv kan NO_x-emissionen via takhuvsavsugget momentant nå värden över 200 kg/h. Detta synes vara orsaken till de flesta höga men mycket smala emissions toppar vilka förekom i diagrammen.

I Jernkontorets studie fann man att NO_x halterna var höga vid charging och ökar i samband med att strömmen slås på²⁰. Förklaringen kopplades även här till att ljusbågarna då brinner fritt i ugnsatmosfären vilken då till stor del består av luft. Luften dissocieras och bildar atomärt N och O samtidigt blir temperaturen i och omkring ljusbågarna så hög att bildningen går snabbt. I slutet av chargerna uppkom den högsta NO_x nivån vilket förklarades med att temperaturen i ugnen är som högst vilket gynnar uppkomsten av kväveoxider.

Förloppet för NO_x -bildning skiljer sig något hos Sandvik Steel i jämförelse med de övriga. I jämförelse med mätningar på andra stålverk innehöll Sandviks ugn mycket låga halter av kolbärare (CO och CO₂) och höga halter av O₂ samt NO_x¹⁵. Detta tyder på stora mängder läckluft. Luften antogs huvudsakligen komma från indragen luft genom slaggdörren, mellan valv och ugn samt andra genomföringar i ugnen samt delvis komma från spalten.

En inledande markant topp uppnås vid starten men istället för att sjunka fortsätter den att stiga fram till att ugnen stängs av för charging av andra korgen. Lika höga nivåer uppmättes snabbt vid smältning av andra korgen. Raffineringsperioden inleddes med en markant topp vilken troligen beror på att slaggluckan öppnats. Efter att lansningen påbörjats minskar mängden NO_x radikalt. Mot slutet av perioden ökar NO-bildningen något vilket kan bero på avtagande kollansning.

Processintegrerade lösningar

Första steget för att få kontroll över uppkomsten av kväveoxider är att få kontroll över de olika processparametrarna. Detta är understött av de mätningar Praxair¹³ genomfört på stålverk världen över. Deras förslag till bästa strategin för att minimera NO_x emissioner är att kontrollera ugnsatmosfären genom att;

1. Få kontroll över inläckage av luft.
2. Övervaka avgasernas kemiska sammansättning med ett kontinuerligt on-line system
3. Kontroll av ugnens syre- och bränsleinjektion så att de önskade ugnsförhållandena upprätthålls.

Praxair har vidare studerat effekten av CoJetTM systemets inverkan på ugnens emissioner. Systemet är utvecklat av Praxair och är ett gasinjektionssystem vilket bl.a. möjliggör att ugnen kan köras utan att slaggdörren öppnas. Gasinjektionssystemet fungerar så att varje injektor kan fungera som brännare, lans och anordning för efterförbränning. Alla dessa aspekter påverkar ugnsatmosfären vilket i sig styr NO_x-bildningen.

Ytterligare förslag på möjliga åtgärder ges i studien genomförd åt Jernkontorets miljøråd. Bland annat föreslås som möjliga åtgärder²⁰.

- Kontinuerlig charging.
- Inert ugnsatmosfär för att därmed undvika de höga inledande NO_x -topparna i starten.
- Tätning av ugnen

Valsverksugnar

För att minska utsläppen av kväveoxider har under de senaste åren stora insatser genomförts för att förbättra och utveckla nya förbränningstekniker. Teknikernas olika benämningar avslöjar till viss del om de utvecklats med syfte att sänka NO_x halten eller för att vara energieffektiva. För att sänka NO_x halten används liknande principer i alla förbränningstekniker detta oavsett ursprungligt försäljningsargument.

Låg NO_x brännare

Låg NO_x brännare är ett samlingsnamn för en rad brännartyper vilka utvecklats särskilt för att sänka mängden bildad NO_x vid förbränning^{xxiv}. Gemensamt är att de utnyttjar minst en av följande två principer.

- Stegvis förbränning
- Recirkulering av förbränningsgaser

Dessa metoder används allmänt även av andra förbränningstekniker för att sänka NO_x halten. Brännarnas utformning varierar där den huvudsakliga skillnaden i design är sättet hur de två förbränningszonerna skapas.

Vid *stegvis förbränning* injiceras luft eller bränsle stegvis i ugnen. Att NO_x inte bildas i reducerande miljö utnyttjas vid luftstegning genom att förbränning först sker med ett

överskott av bränsle. Därefter injiceras snabbt stora mängder luft för att få en fullständig oxidation och snabbt sänka temperaturen. Av total mängd luft tillförs 20-45 procent i det första steget. Metoden betraktas i allmänhet som det mest effektiva sättet att minska NO_x – emissionen i de tillämpningar där det är viktigt att behålla en relativt lång flamma.

För att utveckla principen av stegvis förbränning i verklig ugnsskala finns en metod vilken kallas understökiometrisk förbränning. Det är ett brännarsystem där brännarna är uppdelade i parvisa grupper vilka är anpassade till högt respektive lågt bränslekrävande förhållanden.

Tekniken då bränslet tillförs stegvis grundar sig på att NO inte tillåts bildas i den första zonen. Ytterligare bränsle injiceras i nästa steg för att skapa en zon där NO reduceras till kvävgas

Recirkulering av förbränningsgaser syftar till att minska NO_x halten genom att sänka topptemperaturen i flammen. Metoden resulterar även i en kemisk reduktion av NO_x i avgaserna genom kolväten i bränslet. De recirkulerade rökgaserna sänker syrekoncentrationen i förbränningsluften vilket resulterar i att flamtemperaturen sjunker och därmed även mängden bildad NO_x . Intern avgasrecirkulering uppnås aerodynamiskt i förbränningskammaren. Genom brännarens design kan den momentkraft utnyttjas som uppstår vid injiceringen av bränsle vilken resulterar i att angränsande förbränningsgaser recirkuleras till reaktionszonen. En fördel är att ingen extra utrustning behövs. Metoden kombineras ofta med tvåstegsförbränning.

Oxy-fuel teknik

Att syreberika förbränningsluften är en metod att öka ugnens effektivitet genom att mängden kväve, som utgör ca 78 procent av luften, reduceras. Ren Oxy-fuel förbränning innebär att allt oxidationsmedel byts från luft till ren syrgas. När det genomförs förändras samtidigt förutsättningarna för själva förbränningen och värmeöverföringen. Här kan bl.a. nämnas

- Sänkta gasvolymen av både oxidationsmedel och förbränningsgaser.
- Ökat partialtryck av reatomiga strålningsgaser
- Högre effektivitet och temperatur.

Enligt AGA AB^{xxv} är den bakomliggande drivkraften för att installera oxy-fuel teknik oftast kravet på ökad produktionshastighet i existerande värmningsugnar. Orsaken till den högre produktionshastigheten är en effektivare värmeöverföring och större värmetsats per kvadratmeter av ugnsvolymen. Bränslekonsumtionen kan också reduceras avsevärt. Detta under förutsättning att man använder ett kvävefritt bränsle. Vid syrgasanrikning stiger NO_x -bildningen fram till en syrehalt på 60-70 procent. Där blir kvävetillgången den begränsande faktorn och sjunker därefter kraftigt med ökad syrehalt i förbränningsluften. Teoretiskt kan NO_x helt undvikas vid ren oxy-fuel förbränning förutsatt att ett helt kvävefritt bränsle används. I praktiken tillförs vanligtvis en viss mängd kväve via bränslet eller via luft som på olika sätt har trängt in i ugnen. Denna kan orsaka att mycket höga halter NO_x bildas. Att ugnarna hålls täta har därför en avgörande betydelse.

Inom ramen för OXYFLAM projektet^{xxvi} har man studerat hur effekten av olika brännarparametrar och kvävehalten i naturgas påverkar flammans struktur, värmeöverföring och luftföroeningar. Naturgas användes som bränsle i försöken där man fann att gasens sammansättning hade en mycket liten inverkan på avgasernas sammansättning. Försök med naturgaseldade co-axialiella jetflammar visade att den då avgörande faktorn för NO_x bildningen är indragningen av massflödet in i flammans stråle.

Då flammor uppkommer via stegvis injektion av naturgas fann man följande metoder för att sänka NO_x halten;

- Genom att dela upp flödet i separata jet strålar kan NO_x emissionerna minskas med en faktor 3 till 4.
- Emissionerna av NO_x minskar med ett ökat avstånd mellan syrgasstrålarna. Detta är oberoende av mängden extra syrgas i rökaskanalen, antalet syrgasstrålar brännarnas momentum eller nedställning (effekten på brännarna sänks).
- NO_x -emissionerna sjunker med ökande gas- och injektions hastighet.
- En effektivare NO_x -reduktion kan uppnås genom att använda stegvisa brännare utrustade med två syrgasinjektorer istället för 4.

Tokyo Gas Co har genomfört fullskaliga industriförsök där man undersökt egenskaperna hos naturgaseldade oxyfuel -flammor^{xxvii}. Syftet var att identifiera optimala driftförhållanden för att uppnå låga NO_x -halter och ett totalt sett högt stålningflöde (radiative flux). En låg hastighet på bränslet och syrgasen var nödvändig för att uppnå ett totalt högt strålningsflöde. I motsats till detta fann man även här att NO_x -emissionerna ökade med hastigheter på bränslet och syrgasen. En låg NO_x Oxy-fuel förbränning uppnåddes genom att ökad injektionshastighet. Ett optimalt driftförhållande där man uppnår både låga NO_x -halter och ett totalt högt strålningsflöde uppnås företrädesvis vid injektionshastigheter mellan 5 till 10 m/s. Undersökning uppnådde även mycket låga NO_x -emissioner med tekniken Fuel direct injection (FDI) vilken sedan tidigare appliceras för HPAC, en form av regenerativ förbränning, som beskrivs närmare nedan.

Regenerativa brännare

Det regenerativa förbränningssystemet består av minst två brännare vilka är anslutna till keramiska värmeväxlare. Brännarna körs växelvis. Förbränningsgaserna från den aktiva brännaren värmer det keramiska materialet i den passiva brännarens värmeväxlare. Den tillvaratagna energin utnyttjas sedan för att förvärma förbränningsluften.

De tidiga regenerativa systemen orsakade mycket stora NO_x -utsläpp vilket begränsade användningen. Nu har tekniken utvecklats och optimerats för att vara energieffektiv med låga NO_x utsläpp. Det nya konceptet har flera namn, bl.a Highly preheated Air Combustion (HPAC) eller i en speciell tillämpning namnet FLOX. Då tekniken appliceras i gas eller oljeeldade värmningsugnar har följande positiva man uppnått följande resultat^{xxviii}.

- Sänkt bränsleförbrukning med mer än 30 procent.
- Låga NO_x emissioner t.ex. 30-150 ppm med lufttemperaturer mellan 800-1350 °C och <10 ppm vid 600 °C.
- Jämn temperaturfördelning i ugn och material.
- Möjlighet att minska ugnstorleken eller öka produktionshastigheten.

De grundläggande principerna för låg NO_x brännare utnyttjas och har optimerats för förbränningsmetoden. En applicering är recirkulering av förbränningsgaser vilket späder ut förbränningsluften. De recirkulerade förbränningsgaserna sänker topptemperaturer i flammen och späder ut förbränningsluften. Värmeväxlarna design har också förbättrats. Huvudsakligen används idag två olika typer. Förutom den traditionella bädden av keramiska kulor används en

nyligen utvecklad honeycomb. Tekniken resulterar i en kontrollerad fördelning av luft i ugnen vilket ger en bättre förutsättning att kontrollera NO_x-bildningen i ugnen. Utvidgas tekniken sedan med stegvis förbränning med luft eller bränsle kan NO_x halten sänkas ytterligare. Tekniken leder till en stabil flamma vid munstycket. Problem med topptemperaturer och varma områden i flaman (hot spots) förekommer vilket kan resultera i NO_x-bildning.

Finfördelning av olja med hjälp av ånga

Vid en gropugnsanläggning hos AvestaPolarit AB i Degerfors har försök gjorts med finfördelning av olja i modifierade oxyfule-brännare med hjälp av vattenånga. I två kontrollerade försöksserier har NO_x-emissionen minskat mer än 50 % jämfört med finfördelning av olja med syrgas. Möjligheterna till NO_x-reduktion behandlas som en uppskjuten fråga med prövotidsredovisning under år 2002.

Reningsteknik

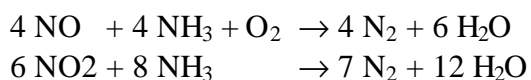
De flesta reningstekniker har utvecklats särskilt för energiproducerande anläggningar och har sedan anpassats till andra applikationer. De två idag dominerande metoderna utnyttjar ammoniak (alt urea lösning) för reningen och har endast kvävgas och vatten som restprodukt. Tekniker vilka ger restprodukter som kräver deponering undviks helst. De idag aktuella reningstekniker vilka är applicerbara på stålverksprocesser är;

- Selektiv katalytisk avgasrening (SCR)
- Selektiv icke katalytisk avgasrening (SNCR)

Inga tillämpningar av NO_x rening på ljusbågsugn har ännu genomförts och det har hittills anses vara en omfattande teknisk utmaning¹³. Enligt ABC & I, vilka har installerat SNCR reningsanläggningen på AvestaPolarits stegbalksugnar, kan det vara fullt möjligt att installera utnyttja SNCR tekniken på ljusbågsugnar. I Avesta vore en ombyggnation av avgaskanalerna nödvändig. För SCR tekniken kan stoftmängden vara ett problem. Styrsystemet är baserat på de parametrar som styr NO_x bildningen. Ett utredningsarbete krävs för varje enskilt fall.

Selektiv katalytisk avgasrening (SCR)

Katalytisk avgasrening reducerar kväveoxider i avgaser med ammoniak till kvävgas och vatten över en katalysator. De övergripande reaktionerna är;



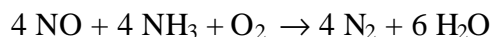
Det optimala temperaturintervallet för reaktionen är 300-400 °C. Ammoniak tillsätts vanligtvis understökiometriskt. Det finns en potentiell risk för utsläpp av ren ammoniak. Katalysatorn kan göras i flera olika material¹¹. Den vanligaste och mest effektiva katalysatorn är gjord i vanadinpentoxid (V₂O₅) på ett lager av TiO₂. Ett problem som lätt uppstår med katalysatorn är att den blockeras av partiklar vilka fastnar. Dess livstid kan begränsas av att den deaktiveras av föroreningar (Na, K, As).

Hur effektiv katalysatorn är beror på typen av katalysator och den ursprungliga NO_x koncentrationen. Värden på upp till 95 procents rening har rapporterats. Normalt ligger värdet inom området 70 – 90 procent.

Selektiv icke katalytisk avgasrening (SNCR)

Vid rening med SNCR injiceras ammoniak eller urea direkt i avgaserna och kväveoxiderna reduceras utan någon katalysator. Det optimala temperaturintervallet, vid vilken reduktanten ska injiceras är högre än vid katalytisk rening¹¹. Temperaturintervallet vid injicering är för ammoniak mellan 850 – 1000 °C och för urea 950 – 1000 °C.

Den viktigaste reaktionen är



Ett överskott av syre är nödvändigt i avgaserna liksom en uppehållstid mellan 0,1 och 0,4 sekunder.

Åtgärder och investeringar

De olika företagens åtgärder och investeringar för att minska NO_x –utsläppen beror delvis på vilka krav som ställts från myndigheterna men även på företagets strategi och vid vilken tidpunkt frågan var aktuell. Nedan följer en sammanfattning av de viktigaste åtgärder och investeringar som genomförts hos de företag vilka ingår i studien.

Fundia

Fundia fick tidigt utredningskrav på både ljusbågsugnen och sina valsverksugnar och var bland de första som blev tvungna att vidta åtgärder för att reducera utsläppsnivån.

Ljusbågsugn

I Smedjebacken genomfördes 1992 en förändring av ugnsdriften. Trycket i ugnen ändrades från ett undertryck på ca 0,1 mmVp till ett övertryck av ca 0,1 mmVp.

NO_x -emissionerna var låga redan innan förändringen av trycket. Medelvärdet för utsläppen (mätkampanj initierad av Jernkontoret 1984) var 0.31 kg NO_x per ton råstål. Redan innan tryckförändringen var utsläppsnivån i ugnen ca 25 procent av medelvärdet från de ugnar som ingick i Jernkontorets mätkampanj. Efter modifieringen av ugnens tryckförhållanden var NO_x -värdet mindre än 10 procent av medelvärdet.

Valsverksugnar

I början på 1990-talet genomfördes omfattande undersökningar av Fundias NO_x -utsläpp från medium- och finvalsverkets stegbalksugnar. I en inledande studie av finvalsverksugnen uppmättes utsläpp på 400-650 mgNO_x/MJ bränsle. Utsläppet konstaterades vara starkt korrelerat till avgasens syrgashalt. För att kompensera för inläckt luft drevs brännarna med ett luftunderskott. Luftkvoterna låg på nivån 0,8-0,9.

Försök med att driftoptimera de aktuella ugnarna genomfördes. Efterföljande analyser medförde ett konstaterande att åtgärder för att tätare ugnarna eller öka trycket inte kunde genomföras. Brännarleverantören åtog sig försöka optimera brännarna i avsikt att reducera NO_x -utsläppet. Flera nya brännarlansar utvecklades och testades av leverantören. Laboratieförsök med kall förbränningsluft visade på en möjlig sänkning av NO_x -utsläppen med 50 procent. Brännarna köptes och installerades. 1993 konstaterades det att de modifierade brännarna inte kunde ge ett lägre NO_x -utsläpp än 350 mgNO_x/MJ. Då togs beslutet att undersöka andra möjligheter för NO_x -reduktion. För att få tekniska och ekonomiska underlag begärdes ett antal budgetofferter in från tänkbara leverantörer.

Följande investeringsalternativ förekom;

1. Byte till låg NO_x -brännare (för att eventuellt senare komplettera investeringen med en ombyggnad av ugnarna till storrumsugnar).
2. Avgasrening med SNCR
3. Avgasrening med SCR

SNCR alternativet ansågs av leverantörerna olämpligt. Det var då ett helt nytt applikationsområde för SNCR samt att de tillfrågade företagen var tveksamma till metodens lämplighet på grund av:

- För stort lastområde
- Snabbt varierande gastemperatur på grund av lastvariationen
- För kort uppehållstid vid rätt gastemperatur

Dessutom var det oklart hur injicerade ämnen påverkar kvalitén på stålet i ugnen. Därför konstaterades det att SNCR vid tidpunkten inte var kommersiellt tillgänglig. Rening genom SCR ansågs däremot vara ett genomförbart alternativ med en möjlig reduktion till 250 mgNO_x/MJ. Investeringskostnaderna för alla alternativen var höga men kombinationen av att installera låg NO_x -brännare samtidigt som ugnen byggs om till storrumsugn ansågs vara det lönsammaste alternativet. Detta genomfördes i mediumverksugnen 1995 samtidigt som ugnen tätades för att förhindra inläckage av luft. Resultatet blev lyckat och ugnen har nu ett genomsnittsvärde på 84 mgNO_x/MJ.

För att få ett lika lyckat resultat på finvalsverksugnen krävdes ett mer omfattande arbete. Finverksugnen tätades 1996 genom installation av ett vattenlås. Efter denna ombyggnad gjordes en kontrollmätning som visade en specifik emission på 250 mgNO_x/MJ tillfört bränsle. Inga ytterligare åtgärder vidtogs och ugnen avställdes sommaren 1999.

Ovako Steel

Ljusbågsugn

Enligt ett koncessionsbeslut 1996 fick Ovako i uppdrag att utreda ugnens ugnstrycksberoende. Framför allt av arbetsmiljöskäl kunde inte ugnen köras med övertryck. Inga åtgärder har därefter vidtagits.

Valsverksugnar

Ovako Steel i Hofors har satsat på att installera Oxy-fuel eldning i samtliga gropugnar. Motiveringen var främst potentialen till ökad produktivitet och bränslebesparingar. Projektet påbörjades 1995 och samtliga ugnar planeras ha konverterats till år 2005. För att undvika de höga halter kväveoxider som kan uppstå har man fokuserat på att uppnå kontroll över följande parametrar:

- Tät ugn
- Fungerande ugnstrycksreglering
- Styra Bränsle/luft-kvoten
- Rätt inställda regulatorer

Detta har resulterat i att man lyckats uppnå de av myndigheter uppställda miljökraven på 260 mgNO_x/MJ tillfört bränsle. Gränsvärdet är ett provisoriskt villkor och under det gångna året har det utförts omfattande försök med Oxy-fuel-teknik i syfte att reducera NO_x emissionen.

AvestaPolarit

Ljusbågsugn

En utredning av NO_x -utsläppen från ljusbågsugnen genomfördes under 1997. Resultaten av utredningen visade på ett antal åtgärder som skulle kunna medföra minskade utsläpp av kväveoxider. Dessa åtgärder har genomförts med varierande resultat.

Kontinuerlig NO_x mätning

En kontinuerlig mätning och registrering av emissionerna av kväveoxider från ljusbågsugnen installerades i februari 1999. Mätsonden placerades i skorstenen efter filtret och mäter kväveoxidhalten samtidigt som utsläppt mängd NO_x från hela stålverket registreras.

Till mätutrustningen hör ett dataprogram, som kontinuerligt beräknar timmedelvärden och med ledning av dessa registrerar totala utsläpp av kväveoxider, mätt som NO₂, per timme, dygn och månad. Av uppmätt NO_x-flöde genererar ljusbågsugnen ca 90 % och AOD-konvertern ca 10 %.

Förbättrad ugnstrycksreglering

En ny ugnstrycksreglering togs i drift under 1998. En mätsond har murats in i ugnssvalvet. Via sonden mäts gastrycket inne i ugnen jämfört med lufttrycket utanför ugnen. Förhållandena inne i ugnen är mycket extrema. Dessa förhållanden skapas av att mycket stora energimängder tillförs via grafitelektroder och som gasol via oxyfuelbrännare, samtidigt som smält stål och slagg behandlas med inblåsning av kol och kisel mm.

Den installerade ugnstrycksregleringen har inte fungerat tillfredställande trots ett omfattande arbete med underhåll och trimning. Vid användandet av ugnstrycksregleringen var direktutsuget ofta fullt öppet i stället för att vara delvis stängt. Detta medförde ökade NO_x utsläpp genom ökat undertryck i ugnen. Ugnstrycksregleringen har därför kopplats bort under 1999 och regleringen sker åter genom inställning av fasta procentuella spjällägen för olika driftfaser i smältprocessen på samma sätt som innan utrustningen installerades. Försök pågår för att intrimma de fasta spjällägena med syfte att optimera utsugningen. Detta måste ske med hänsyn till nödvändigt gasflöde för att klara arbetsmiljöförhållandena inomhus och till minimering av NO_x -utsläppen ur yttre miljösynpunkt. Någon möjlighet att avsevärt kunna minska NO_x utsläppen genom förbättrad ugnstrycksreglering kan inte ses för närvarande

Förbättrad tätning av ugnen

En översyn av ugnens täthet gjordes för att identifiera håligheter mellan väggpaneler, vid tapphål och tätning mellan ugn och ugnssvalv.

Under hösten 1998 gjordes försök med mycket noggrann tätning i ugnssvalvet. I efterföljande utvärdering konstaterades en ökad energianvändning och elektrodförbrukning samt ett ökat slitage på det s.k. hjärtstycket. Dessa konsekvenser har därför medfört att man inte kontinuerligt har kunnat genomföra en extra noggrann tätning vid murning av ugnssvalv.

Förlängd tid för tillförsel av kolpulver

Att NO_x halten i stort sett upphör vid tillförsel av kolpulver har tidigare konstaterats. Av detta framkom förslaget att undersöka om tiden för tillförsel av kolpulver skulle kunna förlängas.

Det inblåsta kolpulvret utnyttjas metallurgisk för att få en jäsande slagg i slutet av ugnspröcessen. En bestämd mängd kolpulver och syrgas krävs under ett avgränsat processteg för att metallurgiskt kunna utnyttja fördelarna av jäsande slagg. Om överskott av kol blåses in i ugnen, blir kolhalten i stålet högre. Detta kol skall sedan tas bort med hjälp av syrgas i konvertern vilket medför ökad bildning av koloxid/koldioxid och längre processtid i konventen vilket inte kan accepteras.

Övriga begränsande åtgärder

Efter föregående redovisning i februari 1998, har ett antal åtgärder utöver de ovan beskrivna vidtagits:

- Minimera öppnandet av slaggluckan
- Installation av kompletterande takhuv för att suga ut mera stoft via takhuven över ugnen.
- Installation av ytterligare lufttillförsel för bättre luftbalans i lokalen.
- Installation av längre "öron" på dragavbrottet i direktutsugskanalen för att minska inläckaget av luft i utsugningskanalen.
- Ökad utsugningskapacitet genom ombyggnad av rökgasfläktar

Kostnader för hittills genomförda åtgärder

Investeringskostnader	ca 6 Mkr
Kapitalkostnad per år	1.2 Mkr/år
Minskat utsläpp av kväveoxider	13 ton/år
Specifika kostnaden för avskilt NO _x	92 kr/kg reducerad NO _x

Valsverksugnar

Utredningskrav från 1995 medförde att företaget påbörjade ett omfattande arbete med att utreda och vidta åtgärder för att minska mängden producerad NO_x. Investeringar har hittills genomförts i varm- och kallbandsverket. Förutom de direkt NO_x -reducerande åtgärder vilka närmare beskrivs redan kan även nämnas att företaget börjat återvinna spillvärme i rökgaserna från varmbandsverket. Detta har tillsammans med några andra energieffektiviserande åtgärder reducerat mängden bildad NO_x, t ex genom minskad oljeförbrukning för uppvärmning av lokaler.

Stegbalksugnar i Varmbandsverket

I Avesta hade man under en längre tid haft problem med två gasoleldade stegbalksugnar i varmbandsverket. Ugnarna är installerade vid olika tillfällen med olika brännarleveratörer. Omfattande utredningar och försök till åtgärder vidtogs för att optimera de båda ugsanläggningarnas förbränningsprocesser. Med dessa åtgärder ledde inte till någon avsevärd reduktion av kväveoxidutsläppen. Därför beslutades, efter genomförda positiva försök, att installera en anläggning för icke katalytisk rening av avgaserna (SNCR-anläggning). Metoden innebär att ammoniak (25 % ig vattenlösning) sprutas in i rökgaserna vid en optimal temperatur, varvid kväveoxiderna till viss del omvandlas till kvävgas och vatten. En SNCR anläggning med ammoniakcistern, pumpar, rörledningar och datorbaserat mät och doseringssystem mm installerades vid vardera ugnen och togs i kontinuerlig drift i oktober 1999. De preliminära kontrollmätningar som genomförts visar att NO_x -halten med denna metod kan reduceras med ca 70 procent i ugn A. För ugn B är resultaten hittills mycket varierande. Reduktionsgraden uppskattas till mellan 10 och 30 % i ugn B. Utsläppet per helår med anläggningen i drift beräknas till ca 80 ton vid aktuell produktion. Hittills har under driften inga negativa bieffekter noterats vare sig på anläggningen eller tillverkade produkter. Däremot är det osäkert om myndigheternas krav på begränsning av ammoniak-slip kan uppfyllas. Utredning om detta pågår.

Kostnader för de installerade reningsanläggningarna

Investeringskostnaden	6,3 Mkr
Årliga driftskostnader för ammoniak och underhåll	ca 1,4 Mkr/år.
Summa kapital och driftskostnader per år	3,3 Mkr/år.

Reningsanläggningen bedöms resultera i en utsläppsminskning av kväveoxider på 60 ton/år. Detta medför att den specifika kostnaden per kilo avskilt NO_x mätt som NO₂ är ca 55 kr/kg NO_x.

Sandvik Steel

Valsverksugnar

Myndighetskrav resulterade i att företaget var tvunget att vidta NO_x -reducerande åtgärder i grovvalsverkets ringugn 4. Flera tekniska alternativ studerades inför beslutet att bygga om ugnen. Huvudalternativen var;

1. Oxy fuel brännare
2. Twin-bed låg NO_x-brännare
3. Låg-NO_x-höghastighetsbrännare
4. FLOX-brännare

Av dessa alternativ valdes slutligen höghastighets låg NO_x-brännaren (Kromschröder BIC140-brännare). Alternativet hade den lägsta investeringskostnaden, garanterade låga NO_x-halter och en låg energiförbrukning. Samtidigt kunde brännarna konverteras till FLOX -teknik.

Oxyfueltekniken valdes bort av två skäl. De låga avgasvolymerna gjorde att ett positivt ugnstryck inte kunde garanteras på ringugnen och därmed skulle man riskera inläckage av luft. Vilket ansågs kunna riskera en generering av katastrofalt höga NO_x-halter. Energikostnaden, gasol och syrgas, var vid tillfället för beslut inte heller gynnsammare än för något av de övriga alternativ.

Twin-bed alternativet valdes bort då investeringskostnaden var hög.

Kostnader för installerade brännare

Investeringskostnad	2000000 kr
Driftskostnad	120 kr/ton stål

NO_x-halten efter genomförd investering har legat på 70 mgNO_x/MJ bränsle i avgaserna.

SSAB Tunnbränsle, Borlänge

Valsverksugnar

SSAB Tunnbränsle, Borlänge hade som riktvärde 235 mgNO_x/MJ för sin oljeeldade ugn. Riktvärdet var temporärt och skulle omprövas i samband med en planerad investering av en större ugn på valsverket. Därför utvecklades en omfattande handlingsplan för att reducera utsläppen på de oljeeldade ugnarna till att ligga i nivå med de LPG (Liquefied petroleum gas) eldade ugnarna vilka hade ett gränsvärde på 105 mgNO_x/MJ. Genom en rad insatser klarar idag oljeugnen det nya villkoret 125 mgNO_x/MJ och har nått utsläppsnivån 110mg/MJ olja.

Tre olika alternativ identifierades:

1. Byta bränsle till LPG
2. Rening via SCR-teknik
3. Förbättra existerande brännarteknik

De två första alternativen ansågs vara för dyra då det skulle innebära en kostnad på betydligt mer än 100 kr/kg avskild NO_x.

Den aktuella oljeeldade ugnen har nio zoner och sammanlagt 119 brännare varav 39st är sidobrännare och resten takbrännare. Ugnen kontrolleras av ugnsoptimeringsystemet, FOCS-RF vilket optimerar produktiviteten, minimerar energianvändningen och levererar slabs till valsverket med en hög temperaturnoggrannhet (+/- 5°C). NO_x -emissionen mäts kontinuerligt i ugnen.

Den aktuella ugnen är välutrustad med mät- och reglerutrustningar samt har ett avancerat processdatorsystem. Detta tillsammans med datorstödd analys och kontinuerlig NO_x-mätning gav möjligheter att identifiera NO_x-bildningen i bandverkets oljeeldade ugn samt identifiera åtgärder som kan minska kväveoxidbildningen.

För att få en övergripande bild över NO_x bildningen i varmbandverkets oljeugn genomfördes under åren 1994 - 1995 en rad analyser där kväveoxidbildningen granskades i förhållande till olika driftparametrar. Metoderna som användes var planerade faktorförsök och modellering med s k multivariat analys. Denna analysmetod är speciellt verkingsfull när många samverkande variabler undersöks.

En rad intressanta iakttagelser gjordes. Det framgick bland annat att merparten av den kväveoxid som bildades härstammar från ugnens sidobrännare och särskilt de som är placerade i ugnens varmare partier.

Det konstaterades likaså att problem fanns för instrumentsystemet att reglera önskat luft/bränsle förhållande optimalt vid olika bränslepådrag. Under drift medförde denna företeelse att en högre luft/bränslekvot än nödvändigt användes. Detta gynnar den termiska NO_x-bildningen. Det framkom att ett mer avancerat instrumentsystem som noggrant kunde hålla önskade reglerdata och som medgav programmerbara bränsle/luft förhållanden behövdes för att kunna minska NO_x-bildningen. Vidare kunde svängningar i bränsleflödet lokaliseras till den stegvisa förflyttningen av stålämnen genom ugnen. Svängningen påverkade reglersystemet så att luft/bränslekvoten påverkades, vilket i sin tur inverkade på NO_x-bildningen.

Den stegvisa förflyttningen av stålämnen genom ugnen inverkade också på den mätta ugnsrumstemperaturen, vilket i sin tur medförde en liknande svängning i bränsle- och lufttillförseln.

Faktorförsöken och de multivariata analyserna ledde till att ovanstående förhållanden kunde relateras till NO_x-bildning i ugnen. Kunskapen om nämnda förhållanden var en av nycklarna för att kunna realisera åtgärder i oljeugnen.

Nedan redovisas i sammandrag de utvärderingar och försök som genomförts i bland annat laboriemiljö för att utröna om oljeugnens brännare kan modifieras för lägre kväveoxidbildning.

1. Utveckling av takbrännare

Varmbandverkets oljeugn är försedd med så kallade takbrännare med placering i ugnens valv enligt bifogad figur 1. Antalet installerade brännare är 80 stycken. Två storlekar används på 25, respektive 65 kg olja per timme. Det japanska ugnsföretaget Chugai Ro i Osaka fick under 1995 i uppdrag att utveckla brännaren för lägre kväveoxidbildning. Anledningen till att företaget engagerades var att de har lång erfarenhet av förbränning i valsverksugnar, tillverkar ugnsanläggningar och att de under många år utvecklat brännare för låg kväveoxidbildning. De har egna laborieugnar för tester och erhåller erfarenheter från installationer inom stålindustrin genom sin affärsverksamhet.

Efter inledande undersökningar fokuserades intresset på att studera inverkan av brännarmunstyckets virvelbildare och förmåga att finfördela oljan. Tester med olika antal blad, vinklar etc. genomfördes i en laboratorieugn under förbränning av olja och temperaturer som motsvarar praktisk ugnsdrift. Ett stort antal försök genomfördes med varierande oljeflöde och med luft respektive ånga som finfördelningsmedia för oljan. Under testerna dokumenterades data och fotografier togs av flammen för ytterligare förståelse för förloppen. Förklaringen till att NO_x-halten blir lägre vid ökad bladvinkel är att en del av rökgasen återcirkuleras till den temperaturintensiva delen av flammen. På så vis sjunker syrehalten där förbränningen är som intensivast och flammans högsta temperatur minskar. Detta minskar den termiska NO_x-bildningen. Chugai Ro rekommenderade SSAB att modifiera brännardelarna så att bland annat virvelbildarnas bladvinkel ändras från 35 till 55°. SSAB installerade 24 st takbrännare på prov i oljeugnen under semesterstoppet 1996. Detta gjordes för att bland annat studera den nya brännarkonstruktionens hållbarhet under verklig ugnsdrift.

2. Utveckling av sidobrännare

I oljeugnen finns förutom tidigare nämnda takbrännare även 40 stycken sidobrännare installerade, med ett oljeflöde per brännarstorlek som varierar från 110-350 kg olja per timme

Takbrännarna arbetar med en kort utbredd flamma medan sidobrännarna har till funktion att ge värme till stålämnen tvärs den 12 meter breda ugnskroppen. Då flammans längd och bredd erfarenhetsmässigt har inverkan på NO_x-bildningen var det av intresse att identifiera denna inverkan i kombination med t ex olika brännarmunstycken. Det var även önskvärt att få jämföra befintlig brännarkonstruktion med en ny brännare tillverkad av Chugai Ro.

Det befanns lämpligt att brännartesterna genomfördes i Värme & Ugnstekniks flamtunnel på KTH. Försöken genomfördes under våren 1996.

En diger försöksplan gjordes där följande parametrars inverkan på NO_x-bildningen undersöktes.

- finfördelningstryck
- stegvis förbränning
- flamlängdens betydelse
- finfördelningsmedia (tryckluft, ånga)
- luft/bränsleförhållandet
- olika oljemunstyckens utformning

Försöksserier genomfördes där nämnda parametrar varierades, samtidigt som temperaturer, syrehalter, avgasanalyser och NO_x-halter mättes. Försöken analyserades i dataprogram för multivariat analys.

Resultatet av genomförda tester ledde fram till att om befintligt oljemunstycke modifieras beträffande sättet att finfördela oljan kan NO_x-halten i laboratoriemiljö minskas med upp till 20 %. Testerna visade att det inte var någon entydig skillnad beträffande NO_x-bildningen vid tester med oljeugnens befintliga brännarhus eller med Chugai Ro's brännarhus. Brännarhuset från Chugai Ro med möjlighet att stegvis variera flamlängden var dock av intresse för att kunna påverka temperaturjämnheten i stålämnen.

Försöken i flamtunneln visade att vid användning av ånga istället för tryckluft minskade NO_x-bildningen med upp till 10 %.

Första provinstallationen av nya oljemunstycken gjordes i varmbandvalsverkets oljeugn under våren 1996 i syfte att se om konstruktionen gav förväntat resultat beträffande hållbarhet i verklig ugnstemperatur etc.

Kunskapen från ovan nämnda datoranalyser och försök lade grunden till stegvisa åtgärder på oljeugnen enligt följande:

- Instrumentsystemet ersattes under semesteruppehållet år 1995 med ett modernare system med större möjlighet att upprätthålla en exakt reglering av bränsle/luftförhållandet vid olika oljepådrag. Systemet gav också möjlighet att införa variabel luftkvotsreglering som funktion av oljepådraget. Detta är idag utfört på ugnens brännargrupper.
- Samtliga brännare i ugnen har försetts med ånga för finfördelning av oljan. Åtgärden utfördes under semesteruppehållet 1997. Hittillsvarande drift visar på god funktion och hållbarhet hos brännarna och det keramiska materialet i ugnen. Den tidigare installationen för tryckluft har behållits intakt. Det är också i framtiden nödvändigt att använda tryckluft i samband med start och stopp av ugnbrännare samt om ångbrist uppkommer.
- Samtliga sidobrännare oljemunstycken byttes ut under semesteruppehållet 1997 mot den typ som utvecklades på KTH. Hittillsvarande drift har visat på god hållbarhet.
- Samtliga takbrännare modifierades under semesterstoppet 1997 till den modell som utprovats i laboratorieförsöken.
- I ugnens varmare delar har sex brännare ersatts med brännare av Chugai Ro's fabrikat. Huvudskälet till detta var att ge förutsättningar till jämnare temperatur i stålämnen. Åtgärden kan ha en positiv inverkan på NO_x-bildningen.
- Inläckage av luft i ugnen via in- och uttagsöppningar för stålämnen minimeras genom att ugnens tryck balanseras i förhållande till luckmanövreringen.
- Ugnens processdatormodeller har successivt kompletterats med funktioner som minskar inverkan av den stegvisa förflyttningen av stålämnen i ugnen (se pkt 4 ovan).

Under utvecklingstiden har prov med att reducera luftanvändningen i förhållande till bränsletillförseln genomförts under drift av ugnen. Förbränningsmässigt är detta möjligt och ger till följd att kväveoxidbildningen minskar. Dessvärre kunde inte försöken fortgå under längre tid eftersom glödskalet på ämnena vid minskad syrehalt i ugnen ger en hård oxid av fayalit och wüstit. Dessa oxidbildningar tränger in i stålämnets yta och är mycket svåra att bryta loss innan valsning. Sådant glödskalet inverkar på valsverkets funktion och den valsade produktens kvalitet på ett sätt som inte är acceptabelt. I praktiken innebär detta att syrehalten i ugnen av kvalitets- och processtekniska skäl måste hållas på en högre nivå än vad som vore optimalt med hänsyn till NO_x-bildningen. Det bör tilläggas att denna begränsning är oberoende av vilket bränsle som används i en valsverksugn.

Under hösten 1997 har oljans kväveinnehåll varierat mellan 0,2 respektive 0,4 viktsprocent. Kväveinnehållet i oljan ger upphov till kväveoxidbildning. Uppföljningar visar att en ökning av kvävehalten på 0,2 % ger en ändring av NO_x-halten i rökgaserna med ca 10 mg NO_x/MJ bränsle.

Resultatet av ovanstående arbeten fram till november 1997 har väsentligt reducerat kväveoxidutsläppet från oljeugnen. När åtgärderna väl satts in i ugnen är det inte möjligt att identifiera respektive åtgärds enskilda bidrag till NO_x-bildningen. Den samlade utvecklingen återges i nedanstående tabell:

<u>Period</u>	<u>Medel- värde</u>	<u>Standard- avvikelse</u>
1992-1994	203	± 48 mg/Mj
1995	190	± 37 "
1996	147	± 27 "
-juni,1997	150	± 27 "
aug-dec, 1997	108	± 25 "

Ugnen har sedan dess arbetat med utsläppsnivån ca 110 mg/MJ olja. Mer försök pågår för att sänka NO_x-utsläppet, åtgärderna är främst inriktade på att identifiera relationen mellan aktuella driftlägen hos ugnen och bildningen av NO_x.

Framtida strategier

FN:s internationella konferens om miljö och utveckling i Rio 1992 var startskottet för ett intensivare och tydligare miljöarbete. Flertalet av de tidigare internationella och regionala konventionerna har sedan dess omarbetats. En politisk fokusering på tydliga framtidsmål har inneburit att arbetet allt mer styrts mot att åtgärda utsläppen vid källan. Arbetet inom EU med att genom BREF -dokumenten definiera BAT är resultat av ett politiskt och industriellt samarbete. Att industrin inbjuds till samarbete är genomgående för flera av de internationella konventionerna som berör utsläpp av kväveoxider. Anledningen är att man strävar efter att uppnå en ny typ av helhetssyn. En annan återkommande tankegång är att arbetet ska vara en pågående process. Detta innebär att industrin återkommande har möjlighet att påverka utvecklingen. Erfarenheterna från inledande diskussioner beträffande nya tillstånd (inom svensk stålindustri) har visat att myndigheterna fäster stor vikt vid de två BAT -dokument som har tagits fram för ståltillverkning och bearbetning. Det är alltså i själva skedet av tillståndsförhandlingar som resultatet av ett tidigare deltagande i samarbete mellan industri och myndigheter blir tydligt.

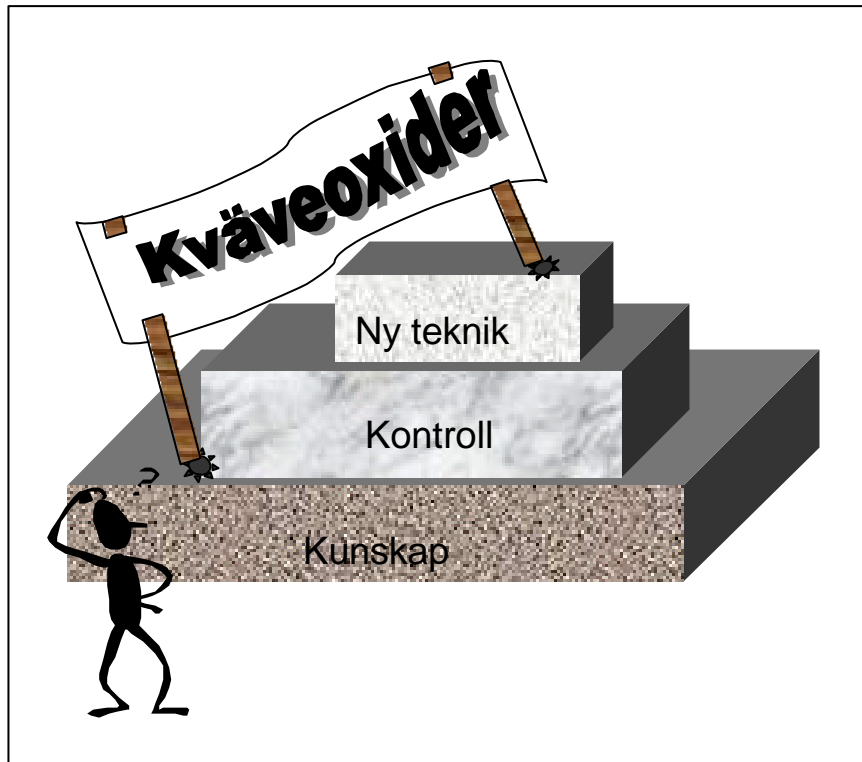
I Sverige har kväveoxidfrågan hög prioritet. Sveriges regering har dessutom ambitionen att vara pådrivande föregångsland inom området. I den nya miljömålsutredningen har högre krav på utsläppsreduktioner ställts än vad som överenskommit inom ramen för luftkonventionen med motiveringen att man då kan uppnå positiva effekter på flera av miljömålen. Så kraven kommer troligtvis att öka. Detta oavsett fakta att stålindustrins processer endast står för 1.2 procent av Sveriges kväveoxidutsläpp.

NO_x avgiften som infördes 1992 har stimulerat till att sänka utsläppen (även om delar av sänkningen är ett resultat av tillståndsbeslut). Investeringsgränsen på 40 kr/kg avskilt NO_x har hittills lett till få investeringar inom Stålindustrin. Fagersta har varit tvungen att investera i betsträckan då kostnaden var under 40 kr/kg avskilt NO_x. Samtliga investeringar som genomförts vid de studerade företagen har hittills legat över den uppsatta gränsen.

De tydliga trenderna mot allt hårdare miljökrav kommer mer eller mindre att tvinga fram en medveten strategi för hur man ska bemöta de ökade kraven. Eftersom NO_x bildningen påverkas av ett stort antal parametrar garanterar en investering i (för sammanhanget relevant) ny teknik inte att önskade utsläppskrav uppnås. Både BREF-dokumentet och en del av de åtgärder genomförts hos de svenska stålföretagen visar på andra åtgärder vilka både leder till en generellt förbättrad kontroll över processen samt minskad energianvändning.

En förutsättning för lyckade investeringar och andra åtgärder är att de är baserade på inskaffad kunskap om förhållanden och parametrar som styr den egna ugnen. Idag finns

kunskapsbrister om sambandet mellan NO_x -bildning och dess processparametrar vilket gör det svårt för företagen att vidta lyckade åtgärder. Detta gäller främst för ljusbågsugnen men även för valsverksugnar.



Figur 0-1 Var vi står idag är avgörande för hur frågan kan hanteras imorgon.

För ljusbågsugnar har kunskap om de styrande sambanden hittills främst införskaffats via statistiska undersökningar och multivariat försöksanalys. Datamodellering kan även vara ett verktyg för att förbättra kunskapen om uppkomsten av NO_x och samtidigt förutspå hur designförändringar påverkar utsläppen. CFD-modellering kan också vara en metod för att undersöka och förutspå uppkomsten av föroreningar i ljusbågsugnen.

För valsverksugnarna uppstår ofta problem i överföringen mellan lyckade försök i labbskala och fullskalig industriell produktion. Genom att tidigare avdelningar för ugn- och värmeteknik på företagen har bortprioriterats har man dessutom den egna kunskapen inom området minskat. Detta har resulterat i att företag hamnat i en oönskad beroendeställning till brännarleverantörer.

Drift och underhåll samt ett väl fungerande styrsystem är avgörande för att uppnå kontroll över den egna processen och inte minst över utsläppen. Under drift påverkas och slits ugnen och dess kringutrustning. Sprickor uppstår som leder till att luft läcker in. Ugnsatmosfären påverkas även av att regulatorer med tiden fungerar allt sämre och/eller inte visar korrekta värden.

Genomförs större investeringar i ny förbränningsteknik som en medveten satsning baserad på kunskap finns förutsättningarna att uppnå kontroll över NO_x -utsläppen. Sådana investeringar gynnar även kvalitet, effektivitet och sänker därmed ofta energianvändningen. Förbränningen i valsverksugnar räknas idag enligt naturvårdsverket som en ren energiproducerande verksamhet. För uppvärmning av valsverksugnar kan det uppstå en konflikt mellan att sänka energianvändning och utsläpp av NO_x . Genom den måtenhet man idag valt att använda som gränsvärde missgynnas energieffektiva eller värmeåtervinnande tekniker. Deras totala

utsläpp av NO_x kan vara likvärdigt men genom att en mindre mängd energi i form av bränsle tillförs ökar den relativa NO_x-halten.

Ett alternativ för att sänka NO_x -utsläppen är sekundär rening. Utvecklingen de senaste åren har medfört att reningstekniker som under början av 1990-talet inte ansågs vara applicerbara nu kan användas på valsverksugnar (och snart kanske även på ljusbågsugnar).

Efter upprepade försök att förstå varför företagets två, i stort sett identiska, stegbalksugnar gav så olika utsläppsnivåer valde AvestaPolarit att investera i en SNCR anläggning. Detta var en nödvändig åtgärd för att kunna få tillstånd om utökad produktion. I det här fallet var det luftkvalitetsnormerna för omgivningsluft som avgjorde begränsning för utsläppen. Investeringens lyckade resultat har medfört intresse hos andra stålföretag att titta närmare på anläggningen och för att själva överväga liknande investeringar. Tvivel om SCR och SNCR kan betraktas som BAT är ju tydligt uttryckt i BREF för ståltillverkning. Denna och övrig information i dokumentet är ett resultat av samarbete mellan industri, myndigheter och branschorganisationer. BREF i sig är ett resultat av internationella konventioner. Industrins medverkan har därför stor betydelse för dokumentens innehåll. En investering i en reningsanläggning för kväveoxider bidrar till att betrakta NO_x som en ren miljöfråga vilken inte integreras till att vara en processparameter bland andra. Hur man i framtiden vill betrakta NO_x påverkas av de enskilda företagens strategier. Men styrs av samarbetet på global och regional nivå vilket förhoppningsvis kan vara så lyckat att myndighetskraven för de enskilda företagen inte upplevs ohanterliga och resulterar i kortsiktiga investeringar.

Slutsatser

- Kravet på utsläppsreduktioner i förslaget går längre än vad som överenskommit inom ramen för luftkonventionen. Motiveringen för att ytterligare minska utsläppen med fem procent jämfört med luftkonventionen är att positiva effekter nås på flera av miljömålen.
- De flesta åtgärder som genomförts inom stålindustrin har en kostnad som överstiger 40 kr/kg avskilt NO_x.
- Utsläpp av NO_x kan påverkas redan i [konstruktions](#)-stadiet.
- Fungerande processtyrning och god drift och underhåll kan avsevärt sänka producerad mängd NO_x
- Kunskapslucka om sambandet mellan NO_x och olika processparametrar gör att det vid kontakter med myndigheter är svårt att hävda verksspecifika förutsättningar för en rimlig utsläppsnivå.
- SNCR tekniken vilken tidigare inte ansågs vara applicerbar på valsverksugnar har [under vissa förutsättningar](#) gett lyckat resultat.
- Rening på LB kan vara teknisk möjlig.
- Mätvärdet mgNO_x/MJ tillfört bränsle missgynnar energieffektiva lösningar, t ex oxyfuel.
- Låg NO_x -brännare ger inte alltid bästa resultat.

Bilagor

Bilaga 1; Sofia protokollets tekniska bilaga för stationära källor

1. The purpose of this annex is to provide guidance to the Parties to the Convention in identifying NO_x control options and techniques in the implementation of their obligations under the Protocol.
2. It is based on information on options and techniques for NO_x emission reduction and their performance and costs contained in official documentation of the Executive Body and its subsidiary bodies; and in documentation of the ECE Inland Transport Committee and its subsidiary bodies; and on supplementary information provided by governmentally designated experts.
3. The annex addresses the control of NO_x emissions considered as the sum of nitrogen oxide (NO) and nitrogen dioxide (NO₂) expressed as NO₂ and lists a number of NO_x reduction measures and techniques spanning a wide range of costs and efficiencies. Unless otherwise indicated these techniques are considered to be well established on the basis of substantial operating experience, which in most cases has been gained over five years or more. It cannot, however, be considered as an exhaustive statement of control options; its aim is to provide guidance to Parties in identifying best available technologies which are economically feasible as a basis for national emission standards and in the introduction of pollution control measures.
4. The choice of pollution control measures for any particular case will depend on a number of factors, including the relevant legislative and regulatory provisions, primary energy pattern, industrial infrastructure and economic circumstances of the Party concerned and, in the case of stationary sources, the specific circumstances of the plant. It should be borne in mind also that sources of NO_x are often sources of other pollutants as well, such as sulphur oxides (SO_x), volatile organic compounds (VOCs), and particulates. In the design of control options for such sources, all polluting emissions should be considered together in order to maximize the overall abatement effect and minimize the impact of the source on the environment.
5. The annex reflects the state of knowledge and experience of NO_x control measures, including retrofitting, which has been achieved by 1992, in the case of stationary sources, and by 1994 in the case of mobile sources. As this knowledge and this experience continuously expand, particularly with new vehicles incorporating low-emission technology and the development of alternative fuels, as well as with retrofitting and other strategies for existing vehicles, the annex needs to be updated and amended regularly.

I. CONTROL TECHNOLOGIES FOR NO_x EMISSIONS FROM STATIONARY SOURCES

6. Fossil fuel combustion is the main source of anthropogenic NO_x emissions from stationary sources. In addition, some non-combustion processes may contribute considerably to the emissions. The major stationary source categories of NO_x emissions, based on EMEP/CORINAIR 90, include:
 - (a) Public power, cogeneration and district heating plants:
 - (i) Boilers;
 - (ii) Stationary combustion turbines and internal combustion engines;
 - (b) Commercial, institutional and residential combustion plants:
 - (i) Commercial boilers;
 - (ii) Domestic heaters;
 - (c) Industrial combustion plants and processes with combustion:

- (i) Boilers and process heaters (no direct contact between flue gas and products);
 - (ii) Processes (direct contact); (e.g. calcination processes in rotary kilns, production of cement, lime, etc., glass production, metallurgical operation, pulp production);
 - (d) Non-combustion processes, e.g. nitric acid production;
 - (e) Extraction, processing and distribution of fossil fuels;
 - (f) Waste treatment and disposal, e.g. incineration of municipal and industrial waste.
7. For the ECE region, combustion processes (categories (a), (b), (c)), account for 85 per cent of NO_x emissions from stationary sources. Non-combustion processes, e.g. production processes, account for 12 per cent, and extraction, processing and distribution of fossil fuels for 3 per cent of total NO_x emissions. Although in many ECE countries, power plants in category (a) are the largest stationary contributor to NO_x emissions, road traffic is usually the largest single overall source of NO_x emissions, but the distribution does vary between Parties to the Convention. Furthermore, industrial sources should be kept in mind.

GENERAL OPTIONS FOR REDUCING **NO_x** EMISSIONS FROM COMBUSTION

8. General options for **NO_x** reduction are:
- (a) Energy management measures:¹
 - (i) Energy saving;
 - (ii) Energy mix;
 - (b) Technical options:
 - (i) Fuel switching/cleaning;
 - (ii) Other combustion technologies;
 - (iii) Process and combustion modifications;
 - (iv) Flue gas treatment.
9. To achieve the most efficient NO_x reduction programme, beyond the measures listed in (a), a combination of technical options identified in (b) should be considered. Furthermore, the combination of combustion modification and flue gas treatment needs site specific evaluation.
10. In some cases, options for reducing NO_x emissions may also result in the reduction of emissions of CO₂ and SO₂ and other pollutants.

I. CONTROL TECHNOLOGIES FOR NO_x EMISSIONS FROM STATIONARY

Energy saving

11. The rational use of energy (improved energy efficiency/process operation, cogeneration and/or demand-side management) usually results in a reduction in NO_x emissions.

Energy mix

12. In general, NO_x emissions can be reduced by increasing the proportion of non-combustion energy sources (i.e. hydro, nuclear, wind, etc.) to the energy mix. However, further environmental impacts have to be considered.

Fuel switching/cleaning

13. Table 1 shows the uncontrolled NO_x emission levels to be expected during fossil fuel combustion for the different sectors.
14. Fuel switching (e.g. from high- to low-nitrogen fuels or from coal to gas) can lead to lower NO_x emissions but there may be certain restrictions, such as the availability of low NO_x emitting fuels (e.g. natural gas on plant level) and adaptability of existing furnaces to different fuels. In many ECE countries, some coal or oil combustion plants are being replaced by gas-fired combustion plants.

15. Fuel cleaning for fuel nitrogen removal is not a commercial option. Increasing the application of cracking technology in refineries, however, also brings about a reduction in the nitrogen content of the end-product.

Other combustion technologies

16. These are combustion technologies with improved thermal efficiency and reduced NO_x emissions. They include:
- a. Cogeneration using gas turbines and engines;
 - b. Fluidized bed combustion (FBC): bubbling (BFBC) and circulating (CFBC);
 - c. Integrated gasification combined cycle (IGCC);
 - d. Combined cycle gas turbines (CCGT).
17. The emission levels for these techniques are summarized in table 1.
18. Stationary combustion turbines can also be integrated into existing conventional power plants (known as topping). The overall efficiency can increase by 5 per cent to 6 per cent, but achievable NO_x reduction will depend on site and fuel specific conditions. Gas turbines and gas engines are widely applied in cogeneration applications. Typically some 30 per cent energy saving can be attained. Both have made significant progress in reducing NO_x emissions through new concepts in combustion and system technology. However, major alterations to the existing boiler system become necessary.
19. FBC is a combustion technology for burning hard coal and brown coal but it can also burn other solid fuels such as petroleum coke and low-grade fuels such as waste, peat and wood. In addition, emissions can be reduced by integrated combustion control in the system. A newer concept of FBC is pressurized fluidized bed combustion (PFBC) presently being commercialized for the generation of electricity and heat. The total installed capacity of FBC has approached approximately 30,000 MW_{th} (250 to 350 plants), including 8,000 MW_{th} in the capacity range of > 50 MW_{th}.
20. The IGCC process incorporates coal gasification and combined cycle power generation, in a gas and steam turbine. The gasified coal is burned in the combustion chamber of the gas turbine. The technology also exists for heavy oil residue and bitumen emulsion. The installed capacity is presently about 1,000 MW_{el} (5 plants).
21. Combined cycle gas power stations using advanced gas turbines with an energy efficiency of 48 per cent-52 per cent and with reduced NO_x emissions are currently being planned.

Process and combustion modifications

22. These are measures applied during combustion to reduce the formation of NO_x. They include the control of combustion air ratio, flame temperature, fuel to air ratio, etc. The following combustion techniques, either singly or in combination, are available for new and existing installations. They are widely implemented in the power plant sector and in some areas of the industrial sector:
- (a) Low excess air combustion (LEA);[2](#)
 - (b) Reduced air preheat (RAP);[2](#)
 - (c) Burner-out-of-service (BOOS);[2](#)
 - (d) Biased-burner-firing (BBF);[2](#)
 - (e) Low NO_x burners (LNB);[2, 3](#)
 - (f) Flue gas recirculation (FGR);[3](#)
 - (g) Over fire air combustion (OFA);[2, 3](#)
 - (h) In-furnace-NO_x-reduction reburning (IFNR);[4](#)
 - (i) Water/steam injection and lean/premixed combination.[5](#)
23. The emission levels due to the application of these techniques are summarized in [table 1](#) (based mainly on experience in power plants).

24. Combustion modifications have been under continuous development and optimization. In-furnace-NO_x-reduction is being tested in some large-scale demonstration plants, whereas basic combustion modifications are incorporated mainly into boiler and burner design. For example, modern furnace designs incorporate OFA ports, and gas/oil burners are equipped for flue gas recirculation. The latest generation of LNBs combines both air-staging and fuel-staging. A remarkable increase in full-scale retrofit of combustion modifications in ECE member countries has been recorded in the last years. By 1992 a total of about 150,000 MW was installed.

Flue gas treatment processes

25. Flue gas treatment processes aim at removing already formed NO_x and are also referred to as secondary measures. Wherever possible it is usual to apply primary measures as a first stage of NO_x reduction before applying flue gas treatment processes. The state-of-the-art flue gas treatment processes are all based on the removal of NO_x by dry chemical processes.
26. They are the following:
- (a) Selective Catalytic Reduction (SCR);
 - (b) Selective Non-catalytic Reduction (SNCR);
 - (c) Combined NO_x/SO_x removal processes:
 - (i) Activated Carbon Process (AC);
 - (ii) Combined catalytic NO_x/SO_x removal.
27. The emission levels for SCR and SNCR are summarized in [table 1](#). Data are based on the practical experience gathered from a large number of implemented plants. By 1991 in the European part of the ECE about 130 SCR plants corresponding to 50,000 MWel, 12 SNCR installations (2,000 MWel), 1 AC plant (250 MWel) and 2 combined catalytic processes (400 MWel) were erected. The NO_x removal efficiency of AC and combined catalytic processes are similar to SCR.
28. Table 1 also summarizes the costs of applying the NO_x abatement technologies.

CONTROL TECHNIQUES FOR OTHER SECTORS

29. Unlike most combustion processes, the application of combustion and/or process modifications in the industrial sector has many process specific limitations. In cement kilns or glass melting furnaces, for example, certain high temperatures are necessary to ensure the product quality. Typical combustion modifications being used are staged combustion/low NO_x burners, flue gas recirculation and process optimization (e.g. precalcination in cement kilns).
30. Some examples are given in table 1.

SIDE-EFFECTS/BY-PRODUCTS

31. The following side-effects will not prevent the implementation of any technology or method, but should be considered when several NO_x abatement options are possible. However, in general, these side-effects can be limited by proper design and operation:
- (a) Combustion modifications:
 - Possible decrease in overall efficiency;
 - Increased CO formation and hydrocarbon emissions;
 - Corrosion due to reducing atmosphere;
 - Possible N₂O formation in FBC systems;
 - Possible increase of carbon fly ash;
 - (b) SCR:
 - NH₃ in the fly ash;
 - Formation of ammonium salts on downstream facilities;
 - Deactivation of catalyst;
 - Increased conversion of SO₂ to SO₃;
 - (c) SNCR:

- NH₃ in the fly ash;
 - Formation of ammonium salts on downstream facilities;
 - Possible formation of N₂O.
32. In terms of by-products, deactivated catalysts from the SCR process are the only relevant products. Due to the classification as waste, a simple disposal is not possible, however recycling options exist.
33. The reagent production of ammonia and urea for flue gas treatment processes involves a number of separate steps which require energy and reactants. The storage systems for ammonia are subject to the relevant safety legislation and such systems are designed to operate as totally closed systems, with a resultant minimum of ammonia emissions. The use of NH₃ is, however, not jeopardized even when taking into account the indirect emissions related to the production and transportation of NH₃.

MONITORING AND REPORTING

34. The measures taken to carry out national strategies and policies for the abatement of air pollution include legislation and regulatory provisions, economic incentives and disincentives, as well as technological requirements (best available technology).
35. In general emission limiting standards may be set per emission source according to plant size, operating mode, combustion technology, fuel type and whether it is a new or existing plant. An alternative approach also used is to set a target for the reduction of total NO_x emissions from a group of existing sources and to allow the Parties to choose where to take action to reach this target (bubble concept).
36. The limiting of the NO_x emissions to the levels set out in the national framework legislation has to be controlled by a permanent monitoring and reporting system and reported to the supervising authorities.
37. Several monitoring systems, using both continuous and discontinuous measurement methods, are available. However quality requirements vary among Parties. Measurements are to be carried out by qualified institutes and approved measuring/monitoring systems. To this end a certification system would provide the best assurance.
38. In the framework of modern automated monitoring systems and process control equipment, reporting creates no problems. The collection of data for further use is a state-of-the-art technique. However, data to be reported to competent authorities differ from Party to Party. To obtain better comparability, data sets and prescribing regulations should be harmonized. Harmonization is also desirable for quality assurance of measuring/monitoring systems. This should be taken into account when comparing data from different Parties.
39. To avoid discrepancies and inconsistencies, key issues and parameters including the following, must be well-defined:
- Definition of the standards expressed as ppmv, mg/m³, g/GJ, kg/h or kg/t of products. Most of these units need to be calculated and need specification in terms of gas temperature, humidity, pressure, oxygen content or heat input value;
 - Definition of time over which standards may be averaged, expressed as hours, months or a year;
 - Definition of failure times and corresponding emergency regulations regarding bypass of monitoring systems or shut-down of the installation;
 - Definition of methods for backfilling of data missed or lost as a result of equipment failure;
 - Definition of the parameter set to be measured. Depending on the type of industrial process, the necessary information may differ. This also involves the location of the measurement point within the system.

40. Quality control of measurements must be ensured.

1 Options (a) (i) and (ii) are integrated in the energy structure/policy of a Party. Implementation status, efficiency and costs per sector are not considered here.

2 Typical retrofit measures, with limited efficiency and applicability.

3 State-of-the-art in new plants.

4 Implemented in single large commercial plants; operational experience still limited.

5 For combustion turbines.

6 Replaced by Regulation No. 83.

TABLE 1 (Selected parts)

Energy source	Uncontrolled Emissions		Process and Combustion Modifications			Flue Gas Treatment						
	mg/m ³ ¹	g/GJ ¹	mg/m ³ ₁	g/GJ ₁	ECU/kWel ²	(a) Non-catalytic			(b) Catalytic (after primary measures)			
						mg/m ³ ₁	g/GJ ₁	ECU/kWel ₂	mg/m ³ ₁	g/GJ ₁	ECU/kWel ²	
Industrial processes:												
Metals:												
Sintering	300-500 ¹⁶	1.5 kg/t							<500			
Coke ovens	1 000	1 kg/t										
Baked carbon fuels	< 3 000											
Electric arc furnaces	50-200											
Energy source	Uncontrolled Emissions		Process and Combustion Modifications			Flue Gas Treatment						
	mg/m ³ ¹	kg/t ⁹	mg/m ³ ¹	kg/t ⁹	ECU/t ²	(a) Non-catalytic			(b) Catalytic (after primary measures)			
						mg/m ³ ¹	kg/t	ECU/kWel ²	mg/m ³ ¹	kg/t ⁹	ECU/kWel ²	
Source category (iv): Non-combustion processes												
Nitric acid:												
Low pressure (1-2.2 bar)	5 000	16.5										
Medium pressure (2.3-8 bar)	approx. 1 000	3.3										
High pressure (8-15 bar)	< 380	< 1.25								0.01-0.8		
HOKO (-50 bar)	< 380	< 1.25										
Pickling:												
Brass		25 ¹⁰										
Stainless steel		0.3										
Carbon steel		0.1										

¹ Emissions in mg/m³ NO₂ (STP dry) resp. g/GJ¹⁰ g/m² surface area.

thermal input. Conversion factors (mg/m³ to g/GJ) for NO_x emissions from coal (hard coal): 0.35, coal (lignite): 0.42, oil/gas: 0.277, peat: 0.5, wood + bark: 0.588 [1 g/GJ = 3.6 mg/kWh].

² Total investments 1 ECU = 2 DM.

³ Reduction generally achieved in combination with primary measures. Reduction efficiency between 80 and 95 per cent.

⁴ At 5 per cent O₂.

⁵ At 6 per cent O₂.

⁶ At 3 per cent O₂.

⁷ Incl. costs for boiler.

⁸ At 7 per cent O₂.

¹¹ At 11 per cent O₂.

¹² Tail gas SCR configuration as opposed to high dust.

¹³ At 15 per cent O₂.

¹⁴ Bitumen emulsion.

¹⁵ Untreated wood only.

¹⁶ Heat recovery and gas recirculation.

¹⁷ For dry substance < 75 per cent.

⁹ Emissions from industrial processes are generally expressed as kg/t of product. ¹⁸ With supplementary firing; approximate additional thermal NOx: 0-20 g/GJ.

NA: not applicable.

no data: technology applied, but no data available.

Bilaga 2; Förordning om miljö kvalitetsnormer;

SFS 2001:527 ”Förordning om miljö kvalitetsnormer för utomhusluft ” träder i kraft 19 juli 2001.

Miljö kvalitetsnormer för luft**Kvävedioxid**

3 § Följande värden för kvävedioxid i utomhusluft får inte överskridas efter den 31 december 2005. Värden för skydd av människors hälsa i orter i hela landet med fler än 200 invånare och där avståndet mellan husen vanligtvis inte överstiger 200 m:

Medelvärdestid	Värde	Anmärkning
1 timme	90 mg/m ³	Värdet får inte överskridas mer än 175 timmar per år
1 dygn	60 mg/m ³	Värdet får inte överskridas mer än 7 dygn per år
1 år	40 mg/m ³	aritmetiskt medelvärde

Värden för skydd av vegetation utanför orter som avses ovan.

Medelvärdestid	Värde	Anmärkning
1 år	30 mg/m ³	aritmetiskt medelvärde

Bilaga 3 Utdrag ur; Rådets direktiv om gränsvärden för svaveldioxid, kvävedioxid, partiklar och bly i luften.

Rådets direktiv 1999/30/EG av den 22 april 1999 om gränsvärden för svaveldioxid, kvävedioxid, partiklar och bly i luften.

Bilaga II; Gränsvärden för kväveoxid (NO₂) och kväveoxider NO_x samt tröskelvärde för kvävedioxid

Gränsvärden skall anges i µg/m³. Volymen skall standardiseras vid följande temperatur och tryckförhållanden: 293 °C och 101.3 kPa.

	Genomsnitts grundande tid	Gränsvärde	Toleransmarginal	Datum då gränsvärdet skall ha uppnåtts
Timgränsvärde för skydd för människors hälsa	1 timme	200 µg/m ³ NO ₂ . Värdet får inte överskridas mer än 18 gånger per kalenderår	50% då detta direktiv träder i kraft. Denna marginal skall från den 1 januari minskas var 12:e månad med samma procenttal varje år för att nå 0 % den 1 januari 2010	1 januari 2010
Årsgränsvärde för skydd för människors hälsa	Kalenderår	40 µg/m ³ NO ₂	50% då detta direktiv träder i kraft. Denna marginal skall från den 1 januari minskas var 12:e månad med samma procenttal varje år för att nå 0 % den 1 januari 2010	1 januari 2010
Årsgränsvärde för skydd för växtlighet	Kalenderår	30 µg/m ³ NO _x	Ingen	19 juli 2001

Bilaga 4; Resultatet av kväveoxidavgiften mellan åren 1992 och 1999.

År	Produktionsenheter antal	NOx- utsläpp ton	Nyttiggjord energi GWh	kgNOx/M Wh, nyttig energi	mgNOx/M J tillförd energi*	Tillgodoför ing kr/MWh	Miljöavgift milj.kr
1992	181	15 305	37 465	0,409	99	16,17	612
1993	189	13 333	41 158	0,324	78	12,58	533
1994	202	13 025	45 193	0,288	70	11,35	521
1995	210	12 517	46 627	0,268	65	10,69	501
1996	274	16 083	57 150	0,281	68	11,26	643
1997	371	15 107	54 911	0,275	66	10,77	604
1998	374	14 617	56 367	0,259	63	10,14	585
1999	375	14 050	54 921	0,256	62	10,09	562

* Beräknat med en antagen medelpannverkningsgrad på 87%

Källa Resultat av kväveoxidavgiften 1999.

Bilaga 5; Jämförelse mellan de olika NO_x reduktionsmetoderna för ugnar.

Utdrag ut BREF –dokumentet för vidarebehandling av stål, D.2.6 Comparison of NO_x Reduction Methods for Furnaces

Technique	Advantages	Disadvantages
Low-NO_x Burners	<ul style="list-style-type: none"> Moderate to high level of NO_x reduction Fuel consumption unchanged Low or zero operating cost penalty 	<ul style="list-style-type: none"> High capital cost Longer flame Poor flame shape Reduced flame velocity Poor furnace temperature uniformity Reduced flame stability Larger burners Poor turndown
Limiting air Preheat	<ul style="list-style-type: none"> Can be simple, with low or zero capital cost Moderate to high level of NO_x reduction 	<ul style="list-style-type: none"> Increased fuel costs Downrating of combustion equipment Reduced flame stability Reduced burner velocity therefore furnace temperature uniformity
Flue gas Recirculation	<ul style="list-style-type: none"> Moderate to high level of NO_x reduction Improved temperature uniformity(?) Medium capital costs (if no uprating required) 	<ul style="list-style-type: none"> High capital cost (if uprating required) Increased fuel and electricity costs More space required especially if uprating required Reduced flame stability Downrating of existing combustion system
SCR	<ul style="list-style-type: none"> High level of NO_x removal Combustion system not downrated 	<ul style="list-style-type: none"> Very high capital costs Increased energy and operating costs Ammonia slip Ammonia storage problems Sensitive to changes in temperature/flowrates Requires specific waste gas emperature
SNCR	<ul style="list-style-type: none"> Moderate to high level of NO_x reduction Combustion system not downrated 	<ul style="list-style-type: none"> High capital cost Increased energy and operating costs Ammonia slip Ammonia storage problems unless urea is used) Sensitive to changes in emperature/flowrates/ toichiometry Requires specific furnace temperature

Note Source [ETSU-gir-45] ?) Indicates a possible or likely effect

Table D.2-2: Comparison of NO_x reduction

Bilaga 6; Utdrag ur sammanfattningen; BREF -dokumentet för vidarebehandling av stål

Best Available Techniques / Split views on BAT	BAT-associated emission and consumption levels / Split views on associated levels
Re-heating and heat treatment furnaces	
<ul style="list-style-type: none"> • General measures, e.g. regarding furnace design or operation & maintenance, as described in chapter A.4.1.3.1. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Avoiding excess air and heat loss during charging by operational measures (minimum door opening necessary for charging) or structural means (installation of multi-segmente doors for tighter closure). 	
<ul style="list-style-type: none"> • Careful choice of fuel and implementation of furnace automation/control to optimise the firing conditions. <ul style="list-style-type: none"> - for natural gas - for all other gases and gas mixtures - for fuel oil (< 1 % S) 	SO ₂ levels: < 100 mg/Nm ³ < 400 mg/Nm ³ up to 1700 mg/Nm ³
Split view: <ul style="list-style-type: none"> • limitation of sulphur content in fuel to < 1 % is BAT • lower S limit or additional SO₂ reduction measures is BAT 	
<ul style="list-style-type: none"> • Recovery of heat in the waste gas by feedstock pre-heating • Recovery of heat in the waste gas by regenerative or recuperative burner systems • Recovery of heat in the waste gas by waste heat boiler or evaporative skid cooling (where there is a need for steam) 	Energy savings 25 - 50 % and NO _x reductions potentials of up to 50 % (depending on system).
<ul style="list-style-type: none"> • Second generation low-NO_x burners 	NO _x 250 - 400 mg/Nm ³ (3% O ₂) without air pre-heating reported NO _x reduction potential of about 65 % compared to conventional.
<ul style="list-style-type: none"> • Limiting the air pre-heating temperature. Trade-off energy saving vs. NO_x emission: Advantages of reduced energy consumption and reductions in SO₂, CO₂ and CO have to be weighed against the disadvantage of potentially increased emissions of NO_x 	
Split view: <ul style="list-style-type: none"> • SCR and SNCR are BAT 	achieved levels 1 : SCR: NO _x < 320 mg/Nm ³ SNCR: NO _x < 205 mg/Nm ³ , ammonia slip 5 mg/Nm ³
Not enough information to decide whether or not SCR/SNCR are BAT	
<ul style="list-style-type: none"> • Reduction of heat loss in intermediate products; by minimizing the storage time and by insulating the slabs/blooms (heat conservation box or thermal covers) depending on production layout. • Change of logistic and intermediate storage to allow for a maximum rate of hot charging, direct charging or direct rolling (the maximum rate depends on production schemes and product quality). 	
<ul style="list-style-type: none"> • For new plants, near-net-shape casting and thin slab casting, as far as the product to be rolled can be produced by this technique. 	
¹ These are emission levels reported for the one existing SCR plant (walking beam furnace) and the one existing SNCR plant (walking beam furnace).	

Table 1 continued: Key findings regarding BAT and associated emission/consumption levels for hot rolling

Bilaga 7; Praktiska problem som kan uppstå vid SCR- och SNCR- rening

Utrag ur BREF ”Ferrous metal processing”, Part A/Chapter 4

SCR

Some doubts were expressed regarding the technical feasibility of SCR, which may limit the applicability to reheating furnaces:

- Some practical problems are likely to be encountered in application of SCR on steel reheating/heat treatment furnaces as production rate (and therefore thermal input) and temperature profiles are not steady state. To avoid either excessive NH_3 slip or excess NO_x in the stack, the ammonia injection rate would need to be controlled to match rapidly changing exhaust flow rates and NO_x concentrations. [ETSU-GIR-45].
- SCR technology requires certain limits of temperature and volume flow, which might not be achieved by some plants [DK 30.6].
- The required flue gas temperature suitable for SCR may not be readily available. If the temperatures are too high, dilution air could be used, although furnace draughting may then not be acceptable. [ETSU-GIR-45].
- In the case of regenerative burners, the efficiency of flue gas heat recovery would be affected, unless the SCR could be incorporated midway in a regenerator bed (e.g. the bed would need to split). [ETSU-GIR-45].
- Many plants recover the waste heat of the exhaust gases for reasons of energy efficiency. The resulting temperature of the waste gas in the range 150 – 210 °C and needs to be reheated for the SCR catalyst to work properly. Consequently, additional energy input would be necessary [EUROFER 2.7].
- As there is only very limited experience with the application of SCR at reheating furnaces (only one plant and only for walking beam furnaces), it is not verified whether the technique will work under all temperature conditions and air ratios, [EUROFER 30.6]
- With higher dust concentrations in the waste gas (e.g. if fuel oil is used as energy source) de-dusting measures would be required to protect the catalyst [EUROFER 2.7].
- In integrated steel plants, plant gases (blast furnace top gas, BOF converter gas or coke oven gas) are used as fuel. They contain usually only negligible traces of zinc or other metals, but these could still contaminate the surface of the catalyst and gradually reduce its efficiency and lifetime [EUROFER 2.7].
- A problem which can arise is the formation of acidic ammonium sulphate $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ or bisulphate $(\text{NH}_4)\text{HSO}_4$ particles by the reaction of excess ammonia carried over from the SCR reactor with SO_2 and SO_3 in the cooler flue gases downstream. Deposition of these particles can cause fouling, erosion and corrosion of downstream equipment surfaces. The formation of ammonium sulphate is minimized by the use of slightly sub-stoichiometric amounts of NH_3 (0.9 – 1.0 mole of NO_x) to suppress carry over. [HMIP-95-003], [ETSU-GIR-45].

SNCR

Some doubts were expressed regarding the technical feasibility of SNCR which may limit the applicability to reheating furnaces. Problems in applying SNCR to reheating furnaces. Problems in applying SNCR to reheating furnaces due to large variations in process conditions (waste heat temperature, volume flow etc.) and or non-availability of suitable temperature window are probably the same as for application of SCR (see above):

- The temperature window for SNCR is about 850 – 1100 °C (depending on the reagent). For those regenerative systems which have furnace temperatures well in excess of 1000 °C, the appropriate SNCR temperature range is liable to be found within the regenerator bed, which may militate against the use of the method. Control systems would be complicated if there were a need to 'follow' a temperature window which can change its location within the furnace/burner as thermal inputs and production rates altered. [HMIP-95-003], [EUROFER HR]
- A potential drawback of the SNCR technique is the formation of ammonium sulphate by the carry over of NH_3 . The use of clean gaseous fuels such as natural gas in conjunction with SNCR should avoid the reported problems of adhesive and corrosive compounds that otherwise can occur. This may not be the case with sulphur-containing steelwork gases. [HMIP-95-003]

Bilaga 8; Förkortningar och dess betydelse

Förkortning	Engelsk betydelse	Svensk term
BAT	Best Available Technique	Bästa Tillgängliga teknik
BEP	Best Environmental Practice	
BREF	BAT reference document	BAT referens dokument
CAMP	Comprehensive Atmospheric Programme	
CLRTAP	Convention on Long-range Transboundary Air Pollution	Luftkonventionen
EEA	European Environmental Agency	Europeiska Miljöbyrån
EMEP	Cooperative programme for the monitoring and evaluation of the long-range transmission of air pollutants in Europe	Samarbetsprogramet för övervakning och utvärdering av den långväga spridningen av luftföroreningar
FGR	Flue Gas Recirkulation	Rökgas recirkulering
FLOX	Flameless Oxidation	-
HPAC	Highly Preheated Air Combustion	-
IPPC	Integrated Pollution Prevention and Control	Direktiv om samordnade åtgärder för att förebygga och begränsa föroreningar
LPG	Liquefied Petroleum Gas	Gasol
PPP	Polluter Pays Principle	Principen att Förorenaren Betalar
SCR	Selective catalytic reduction	Selektiv katalytisk rening
SNCR	Selective non-catalytic reduction	Selektiv icke-katalytisk rening
VOC	Volatile organic compounds	Flyktiga organiska föreningar

Bilaga 9; Länkar

Konventioner

Luftvårdskonventionens hemsida
<http://www.unece.org/env/lrtap/>

Klimatkonventionens hemsida,
<http://www.unfccc.de/>

Helsingforskommissionen webbsida
<http://www.helcom.fi>

Oslo-Pariskommissionens webbsida
<http://www.ospar.org>

Direktiv

IPPC

Sammanfattande information om direktivet

http://europa.eu.int/comm/environment/ippc/index_sv.htm

Direktivet

http://europa.eu.int/eur-lex/sv/lif/dat/1996/sv_396L0061.html

IPPC-byråns hemsida där BREF-dokumenterna kan hämtas
<http://eippcb.jrc.es>

BREF-dokumenterna

<http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>

Rådets direktiv om gränsvärden för svaveldioxid, kvävedioxid och kväveoxider, partiklar och bly i luften

http://europa.eu.int/eur-lex/sv/lif/dat/1999/sv_399L0030.html

Övrigt

Miljömålskommitténs utredning; Allas vårt ansvar,

<http://www.miljo.regeringen.se/propositionermm/sou/index.htm>

Naturvårdsverket

Naturvårdsverket hemsida

www.environ.se

De har ett omfattande informationsmaterial där man får klicka sig fram i menyerna.

Under följande menyer kan information hittas

Samhälle & miljömål

- Kväveoxidavgiften
- Miljömålen

Teknik

>Föroreningar>Försurning; Utsläpp av försurande ämnen i Sverige 1980-1998

Statistiska Centralbyrån

Statistik om utsläpp av Kväveoxider i Sverige

http://www.scb.se/sm/MI18SM0001_tabeller.asp#BM0

Referenser

- i Luftvårdskonventionens hemsida, <http://www.unece.org/env/lrtap/>
- ii Klimatkonventionens hemsida, <http://www.unfccc.de/>
- iii Helsingforskommissionen webbsida, <http://www.helcom.fi>
- vi Oslo-Pariskommissionens webbsida, <http://www.ospar.org>
- v Europeiska gemenskaperna, 1995-2001, utsläpp från industrier, IPPC-direktivet http://europa.eu.int/comm/environment/ippc/index_sv.htm
- vi Rådets direktiv 96/61/EG av den 24 september 1996 om samordnade åtgärder för att förebygga och begränsa föroreningar, Europeiska gemenskapernas officiella tidning nr L 257 , 10/10/1996 s. 0026 – 0040
- vii Rådets direktiv 1999/30/EG av den 22 april 1999 om gränsvärden för svaveldioxid, kvävedioxid och kväveoxider, partiklar och bly i luften, Europeiska gemenskapernas officiella tidning nr L 163 , 29/06/1999 s. 0041 - 0060
- viii Miljömålskommitténs utredning, Framtidens miljö– allas vårt ansvarSOU 2000:52, Miljödepartementet.
- ix Börje Borgström, Miljöavgift på utsläpp av kväveoxider vid energiproduktion 1999, Miljörättsavdelningen 713-4289-00 Rt, Tillsynsenheten
- x BREF document: Iron steel production, 2000
- xi BREF document: Ferrous metal processing, 2000
- xii J.A Wunning, J.G Wunning, Flameless oxidation to reduce thermal NO- formation, energy combust. Sci, Vol. 23, pp 81-94, 1997
- xiii Howard D Goodfellow, NOx Emissions from EAF Steelmaking- Assesment and Abatement, 2000 electric furnace conference proceedings, 2000
- xiv Tornberg, Örjan, Månsson, Lars, ”Utredning av NOx –emissioner stålverkets ljusbågsugn Sandvik Steel AB, ”, METLAB miljö AB, 1997
- xv Muren, David, Nyman, Fredrik, ”Avgasanalys på ljusbågsugnen vid Sandvik Steel”, AGA Gas AB,
- xvi Abrahamsson, Christer, NO_x-mätning stålverkets LB-ugn Sandvik Steel AB, ”, METLAB miljö AB, 1997
- xvii Wiklund, Ulf, ”Mätning av kväveoxidförekomsten i rökgasen från elektrostålugn vid Kloster speedsteel AB, Söderfors”, IMAB, 1989

-
- xviii Allhammar, Göran, "Utsläpp av NO_x Fundia svenska AB Smedjebacken", Miljökonserterna, 1994
- xix Tornberg, Örjan, Månsson, Lars, "Utredning av NO_x -emissioner stålverkets ljusbågsugn LB-9 AvestaPolarit AB", METLAB miljö AB, 1997
- xx Dahlstedt, Anna, Östberg, Anders, "NO_x- och kolväteemission vid ljusbågsugnar", Jernkontorets forskning, 1991
- xxi Chikao Yokokawa, Hirokazu Oda, Akira Fukawa, Kengo Tanaka, Model study on the formation of fuel-NO_x from cokes on combustion effect of metal oxides, FUEL, 1981, vol 60, s. 495 – 498
- xxii Arvidsson, Eva- Maria, "Ugnstrycksberoende för NO_x-bildning i ljusbågsugn, utredning 2 (U2) enligt koncessionsbeslut 1996-01-08, Nr 4/96" Ovako Steel, 1997
- xxiii Abrahamsson, Christer, NO_x-mätning stålverkets LB-ugn Sandvik Steel AB, ", METLAB miljö AB, 1997
- xxiv Förbränning i industriella processer, Kurspärm, KTH
- xxv von Schéele, Joachim, Ekman, Thomas, All Oxy-fuel in heating furnaces, Nordic steel and mining review, 2000
- xxvi Lallemand et al, Flame structure, heat transfer and pollutant emissions characteristics of oxy-natural gas flames in the 0.7-1 MW thermal input range, Journal of the institute of energy, September 2000, 73, pp 169-182
- xxvii W. Fujisaki, T. Nakamura, Thermal and NO_x characteristics of high performance oxy-fuel flames, Energy research institute, Tokyo Gas Co
- xxviii Blasiak Wlodzimierz, Blasiak, Ollson, Hilmer, Highly preheated air combustion for reduction of CO₂ and NO_x, Sveriges energiting 99, 1999