



Kortlægning af muligheder for minimering af eksponeringen for NO₂ på skiftende arbejdspladser

**Industriens Branchearbejdsmiljøråd
Projekt nr. 80-2001-08-18**

Erik Beck Hansen
Jan Thernøe

FORCE Technology
Juni 2002

Resume

Denne projektrapport indeholder en nærmere analyse og undersøgelse af udvalgte løsningsforslag til reducere af NO₂-eksponeringen på skiftende arbejdspladser ved arbejde med gasbrændere og termiske skæreprocesser. De undersøgte løsningsforslag blev udvalgt af projekt-arbejdsgruppen på grundlag af resultaterne i den indledende delrapport 1: "NO₂-problemstilling i jernindustrien og overordnet skitse af løsningsforslag".

Analysen omfatter:

- Alternative metoder til varmeretning, herunder induktionsopvarmning
- Begrænsning af konvektion og NO_x-dannelse ved afskærmning på varmebrændere
- Gassparerventiler
- Ventilation
- Åndedrætsværn til NO-NO₂-beskyttelse

Projektrapporten indeholder endvidere de væsentlige afsnit og data fra delrapport 1, herunder en beskrivelse af NO_x-problemstillingen i Jernindustrien og de principielle metoder til minimering af NO_x-eksponering, således at rapporten kan læses som en helhed.

Indholdsfortegnelse

	side	
Resume	3	
1. Introduktion	5	
2. Baggrund	5	
3. NO₂-problemstillingen i Jernindustrien	6	
3.1 Dannelsesmekanismer for NO _x	6	
3.1.1 Opvarmning af luft	6	
3.1.2 Bejdsning med salpetersyre	8	
3.2 Processer med væsentlig NO ₂ -dannelse	8	
3.2.1 Varmeretning, gassvejsning, flammelodning, flammeskæring	9	
3.2.2 Lysbuesvejsning	9	
3.2.3 Plasmaskæring	10	
4. Princielle metoder til minimering af NO₂-eksponering	10	
5. Overordnet skitse af løsningsforslag ved udvalgte processer	11	
5.1.1 Opvarmning med flamme, generelt	12	
5.1.2 Flammelodning (hårdlodning)	15	
5.1.3 Flammelodning (blødlodning)	15	
5.1.4 Flammeskæring	15	
5.2 Plasmaskæring	16	
5.4 Bejdsning af svejsninger i rustfrit stål	17	
6. Analyse af opvarmningsmetoder til varmbukning og retning	18	
6.1 Varmeretning og varmbukning	19	
6.2 Flammeopvarmning	19	
6.3 Modstandsopvarmning	20	
6.4 Induktionsopvarmning	20	
6.4.1 Teknisk beskrivelse	20	
6.4.2 Praktisk opbygning af induktionsvarmeanlæg	22	
6.4.3 Specialudstyr til varmeretning	23	
6.4.4 Styringsmuligheder	26	
6.4.5 Miljø og sikkerhed	27	
6.4.6 Produktivitetssammenligning mellem flamme og induktion	27	
6.4.7 Markedsforhold	28	
6.4.8 Anlægsinvestering	28	
6.4.9 Uddannelsesbehov	29	
7. Forsøg med afskærmning af acetylen-oxygenbrænder	29	
8. Gasparer	32	
8.1 Teknisk beskrivelse	33	
8.2 Markedsforhold	33	

9.	Ventilation	35
9.1	Opvarmning med flamme	35
9.1.1	Orienterende undersøgelse af forureningszonen	35
9.1.2	Orienterende undersøgelse af procesudsugning	38
9.2	Termisk skæring	39
9.2.1	Udsugningsluftmængde til skæreborde	41
10.	Åndedrætsværn	42
10.1	Luftforsynede åndedrætsværn	42
10.2	Filtrerende åndedrætsværn	42
10.2.1	NO-NO ₂ -filtre	43
10.2.2	Andre mulige filtertyper til NO _x -beskyttelse	44
10.2.3	Oplæg til testprocedure for filtre til beskyttelse mod NO _x -koncentrationer ved varmning og skæring	45
	Referencer	46
Bilag I	Eksponering for NO ₂ i svejseindustrien, uddrag af ref. 7 Emissionsdata og eksponeringsdata	48
Bilag II	Oplæg til prøvning af filtrerende åndedrætsværns effektivitet overfor NO _x ved varmning, termisk skæring og svejsning	57
Bilag III	Datablade for åndedrætsværn	
Bilag IV	Kopi af artikel om håndførte lasere til svejsning og skæring	

1. Introduktion

Den foreliggende projektrapport er udarbejdet i IBAR projektet "Kortlægning af muligheder for minimering af eksponeringen for NO₂ på skiftende arbejdspladser".

Projektet har til formål at:

- skitsere metoder og løsningsforslag til reducere af NO₂-eksponeringen i jernindustrien.
- tilvejebringe information, der kan anvendes som bidrag til en IBAR-vejledning om NO₂-problematikken

I første fase af projektet er der opstillet en overordnet skitse over principelle metoder og løsningsmuligheder for reducere af NO₂-eksponering. Løsningsmulighederne er beskrevet i del-rapport 1: "NO₂-problemstilling i jernindustrien og overordnet skitse af løsningsforslag".

På grundlag af resultaterne i denne indledende rapport har projekt-arbejdsgruppen efterfølgende foretaget en udvælgelse af forskellige løsningsforslag, der skal behandles mere indgående.

Denne rapport omfatter en nærmere analyse og undersøgelse af de udvalgte løsningsforslag til reducere af NO₂-eksponering ved arbejde på skiftende arbejdspladser med gas-brændere og termiske skæreprocesser. Rapporten indeholder endvidere de væsentlige afsnit og data fra delrapport 1, således at projektrapporten udgør en helhed.

Projektet er udført for Industriens Branchearbejdsmiljøråd ved bevilling nr. 80-2001-08-18.

I Projekt-arbejdsgruppen har deltaget: Steen Mejlby (SID), Hans J. Henriksen, (Skibsværftsforeningen), Erik Beck Hansen (FORCE Technology) og Jan Thernøe (FORCE Technology).

2. Baggrund

Nitrøse gasser - NO_x - er fællesbetegnelse for nitrogenoxider, dvs. kemiske forbindelser mellem nitrogen og oxygen. De vigtigste forbindelser er Nitrogenoxid (NO) og Nitrogendioxid (NO₂). Gasserne kan dannes i mængder som har arbejdshygiejnisk betydning ved en række industrielle arbejdsprocesser, bl.a. varmning, termisk skæring og svejsning.

Specielt NO₂ anses for særlig sundhedsskadelig. NO₂ påvirker primært luftveje og lunger, hvor den kan give anledning til luftvejs-irritation og nedsat lungefunktion. Længere tids udsættelse i små koncentrationer menes at kunne medvirke til emphysem og bindevævsvævning i lungevævet og dermed varig nedsættelse af lungefunktionen. Udsættelse for høje koncentrationer kan føre til livstruende lungeødem (væskeudstrædning i lungerne - "vand i lungerne"). Lungeødem kan indtræde i op til 30 timer efter udsættelsen, selv om der kun har været sparsomme akutte symptomer [3] [4]. Der er bl.a. rapporteret om dødsfald forårsaget af nitrøse gasser i forbindelse med brug autogenbrændere.

Med udgangspunkt i en anbefaling fra The Scientific Committee for Occupational Exposure Limits (SCOEL) under EU-kommisionen varslede Arbejdstilsynet i 1996 en reduktion af NO₂-grænseværdien fra de daværende 3 ppm til 0,2 ppm. Den varslede ændring blev efterfølgende vurderet i det danske Udvalg for Stoffer og Materialer og senere i Arbejdsmiljørådet, uden at der imidlertid kunne opnås enighed mellem Arbejdsmarkedets

parter om den foreslåede ændring. I forbindelse med behandlingen i udvalgene fremlagde Dansk Industri bl.a. en beregning af de økonomiske konsekvenser for den danske Jernindustri ved en sænkning af NO₂-grænseværdien til 0,2 ppm [5] [6].

Resultatet af drøftelserne er blevet, at grænseværdien for Nitrogendioxid (NO₂) i Arbejdstilsynets seneste grænseværdiliste - At-vejledning C.0.1: Grænseværdier for stoffer og materialer, Oktober 2000 [1] - er sænket til 2 ppm som loftværdi, dvs. en reduktion i forhold til grænseværdien på 3 ppm i den tidligere liste, men højere end SCOEL-grænseværdien. Ændringen kan sammenfattes til:

Grænseværdiliste	NO ₂ -grænseværdi ppm	
	Middelværdi	Loftværdi
At-anvisning 3.1.0.2 1996 [2]	3	5
At-varsling 1996, SCOEL	0,2	0,5
At-vejledning C.0.1 2000 [1]	-	2

Grænseværdien for NO - Nitrogenoxid - er uændret 25 ppm målt som middelværdi for en arbejdsdag.

I forbindelse med fastsættelsen af NO₂-grænseværdien blev der mellem At og arbejdsmarkedets parter aftalt en overgangsordning for særligt kritiske arbejdsprocesser i Jernindustrien. Overgangsordningen omfattede flammeretning samt manuel flamme- og plasmaskæring med store brændere og effekter på ikke stationære arbejdspladser, hvor grænseværdien blev fastsat til *2 ppm som middelværdi* indtil oktober 2001. Baggrunden for aftalen var bl.a. et notat om NO₂-eksponeringen ved svejse- og skæreprocesser [7] udarbejdet til Arbejdstilsynet af FORCE Technology. *Resultater fra dette notat er indarbejdet i denne rapport.*

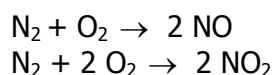
Arbejdsmarkedets parter besluttede samtidig at igangsætte det foreliggende udredningsprojekt vedrørende mulighederne for reducere af NO₂-eksponering i Jernindustrien.

3. NO₂-problemstillingen i Jernindustrien

3.1 Dannelsemekanismer for NO_x

3.1.1 Opvarmning af luft

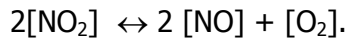
Dannelsen af nitrøse gasser* - NO og NO₂ - ved svejse- og skæreprocesser m.v. sker primært gennem varmpåvirkning af atmosfærisk luft. Ved opvarmning i en oxiderende atmosfære kan nitrogen molekyler oxideres efter:



Ved lave temperaturer er begge reaktioner forskudt helt til venstre, men med stigende temperatur sker reaktionen i retning af højre. Ved temperaturer over 500-1000 °C øges dannelsen af NO meget stærkt (figur 1). Det angives, at NO-koncentrationen i atmosfærisk luft ved 2000 °C er ca. 1,2 volumenprocent og ved 2500 °C ca. 2,6 volumenprocent.

*) Teoretisk kan der dannes andre nitrogenoxider end NO-NO₂. De forligger dog ikke dokumenteret i forbindelse med svejsning.

Dannelseskonstanterne er endvidere sådan, at det relative NO/NO₂-forhold øges med stigende temperatur, dvs. NO-koncentrationen øges relativt i forhold til NO₂-koncentrationen med stigende temperatur, efter massebalancen:



Med faldende temperatur forløber reaktion mod venstre, dvs. den dannede NO oxideres til NO₂, men reaktionen forløber relativt langsom, som anført nedenfor.

Den relative NO-NO₂-dannelse afhængig af temperaturen er vist på figur 3.1.

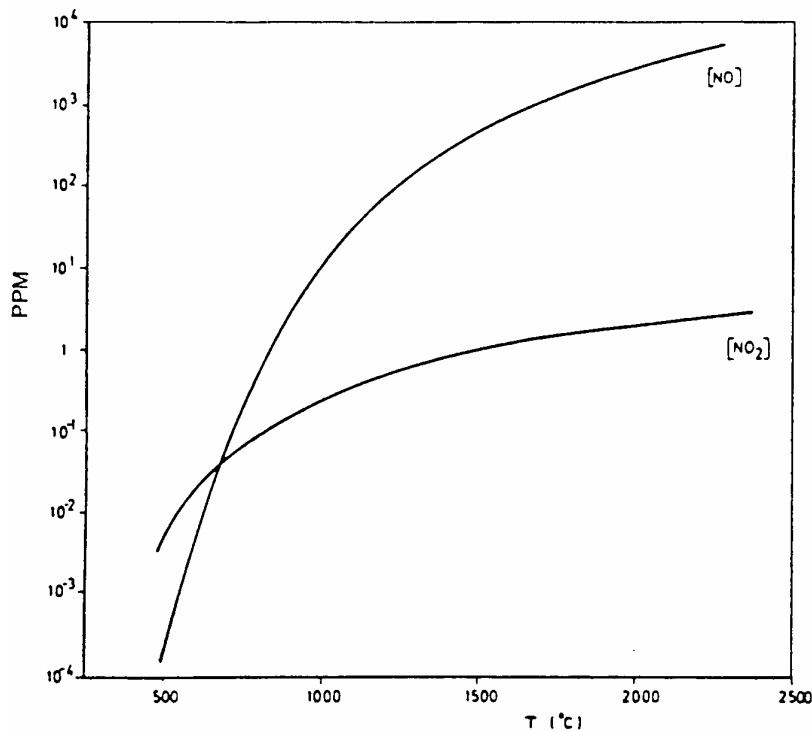


Fig. 3.1. NO- og NO₂-koncentration afhængig af temperatur ved opvarmning af luft [8].

Ved Varmning, skæring, svejsning m.v. dannes der en blanding af NO og NO₂, da luft i proceszonen opvarmes over et meget bredt temperaturinterval. Generelt gælder:

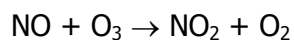
- Hovedparten af de nitrøse gasser fra svejse-, skære- og varmeprocesser foreligger på dannelsesstedet som nitrogenoxid (NO).**
 Normalt er ca. 75-97 % af NO_x-emissionen NO (se bilag 1), dvs. den direkte operatøreksposering er primært NO.
 Ved processer med **ozondannelse** (se nedenfor) kan NO/NO₂-forholdet dog **ændres** markant, så eksposeringen primært er NO₂.
- Når den dannede NO afkøles og fortyndes i lokaleluften kan den oxideres videre til NO₂** efter ovennævnte massebalance, dvs. procentuelt øges NO₂-andelen i lokaleluften. Da gasserne samtidig bliver fortyndet i lokaleluften er den absolutte NO₂-

koncentration i lokale luften (baggrundskoncentrationen) dog normalt betydeligt lavere end NO₂-koncentrationen ved en direkte eksponering.

Omdannelseshastigheden for NO til NO₂ er både temperatur og koncentrationsafhængig. Ved rum-temperatur er tiden for 50% oxidation af NO til NO₂ ca. 40 min ved 100 ppm, 7 timer ved 10 ppm og 72 timer ved 1 ppm [9].

NO-NO₂-dannelsen ved svejse- og skæreprocesser kompliceres imidlertid af, at der i proceszonen forekommer en række andre forureninger eller tilsætningsstoffer, som kan influere på både NO_x-dannelsen og NO/NO₂-balancen.

Ved bl.a. **TIG og MIG/MAG-svejsning udvikles der ozon** i betydelige mængder. Denne ozon reagerer momentant med NO i zonen omkring lysbuen under dannelse af NO₂:



dvs. den NO_x-eksponering operatøren evt. udsættes for ved TIG- og MIG/MAG-svejsning kan primært være NO₂. Det kan nævnes, at der markedsføres beskyttelsesgasser med direkte NO-tilsætning (0.03%) med det formål at bekæmpe ozon-forureningen fra disse processer.

Andre forhold, der kan påvirke NO/NO₂-balancen er tilsætning af oxygen i processen f.eks. gennem beskyttelsesgasser (MAG-svejsning) eller skæreoxygenen ved flammeskæring.

3.1.2 Bejdsning med salpetersyre

Når salpetersyre benyttes som oxidationsmiddel, f.eks. ved bejdsning af rustfrit stål, vil der ligeledes kunne dannes nitrøse gasser.

3.2 Processer med væsentlig NO₂-dannelse

Ved alle svejse-, skære- og varmeprocesser sker der en opvarmning af luft i proceszonen og dermed NO_x-dannelse i større eller mindre grad. **Bilag I** viser en sammenfatning af data for emissionen og eksponeringen for nitrøse gasser i forbindelse med svejse-, skære- og varmeprocesser [7].

3.2.1 Varmeretning, gassvejsning, flammelodning og flammeskæring (autogene processer)

Bortset fra plasmaskæring forekommer den kraftigste NO_x-dannelse ved de autogene processer. NO_x-emissionen afhænger af den anvendte brænderstørrelse (dysestørrelse - gas/oxygenforbrug) og den anvendte gas (acetylen, propan, naturgas), men generelt er emissionen i en størrelsesorden, hvor det er **påkrævet at træffe foranstaltninger til bekæmpelse af NO-NO₂-forureningen**.

Ved *varmeretning, gassvejsning og flammelodning er NO_x-dannelsen den helt dominerende forurening*. Udover NO_x dannes der i mindre omfang CO, mens der ikke er røgudvikling (partikulær forurening) af arbejdsmiljømæssig betydning. Specielt ved varmeretning, hvor der ofte anvendes rivebrændere med meget stor varmeeffekt, kan NO_x-dannelsen være ekstrem kraftig.

Ved *flammeskæring* dannes der - udover NO_x - betydelige mængder røg, *samt mindre mængder CO*. Det skal bemærkes, at emissionen af NO_x og røg - udover skæreparametrene - i høj grad er afhængig af skærestrålens retning og spredning på bagsiden af fugen (skærestrålens "dynamik"). For ens skæreparametre kan der derfor være ret store variationer i forureningsdannelsen. Endvidere er processen baseret på oxygentilsætning (forbrændings-proces med skæreoxygen), dvs. processen arbejder med oxygenoverskud. Normalt er NO₂-andelen af de nitrøse gasser derfor procentuelt større end ved de øvrige autogene processer.

Der er flere forhold, som har stor betydning for **forureningsbekæmpelsen** ved de autogene processer:

- Ved ***varmeretning, gassvejsning, flammelodning og flammefugning*** sker NO_x-dannelsen sker i en zone og ikke kun i selve flammeregionen. NO_x-koncentrationen i varmluftzonen ("fanen") er generelt meget høj - typisk 5-50 ppm NO_x målt i operatørhøjde over processtedet. Antages ca. 5-10 % at være NO₂ (jvf. punkt 3.1.1), kan koncentrationen i varmluftzonen typisk være 0,3-5 ppm NO₂. Det er derfor afgørende for eksponeringen, at operatøren ikke har indåndingszonen indenfor varmluftzonen. Ventilation må indrettes så den dækker varmluftzonen.
- Ved ***flammeskæring og plasmaskæring*** sker NO_x-dannelsen helt overvejende i skærestrålen **på bagsiden af snitfugen** (bagsiden af pladematerialet). Det betyder, at forureningsbekæmpelsen ved flammeskæring foretages mest effektivt ved udsugning under pladen (bagsiden af snitfugen).
- Ved ***fritbrændende flamme***, dvs. når brænderen *ikke* er rettet mod plademateriale, øges dannelsen af nitrøse gasser meget kraftigt. Årsagen er den større reaktionszone mellem flamme og luft, dvs. zonen med temperaturer, hvor luftens nitrogen kan oxideres til nitrøse gasser. For samme brænderstørrelse er ***NO_x-dannelsen erfaringsmæssigt ca. 7-10 gange større for fritbrændende flamme*** end under arbejde med brændere.
I varmluftzonen fra større autogenbrændere er målt NO_x-koncentrationer >100 ppm NO_x, svarende til over 2-5 ppm NO₂ ved den normale NO/NO₂-fordeling for fritbrændende flammer (jvf. punkt 3.1.1). Ved arbejde med gasbrændere skal brænderne derfor **slukkes straks efter brug**, selv ved kortvarige afbrydelser i arbejdet.

3.2.2 Lysbuesvejsning

De mest udbredte svejseprocesser i dansk industri er MAG-, FCA (rørtråd)-, MMA (elektrode)- og TIG-svejning. NO_x-dannelsen ved disse processer er normalt lille. NO_x-dannelsen sker i randzonen af lysbuen, hvor bueplasmaet eller den varme beskyttelsesgas er i kontakt med den atmosfæriske luft, dvs.

- Både ***NO_x-dannelsen og dannelseszonen*** ved lysbuesvejseprocesser ***er meget lille*** sammenlignet med de autogene processer.

3.2.3 Plasmaskæring

Plasmaskæreprocessen kan resultere i særdeles kraftig NO_x-emission - højere end ved flammeskæring. NO_x-emissionen afhænger imidlertid meget stærkt af den anvendte plasma-gas (trykluft, nitrogen, argon, argon-hydrogen m.fl.), skæreeffekten og udstyret (dysekonstruktion). Udover NO_x udvikler processen normalt meget store røgmængder. I lighed med flammeskæring udvikles forureningen - herunder NO_x - på **bagsiden af snitfugen**.

- Generelt er emissionen af røg og NO_x ved plasmaskæring i en størrelsesorden, hvor **det er absolut påkrævet at træffe foranstaltninger til bekæmpelse af såvel røg som NO-NO₂-forureningen**.

4. Princielle metoder til minimering af NO₂-eksponering

Figur 4.1 viser forskellige løsningsprincipper, der kan anvendes til minimering af NO₂ eksponering. Hvilke løsninger der kan benyttes i en konkrete arbejdsituation vil afhænge af den anvendte proces, arbejdsopgaven og arbejdsbetingelserne.

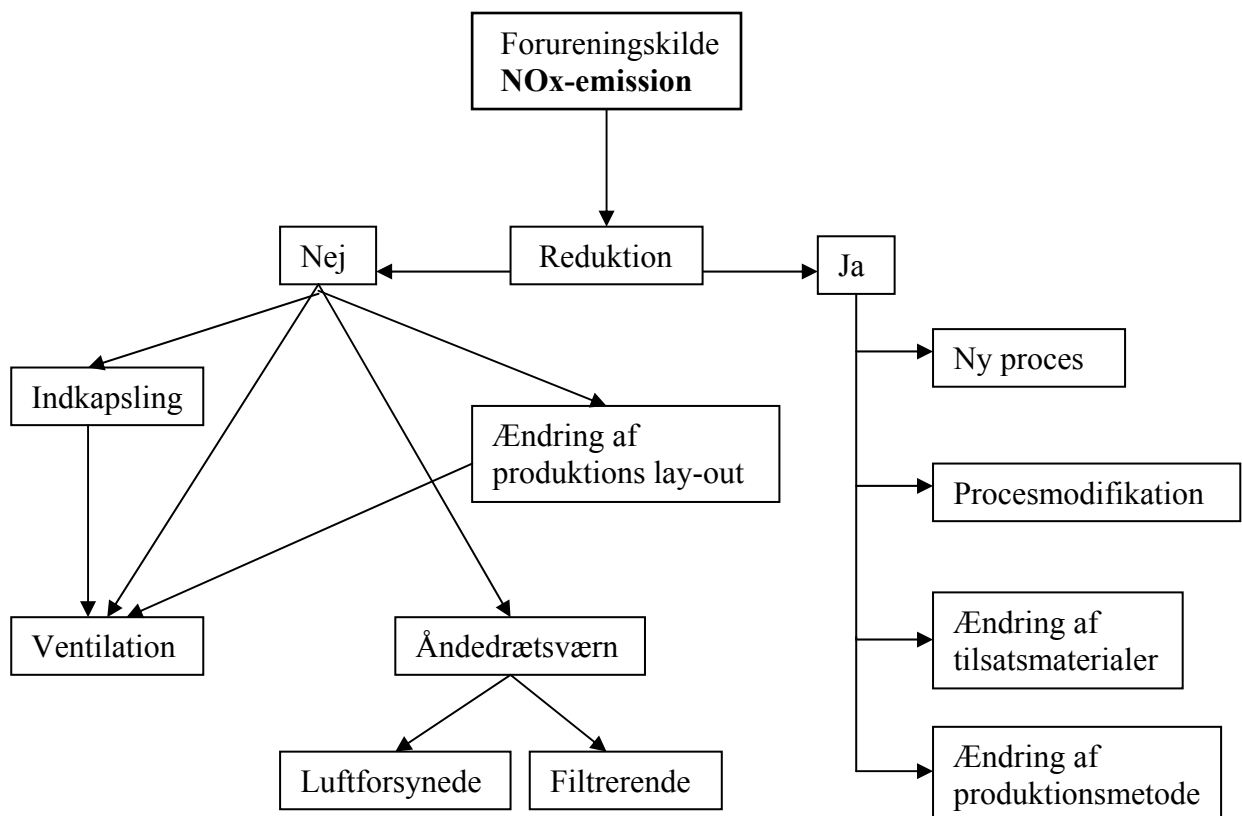


Fig. 4.1 Principdiagram for metoder til reduktion af NO_x-eksponering.

5. Overordnet skitse over løsningsforslag ved udvalgte processer

Grundlæggende kan exponeringen for NO₂ reduceres gennem:

- a. reduktion af NO_x-emissionen**, dvs. en reduktion af den dannede mængde forurening ved selve arbejdsprocessen, gennem ændring af proces, procesparametre, produktionsmetode m.v.
- b. ventilation** i form af procesudsugning, som fjerner forureningen direkte ved kilden før den kan nå operatørens indåndingszone eller spredes i lokalet.
- c. operatørbeskyttelse** i form af åndedrætsværn

I første projektfase er der opstillet en skitse over løsningsforslag til reduktion af NO₂-eksponeringen ved udvalgte processer. Løsningsforslagene er sammenfattet i tabel 5.1.

Tabel 5.1 Løsningsmuligheder til reduktion af NO₂-eksponering

Nr.	Proces	Løsningsmulighed
5.1.1	Flammeopvarmning generelt	<ul style="list-style-type: none"> a. Undgå fritbrændende flamme b. Anvend ikke større brænder end nødvendig c. Anvend mindst mulig dyseafstand d. Erstat acetylen med propan Evt. alternative brændgasser: Naturgas, butan, hydrogen Evt. anvendelse af gas/luft-blanding som alternativ til gas/oxygen e. Alternativ opvarmningsmetode: Infrarød varmebrænder [13] (reduceret konvektion) Varmelegemer Modstandsopvarmning Induktionsopvarmning f. Lavtryksudsugning g. Indkapsling/afskærmning kombineret med HT-udsug h. Åndedrætsværn, luftforsynet eller filtrerende godkendt til NO₂-beskyttelse
5.1.2	Flammelodning (hårdlodning)	<ul style="list-style-type: none"> a. Undgå fritbrændende flamme b. Udgå unødigt stor brænder c. Anvend mindst mulig dyseafstand d. Erstat acetylen med naturgas eller propan Evt. alternative brændgasser: butan, hydrogen Evt. anvendelse af luftblanding som alternativ til oxygen e. Alternativ opvarmningsmetode: Induktionsopvarmning f. Lavtryksudsugning g. Indkapsling/afskærmning (begrænset konvektion) h. Åndedrætsværn, luftforsynet eller filtrerende godkendt til NO₂-beskyttelse

5.1.3	Flammelodning (Bløddlodning)	<ul style="list-style-type: none"> a. Undgå fritbrændende flamme b. Anvend ikke større brænder end nødvendig c. Anvend mindst mulig varmeafstand d. Anvend bunsenbrænder med propan eller naturgas e. Alternativ opvarmningsmetode: Modstandsopvarmning f. Lavtryksudsugning g. Indkapsling/afskærmning (begrænset konvektion) h. Åndedrætsværn, luftforsynet eller filtrerende godkendt til NO₂-beskyttelse
5.1.4	Flammeskæring	<ul style="list-style-type: none"> a. Undgå fritbrændende flamme, sluk brænderen straks efter brug b. Anvend ikke større brænder end nødvendig d. Erstat acetylen med propan eller naturgas e. Alternativ skæremetode: laskerskæring (håndført YAG-laserbrænder) Spåntagende f. Skærebord med udsugning g. Indkapsling/afskærmning med udsugning til montering på bagside af snitfuge. h. Åndedrætsværn, luftforsynet eller filtrerende godkendt til NO₂-beskyttelse
5.2	Plasmaskæring	<ul style="list-style-type: none"> b. Anvend ikke større brænder eller skæreeffekt end nødvendig d. Erstat luft med nitrogen , argon eller argon/hydrogen e. Alternativ skæremetode: laskerskæring (håndført YAG-laserbrænder) Spåntagende f. Vandneddykket skæring eller skærebord med udsugning g. Indkapsling/afskærmning med udsugning til montering på bagside af snitfuge. h. Åndedrætsværn, luftforsynet eller filtrerende godkendt til NO₂-beskyttelse
5.3	Termisk sprøjtning	Ventilation: sugekabinet, sprøjteboks
5.4	Bejdsning med HNO ₃ -holdige produkter	Kobber: Substitution med H ₂ SO ₄ +H ₂ O ₂ [10] Rustfrit stål: Ventilation

Ad 5.1.1. Opvarmning med flamme, generelt

En reduktion af emissionen kan ske ved at begrænse den mængde luft, der opvarmes, dvs. ved *begrænsning af reaktionszonen og luftkonvektionen* omkring processen, og/eller ved *reduktion af opvarmningstemperaturen*.

a. Fritbrændende flamme

Fritbrændende flammer - selv i korte perioder - skal undgås, dvs.

- **brænderne må ikke tændes før det er nødvendigt og skal slukkes straks efter brug.**

Som nævnt i afsnit 3.2.1 medfører fritbrændende flammer for samme brænderstørrelse *ca. 7-10 gange større NOx-dannelse* end under arbejde med brænderen. En enkel og billig løsning kan være, at installere en **gasspareventil** i forbindelse med brænderudrustningen. **Gasspareventiler er nærmere beskrevet i afsnit 8.**

b. Procesmodifikation

Brænderstørrelsen indvirker stærkt på NOx-emissionen. Generelt øges NOx-dannelsen kraftigt med brændestørrelsen, men ændringen afhænger desuden af brændertypen, brændgassen og afstanden mellem dyse og emne. Data for brænderstørrelsens indvirkning på NOx-emissionen angivet i [26] kan sammenfattes til:

Svejsbrænder (dyse med 1 hul)	
Dysestørrelse	Relativ NOx-dannelse
	Acetylen/oxygen
2	1
4	3 - 7
6	9 - 25

Varmebrænder (dyse med flere huller)			
Dysestørrelse	Relativ NOx-dannelse		
	Acetylen/oxygen	Propan/oxygen	Naturgas/oxygen
3	1	0,3 - 1,0	0,8 - 1,0
4	1,3 - 2,3	0,3 - 1,0	0,9 - 1,3
6	3,3 - 6,0	0,8 - 2,6	1,3 - 1,8

Intervallerne dækker over forskellige dyseafstande.

c. Dyseafstand

Dyseafstanden, dvs. afstanden mellem brænderdyse og emne, har en markant indvirkning på NOx-emissionen. Med stigende dyseafstand øges det luftvolumen der kommer i kontakt med flammen og dermed NOx-emissionen. For samme brænderstørrelse er forholdet mellem NOx-emissionen ved 20, 40 og 60 mm dyseafstand typisk *ca. 1 - 2 - 3,5*.

Som nævnt under punkt a. og i afsnit 3.2.1 skal *fritbrændende flammer undgås*.

d. Ændring af gasser

Det fremgår umiddelbart af punkt b, **at brændgassen** indvirker på NOx-emissionen. Udover acetylen, kan gasser som propan, butan, hydrogen og naturgas anvendes til varmning. Heraf er propan og naturgas de vigtigste alternativer til acetylen. *Begge gasser giver en lavere flammetemperatur end acetylen og dermed lavere NOx-emission, dvs. mindre NOx-mængde pr. tidsenhed.*

Den lavere flammetemperatur for propan og naturgas kan dog medføre, at der kræves længere opvarmningstid til en given opgave end ved brug af acetylen. Sammenlignende målinger af opvarmningstiden dels for samme overførte varmemængde og dels for punktopvarmning til 600 °C med de tre gasser har vist [26], at propan generelt giver en mindre NO_x-mængde end acetylen og naturgas. For naturgas var den samlede NO_x-mængde i samme størrelsesorden som for acetylen eller højere. Forholdet mellem den NO_x-mængden (emission x tid) for gasserne var:

Acetylen:	1
Propan:	0,3 - 0,7
Naturgas:	0,7 - 2,2

Der foreligger ikke data for NO_x-emissionen ved brug af hydrogen og butan som brændgas.

Flammemetemperaturen kan også reduceres ved at benytte **luft i stedet for oxygen** til flammen. For acetylen/oxygen er flammemetemperaturen ca. 3100 °C og for acetylen/luft ca. 2100 °C. For propan er de tilsvarende flammemetemperaturer ca. 2800 °C med oxygen og ca. 1900 °C med luft.

Der foreligger ikke data for NO_x-emissionen ved varmning med gas/luft blandinger, men det må antages, at NO_x-emissionen vil være lavere end ved brug af de tilsvarende gas/oxygen blandinger. Løsningen bør evt. undersøges.

e. Ændring af opvarmningsmetode

I [13] beskrives særlige naturgasfyrede *infrarød- varmebrændere*, som afgiver 30-40% af energien som stråling. Ved at tilpasse brænderne til emnernes overfladegeometri kan unødigt opvarmning af luft undgås. Kan anvendes ved opvarmningsbehov indtil 400°C. Angiveligt reduceres emissionen af NO_x med 75 – 95% i forhold til traditionelle gasblæsebrændere.

Elektrisk opvarmning har den fordel, at opvarmningen kan udføres uden brug af de høje temperaturer, som brug af flammer medfører. Elektrisk opvarmning kan ske ved kontakt med et varmelegeme, ved direkte modstandsopvarmning, eller ved induktionsopvarmning:

Varmelegemer benyttes typisk ved in situ varmebehandlinger af konstruktioner, når behandlingen er af længere varighed. Eksempel: Udglødning af svejsninger.

Direkte modstandsopvarmning finder formentlig kun begrænset anvendelse til generel opvarmning. Eksempel: Optøning af rør, bløddodning.

Induktionsopvarmning er velegnet til hurtig, lokal opvarmning. Afhængigt af frekvensen kan der opnås overfladisk opvarmning eller opvarmning i dybden. Eksempel: Varmbukning og varmeretning.

Induktions- og modstandsopvarmning er nærmere omtalt under afsnit 6. Ventilation (f), indkapsling/afskærmning af brændere (g) og åndedrætsværn (h) er beskrevet i henholdsvis afsnit 7, 9 og 10.

Ad 5.1.2. Flammelodning (hårdlodning)

d. Ændring af gasser

Ved hårdloddeforsøg med en acetylenbrænder størrelse 1-2 mm er der målt en NO_x-emission mellem 15-28 ml/min, hvor NO₂-indholdet udgjorde mindre end 10% [14]. I parentes bemærkes at dette er en relativt lille brænder.

Substitution af acetylen med f.eks. naturgas vil give en lavere flammetemperatur. Ved ikke at vælge større brænder end nødvendigt, og at undgå fritbrændende flamme begrænses ejektorvirkningen, og dermed det luftvolumen, som kommer i kontakt med flammen. Tilsammen vil disse forholdsregler kunne reducere emissionen mærkbart.

e. Ændring af opvarmningsmetode

Skift fra opvarmning med flamme til elektrisk opvarmning kan yderligere nedbringe emissionen. Til hårdlodning i faste opstillinger er induktionsopvarmning en del udbredt, mens direkte modstandsopvarmning er sjælden på grund af tekniske forhold. Opvarmning med varmelegemer er formentlig mindre anvendelig på grund af de høje temperaturer, som gør varmelegemernes levetid begrænset.

Ad 5.1.3. Flammelodning (blødlodning)

Til blødlodning er en høj flammetemperatur mindre hensigtsmæssig af tekniske grunde, og en *bunsenbrænder* med propan eller naturgas er her velegnet fra et udførelsesteknisk synspunkt. Til gengæld opvarmes en del luft i flammen. Der er ikke i litteraturen fundet oplysninger om emissionen med sådanne brændere.

For gaskomfurer er der målt NO_x-koncentrationer i røggassen på 51-85 ppm, svarende til 80-135 mg/kWh [15]. Det fremgår ikke, om der er benyttet naturgas, flaskegas eller bygas. Det er uvist, om disse emissionsværdier også er gyldige for loddebrændere af bunsentypen.

Til blødlodning af rør monteres undertiden en flammereflektor på brænderen, som kaster flammen tilbage mod bagsiden af røret. Det letter arbejdet ved lodning under trange pladsforhold, og giver en bedre temperaturfordeling. Betydningen for NO_x-emissionen er ukendt.

Specielt til blødlodning af rør i husinstallationer anvendes elektrisk modstandsopvarmning i nogen udstrækning, enten indirekte med varmelegemer forsynet med et cylinderspør, som klemmes mod røret, eller ved direkte modstandsopvarmning med kontaktbakker af børstekul eller grafit.

Ad 5.1.4. Flammeskæring

c. Ændring af skæregas

Brændgassen indvirker på NO_x-emissionen. Sammenlignede målinger af NO_x-emissionen ved skæreforsøg med acetylen, propan og naturgas i 12 – 50 mm stålplade med samme skæreparametre har vist en signifikant lavere NO_x-emission for naturgas og til dels propan [9]:

<i>Gas</i>	<i>Emission ml/min NOx</i>	<i>Bemærkninger</i>
Acetylen	40-60	Stiger med større pladetykkelse
Naturgas	30	Uafhængig af pladetykkelsen
Propan	30	Dog 60 ml/min ved 12 mm plade

Det blev fundet, at emissionen af NO_x falder signifikant, når acetylen substitueres med naturgas eller propan. Mellem 13 og 22% af emissionen består af NO₂, mens resten er NO.

Med *fritbrændende forvarmeflamme* blev der ved den samme undersøgelse målt ca. 10 gange så stor emission:

<i>Gas</i>	<i>Emission ml/min NOx</i>
Acetylen	370-430
Naturgas	270-350
Propan	305-355

Heller ikke her var der signifikant forskel på emissionen ved brug af naturgas og propan, mens emissionen med acetylen var markant højere.

Der er ikke fundet data for indvirkningen af *brænderstørrelse (b)*, *dysekonstruktion* eller *skærepåreparametre* på NO_x-dannelsen ved flammeskæring. Som anført under varmebrændere (punkt 5.1.1) må det imidlertid forventes, at en reduktion af brænderstørrelsen vil reducere NO_x-emissionen.

e. Alternative skæremetoder

Ved arbejde på skiftende arbejdssteder kan mekaniske skæremetoder, f.eks. bajonetsav eller skæreskive principielt være et alternativ til flammeskæring, især til lige snit i begrænset godstykkelse ved gode adgangsforhold. Begge metoder medfører dog forskellige fysiske belastninger af operatøren, som må tages i betragtning ved vurdering af egnetheden af disse metoder i forhold til andre måder til at reducere NO₂-eksponering.

Flammeskæring kan erstattes med laserskæring. Løsningen er generelt kun anvendelig til maskinel skæring på faste arbejdspladser. Der markedsføres imidlertid YAG-laserudstyr til manuel skæring (udviklet i det tidligere DDR), men de sikkerhedsmæssige aspekter er ikke klarlagt. *Bilag VI indeholder en artikel om laserudstyr til manuel svejsning.*

Abrasiv vandstråleskæring kan i begrænset omfang erstatte flammeskæring, men produktivitetsmæssigt, udførelsesteknisk og sikkerhedsmæssigt er der formentlig så store ulemper herved, at det ikke er realistisk.

Til nedskæring kan skæreelektroder måske i et vist omfang benyttes som erstatning.

Ad 5.2 Plasmaskæring

b. Skæreeffekt og brænderstørrelse

Ved litteratursøgning er der ikke fundet sammenlignelige data for *skæreeffektens* betydning for NO_x-emissionen ved plasmaskæring, men baseret på praktiske erfaringer må det antages, at NO_x emissionen falder markant med reduktion i strømstyrken, dvs. ved reduceret brændereffekt/brænderstørrelse.

d. Ændring af plasmagas

Plasmaskæring kan udføres med forskellige gasser. Normalt anvendes luft, nitrogen, argon eller argon/hydrogen-blandinger som plasmagas, hvor luft i dag er den mest anvendte.

Sammenlignede målinger [32] [33] af NO_x-emission ved plasmaskæring i ulegeret stål og rustfrit stål med samme parametre har vist ca. 20% lavere NO_x-emission for nitrogen som plasma-gas i forhold til luft. Der foreligger ikke data for skæring med argon eller argon/hydrogen, men det må antages at disse gasser vil reducere NO_x-emissionen yderligere i forhold til skæring med såvel luft som nitrogen.

e. Alternative skæremetoder

Plasmaskæringens særlige force er evnen til hurtig skæring i materialer, som på grund af højtsmeltende oxider ikke kan flammeskæres, eksempelvis aluminium og rustfrit stål. Der er ingen oplagte kandidater til substitution af plasmaskæring, men brug af en hensigtsmæssig plasmagas, og principielt måske vandindsnøring, kan være måder til at reducere emissionen. Vandindsnøring vil dog være en så stor komplikation ved håndplasmaskæring, at det må anses for urealistisk.

Ligesom for flammeskæring kan abrasiv vandstråleskæring principielt i begrænset omfang erstatte plasmaskæring, men med samme reservationer som nævnt under flammeskæring. Tilsvarende gælder muligheden af at benytte spåntagene metoder eller laserskæring.

Ad 5.4 Bejdsning af svejsninger i rustfrit stål

Overslagsberegning af emissionen ved bejdsning af rustfrit stål med bejdsepasta eller –gel:

Antag, at pasta eller gel påføres i 0,5 mm tykkelse i en bredde på 20 mm, svarende til 10 cm³ bejdsemiddel pr. m svejsesøm.

Som modelprodukt benyttes Avesta Polarit [3], som findes som både gel og pasta. Massefylden kan sættes til 1,25 g/cm³, og det giver et forbrug på 12,5 g/m. Heraf er 22 – 25% HNO₃, eller ca. 3 g HNO₃/m.

Omfanget af NO₂-dannelse er ikke kendt, men der kan foretages en worst-case beregning under den forudsætning, at al HNO₃ omdannes til NO₂.

Hvert mol HNO₃ giver 1 mol NO₂, dvs. 63 g HNO₃ ~ 46 g NO₂, eller 3 g HNO₃ ~ 2 g NO₂, som afgives i løbet af bejdsetiden. Afhængigt af bejdseprodukt og overfladens oxidationsgrad forventes bejdsetiden at være fra 10 – 60 minutter.

Blandt løsningsforslagene vist i tabel 5.1 har projekt-arbejdsgruppen besluttet, at der bør foretages en nærmere analyse af:

- **Alternative metoder til varmeretning, herunder induktionsopvarmning**
- **Begrænsning af konvektion ved afskærmning**
- **Gasspareaggregater**
- **Ventilation**
- **Åndedrætsværn**

Resultaterne af disse undersøgelser er beskrevet i de efterfølgende i afsnit 6-10.

6. Opvarmningsmetoder til varmebukke- og retteoperationer

Til varmdeformation, herunder varmeretning, er der flere mulige opvarmningsmetoder: Gasbrænder, Modstandsopvarmning og Induktionsopvarmning. Hver metoder har både anvendelsestekniske fordele og begrænsninger. Som grundlag for at kunne vurdere metodernes anvendelsesmuligheder og begrænsninger er der nedenfor givet en summarisk teknisk beskrivelse af varmeretning og af varmeprocessernes karakteristika.

6.1 Varmeretning og varmbukning

Ved *kombineret mekanisk varmbukning og varmeretning*, for eksempel med hydrauliske donkrafte, gennemvarmer man materialet i hele deformationsområdet til en passende høj temperatur, og udnytter faldet i flydespænding til at lette deformationsarbejdet. Opvarmningen ved både varmbukning og varmeretning er traditionelt udført med flammeopvarmning, ved mindre emner dog også i ovn eller med induktionsopvarmning.

Termisk retning, eller varmeretning, beror ligeledes på opvarmning til en temperatur, hvor flydespændingen er væsentlig reduceret, men på en sådan måde, at opvarmningen er mere lokal. Herved stukkes det opvarmede materiale, fordi det er indspændt i det omgivende kolde materiale, se figur 6.1 og 6.2. I det følgende er benyttet betegnelsen varmeretning for denne teknik.

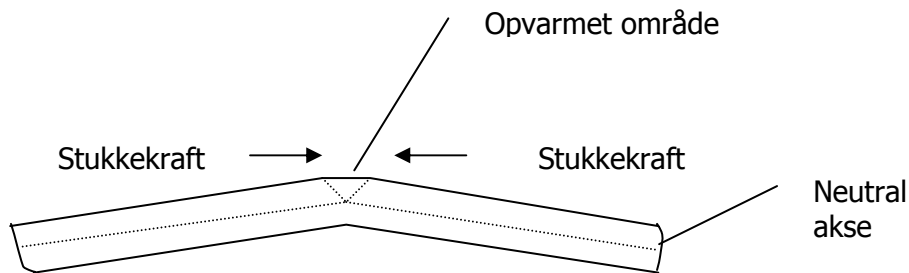


Fig. 6.1 Ved hurtig opvarmning af et smalt område til ca. 650°C på den ene side af den neutrale akse i en plade opstår der stukkekræfter, når det opvarmede materiale udvider sig. Ved den efterfølgende afkøling vil de indførte trækspændinger søge at rette pladen ud.

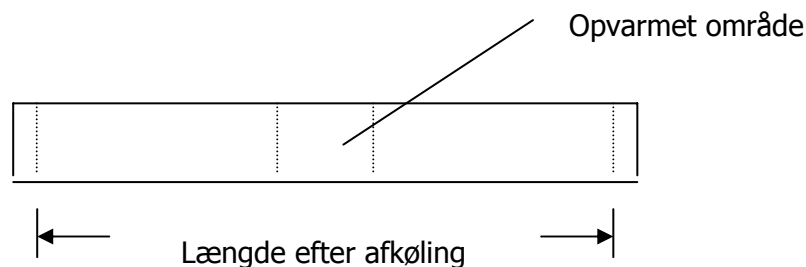


Fig. 6.2 Ved gennemvarmning fås intet vinkelknæk, men stukning i det neutrale plan.

6.2 Flammeopvarmning

Varmeretning udføres i dag helt overvejende med acetylen-oxygenbrændere, som er billige i anskaffelse, meget generelt anvendelige, og teknisk meget velegnede til hurtigt at opvarme til temperaturområdet 600° - 700°C, som er hensigtsmæssigt for stål. Ret meget højere temperatur er ikke ønskelig, da det vil medføre strukturændringer i stålet. Den især tidligere udbredte brug af brænderne til autogensvejsning har betydet, at der i fagkredse er udbredte erfaringer med brugen af dem, og det har givet også haft betydning for valget af denne proces til varmeretning.

Retning kan udføres med hensigtsmæssig placering af varmepunkter af passende lille størrelse. Alternativt anvendes "varmestreger", og igen gælder det, at stribens bredde ikke bør være for stor. Da varmeindføringen i pladen ved flammeopvarmning sker ved termisk ledning, skal varmetilførslen være koncentreret, hvis ikke varmezonen skal blive for stor. Acetylen-oxygenflammens høje temperatur gør den yderst velegnet, mens eksempelvis metan og propan med de kendte brændere giver en mere diffus opvarmning, der gør det vanskeligt at opnå lige så gode resultater, se figur 6.3.

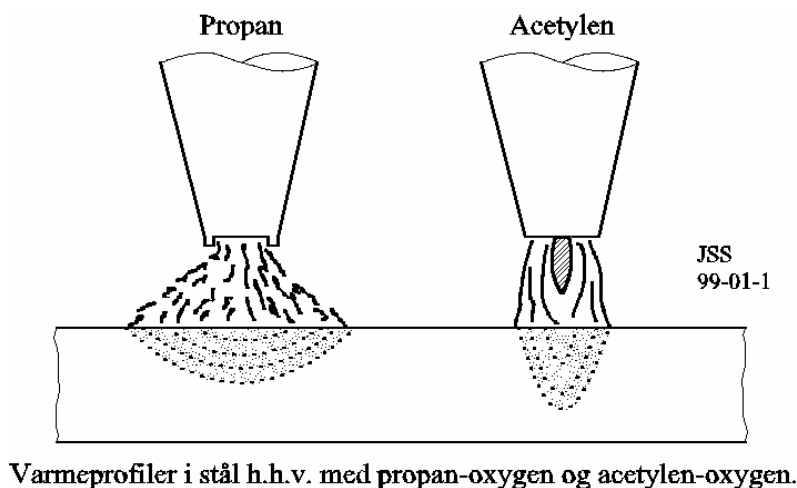


Fig. 6.3 Varmeprofiler med udvalgte gasser [39].

Afstanden mellem brænder og pladeoverfladen har også betydning for et optimalt resultat, og derfor benyttes hyppigt brændere med hjul. Ved retning af plader over stag benyttes hyppigt stregmetoden med tre-flammebrændere, hvor en af brænderne føres over staget. Da varmekilden principielt er punktformet, er flammeretning også velegnet på dobbeltkrumme flader.

Afskærmning af brænderen

Fra et arbejdsmiljøsynspunkt er brugen af acetylen-oxygenbrændere mindre hensigtsmæssig, fordi den meget varme flamme danner store mængder nitrøse gasser ved kontakt med atmosfærisk luft. Tilmed er der på grund af den store udstrømningshastighed for brændgassen en ejektorvirkning, som suger et stort volumen atmosfærisk luft ind til flammen.

Da processen er autogen, kan *afskærmning* af brænderen principielt være en mulighed for at reducere NO_x-dannelsen, men der er ulemper forbundet hermed. Rent praktisk bruger flammeretteoperatøren stålets glødefarve, som skal være mørk rød, til at vurdere, om han har nået den korrekte temperatur. Det vil formentlig være vanskeligere med en afskærmning på brænderen. En sådan skærm vil desuden blive udsat for voldsom opvarmning, og med et krav om holdbarhed i daglig brug vil det betyde en udfordring for konstruktøren.

Afsnit 7 beskriver resultaterne af en serie forsøg med afskærmning af en acetylenbrænder.

6.3 Modstandsopvarmning

Direkte- eller indirekte modstandsopvarmning har begge den fordel, at varmen kan dannes uden meget høje temperaturer, men der er praktiske vanskeligheder ved at bruge dem til varmeretning. For direkte modstandsopvarmning er en vanskelighederne, at emnets overflade skal være ren, så der kan opnås god elektrisk kontakt. Desuden vil der være brug for ganske store strømme for at opnå tilstrækkelig hurtig opvarmning, og der vil være nogen praktiske vanskeligheder med tilslutningen, som i nogle tilfælde vil skulle ske på hver sin side af pladen.

For indirekte modstandsopvarmning er den væsentligste begrænsning antagelig, at det næppe er muligt at opnå en termisk kobling til pladeoverfladen, som gør det muligt at overføre den effekt, som er nødvendig for at få en lokal opvarmning.

6.4 Induktionsopvarmning

6.4.1 Teknisk beskrivelse

En brugbar metode er derimod induktionsopvarmning. Induktionsopvarmning består i at sende en vekselstrøm gennem en spole, som anbringes tæt på det emne, der skal opvarmes. Vekselstrømmen skaber et vekselmagnetfelt med en magnetisk flux Φ_1 omkring spolen, og når en elektrisk leder anbringes i feltet, vil der induceres en elektromotorisk kraft (spænding) i denne leder. Jo hurtigere ændring per tidsenhed t af den magnetiske flux Φ_2 , som flyder gennem lederen, des større er den inducerede elektromotoriske kraft: $|e| = d\Phi_2/dt$.

Normalt vil det ikke være muligt at få hele fluxen Φ til også at flyde gennem lederen, dvs. $\Phi_2 < \Phi_1$. Hvis $\Phi_2 \ll \Phi_1$ taler man om en dårlig magnetisk kobling. God magnetisk kobling opnås eksempelvis ved at vikle spolen tæt omkring den elektriske leder, mens koblingen bliver dårligere, hvis spolen blot anbringes ved siden af lederen, og desto dårligere, jo længere lederen fjernes fra spolen.

Spændingen forårsager en hvirvelstrøm i lederen, som er desto større, jo større spændingen er, og jo mindre lederens elektriske modstand er. Hvirvelstrømme opstår overalt, hvor et magnetisk felt varierer i tiden inde i elektrisk ledende materialer, idet der i enhver lukket bane, som omslutter feltet, vil induceres en elektromotorisk kraft, som atter vil frembringe strøm, og dermed varmeudvikling. For ferromagnetiske materialer giver hysterese-tabet, som er udtryk for det arbejde, som ommagnetiseringen kræver, yderligere et bidrag til varmeudviklingen. I modsætning til flammeopvarmning, hvor varmen skal overføres til emnet, dannes varmen fra de to nævnte mekanismer inde i selve emnet.

Jo større arealet af den lukkede bane er, des større er hvirvelstrømmen, som har en sådan retning, at den med sit eget magnetfelt søger at modvirke det udefra kommende felts indtrængning i det omsluttede areal. I lederens midte er alle hvirvelstrømbanernes felter summeret, og her er det udefra kommende felt således væsentlig fortrængt.

Tætheden af strømmen udtrykt i $[A/mm^2]$ er derfor ikke ensartet fordelt over tværsnittet. Jo større afstanden fra overfladen er, des mindre er strømmen. Det udtrykkes ved indtrængningsdybden s , som er defineret som den dybde, hvor strømtætheden er faldet til $1/e$. s er bestemt ved

$$s = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu r \cdot f}} \quad [mm], \quad [40]$$

hvor:

ρ er lederens specifikke resistivitet i $\Omega \cdot mm^2/m$

μr er den relative permeabilitet

f er frekvensen i Hz.

Af udtrykket ses, at indtrængningsdybden bliver mindre, når frekvensen forøges. For ikke ferromagnetiske materialer er $\mu r \approx 1$, mens værdien for stål er fra nogle hundrede til nogle tusinde. Forholdet kompliceres af, at μr for ferromagnetiske materialer både afhænger af det konkrete materiale og frekvensen, og at μr varierer ikke monotont med den magnetiske feltstyrke. Også temperaturen har indflydelse på både μr og på ρ . Når Curietemperaturen nås, falder μr til ca. 1 med den virkning, at indtrængningsdybden stiger med mindst en ti-faktor. For mange ståltyper stiger resistiviteten med en faktor 5 ved opvarmning fra 20° til $800^\circ C$.

Ovennævnte kan sammenfattes til, at indtrængningsdybden i et ferromagnetisk materiale som stål for en given frekvens er væsentlig mindre end i eksempelvis aluminium, så længe temperaturen er under Curietemperaturen, som er ca. $768^\circ C$ for stål.

Dette forhold kan udnyttes til at styre opvarmningsdybden. Vælger man en høj frekvens, vil hvirvelstrømmen især løbe nær materialets overflade, og følgelig sker opvarmningen umiddelbart mest her. En del af varmen vil forplante sig til omgivelserne ved termisk ledning. Lange procestider giver derfor alt andet lige mindre koncentreret varme, og hvor det ikke er acceptabelt, må der benyttes højere effekt. Det samme er tilfældet, når den magnetiske kobling er dårlig.

Når stålet er opvarmet til Curietemperaturen, falder permeabiliteten brat, og indtrængningsdybden stiger, så varmen nu dannes dybt i materialet. I et materiale som aluminium, som har $\mu r \approx 1$ og en god termisk ledningsevne, er det kun muligt at få meget små indtrængningsdybder ved at benytte en meget høj frekvens. Det kan betyde, at der kræves andet udstyr end det, der benyttes til stål, medmindre gennemvarmning kan accepteres.

Tynde stålblader, dvs. pladetykkelser under ca. 5 mm, vil tilsvarende kræve brug af en højere frekvens, hvis ikke pladen skal opvarmes i hele sin tykkelse. Et eksempel på indtrængningsdybden i en konkret ståltipe er vist i tabel 6.1.

Temperatur [°C]	Indtrængning s mm	
	Frekvens	
	10 kHz	40 kHz
200	0,17	0,09
600	0,31	0,16
1000	5,4	2,7

Tabel 6.1 Indtrængningsdybde s i mm ved forskellige frekvenser og temperaturer for et konkret stål [43].

Ved fortolkning af tabelværdierne må man erindre, at i dybden s er hvirvelstrømmen ikke nul, men 37% af værdien i overfladen, og følgelig sker der stadig en opvarmning. Frekvensen vælges i praksis, så en del af varmeindtrængningen sker ved termisk ledning, blandt andet for at undgå overhedning af pladeoverfladen.

Frekvensområdet til opvarmningsformål generelt er fra ca. 1 kHz til nogle MHz, afhængigt af materiale, dimension og formål. Til varmeretning vil området typisk være mellem 5 kHz og 20 kHz.

6.4.2 Praktisk opbygning af induktionsvarmeanlæg

Der markedsføres kommercielt induktionsvarmeudstyr, der består af en frekvensomformer, som gennem vandkølede kabler er forbundet til en spole. For at undgå store tab i kablerne vælger man som regel på dette sted at arbejde med en relativ høj spænding, som transformereres ned i en tilpasningstransformer, der er anbragt sammen med spolen, se figur 6.4.

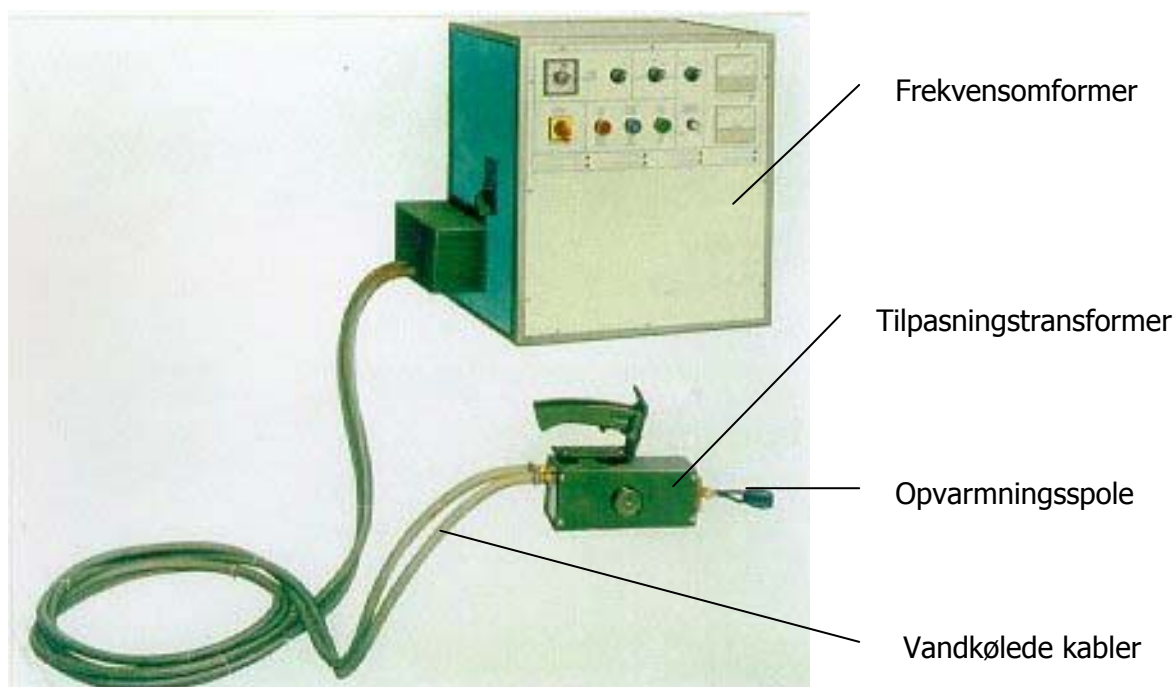


Fig. 6.4 Komponenterne i et induktionsopvarmningsanlæg [42].

Afhængigt af frekvens, effekt og fabrikat vil en tilpasningstransformer veje mellem ca. 2 kg og 10 kg. Kabellængden kan afhængigt af udførelsesmåden og det acceptable tab være mellem ca. 5 m og 45 m.

For at indføre en linieformet varme i et materiale kan spolen udføres med en enkelt vinding, der anbringes ganske tæt på materialet, se figur. 6.5.

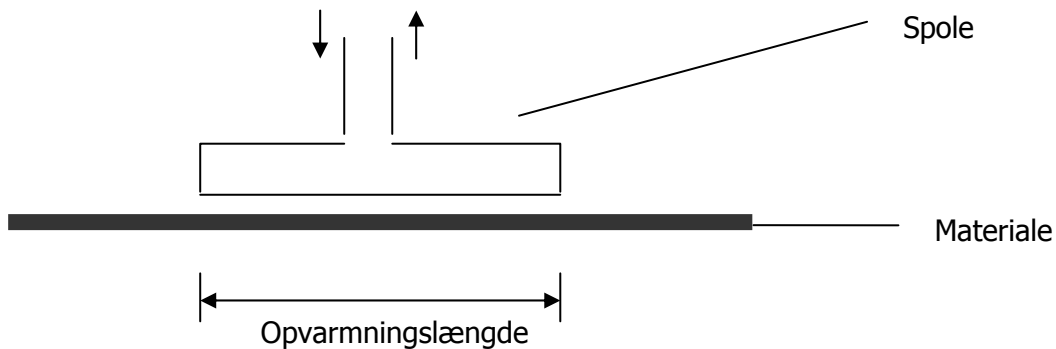


Fig. 6.5 Spole til linieopvarmning, princip.

For hele anlægget kan der opnås en virkningsgrad på ca. 80%, når materialet er anbragt inde i spolen. Når spolen som her er anbragt på den ene side af materialet, bliver virkningsgraden ringere, og jo kortere opvarmingslængden er, des dårligere bliver virkningsgraden. For anlæg som det skitserede kan man forvente virkningsgrader fra 20 – 40 % [43].

På grund af tabene udvikles varme i alle anlæggets komponenter, som derfor skal vandkøles. Spolerne isoleres elektrisk udvendigt, så der ikke dannes kontakt til arbejdsstykket.

6.4.3 Specialudstyr til varmeretning

Specielt til varmeretning kan spolen være indbygget i et "varmehoved", der kan opvarme en smal stribe materiale, for eksempel i en længde på 160 mm. Varmehovedet kan være forsynet med hjul, så fremføringen lettes, og med magneter, så det er lettere at holde positionen under opvarmningen, der sker over hele arbejds længden på én gang, se figur. 6.6.

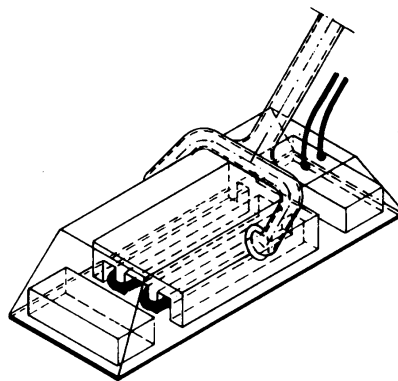


Fig. 6.6 Varmehoved til induktionsopvarmning, skematisk [39].

Med passende høj effekt til rådighed er tiden for opvarmning af overfladen endog ganske kort, og næsten uafhængig af pladetykkelsen. Tiden for gennemvarmning af pladen afhænger af dens tykkelse, se figur 6.7. Opvarmning til Curietemperaturen er ikke optimal, og ved opvarmning til lavere temperatur forkortes opvarmningstiden en smule.

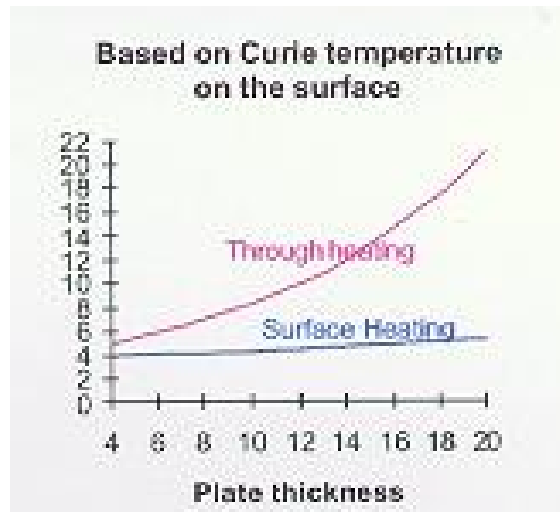


Fig. 6.7 Tid for opvarmning af stålplade i 160 mm længde med EFD TERAC 30 power supply [41].

Ved et praktisk forsøg med 20 kW effekt blev der på 1 sek. nået en temperatur på mere end 800°C over en længde på 35 mm i 2 mm dybde, figur 6.8. Figur 6.9 og 6.10 viser eksempler på rettearbejde fra praksis.



Fig. 6.8 Induktionsopvarmning af 2 mm stålplade med 35 mm lang spole.



Fig. 6.9 Varmeretning af stålkonstruktion [41].



Fig. 6.10 Nærbillede af varnehoved med 160 mm varmelængde. Varmestregen er kun få mm bred [41].

Ved retning på dobbeltkrumme flader kan det være nødvendigt at begrænse længden af varnehovedet, hvis afstanden mellem spolen og pladeoverfladen bliver så stor, at den magnetiske kobling bliver uacceptabel dårlig. Dårlig kobling betyder langsommere opvarmning, og dermed mindre koncentreret varme.

Dobbeltkrumme flader kan desuden betyde, at holdemagneterne kan have svært ved at holde varnehovedet, særlig når der ikke arbejdes ovenned.

I modsætning til flammeretning, hvor der hyppigt arbejdes med flere brændere på én gang, lægges der normalt kun én varmestreg af gangen med induktionsopvarmning. I princippet kunne man sammenbygge flere spoler, men dels vil det give en dimensionsmæssig binding, og dels vil effektbehovet stige.

Ikke alle retteopgaver kan udføres med varmestreger alene. Figur 6.11 viser, hvordan eksempelvis profiler skal opvarmes med flamme for at opnå den ønskede effekt.

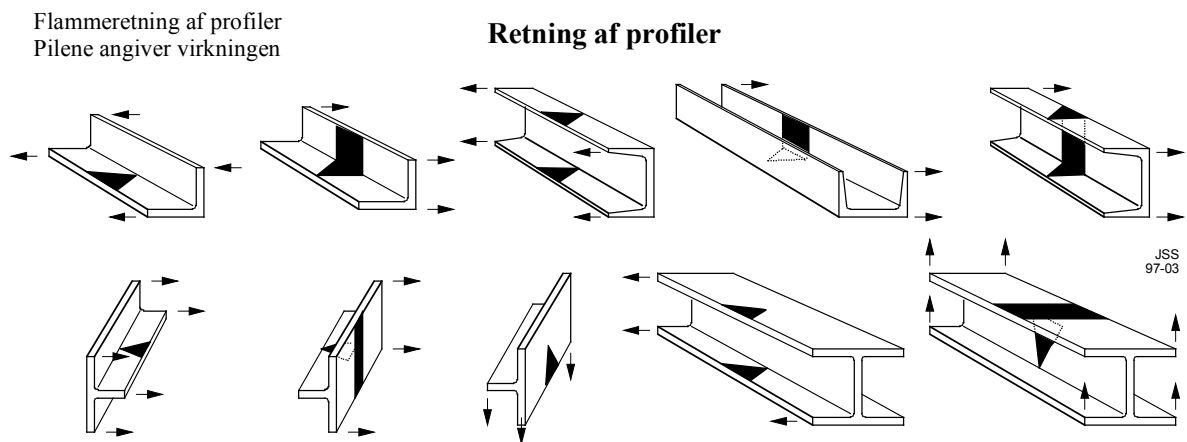


Fig. 6.11 Placering af varme ved retning af profiler [39].

For at kunne efterligne flammeopvarmningen er det nødvendigt at skifte arbejdsspole, se figur 6.12. Det tager ikke meget længere tid end at skifte en brænder.



Fig. 6.12 Lokal opvarmning af flange med special induktionsspole [42].

6.4.4 Styringsmuligheder

Induktionsopvarmning er velegnet til automatisk styring. I sin mest simple form kan styringen ske med et tidsrelæ, som afbryder strømmen efter den indstillede tid. Mere avanceret kan man have en programmerbar styring, hvor effekter, ramper og tider kan vælges til den konkrete opgave. Det bør således være muligt at opnå en større grad af operatøruafhængighed og bedre reproducerbar for så vidt angår selve varmeindføringen, end tilfældet er med flammeopvarmning.

6.4.5 Miljø og sikkerhed

NO_x-emission.

Det har ikke været muligt at gennemføre en måling af NO_x-emissionen ved induktionsopvarmning inden for rammerne af dette forprojekt. Med en forudsætning om opvarmning til kun ca. 700°C må man imidlertid formode, at NO_x-emissionen vil være endog særdeles lav i forhold til emissionen fra flammeopvarmning, da temperaturen er meget lavere, konvektionen mindre, og tiden kortere. Denne antagelse bør dog eftervises ved målinger inden eventuel substitution af flammeopvarmning.

Elsikkerhed m.v.

Spændingen på arbejdsspølen er ganske lav. Mellem frekvensomformereren og tilpasningstransformeren er der højere spænding, men dels er kablerne isolerede, og dels er strømmen væsentlig mindre farlig, når frekvensen er over ca. 5 kHz, som tilfældet er til overfladeopvarmning.

Man skal være opmærksom på risikoen for opvarmning af metalgenstande, som kommer helt tæt på spølen, eksempelvis armbåndsøre, fingerringe, eller stålindlæg i beskyttelsesfodtøj. Benytter man meget høje frekvenser, vil der være en dielektrisk opvarmningseffekt, som det kendes fra mikrobølgeovne, men anlæg til sædvanlige værkstedsopgaver kan ikke arbejde med så høje frekvenser.

Efter det foreliggende er der ikke påvist nogen biologisk effekt af de elektriske eller magnetiske felter. Hertil er energien for lav, og den primære risiko anses for at være den termiske [44].

Støj

I modsætning til flammeopvarmning er induktionsopvarmning lydløs.

6.4.6 Produktivitetssammenligning mellem flammeretning og retning med induktionsopvarmning

I nedenstående eksempel forudsættes der udført 100 varmestreger med længde på 160 mm, og med en indbyrdes afstand på 160 mm.

a. Flammeretning med én brænder

Ved flammeopvarmning holdes brænderen stille i t_1 [s] indtil temperaturen er nået, hvorefter den med v_f [mm/s] føres fremad til længden l [mm] er varmet. Herefter flyttes brænderen i løbet af t_f [s] til begyndelsen af næste streg, osv.

Tiden til udførelse af n streger er med denne model $n(t_1 + l/v_f) + (n-1)t_f$ [s]. Brænderen forudsættes at være tændt i hele denne tid.

Med en 750 L brænder vurderes t_1 at være 6 s og v_f at være 3,33 mm/s. Flyttetiden t_f sættes til 1 s.

Det giver et tidsforbrug på 5503 sek. \approx 1,53 time.

Med en oxygenpris på 0,034 kr/L (ved 1 bar og 24°C), og en acetylenpris på 73,46 kr/kg er timeomkostningen for en 750 L brænder beregnet til 124,14 kr/h, og den samlede omkostning til brænderen bliver dermed $1,53 \times 124,14 = 189,93$ kr.

Med en operatørtimeomkostning på kr. 200,- koster arbejdstiden kr. 306,-.

Samlet pris for arbejdet ved **flammeretning** er med disse forudsætninger **kr. 496.**

b. Induktionsopvarmning

Opvarmningstiden for én streg er t_1 [s], og flyttetiden til næste streg er t_f [s].

Tiden til udførelse af n streger er med denne model $n \cdot t_1 + (n-1)t_f$ [s]. Energiforbruget hertil er $n \cdot t_1 \cdot P / 3600 \cdot \eta$ [kWh], når effekten P indsættes i kW og virkningsgraden η indsættes som rent tal.

Med $n = 100$, $t_1 = 4$ sek. og $t_f = 2$ sek., fås et tidsforbrug på 598 sek. $\approx 0,17$ timer.

Med en operatørtimeomkostning på kr. 200,- koster arbejdstiden kr. 34,-

Med $P = 30$ kW og $\eta = 0,25$ bliver energiforbruget 13,33 kWh, svarende til ca. 6,70 kr ved en kWh-pris på 0,50 kr før elafgift og moms.

Samlet pris for arbejdet ved **induktionsopvarmning** er med disse forudsætninger **kr. 41.**

6.4.7 Markedsforhold

Ved en hurtig scanning af markedet er der fundet to virksomheder i Danmark, som markedsfører udstyr til induktionsopvarmning.

Ib Obel Pedersen A/S er et dansk baseret firma, som udvikler og fremstiller frekvensomformere og spoler til generel anvendelse, samt komplette specialanlæg til blandt andet lodning, finerpresser og hærdning af stål. Firmaet vurderes at have gode tekniske forudsætninger for at fremstille udstyr til varmeretning, men hidtil har man alene leveret enkelte udstyr til opretning af lastvognschassisser. Ib Obel Pedersen A/S har ca. 40 ansatte.

EFD Induction a.s er et norsk-tysk selskab med udviklingslaboratorium i Norge, og produktion og salgskontorer flere steder i verden, herunder ét i Danmark. EFD markedsfører blandt meget andet i et bredt produktprogram anlæg specielt beregnet til varmeretning. EFD Induction a.s har ca. 640 ansatte.

6.4.8 Anlægsinvestering

Induktionsanlæg repræsenterer en væsentlig større investering end acetylen-oxygenudstyr; EFD Induction a.s. oplyser en pris på ca. 500.000,- DKK for et komplet 30 kW anlæg med køler, spole og 45 m kabel.

Hos Ib Obel Pedersen koster en 17 kW frekvensomformer ca. 200.000,- DKK, hvortil kommer spole, køler og kabler. En 30 kW omformer koster mere, men ikke dobbelt så meget.

Der er ingen egentlige sliddele i anlæggene, som holder længe, hvis de ikke udsættes for overlast, og der ikke arbejdes uden køling.

6.4.9 Uddannelsesbehov

Induktionsopvarmning kan give en anderledes temperaturprofil end flammeopvarmning, og den vil være afhængig af den benyttede frekvens, spole, effekt og styringsform, samt af de aktuelle koblingsforhold. Man må derfor forvente, at en flammeretteoperatør skal have særlig uddannelse og træning for at kunne opnå tilfredsstillende resultater med induktionsopvarmning.

Ingen af de to firmaer i Danmark tilbyder standardkurser i varmeretning.

7. Forsøg med afskærmning af acetylen-oxygenbrænder

Da en acetylenbrænders ejektorvirkning har betydning for det volumen af atmosfærisk luft, som per tidsenhed kommer i kontakt med flammen, og dermed for NO_x-emissionen, er der blevet udført orienterende målinger for at belyse, om en simpel afskærmning af brænderen kan reducere emissionen.

Målingerne blev udført i en 2x2x2 m røgbokskammer med udsugning i toppen. For at kunne måle emissionen var der i ventilationskanalen monteret en sonde, som førte en delstrøm af ventilationsluften til chemoluminescent NO-NO₂-NO_x analyser af fabrikat Thermo Electron corporation. Målestillingen er vist på figur 7.1.

Målingerne blev udført for en 1300 l brænder, som blev fastspændt i et stativ inde i gasmåleboksen. Brænderen blev dels placeret så flammen brændte frit, og dels i forskellige arbejdsafstande fra en stålplade, figur 7.2.

Arbejdstrykkene for henholdsvis acetylen og oxygen blev indstillet til 0,55 bar og 2,5 bar, og for at gøre det muligt at slukke og gentænde denne uden at ændre indstillingen af ventilerne på brænderhåndtaget, blev der indskudt en gasspareventil i forsyningsledningen. Som skærm blev benyttet en keglestubformet stålskærm, som kunne monteres på brænderen. Stålskærmen er vist på figur 7.3.

Skærmen var desuden forsynet med en sugestuds for tilslutning af højtryksudsugning. Forsøg med udsugning fra skærmen blev dog i første omgang fravalgt, da temperaturen inde i skærmen viste sig at kunne blive ganske høj, og dermed ville stille store krav til bestandigheden af materialet til sugeslangen.

Resultaterne af forsøgene er fremgået af tabel 7.1.

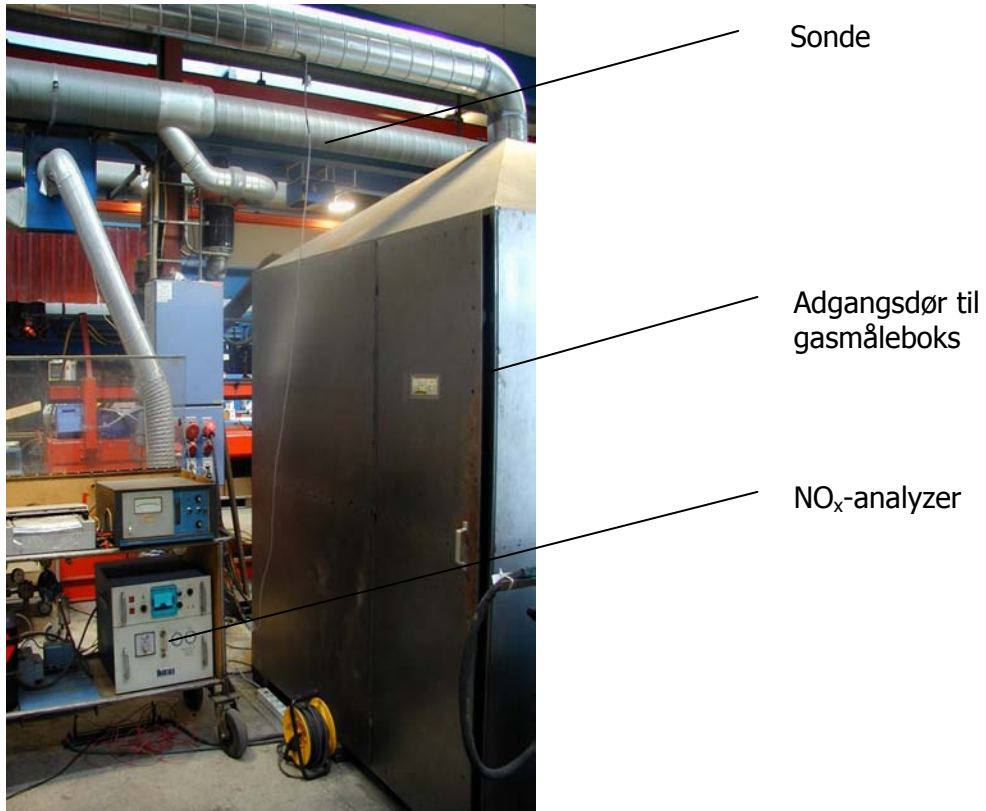


Fig. 7.1 Måleopstilling til bestemmelse af koncentration af nitrøse gasser.

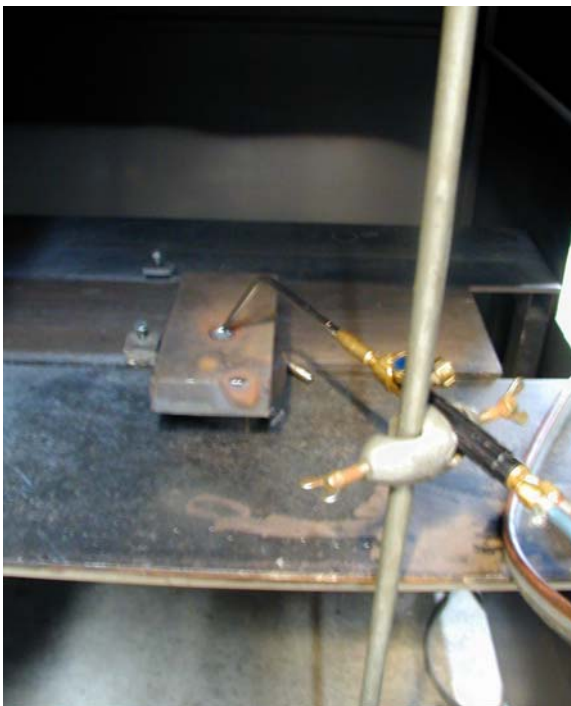


Fig. 7.2 Brænder i gasmåleboks, her med normal arbejdsafstand fra en stålplade.

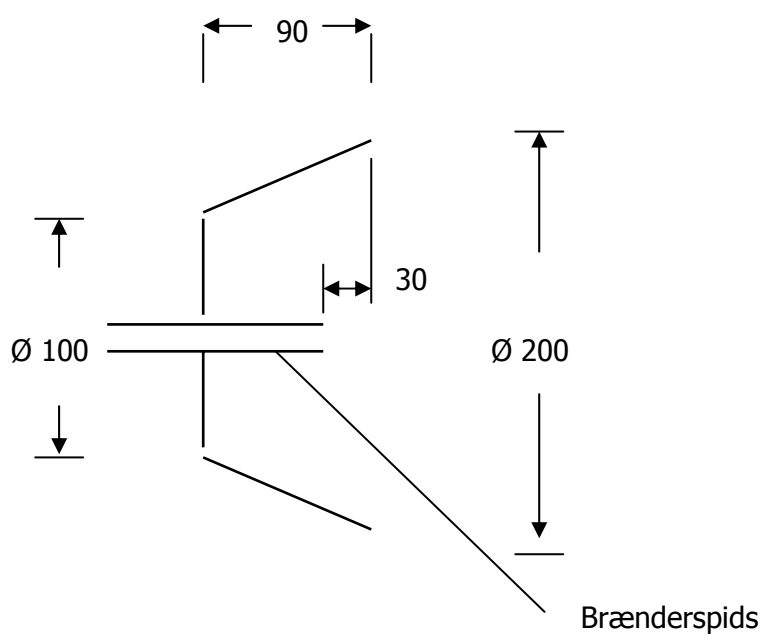


Fig. 7.3 Skitse af forsøgsskærmen med mål i mm.

Skærmen var desuden forsynet med en $\text{Ø } 25$ mm studs for tilslutning af en højtrykssuger som vist på figur 7.4.

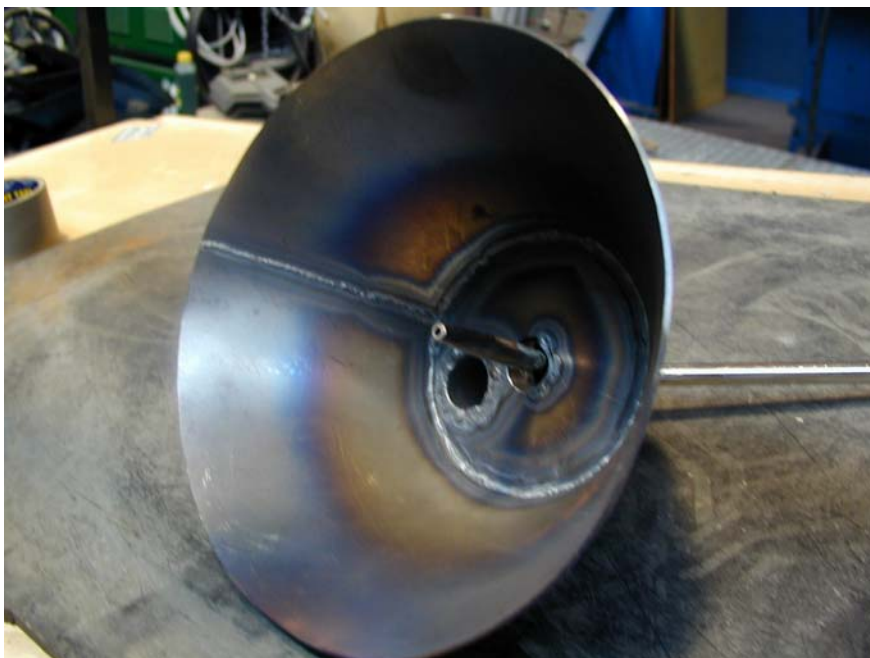


Fig. 7.4 Skærm med sugestuds til højtrykssuger monteret på brænder.

Tabel 7.1 Koncentration af nitrøse gasser i afsugningsluften fra måleboksen ved arbejdsituationer med- og uden afskærmning af acetylenbrænderen

Forsøgsopstilling	NO_x [ppm]	NO [ppm]
Fritbrændende flamme, brænder uden skærm	46	45
Fritbrændende flamme, brænder med skærm	45	44
Brænderspids 40 mm fra emneoverflade, uden skærm	39	38
Brænderspids 40 mm fra emneoverflade, med skærm	43,5	42,5
Brænderspids 10 mm fra emneoverflade, uden skærm	15,5	14,5
Skærm placeret oven på pladen, brænderspids 30 mm fra overfladen	18,5	-

Ved *fritbrændende flamme* viste målingerne en koncentration af NO_x på 46 ppm, hvoraf 98% forekom som NO. Montering af skærmen gav hverken nogen signifikant reduktion af emissionen eller af forholdet mellem NO og NO₂.

Med *brænderspidsen 40 mm fra emneoverfladen* blev både med- og uden skærm målt emissioner af samme størrelsesorden. Størst effekt havde det at placere brænderen ganske nær ved pladeoverfladen (10 mm), svarende til den afstand, som man ville benytte ved autogensvejsning eller kraftig lokal opvarmning.

Et forsøg som reelt indkapslede flammen viste som forventet også en betydelig reduktion af emissionen. En kombination af indkapsling og udsugning må på denne baggrund forventes på det nærmeste at kunne eliminere emissionen, men skærmen bør formentlig være en del større for at undgå for stærk opvarmning af den. Under alle omstændigheder kan det være et praktisk problem, at de udsugede gasser bliver så varme.

Resultaterne kan sammenfattes til, at der - med den valgte udformning af skærmen - kun blev opnået væsentlig reduktion af NO_x-emissionen, når skærmen reelt blev benyttet som en indkapsling af flammen. Ved de andre undersøgte placeringer var effekten mindre end den, der blev opnået ved at placere brænderen så tæt på arbejdsstykket, at det i sig selv begrænsede konvektionen.

8. Gassparerer

Som anført under punkt 3.2.1 medfører gasbrændere med *fritbrændende flamme* en markant højere NO_x-dannelse end under arbejde med brænderen. Ved arbejde med gasbrændere er det derfor særdeles vigtigt, at **brænderen slukkes straks efter brug, selv ved kortvarige afbrydelser i arbejdet.**

Erfaringsmæssigt forekommer der meget ofte arbejdsituationer i svejseindustrien, hvor gasbrændere ikke bliver slukket under mindre afbrydelser i arbejdet, men bliver lagt fritbrændede i arbejdszonen, f.eks. under flytning af emne, opringning, montage eller lignende i forbindelse med arbejdsopgaven. *Den begrundelse, der normalt angives for ikke at slukke brændere er, at det er tidskrævende og nødvendigt at foretage en fornyet brænderindstilling, hver gang brænderen har været slukket.*

En enkel og effektiv løsning kan være, at montere et gasspareaggregat i forbindelse med brænderen.

8.1 Teknisk beskrivelse

En *gassparer* er en gasafbryder, som aktiveres med en vippearms. Aggregatet indeholder to lukkeventiler til henholdsvis gas og oxygen. På aggregatet er der samtidig monteret et lille indstilleligt gasvågeblus af bunsentypen (luft/gas-blanding). Når brænderen hænges på vippearmen afbrydes gas og oxygen og brænderen slukker øjeblikkelig. Når brænderen skal bruges igen løftes den af armen og tændes ved gasvågebluset. *Da brænderindstillingen er uændret skal der ikke foretages ny brænderjustering.* Figur 8.1-8.3 viser et eksempel på brug af en gassparer.

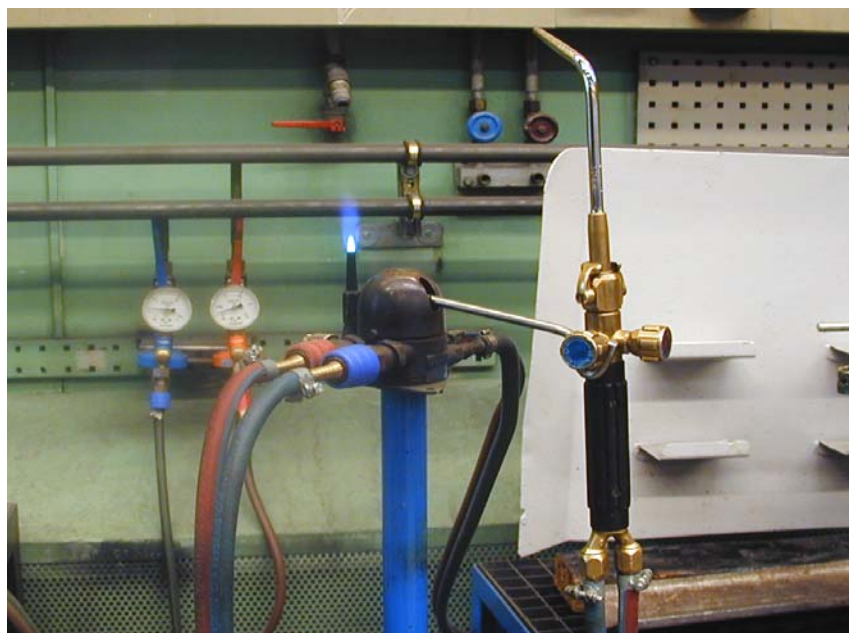


Fig. 8.1 Gassparer tilsluttet svejsebrænder

8.2 Markedsforhold

Fordelene ved en gassparer er indlysende:

- *Markant reduktion af NO_x-emissionen under arbejdet*
- *Brænderindstillingen skal ikke justeres efter slukning af brænderen*
- *Stor gasbesparelse, dvs. væsentlig mindre udgift til gas og oxygen.*

Trods dette benyttes gasspareaggregater kun i meget begrænset omfang i produktionsvirksomheder. Derimod har uddannelsessteder som AMU-centre, tekniske skoler m.v. generelt installeret ventilerne i forbindelse med gasudstyr. Det kan nævnes, at målinger i uddannelsesværksteder med gassvejsning tidligere har vist, at det er umuligt at overholde GV for NO/NO₂ i et typisk svejselokale med 10-12 kursister uden brug af disse gasspare-aggregater.

Det må anses for muligt at anvende gasspareventiler i industrien i væsentligt større omfang end det er tilfældet i dag på såvel faste som skiftende arbejdssteder. Til brug på skiftende arbejdssteder kan aggregatet f.eks. monteres på en flytbar stander som vist på figur 8.3.

Ved henvendelse til de større danske leverandører af gasser og gasudstyr har AGA A/S og Hede Nielsen A/S (Tåstrup afd.) oplyst, at de lagerfører gasspareventiler (pris 2002: ca. 1400-1600 kr). De øvrige gasleverandører forhandler/lagerfører ikke længere ventilerne pga. en meget lille efterspørgsel, men kan fremskaffe ventilerne. Messer Griesheim, Tyskland og Elga, Sverrige, lagerfører ventilerne.



Fig. 8.2 Brug af gassparer i forbindelse med gassvejsning



Fig. 8.3 Gassparer monteret på flytbar stander.

9. Ventilation

9.1 Opvarmning med flamme

Ved *varmeretning, gassvejsning, flammelodning og flammefugning* varmepåvirkes luften i en relativ stor zone omkring processtedet, dvs. **NO_x-dannelsen sker i en zone** og ikke kun i selve flammeregionen. Termikken betyder samtidig, at de nitrøse gasser kontinuerligt- og meget hurtigt transporteres opad og **spredes i en kegleformet usynlig "fane" over processtedet** (temperaturforskellen mellem lokaleluften og "fanen" kan tydeligt mærkes).

Forureningszones størrelse ved brug af gasbrændere betyder generelt, at procesventilationen må have en stor indfangningszone, dvs. indrettes som **lavtryksudsugning med store luftmængder**.

Som grundlag for en vurdering af kravene til procesudsugning er der udført en serie orienterende målinger af forureningszonens størrelse ved gasbrændere samt indfangningseffektiviteten for en lavtryksudsugning. Resultaterne er vist nedenfor i punkt 9.1.1 og 9.1.2.

9.1.1 Orienterende undersøgelse af forureningszonen ved gasbrændere

Målingerne omfattede en bestemmelse af forureningszonen størrelse og form ved 3 kombinationer:

- 500 l acetylenbrænder, fritbrændende
- 500 l acetylenbrænder, mod arbejdsemne, dyseafstand 20 mm
- 1300 l acetylenbrænder, mod arbejdsemne, dyseafstand 25 mm

Ved målingerne var brændere opspændt stationært. Grænsefladen for forureningszonen blev bestemt ved måling af NO_x-koncentrationen i luften omkring brænderen i højder på 10-20-30-40 og 50 cm over brænderspidsens niveau, idet målesonden blev flyttet i retning af centerlinien indtil skæringspunktet med varmluftzonen. NO_x-målingerne blev udført med en TEC chemiluminescent NO_x-analyser14B. Brænderopstillingen er vist på figur 9.1.

Målingerne viser, at forureningszonen over en gasbrænder er tilnærmet konisk med relativ stor diameter selv i kort afstand over brænderen. Ved lodret flamme (brænderspids) er forureningszonen rotationssymmetrisk omkring centeraksen, mens zonen ved hældning på flammen forskydes lidt i flammeretningen.

Figur 9.2-9.4 viser forureningszonens udbredelse for henholdsvis en 500 l brænder fritbrændende og rettet mod plade samt en 1300 l brænder rettet mod plademateriale. Ved fritbrændende 1300 l brænder var forureningszonens diameter særdeles stor; målt i vandret plan i højde med brænderspidsen var radius i NO_x-zonen 55 cm.

Det fremgår umiddelbart af resultaterne, at brænderstørrelsen har stor indflydelse på diameteren af forureningsfanen. Endvidere indikerer målingerne for 500 l brænderen, at der i den typisk højdeplacering for en procesudsugning - 30-40 cm over emnet - er en lidt større diameter på forureningszonen med flammen rettet mod plademateriale end ved fritbrændende flamme.



Fig. 9.1 Måleopstilling ved orienterende undersøgelse af forureningszonen ved gasbrændere og indfangningsgrad for lavtryksudsugning

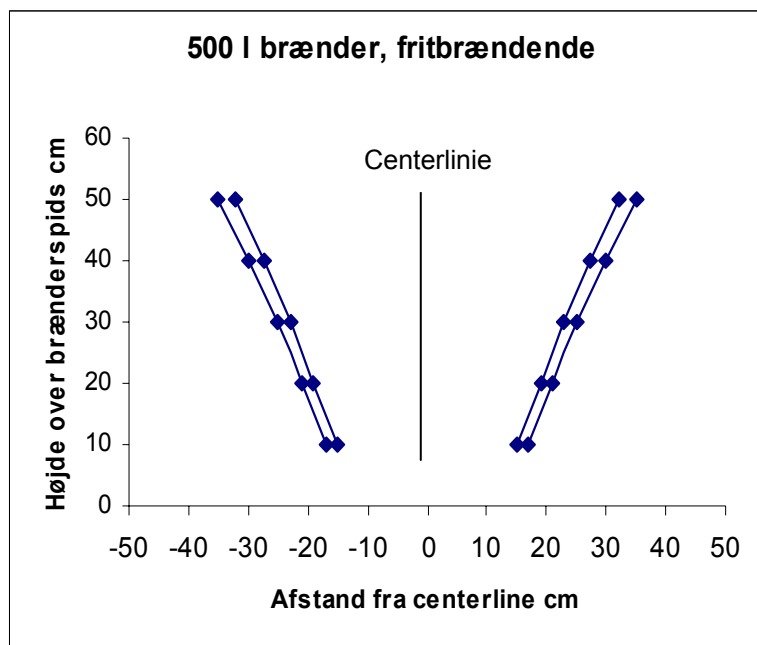


Fig. 9.2 NO_x-zonens størrelse omkring en fritbrændende 500 l acetylenbrænder med lodret flamme

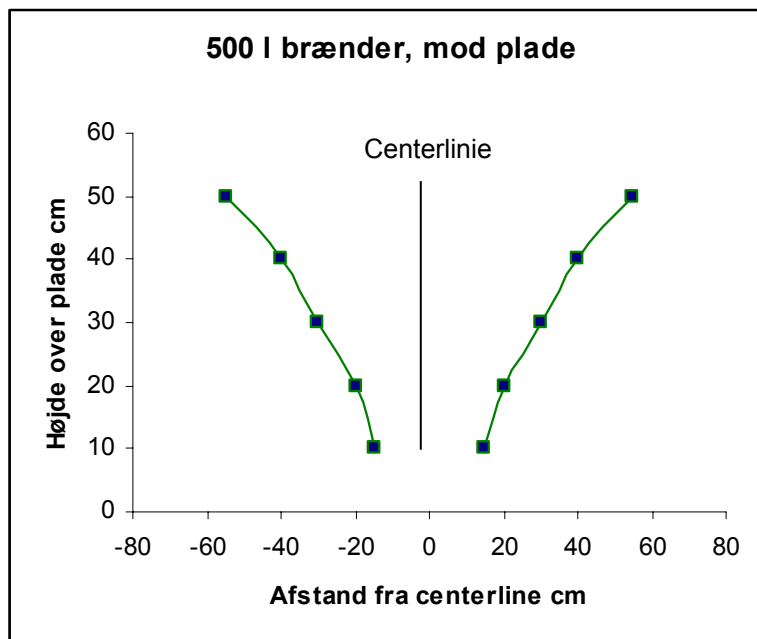


Fig. 9.3 NOx-zonens størrelse ved arbejde med en 500 l acetylenbrænder. Flamme rettet lodret mod plade, dyseafstand 20 mm

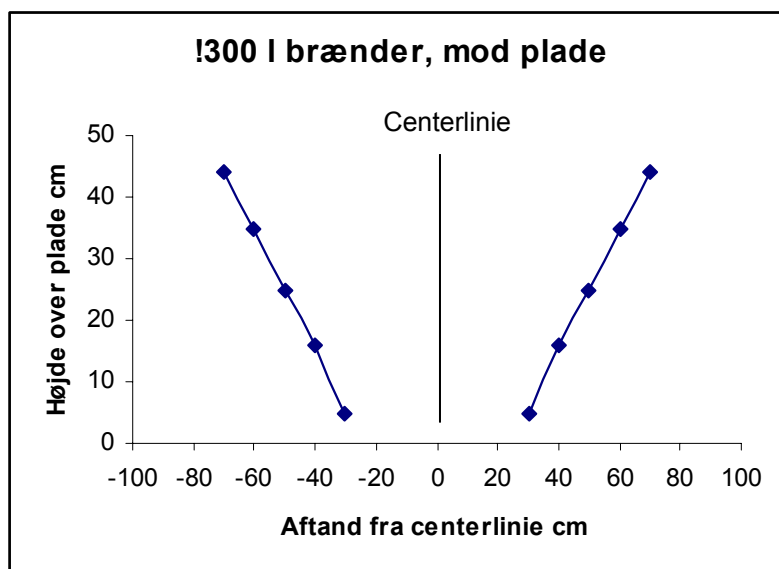


Fig. 9.4 NOx-zonens størrelse ved arbejde med en 1300 l acetylenbrænder. Flamme rettet lodret mod plade, dyseafstand 25 mm.

9.1.2 Orienterende undersøgelse af procesudsugning ved gasbrændere

Indfangningseffektiviteten overfor NO_x for en typisk lavtryksudsugning er testet ved orienterende målinger i forbindelse med en 500 l acetylenbrænder.

Målingerne blev foretaget ved anvendelse af udsugningsarmen vist på figur. 9.1 Udsugningen er en svingarm af fabrikat Nederman med oval sugetragt på 30 x 25 cm monteret en \varnothing 12 cm lampe indvendig i tragtten. Udsugningsarmen er tilsluttet en separat ventilator. Udsugningsluftmængden blev bestemt til ca. 770 m³/h ved måling med pitorør i afkastkanalen, svarende til en lufthastighed i sugetragtens effektive åbningsareal på ca. 4,6 m/s.

Indfangningseffektiviteten blev bestemt ved måling af NO_x-koncentrationen i udsugningskanalen afhængig af sugetragtens højdeplacering over emnet. Ved målingerne var sugetragten placeret i centerlinen over brænderen.

Måleresultaterne er sammenfattet i efterfølgende tabel samt vist på figur 9.5.

Sugetragt Højde over brænder cm	500 l brænder, mod emne		500 l brænder, fritbrændende	
	NO _x ppm (kanal)	Indfangning %	NO _x ppm (kanal)	Indfangning %
10	5,9	100*	38	100*
20	5,9	100 *	38	100*
25	5,7	95	38	100
30	4,0	68	32	85
40	2,4	40	23	60
50	1,4	25	17	45

* Som kontrol blev der foretaget måling af NO_x-koncentrationen i luften omkring sugetragten.

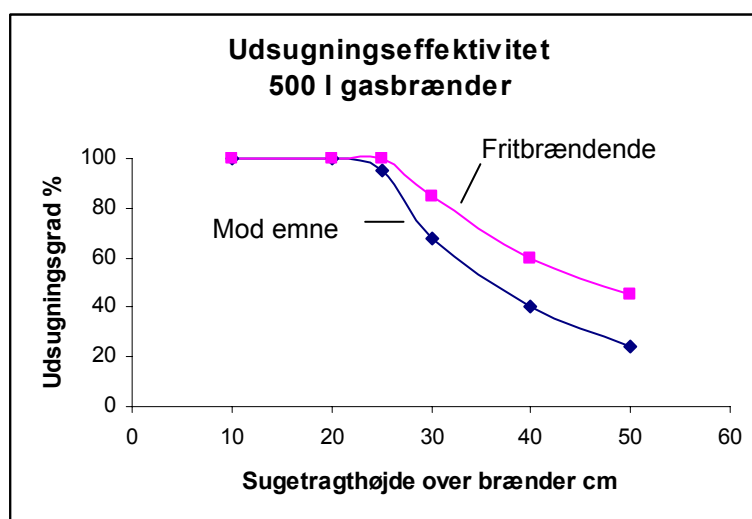


Fig. 9.5 Orienterende målinger af NO_x-indfangningseffektiviteten for en sugetragt i forbindelse med en 500 l acetylenbrænder.
Sugetragt 30x25 cm, luftmængde 770 m³/h.

Det fremgår af undersøgelserne i punkt 9.1.1-9.1.2, at procesudsugning i forbindelse med gasbrændere nødvendigvis må have stor indfangningszone, dvs. udformes som en **sugetragt med en stor sugeåbning og stor udsugningsluftmængde**. Målingerne indikerer, at:

- Procesudsugning i form af **sugearme** bør generelt have en udsugningsluftmængde $>1000\text{m}^3/\text{h}$ ved arbejde med gasbrændere.
Det kan nævnes, at den anvendte udsugning med $770\text{ m}^3/\text{h}$ ikke kunne fjerne de nitrøse gasser effektivt ved en 1300 l brænder med sugetragten kun 20 cm over brænderen.
- Sugetragtens skal placeres over- og så tæt på flammen som muligt.

Denne form for udsugning kan normalt kun anvendes **på faste arbejdspladser**.

Procesudsugning på faste arbejdspladser kan alternativt udformes som et **udsugningskabinet**, dvs. en udsugning integreret i arbejdsbordet. Lufthastigheden i frontåbningen af sugekabinetter bør erfaringsmæssigt være mindst 0.5 m/s .

På skiftende arbejdssteder og ved arbejde på større konstruktioner er det normalt problematisk at etablere lavtryksudsugning med stor indfangningszone, dvs. i de fleste af disse arbejdssituationer er det vanskeligt (produktionsteknisk urealistisk) at løse eksponeringsproblemet ved gasbrændere alene gennem procesventilation.

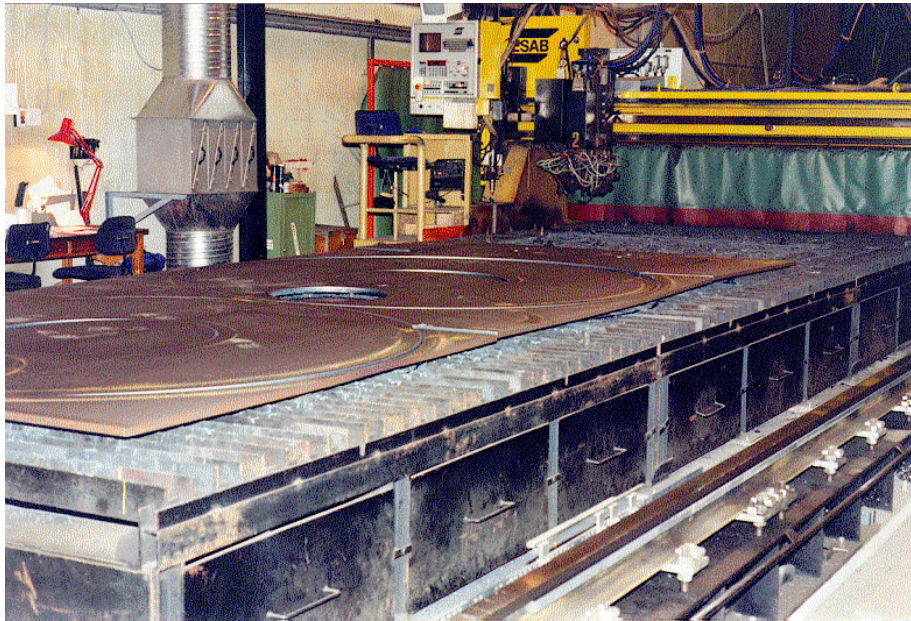
9.2 Termisk skæring

Ved **flammeskæring og plasmaskæring** sker NO_x-dannelsen helt overvejende i skærestrålen **på bagsiden af snitfugen** (bagsiden af pladematerialet). Pga. termikken vil gasser og røg stige opad og tilgå lokaleluften langs pladekanter og gennem snitfugen. Det betyder, at:

- Forureningsbekæmpelsen ved **flammeskæring** foretages mest effektivt ved udsugning under pladen (bagsiden af snitfugen). Ved maskinel skæring på **faste arbejdspladser** anvendes der i dag generelt **skæreborde udformet som en lukket kassekonstruktion med udsugning under pladen**. Ved store borde anvendes sektionsdelt udsugning, hvor udsugningen styres med automatspjæld fra sektion til sektion i takt med brænderplaceringen.

Eksempler på skæreborde er vist på figur 9.6 og 9.7.

Det afgørende kriterium for en effektiv indfangning af forureningen er, at lufthastigheden i skærebordets frie arealer, dvs. den del af bordet der ikke er dækket af plademateriale, er tilstrækkelig høj til at modvirke den termiske opadrettede strømning. Den nødvendige lufthastighed afhænger af brænderstørrelse, brænderantal m.v., men erfaringsmæssigt bør **lufthastigheden (gribehastigheden) i de frie arealer mindst være $1,5\text{-}2\text{ m/s}$** .



**Fig. 9.6 Maskinel flammeskæremaskine (fast arbejdsplads).
Eksempel på skærebord med sektiondelt udsugning under plade
og renselemme.**



**Fig. 9.7 Halvmaskinel flammeskæring på fast arbejdsplads.
Indrettet som skærebord med udsugning under plade.**

9.2.1 Udsugningsluftmængde til skærebord

Den nødvendige udsugningsluftmængde for skærebord afhænger af den konstruktive udformning. Som retningslinje for beregning af luftmængden kan anvendes:

$$V = A \times v(g) \times f \text{ m}^3/\text{s}$$

- hvor: A : Arealet af den dimensionsgivende sugeflade (m²).
Arealet kan bestemmes som det mindste af de følgende arealer:
- Sidekanal: tværsnitsarealet af en sektion plus det frie sektionsareal (bordareal) mellem sidekanal og emne.
Midterkanal: 2 x tværsnitsarealet af en sugesektion
 - Det frie sektionsareal, dvs. den del af bordfladen over en sektion, der ikke er dækket af plademateriale
- v(g): Gribehastighed ved pladekant (m/s)
f : Samtidighedsfaktor for sektionerne ved sektionsinddelte borde.

Det ses, at udsugningsluftmængden kan begrænses ved at reducere arealet af den dimensionsgivende sugeflade A. Dette kan enten ske ved at reducere det frie bordareal, dvs. det areal der ikke er dækket af pladematerialet, eller ved at minimere tværsnittet af skærebordsektionerne. Udgangspunktet for dimensionering af luftmængden er ofte det frie bordareal, idet der regnes med, at en vis procentdel af bordfladen altid er dækket af emnet. For udsugningsborde, hvor der er regnet med en høj pladedækningsfaktor på bordet vil udsugningsluftmængden ofte være utilstrækkelig ved skæring af mindre emner.

Kravet til *gribehastighed* v(g) afhænger af flere faktorer bl.a. skæreeffekten. Undersøgelser har vist, at en gribehastighed på 1.0-1.5 m/s ved pladekant normalt kan indfange forureningen effektivt. Ved dimensionering bør regnes med 2.0 m/s.

Det skal bemærkes, udsugningen på skærebord i industrien ofte ikke er tilstrækkelig effektivt. Den væsentligste årsager er for lav lufthastighed pga. af forkert dimensionering af udsugningsluftmængden i forhold til det frie bordareal eller manglende vedligeholdelse (oprensning af bord og udsugningskanaler, skift af filter m.v.)

- Ved **maskinel plasmaskæring på faste arbejdspladser** anvendes i dag vandneddykket skæring, evt. kombineret med udsugningskanal/tragt på brænderophænget. Vandneddykket skæring reducerer NO_x-emissionen med en faktor 2-4 [32] [33]. Løsningen kan selvsagt ikke anvendes på skiftende arbejdspladser.

Ved manuel **flamme- og plasmaskæring** på **skiftende arbejdssteder** af f.eks. rør eller beholdere kan udsugningen foretages ved afsugning *indvendig fra rør eller beholder*. Ved andre former for manuel skæring kan det være problematisk at udforme en effektiv punktudsugning. Den kraftige spredning af forureningen betyder, at der kræves punktudsugningssystemer med en stor indfangningszone, dvs. stor udsugningsluftmængde og sugeåbning, placeret på bagsiden af emnet tæt ved snitfugen.

10. Åndedrætsværn

Åndedrætsværn findes i de to hovedtyper:

- Luftforsynede åndedrætsværn
- Filtrende åndedrætsværn, herunder turboåndedrætsværn

De nærmere regler for brug, vedligeholdelse m.v. af åndedrætsværn er beskrevet i:
AT-meddelelse nr 4.09.1. Åndedrætsværn

10.1 Luftforsynede åndedrætsværn

Luftforsynede åndedrætsværn til svejsning og skæring er generelt baseret på luftforsyning fra et kompressor anlæg, dvs. indåndingsluften tilføres til åndedrætsværnet gennem en slange tilkoblet et trykluftsystem. Det er vigtigt, at luften er har den fornødne renhed til indåndingsformål. *Luftforsynede åndedrætsværn må aldrig tilsluttes direkte til trykluftudtag med arbejdsluft.*

Kravene til luftkvalitet, kompressorsystem, luftrensning, vedligeholdelse m.v. fremgår af:
At-vejledning D.5.1: Trykluft til åndedrætsværn.
Vejledning om brug og vedligeholdelse af trykluft til åndedrætsværn (åndemiddelluft)

De luftforsynede åndedrætsværn findes i form af hel- og halvmasker eller som svejseværn med lufttilførsel i skærmen. Hel- og halvmasker anvendes erfaringsmæssigt kun i meget begrænset omfang i svejseindustrien, men halvmasker er dog enkelte steder anvendt til beskyttelse mod NO_x-eksponering i forbindelse med bl.a. varmretning.

Svejseshjelme med lufttilførsel indvendig i skærmen har idag en relativt stort udbredelse i den danske svejseindustri, herunder bl.a. i virksomheder, der svejser i rustfrit stål. Der markedsføres flere forskellige typer luftforsynede svejseshjelme, herunder hovedskærme med dobbeltvisir, hvor luften tilføres i et visir af gennemsigtig materiale monteret bag svejseværnet. Dobbeltvisir har den fordel, at operatøren også er beskyttet mod forurening når det udvendige svejsevisir slås op.

Luftforsynede åndedrætsværn yder en effektiv beskyttelse mod forurening, herunder NO₂-eksponering. Da åndedrætsværnet ikke belaster åndedrætssystemet er der endvidere *ingen tidsbegrænsning* for brugen.

Ulempen ved denne type åndedrætsværn er, at operatøren bevægelighed er begrænset af slangeforbindelsen. Udstyret kræver endvidere - udover selve åndedrætsværnet - investering i et særligt kompressor anlæg og/eller luftrensningsaggregater samt etablering af en vedligeholdelsesfunktion for systemet.

10.2 Filtrende åndedrætsværn

I filtrende åndedrætsværn renses den omgivende luft ved passage gennem et eller flere filtre af forskellig type. Filtertyperne opdeles i partikelfiltre, gasfiltre og kombinationsfiltre. Filtrene skal være afprøvet (godkendte) i henhold til internationale standarder og mærket med type og klasse efter den forurening, de beskytter imod.

De mest almindelige filtrerende åndedrætsværn til svejsning er

- Filtrerende ansigtsmasker
- Filtrerende åndedrætsværn med turboenhed

Filtrerende ansigtsmasker kan være engangsmasker eller masker med udskiftelige filtre. Funktionsprincippet er, at brugeren selv suger luften gennem filtret. Da denne type maske medfører åndingsmodstand, må den kun anvendes **højest 3 timer om dagen** og ikke uafbrudt.

Turboudstyr består af en batteridrevet ventilator, som suger eller blæser luften gennem filteret. Turboenheden bæres af operatøren i bæltet og luften føres fra enheden ind i ånderætsværnet. Turboudstyr er altid forsynet med partikelfilter, men kan desuden forsynes med kombinationsfilter mod gasarter.

Til svejsning og skæring benyttes ofte turboudstyr, hvor luften indblæses i selve svejsehjælmen eller i et visir bag svejsekærmen, dvs. svejsehjelme af samme type som nævnt under luftforsynede åndedrætsværn. Det skal bemærkes, at turboudstyr ikke må forveksles med luftforsynede åndedrætsværn. Da luften tages fra omgivelserne er turboudstyr ikke et luftforsynede åndedrætsværn.

For turboudstyr gælder, at det udstyret skal være godkendt som en helhed, dvs. filtre og turboenhed skal være godkendt samlet.

I turboudstyr er der ingen åndingsmodstand og **3-timers reglen gælder derfor ikke for turboudstyr**, dvs. der er ingen tidsbegrænsning for brug af turboudstyr.

10.2.1 NO-NO₂-filtre

Der foreligger standarder for prøvning af gasfiltre til NO/NO₂-beskyttelse, henholdsvis EN 141 (gasfiltre og kombinerede filtre) [37] og EN 12941 (turboåndedrætsværn) [38]. Filtermærkningen for denne type filtre er NO-P3 med blå-hvid farvekode.

NO-P3 filtre er primært tiltænkt til brug ved meget høje NO_x-koncentrationer, f.eks. ved arbejde med salpetersyre og lignende. Efter EN141/EN 12941 anvendes en testkoncentration ved prøvning af filtrene på *2500 ppm NO og NO₂, dvs. 1250 gange NO₂-grænseværdien.*

En henvendelse til forskellige filterleverandører viser, at filtertypen markedsføres i Danmark af Dräger og ICM Sikkerhedsmateriel (MSA-filtre). MSA-kombinations-filtret er desuden godkendt til beskyttelse mod CO.

Ifølge oplysninger fra leverandørerne er filtrene relativt store og tunge. Vægten er ca. 400 g, hvorfor filtrene kun kan benyttes i forbindelse med *helmasker*. Filtrene er endvidere relativt dyre (pris 2002: ca. 450 kr/stk).

Filtrene er ikke godkendte til brug i turboudstyr. Ifølge leverandørerne er filtrene ikke afprøvet i forbindelse med turboudstyr, men pga. luftmodstanden i filtrene anses det ikke for sandsynligt, at filtrene kan bruges (godkendes) til normalt turboudstyr.

Generelt må denne type filtre vurderes som uhensigtsmæssige til brug i forbindelse med varmning og termiske skæreprocesser.

10.2.2 Andre mulige filtertyper til NO_x-beskyttelse

FORCE Technology har tidligere for firmaet 3M udført en orienterende afprøvning af NO-effektiviteten for 3M åndedrætsværn i 4200 serien med kombinationsfilter mod gasser og partikler (FFABE1P2SL, FFABE1P3S - filtrerende engangsmasker). Prøvningen viste, at maskerne ydede en vis beskyttelse mod NO i de koncentrationsniveauer, der forekommer ved fritbrændende varmekamre. Ved test med NO-koncentrationer på ca. 50 ppm, svarende til 2 gange grænseværdien, var gennembrudstiden til GV mere end 2 timer.

Masketyper blev ikke testet for effektiviteten overfor NO₂, men da NO₂ er en sur gas var det 3M vurdering at denne gas sandsynligvis vil blive filtreret i E-filterdelen.

De nævnte 3M åndedrætsværn markedsføres imidlertid ikke til beskyttelse mod NO_x, da der ikke er foretaget standardiseret prøvning. Datablade for de nævnte filtermasker er vist i bilag III. Ifølge oplysninger fra 3M er årsagen til effektiviteten overfor NO formentlig, at B-filterdelen er imprægneret med CrVI.

Dräger Danmark A/S har fra producenten i Tyskland fået oplyst, at Dräger gasfiltre af typen AB yder en vis beskyttelse mod NO₂. Dräger har udført interne test med forskellige filtertyper effektivitet overfor NO₂. Testene har vist, at filtre af typen A2B2 og P2A2B2 yder beskyttelse mod mindre koncentrationer af NO₂, mens kombinationsfiltre af typen ABEK derimod ikke giver NO₂-beskyttelse, antagelig på grund af imprægneringen i K-filterdelen. Testdata og resultater foreligger ikke nærmere oplyst.

Dräger har samtidig oplyst, at der anvendes CrVI imprægnering i de fleste af deres AB filtertyper, dvs. filtrene er muligvis og effektive mod NO, jvf. oplysningen fra 3M.

ICM sikkerhedsmateriel har i deres katalog angivet, at gasfiltre af E-typen kan yde beskyttelse mod NO₂. Der foreligger ikke nærmere data, men i lighed med 3M vurderer leverandøren, at B- og E filtertyper sandsynligvis giver en vis beskyttelse mod NO₂.

Resultatet af leverandør henvendelserne kan sammenfattes til:

- **Der markedsføres godkendte NO-P3 (NO₂/NO) filtre i Danmark, men filtrene er kun egnede til helmasker. Filtrene er relativt store, tunge og dyre. Filtrene er ikke godkendte til turboudstyr.**
- **Prøvningsresultater og leverandør oplysninger indikerer, at gasfiltre af typen AB, B og/eller E kan yde en vis beskyttelse mod NO₂ og NO, dvs. NO_x-koncentrationer i de niveauer, der forekommer i forbindelse med gasbrændere og termiske skæreprocesser.**

Der foreligger ingen dokumentation for AB, B og E filteres effektivitet overfor NO₂, men hvis leverandør vurderingerne er korrekte, **kan det åbne mulighed for brug af såvel turboudstyr som filtrerende ansigtsmasker til kortvarig beskyttelse mod NO₂ ved varmning, termiske skæreprocesser m.v.**

10.2.3 Oplæg til testprocedure for filtrede åndedrætsværn til beskyttelse mod NO_x-koncentrationer ved varmning, skæring og svejsning.

Før AB, B eller E gasfiltertyper evt. vil kunne anvendes til beskyttelse mod NO_x-eksponering i lave koncentrationer er det en afgørende forudsætning, at:

- *der tilvejebringes dokumentation for filtrenes NO_x-effektivitet*
- *filtrene kan godkendes af Arbejdstilsynet til det aktuelle formål.*

Da det er urealistisk at teste filtrene efter standarden for NO-P3 filtre på grund den meget høje testkoncentration, vil det være nødvendig at opstille en særlig testprocedure, der direkte dokumenterer NO_x-beskyttelseseffektiviteten i forhold til eksponeringsniveauerne ved varmning, termisk skæring m.v.

Det fremgår af bilag I, at NO_x-eksponeringsniveauet ved svejse og skæreprocesser generelt er mindre end ca. 15 ppm NO_x. I "varmluftzonen" direkte over en varmebænder kan koncentrationen imidlertid være væsentlig højere, fra 50 til >100 ppm NO_x, svarende til 2-10 ppm NO₂ ved den normale NO/NO₂ fordeling for acetylenflammer.

Med udgangspunkt i disse koncentrationer er der i *Bilag II opstillet et forslag til testprocedure for godkendelse af åndedrætsværn til NO_x-beskyttelse ved varme-, skære- og svejseprocesser.*

Fra leverandør side er udtrykt stor interesse for at medvirke i en evt. undersøgelse af AB, B og E filteres NO_x-effektivitet. Pga. omkostningerne ved en prøvning vil man imidlertid ikke på eget initiativ foretage test før der evt. foreligger en procedure-godkendelse fra Arbejdstilsynet.

Referencer

1. At-vejledning C.0.1: Grænseværdier for stoffer og materialer, Oktober 2000
2. At-anvisning nr. 3.1.0.2: Grænseværdier for stoffer og materialer, December 1996
3. Autrup, h. et al.: Miljø og arbejdsmedicin. FADL Forlag 1998
4. Arbejdsmedicin III
5. Dansk Industri: Økonomiske konsekvenser for virksomhederne af en reduktion i grænseværdien for kvælstofdioxid. Oktober 1999.
6. Erhvervsbladet: Nye Industrikrav vil koste 1,2 milliarder
7. Eksposering for nitrogendioxid ved sveje- og skæreprocesser m.v. Notat udarbejdet af FORCE Technology for Arbejdstilsynet, Maj 2000.
8. Stern, R.M.: The production of ozone and other photochemical oxidants during welding with MIG. Rapport SF 78.09. FORCE Technology.
9. Hansen, E.B., et al.: Flammeskæring med naturgas, propan og acetylen - Arbejds miljøundersøgelser. Rapport 87.51. FORCE Institutet.
10. Miljøstyrelsen: Renere Teknologi Katalog, 3.2.
11. Rossi, N. J.: How to Control NO_x,
fra www.pollutionengineering.com/archives/1995/pol0401.95/04adp3f0.htm
12. AvestaPolarit, Material Safety Data Sheet
13. Madsen, O.H. og Myken, A.: Naturgasbaseret infrarød opvarmning til industrielle produktionsformål, fra www.dgc.dk/katalog/data/ir.htm
14. Hansen, E.B. et al.: Flammelodning ved montage, Rapport 79.24, Svejscentralen, København 1979.
15. Komfurer, baggrundsnotat, Miljøstyrelsen, oktober 1997.
16. Hansen, E.B.: Undersøgelse af røg og gasemissioner ved MAG-svejsning og flammeskæring af primede plader. NIF 1994. FORCE Institutet.
17. Hansen, E.B.: Svejsning af rustfrit stål med pulverfyldt rørtråd og puls-MIG-med massiv tråd - Miljø. Rapport 89.37. FORCE Institutet.
18. Hansen, E.B.: Emissionsdata for luftforureningen ved svejsning. FORCE Institutet 1991. Rekvireret undersøgelse.
19. Hansen, E.B.: Emissionsmålinger af røg, ozon og nitroser gasser ved MAG-svejsning. FORCE Institutet 1987. Rekvireret undersøgelse.
20. Bolt Andersen, C., Hansen, E.B.: Svejsning med pulverfyldte tråde. Rapport 80.51. FORCE Institutet.
21. Hansen, E.B., Thomsen, T.: Luftforureningen ved svejsning og skæring på danske værfter. Rapport 7701. FORCE Institutet
22. Hansen, E.B. et al.: Plasmaskæring af rustfrit stål og ikke-jern metaller. Rapport SF 7703. FORCE Institutet.
23. Rekvirerede luftforureningsundersøgelser i danske virksomheder samt produktafprøvninger. Interne rapporter. FORCE Institutet.
24. Hansen, E.B.: Forureningsbekæmpelse ved svejsning af rustfrit stål. AMF 1986.
25. Press, H., Steigleder, B.: Stickoxidbildung bei Autogenverfahren - Massnahmen zur Vermeidung von Gesundheitsschäden. DVS-berichte 1978.
26. Press, H.: Erstehung luftverunreinigender stoffe beim Arbeiten mit brenngasen und sauerstoff. Schweissen und Schneiden, 1982, H 2, p. 68-72.
27. Press, H., Florian, W.: Untersuchung der Fremdstoffbildung beim Schutzgasschweissen - Wolfram-Inertgasschweissen von legiertem stahl und aluminiumlegierungen. Schweissen und Schneiden, 1982, H 9.
28. Press, H., Florian, W.: Formation of toxic substances in Gas shielded arc welding. IIW doc. VIII-879-80 og VIII-88

29. Jenkins, N., Moreton, J. et al.: Welding Fume: Sources - Characteristics - Control. The welding Institute 1981.
30. Sipek, L., Smårs, E.: Ozone and Nitrogen Oxides in gas shielded arc welding. Report GIF-1073, AGA AB Innovation.
31. The problem of ozone in Gas-shielded arc welding. Report GM 144. AGA Innovation.
32. Von Brömssen, B. Lillienberg, L. et al.: Emission av rök, kväveoxider och buller vid plasmaskäring i rostfritt stål och konstruktionsstål. IVF 94824
33. Lillienberg, L. et al.: Emissions of Fumes and Nitrogen Oxides from Plasma Cutting of Stainless steel. IIW-VIII-1785-96
34. Ulfvarson, U. Hallne, U et al.: Svetsning i rostfritt stål med metallbågsvetsning och gasbågsvetsning. Arbete och Hälsa. 1978:8.
35. Hallne, U.: Undersökning av gasbågsvetsares exponering för ozon och kvävroxider vid svetsning med olika skyddsgaser. Arbete och Hälsa. 1985:1.
36. Ulfvarson, U. Hallne, U et al.: Arbejdsmiljöproblem vis svetsning. Gasbågsvetsning i aluminium och aluminiumlegeringar. Arbete och Hälsa. 1978:6.
37. EN 141. Åndedrætsværn. Gasfiltre og kombinerede filtre. Krav prøvning og mærkning.
38. EN 12941. Åndedrætsværn. Filtrerende åndedrætsværn med turboenhed (blæser). Krav prøvning og mærkning.
39. Hansen, E.F.: Varmeretning af svejste konstruktioner, kompendiemateriale, FORCE Institutet 2000.
40. Brunst, W.: Die induktive Wärmebehandlung, Springer-Verlag, 1957, p. 33.
41. Fabrikoplysninger fra EFD, 2002.
42. Fabrikoplysninger fra Ib Obel Pedersen A/S.
43. Oplyst af udviklingschef Kåre Friis, Ib Obel Pedersen A/S.
44. www.osha-slc.gov/SLTC/radiofrequencyradiation/index.html, revisionsdato 08. maj 2002.

BILAG I

Uddrag af [7]

I. Eksponering for NO₂ i svejseindustrien.

I.1 Generelt

Vurdering af eksponeringsrisikoen for NO₂ kan foretages med udgangspunkt i både emissionsdata og eksponeringsdata.

a. Emissioner

NO₂-emissionen for en proces angiver den **NO₂-mængde pr. tidsenhed**, der udvikles fra selve processen. Emissionsdata kan anvendes til en relativ sammenligning af eksponeringsrisikoen ved forskellige processer og procesparametre.

Under ens arbejdsbetingelser, dvs. ved ens ventilationsforhold, arbejdsstilling, procestid m.v., vil en proces med dobbelt så høj emission som en anden proces - alt andet lige - give en dobbelt så høj eksponering i praksis.

Med kendskab til eksponeringsforholdene i en aktuel arbejdssituation kan man derfor - ud for emissionsdata - estimere eksponeringen for arbejde med andre processer og procesparametre i samme arbejdssituation.

b. Eksponeringer

Ved eksponering forstås **NO₂-koncentrationen** i operatørens indåndingszone.

Eksponeringsdata har den ulempe i forhold til emissionsdata, at de afhænger af de aktuelle arbejdsbetingelser. Den samme proces anvendt under forskellige arbejdsforhold, ventilationsforhold, intermitterer m.v. kan resultere i vidt forskellige eksponeringer af operatøren. De mange - til dels ukontrollable - variable, der indvirker på eksponeringsforholdene i praksis, betyder, at eksponeringserfaringer fra en arbejdssituation generelt ikke kan overføres til en anden arbejdssituation.

Ved vurdering af operatøreksponeeringen i en konkret arbejdssituation er det derfor normalt nødvendigt at foretage en måling.

Ved tilstrækkelig mange eksponeringsdata fra forskellige arbejdssituationer er det imidlertid muligt at foretages et estimat over eksponeringsniveauer ved forskellige processer, arbejdsbetingelser m.v.

Nedenfor er der sammenstillet emissionsdata og eksponeringsdata for nitrøse gasser i forbindelse med svejse-, skære- og varmeprocesser. Data er baseret på måleresultater fra FORCE Technology's virksomhedsundersøgelser samt forskellige publicerede forskningsrapporter og arbejdspladsundersøgelser. **Det skal bemærkes, at langt de fleste publicerede resultater er NO_x-målinger**, dvs. målinger af NO+NO₂ samlet. Der foreligger kun i begrænset omfang separate måledata for NO₂.

I.2 Emissionsdata for nitrøse gasser

Tabel I.2.1. Typiske emissionsdata for nitrøse gasser

Note	Proces	Emission ml/min (range)			Bemærkninger
		NOx	NO	NO ₂	
1	Flammeskæring	30-200	25-170	4-30	Under skæring, én brænder. Se note
2	Varmeretning	150-800	140-700	10-80	Under retning Se note
3	Gassvejsning	15-200	14-180	1-20	Under svejsning. Se note
4	Fritbrændende fl. Skæring Varmeretning Gassvejsning	200-1000 350-1800 80 -1000	195-950	5-50 10-90 2-50	Fritbrændende flammer ved typiske dysestørrelser
5	Elektrodesvejsning	0.4-15	0.4-13	0.1-2.0	
6	MAG-svejsning Ulegeret stål Rustfrit stål	0.1-3.0 0.2-2.5	<0.1-1.0 <0.1-1.0	<0.1-3.0 <0.2-2.0	Primært NO ₂ pga. ozondannelse.
7	FCA-svejsning Ulegeret stål Rustfrit stål	0.1-2.5 0.2-4	<0.1-1.0 <0.1-1.0	<0.1-2.5 <0.2-4	Primært NO ₂ pga. ozondannelse.
8	TIG-svejsning	0.5- 2	<0.1-0.5	0.4-1.5	Primært NO ₂ pga. ozondannelse.
9	Plasmaskæring Konventionel Vand-neddyk.	900-7000 500-2000	800-6500 460-1900	60-500 40-150	Store maskinbrændere. Luft eller nitrogen som gas.

ad. 1 Flammeskæring

Undersøgelser af flammeskæring med acetylen, propan og naturgas som skæregas og dysestørrelser for 7-60 mm pladetykkelse viser generelt:

- NOx-emissionen **under skæring** er i størrelsesordenen **25-100 ml/min**, ved meget store brændere op til ca. 200 ml/min
- ca. **13-22 %** af de nitrøse gasser direkte fra skæreprocessen er **NO₂**
- den højeste NOx-emission forekommer ved skæring med acetylen (højeste flammtemperatur)

Bemærk, at data er for skæring med *én brænder*. Ved maskinel skæring benyttes ofte 2- 4 brændere samtidig.

ad. 2 Varmeretning

NOx-emissionen afhænger af brænderstørrelsen og brændertypen:

- Ved varmning med enkeltbrænder er NOx-emissionen **typisk 150-800 ml NOx/min** for brænderdyse 3-6. Ved større dyse eller bruse/rivebrænder (sværindustrien), kan emissionen være betydeligt større, antagelig >2000 ml NOx/min.
- **ca. 5-10 %** af de dannede nitrøse gasser er **NO₂**.

ad. 3 Gassvejsning

NO_x-emissionen afhænger af brænderstørrelsen:

- For typiske svejsebrændere (brænderdyse 1-5) er NO_x-emissionen **typisk 15-200 ml NO_x/min**. Ved store brænderstørrelser kan NO_x-emissionen overstige 500-800 ml NO_x/min.
- **ca. 7-10 %** af de dannede nitrøse gasser er **NO₂**.

ad. 4 Fritbrændende flamme

Ved fritbrændende flamme, f.eks. under opstart og forvarmning på pladekant ved skæring eller ved start og afslutning af varme- og svejseopgaver, er NO_x-emissionen **markant højere** end under selve arbejdsprocessen (ca. 5-11 gange højere).

- NO₂-andelen af de nitrøse gasser for forvarmeflammen ved skæring er imidlertid mindre - **2-5% NO₂** - end under selve skæringen, antagelig fordi selve skæreprcessen arbejder med oxygen-overskud (skæreoxygen).

Bemærk, at data i tabel I.2.1 er for typiske brænderstørrelser og *1 brænder*. Ved store dyser eller varmeretning med rive- eller brusebrændere kan emissionen ved fritbrændende flamme være væsentlig højere, antagelig > 4000-5000 ml NO_x/min (brænderdyse 8).

ad. 5 Elektrodesvejsning

NO_x-emissionen afhænger af elektrodedimension og type, men er generelt lav.

- NO_x-emissionen for typiske elektrodedimensioner er **0.4-10 ml/min**; ved meget store dimensioner og lang lysbue max. ca. 15-20 ml/min.
- **< 5% af NO_x-emissionen er NO₂, dvs. emissionen er helt overvejende NO.**

ad. 6 MAG-svejsning

NO_x-emissionen er generelt lav. På grund af ozondannelse ved processen kan NO_x-emissionen *overvejende være NO₂*, jvf. afsnit 3.1.

NO_x-dannelsen påvirkes stærkt af lysbuelængde og beskyttelsesgasudstrømningen. Ved turbulens eller ustabil lysbue kan luft blive mixet ind i den ydre del af beskyttelsesgassen og bevirke en stærkt forøget NO_x-dannelse.

- NO_x-emissionen for MAG- processen er **typisk <0.1-0.5 ml/min**; ved enkelte parametersæt er dog målt en højere emission.
- **mere end 95% af NO_x-emissionen er NO₂, dvs. emissionen er helt overvejende NO₂.**

ad.7 FCA-svejsning

Der gælder stort set de samme forhold som ved MAG-svejsning, dvs. NO_x-emissionen er generelt lav, men foreligger pga. ozondannelsen *overvejende som NO₂*, jvf. afsnit 3.1.

ad. 8 TIG-svejsning

Der gælder generelt der samme forhold som ved MAG-svejsning, dvs. NO_x-emissionen er normalt relativ lille. På grund af ozondannelse ved processen kan NO_x-emissionen *overvejende være NO₂*, jvf. afsnit 3.1.

NO_x-dannelsen påvirkes - i lighed med MAG-svejsning - stærkt af lysbuelængde og beskyttelsesgasudstrømningen.

- NO_x-emissionen for processen er **typisk 0.1-0.3 ml NO_x/min**; ved enkelte parametersæt og særlige beskyttelsesgasser op til ca. 2-5 ml NO_x/min.
- **mere end 90-95% af NO_x-emissionen er NO₂, dvs. emissionen er helt overvejende NO₂.**

ad. 9 Plasmaskæring

Ved skæring med store maskinbrændere og trykluft/nitrogen som plasmagas er målt emissioner på > 7000 ml NO_x/min., heraf ca. 7 % NO₂. Andre undersøgelser har vist en NO₂-andel på op til 15 %.

- Generelt er NO_x-emissionen **typisk 500-3000 ml NO_x/min**, mindst for plasma-håndbrændere til manuel skæring. Store maskinbrændere kan resultere i højere emission.
- Ved vand-neddykket skæring reduceres NO_x-emissionen med en faktor 2-4.
- **ca. 7-15 % af de nitroøse gasser er NO₂.**

I.3 Eksponeringsdata

Som nævnt under punkt I.1 betyder de mange arbejdspladsvariable - ventilationsforhold, arbejdsstillinger, intermitterer m.v. - at det er vanskeligt anvende begrebet "typisk NO₂ eksponering". For samme proces forekommer der normalt en bred range af eksponeringer. Endvidere indgår **baggrundskoncentrationen som en større eller mindre del af operatøreksponeeringen.**

En scanning af FORCE Technologys virksomhedsmålinger siden 1985 [23] og en sammenstilling af data fra forskellige større arbejdsplads- og laboratorieundersøgelser [21] [29] [33] [34] [35] [36]) viser *:

I.3.1 Flammeskæring

Eksponeering ppm (typisk range)			Bemærkning
NO _x	NO ₂		
	Målt	Estimeret*	
0,3-1,5	< 0,1	<0,05-0,3	<i>Stationære</i> skæremaskiner med udsugning. FORCE undersøgelser. Kortvarige eksponeringer op til 3,6-11 ppm NO_x
<0,5-2	< 0,5	<0,1-0,4	<i>Stationære</i> skæremaskiner med udsugning. Værfter. Kortvarigt op til 10 ppm NO_x ved brænderjusteringer og skrotafskæring med håndbrænder.
0,2-1,0	0,1-0,3		<i>Stationære</i> skæremaskiner. Over 100 målinger.GB-data.
0,3-0,8	<0,1	<0,05-0,2	<i>Halvmaskinel</i> skæring med udsugning. FORCE undersøgelser
1 - 4	<0,5	0,1-0,9	<i>Halvmaskinel</i> skæring og <i>manuel</i> skæring med håndbrændere uden udsug. Værfter. Kortvarige eksponeringer på op til 8 ppm NO_x.
0,7-2	<0,2	0,1-0,5	Manuel skæring, div. FORCE undersøgelser Kortvarige eksponeringer op til 3,5-11 ppm NO_x

NO₂ typisk målt til ca. 8-15% af NO_x eksponeringen ved **høje** koncentrationer.

*) Estimerede data i de efterfølgende tabeller:

NO₂-koncentrationer beregnet ud fra NO_x-konc. og NO/NO₂-fordelingen angivet ovenfor under de enkelte processer.

I.3.2 Varmeretning

Ingen nyere eksponeringsdata

I. 3.3 Gasvejsning

Ingen nyere eksponeringsdata

I.3.4 Elektrodesvejsning

Eksponering ppm (typisk range)			Bemærkning
NOx	NO ₂		
	Målt	Estimeret*	
0,02-0,9		<0,01-0,05	FORCE undersøgelser. Kortvarige max. op til 2,2 ppm NOx .
<0,5-2	<1	<0,03-0,1	Mere end 420 målesteder i værftsindustrien. Generelt HT-eller ingen udsugning. Baggrundskonc. en stor del af eksponeringen.
0,1-4		<0,01-0,4	Medianværdi 0,5 ppm NOx. 55 målesteder. Svensk undersøgelse [34]

NO₂ målt til ca. <10-35 % af NOx eksponeringen, størst ved lave koncentrationer (generelt fra baggrundskoncentration).

Der er målt en signifikant effekt af punktudsugning på eksponering under industriforhold [34].

I.3.5 MAG-svejsning

Eksponering ppm (typisk range)			Bemærkning
NOx	NO ₂		
	Målt	Estimeret*	
0,02-0,8	<0,01	<0,01-0,7	FORCE undersøgelser. Kortvarige max. op til 1,5-4 ppm NOx .
<0,5-1		<0,2-0,9	25 målesteder i værftsindustrien. Generelt HT-eller ingen udsugning. Baggrundskonc. en stor del af eksponeringen.
1,09	0,62		Middelværdier uden udsug. GB-lab.undersøgelse
0,3-0,7	0,1-0,4		Middelværdier uden udsug. GB-undersøgelse. Kortvarige max. på 2,3 ppm NOx, 1,7 ppm NO2
0,1-5		<0,04-0,6	Medianværdi 0,6 ppm NOx ~ 0,2-0,5 ppm NO ₂ . 7 målesteder. Svensk undersøgelse [34]
<0,01-0,15	<0,01-0,14		Svensk lab. undersøgelse (24)
0,01-4	<0,01-2		Svensk undersøgelse ved MIG/TIG i Al [36]

NO₂ målt til ca. 40-60 % af NOx-eksponeringen ved lave koncentrationer (generelt fra baggrundskoncentration).

I.3.6 FCA-svejsning

Eksponering ppm (typisk range)			Bemærkning
NOx	NO ₂		
		Målt	Estimeret*
0,03-0,25	<0,01	<0,02-0,2	FORCE undersøgelser. Kortvarige max. op til 1,4 ppm NOx.

I.3.7 TIG-svejsning

Eksponering ppm (typisk range)			Bemærkning
NOx	NO ₂		
		Målt	Estimeret*
0,05-0,8	<0,01	<0,01-0,7	FORCE undersøgelser. Kortvarige max. op til 1,5 ppm NOx.
<0,5		<0,4	4 målesteder i værftsindustrien.
0,5-4		0,2-1	TIG-svejsning i lokale med baggrundsforurening fra autogensvejsning
0,1-5		<0,1-4	Medianværdi 0,6 ppm NOx ~ 0,2-0,5 ppm NO ₂ . 20 målesteder. Svensk undersøgelse [34]
<0,01-0,15	<0,01-0,14		Svensk lab. undersøgelse [35]
0,01-4	<0,01-2		Svensk undersøgelse ved MIG/TIG i Al [36]

I.3.8 Plasmaskæring

Eksponering ppm (typisk range)			Bemærkning
NOx	NO ₂		
		Målt	Estimeret*
0,2-0,55		<0,05-0,1	<i>Stationære</i> skæremaskiner med udsugning. FORCE undersøgelser. Kortvarige max. op til 0,7-3,7 ppm NOx (baggrundskonc)

Ved skæring med store maskinbrændere **uden** udsugning og trykluft/nitrogen/argon-hydrogen som plasmagas er ca. 0,5 m direkte over brænderen målt NOx-koncentrationer fra 20 til over 100 ppm NOx (*uden udsugning*). Ca. 85 % af NOx-koncentrationen var NO, dvs. NO₂-koncentration var 3-15 ppm NO₂ direkte i røgfanen. I operatørens indåndingszone (ca. 2 m fra skærestedet) varierede NOx-koncentrationen mellem 2-15 ppm NOx, svarende til 0.3-2,2 ppm NO₂. De laveste koncentrationer blev registreret ved skæring med argon-hydrogen [22].

I.3.9 Baggrundskoncentrationer (Værkstedsluft)

Eksponering ppm (typisk range)			Bemærkning
NO _x	NO ₂		
	Målt	Estimeret*	
0,2-1,2		0,04-0,5	Flammeskærehaller. FORCE undersøgelser. Kortvarigt op til 1,6-4,5 ppm NO_x
0,3-1		0,04-0,5	Svejsværksteder med skæring. FORCE undersøgelser
0,01-0,6		<0,01-0,2	Svejsværksteder og haller uden skæring. FORCE undersøgelser. Enkelte steder op til 0,7-2,2 ppm NO _x .

NO₂-andelen i lokaleluft (baggrundskoncentrationen) er typisk målt til ca. 20-40 % af NO_x-koncentrationen.

I.4 Sammenfatning og vurdering af eksponeringsforholdene for NO₂ i svejseindustrien.

I.4.1 Kritiske processer og arbejdssituationer

I.4.1.1 Autogene processer og plasmaskæring

Det ses umiddelbart af tabel I.2.1 (afsnit I.2) at:

- den største potentielle risiko for NO₂-eksponering forekommer i forbindelse med de autogene processer - flammeskæring, gassvejsning og varmeretning - samt ved plasmaskæring.

Den relative store NO_x-dannelsezone ved disse processer i kombination med de kraftige termiske luftstrømninger betyder endvidere, at:

- procesudsugning ved autogene processer og plasmaskæring skal have en meget stor indfangningszone, dvs. stor udsugningsluftmængde, for at virke effektivt.

Processerne anvendes i industrien i mange forskellige arbejdssituationer på såvel faste- som skiftende arbejdssteder.

a. Faste arbejdspladser

På *faste arbejdspladser* må det vurderes at være **muligt at etablere en effektiv procesudsugning**:

Ved ***gassvejsning, varmning og flammelodning*** kan udsugningen f.eks. indrettes som lavtryks-svingarme (typisk luftmængde ca. 1000 m³/h eller mere) eller som udsugningskabinetter (typisk udsugningsluftmængde ca. 1500-3000 m³/h afhængig af kabinetstørrelse).

Ved maskinel flamme- og plasmaskæring indrettes udsugningen som skærebord med udsugning under pladen. Ved store borde anvendes sektiondelte borde, hvor udsugningen styres automatisk fra sektion til sektion i takt med brænderplaceringen.

Ved **halvmaskinel-** og **manuel flamme- og plasmaskæring** på faste arbejdspladser kan effektiv udsugning indrettes i form af en skærekasse (skærebord) med udsugning efter samme retningslinier som ved maskinborde.

b. Skiftende arbejdssteder, store konstruktioner og montagearbejde

Under disse betingelser er det normalt problematisk at etablere lavtryksudsugning med stor indfangningszone, dvs. i en del af disse arbejdssituationer er det vanskeligt (produktionsteknisk urealistisk) at løse eksponeringsproblemet ved autogene processer og plasmaskæring alene gennem procesventilation.

BILAG II

Oplæg til

Prøvning af filtrerende åndedrætsværns effektivitet overfor NO_x ved varmning, termisk skæring og svejsning.

1. Indledning

Denne vejledning beskriver prøvemethode og prøvningskrav ved klassificering af filtrerende åndedrætsværn til beskyttelse mod NO_x-eksponering ved varme-,skære- og svejseprocesser.

Formålet med prøvningen er at bestemme filtrerende åndedrætsværns egnethed til beskyttelse mod NO og NO₂ eksponering ved **varmning med gasbrændere, termisk skæring og svejsning**. Prøvningskrav og filterklasser er derfor fastlagt i forhold til typiske NO og NO₂ koncentrationer og brugssituationer ved de nævnte processer.

Vejledningen har udgangspunkt i de gældende Europæiske Standarder for filtrerende åndedrætsværn, herunder

- EN 141: Åndedrætsværn - Gasfiltre og kombinerede filtre - Krav, prøvning og mærkning.
- EN 12941: Åndedrætsværn - Filtrerende åndedrætsværn med turboenhed (blæser) samt stive hætter eller hætter - Krav, prøvning og mærkning.

Vejledningen omfatter alene prøvning af filtereffektiviteten overfor NO og NO₂.

Filtrerende åndedrætsværn, der afprøves og klassificeres efter denne vejledning, skal derfor samtidig være afprøvet og klassificeret i henhold til en Europæisk Standard.

1. Prøvemethode

Prøvningen foretages ved at lede henholdsvis NO- og NO₂-holdig luft med kendt koncentration gennem filtret og bestemme gennembrudstiden til den fastlagte gennembrudskoncentration.

Enhver metode til generering af den specificerede prøvningskoncentrationen samt måling af NO og NO₂-koncentrationerne i luften før- og efter åndedrætsværnet kan anvendes, forudsat at prøvningen udføres i overensstemmelse med specifikationerne i punkt 2.

2. Prøvningsbetingelser

- 2.1 Hver prøvning skal omfatte 3 filtre eller åndedrætsværn. Ved hver af de tre prøver anvendes et nyt filter eller åndedrætsværn.
- 2.2 Prøvningen udføres ved kontinuerlig eksponering med dels NO og dels NO₂

2.3 Prøvningskoncentrationen vælges efter tabel 1. Prøvningskoncentration og gennembrudskoncentration skal være inden for de specificerede værdier $\pm 10\%$ inkl. målemetodens usikkerhed.

2.4 Prøvningen udføres ved et luftflow på:

- a.. $30 \pm 0,5$ l/min for filtrerende ansigtsmasker samt gasfiltre (cartridges) til hel- og halvmasker.
- b. Det aktuelle begyndelsesluftflow for turboudstyr bestemt i henhold til EN 12941.
Hvis et turboudstyr omfatter flere ens filtre, og prøvningen kun udføres for et enkelt filter, skal luftflowet ved prøvningen tilpasses forholdsmæssigt i forhold til udstyrets samlede luftflow.
Hvis Turboudstyret kun er beregnet til et filter, eller filtrene er en fast integreret del af udstyret, skal prøvningen udføres ved det samlede begyndelsesluftflow for udstyret.

Prøveluften skal have en relativ luftfugtighed på $70 \pm 2\%$ og en temperatur på 20 ± 1 °C

Tabel 1 Prøvningbetingelser for filtrerende åndedrætsværn til beskyttelse mod lave koncentrationer af NO og NO₂

Klasse	Testgas*	Testkoncentration		Gennembrudskoncentration ** (note 1)		Minimum gennembrudstid
		ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	
WNOx 1	NO	50	61	2,5	3	180
	NO ₂	5	9,5	0,2	0,4	180
WNOx 2	NO	100	122	2,5	3	420
	NO ₂	10	19	0,2	0,4	420

* Testgassen skal have en renhed på mindst 95 %
 ** Både NO og NO₂ kan være tilstede i luften efter filteret. Ingen af gasserne må overstige den gennembrudskoncentration.

3. Filtertype og klasse

Filtrerende åndedrætsværn til NO_x-beskyttelse ved *varmning med gasbrændere, termisk skæring og svejsning* inddeles i:

Type: MS (**M**aske-**S**vejsning)
 TS (**T**urboudstyr-**S**vejsning)
 hvor MS refererer til punkt 2.4 a og TS til punkt 2.4 b.

Klasse: WNOx 1
 WNOx 2
 hvor klassen refererer til prøvningsbetingelserne i tabel 1.

For at kunne klassificeres i en given klasse, skal alle 3 prøver med henholdsvis NO og NO₂ for det filtrerende åndedrætsværn opfylde kravet til minimum gennembrudstid efter tabel 1.

4. Brugsinstruktion

Der skal medfølge en instruktion for brug af filtrerende åndedrætsværn til NO_x-beskyttelse ved *varmning med gasbrændere, termisk skæring og svejsning*. Instruktionen skal indeholde:

- mærkning i henhold til punkt 3
- anvendelsesområde og begrænsninger
- reference til afprøvning

samt øvrige krav i henhold til den relevante Europæiske Standard (EN) for åndedrætsværnet, herunder instruktion i brug, vedligeholdelse og opbevaring.

Eksempler på vejledende anvendelse ved varmning med gasbrændere, termisk skæring og svejsning :

MS/TS WNO_x 1 1: Åndedrætsværn til *korttidsbeskyttelse* mod NO_x-eksponering ved *varmning med gasbrændere, termisk skæring og svejsning* på skiftende arbejdssteder under normale arbejdsbetingelser. Samlet brugstid 3 timer.

MS/TS WNO_x 2: Åndedrætsværn til *korttidsbeskyttelse* mod NO_x i arbejdssituationer med *risiko for eksponeringsniveauer op til 100 ppm NO og 10 ppm NO₂* samt til *længere tids brug* ved varmning med gasbrændere, termisk skæring og svejsning på skiftende arbejdssteder *under normale arbejdsbetingelser*.

Note 1: Gennembrudskoncentrationen er ansat til 1/10 af GV på baggrund af tidligere korrespondance med Arbejdstilsynet om prøvningsregler for åndedrætsværn til ozon.

BILAG III

Datablade for åndedrætsværn

BILAG IV

Kopi af artikel om håndførte lasere.