

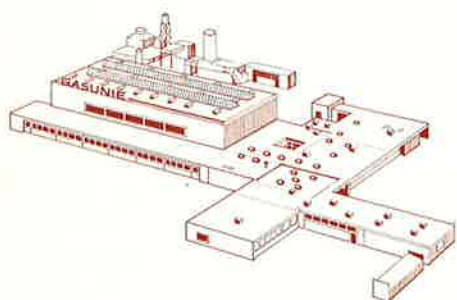


B15

**De fabricage van dakpannen en raamdorpels
door reducerend stoken
van periodieke vlamovens met aardgas**

Speurwerkmonografie

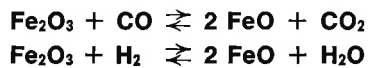
De fabricage van dakpannen en raamdorpels door reducerend stoken van periodieke vlamovens met aardgas



Samengesteld door
het **beproevinglaboratorium** van de N.V. Nederlandse Gasunie

Inleiding

In de dakpannen- en greswarenindustrie wordt vaak reducerend gestookt. Het reduceren volgt na het opstoken en gaarbranden, wat in een oxyderende atmosfeer plaatsvindt. Onder reducerend stoken verstaat men het stoken met luchttondermaat, waarbij de verkregen verbrandingsproducten, o.a. CO en H₂, het in de grondstof aanwezige Fe₂O₃ omzetten volgens:



Het Fe₂O₃ is rood; het lagere oxyde FeO heeft een grijze kleur. De voor de fabricage van dakpannen en raamdorpels gebruikte grondstof heeft een Fe₂O₃-gehalte dat varieert tussen 3 en 7 gew. %. Het is de bedoeling bij de dakpannenfabricage een kleurverandering (het zogenaamde 'blauw') te verkrijgen. Hierbij moet de scherf door en door gereduceerd zijn. Om dit laatste te bereiken, is een bepaalde tijd nodig, afhankelijk van de dikte van de scherf. Wanneer hieraan niet wordt voldaan, zal het inwendige, de kern, van de scherf niet gereduceerd worden of rood blijven, terwijl het oppervlak wel de gewenste kleur heeft. Het omgekeerde kan eveneens gebeuren, wanneer na het reduceren de scherf te vroeg in contact komt met zuurstof. Hierbij wordt het oppervlak geoxydeerd, terwijl de kern gereduceerd blijft. In sommige gevallen worden aan de grondstof sterk ijzerhoudende stoffen, zoals pannenrood (afvalprodukt uit de aluminiumindustrie) en pyriet-as, toegevoegd om een donkerder grijs te verkrijgen.

Bij de fabricage van raamdorpels wordt van de eigenschap van het FeO (werkt als vloeimiddel) gebruik gemaakt om de scherf te sluiten. Dit is noodzakelijk voor het verkrijgen van een goede hechting van het zoutglazuur. Hierbij moet men echter oppassen voor een te ver doorgevoerde reductie, hetgeen kan leiden tot deformatie van het produkt. De periodieke vlamoven is het type oven waarin de reductie het beste uitvoerbaar is; ring- en tunnelovens zijn minder geschikt vanwege het heroxydatiegevaar.

Voordat grote hoeveelheden aardgas beschikbaar kwamen, werden bij de fabricage van dakpannen en raamdorpels in hoofdzaak kolen als brandstof gebruikt. De laatste twee jaar hebben echter verschillende bedrijven die genoemde produkten fabriceren, kolen vervangen door aardgas. Hierbij kwam sterk de vraag naar voren op welke manier het reductieproces uitvoerbaar is met aardgas. Hierna zullen achtereenvolgens, na een korte beschrijving van het stookproces, de werkwijze en de resultaten be-

schreven worden die verkregen zijn bij:

- A het reducerend stoken (blauwstoken) van dakpannen en
- B het reducerend stoken van raamdorpels.

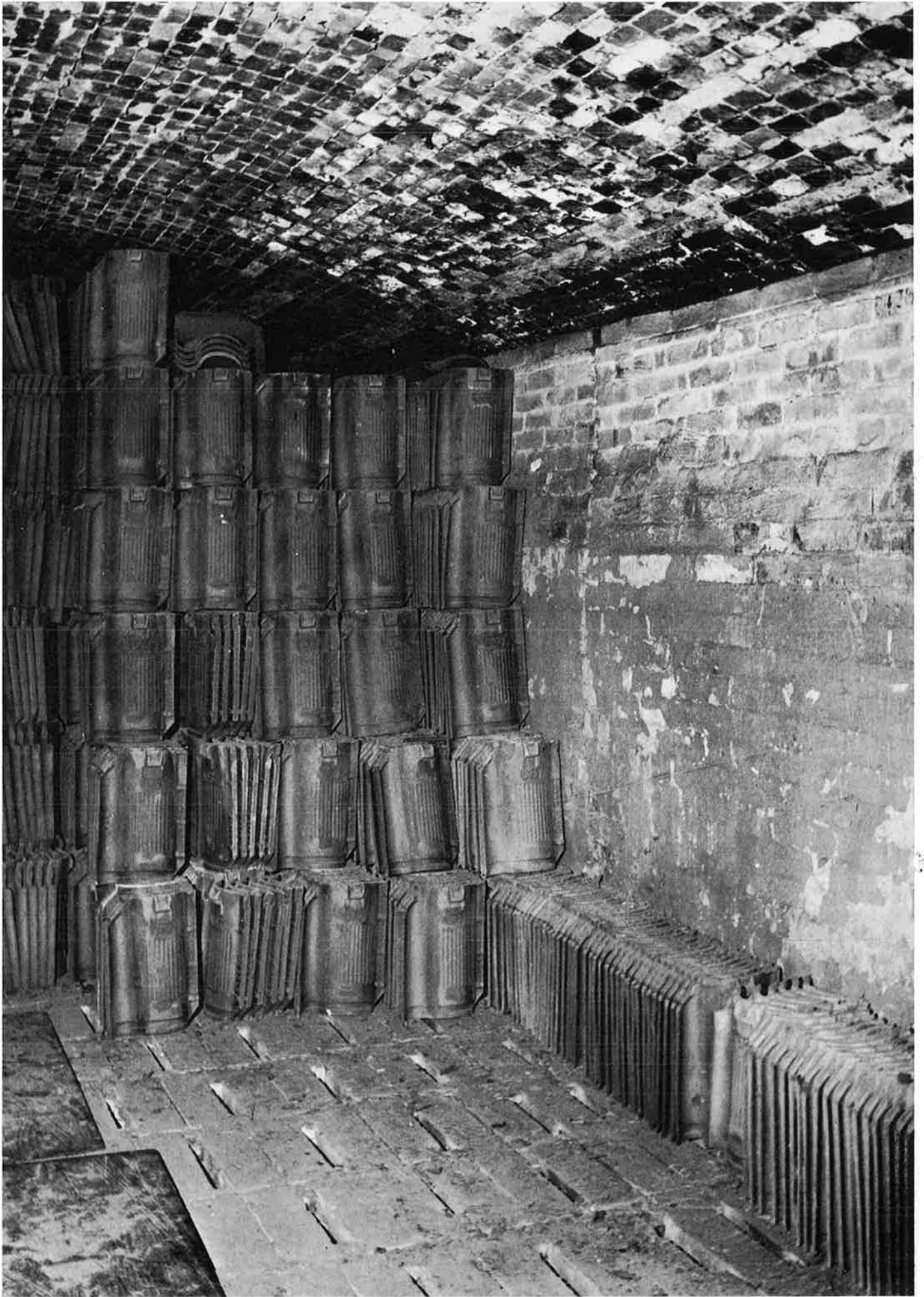
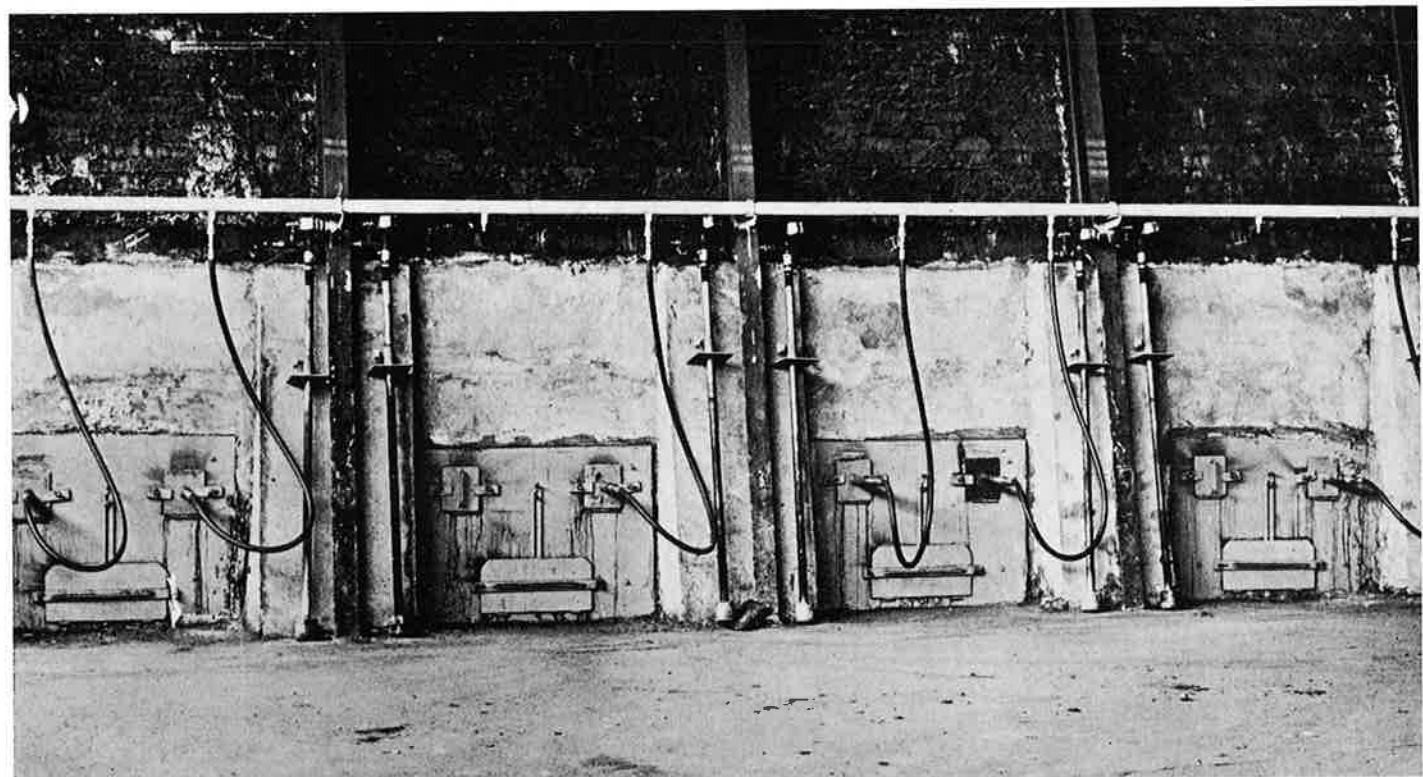
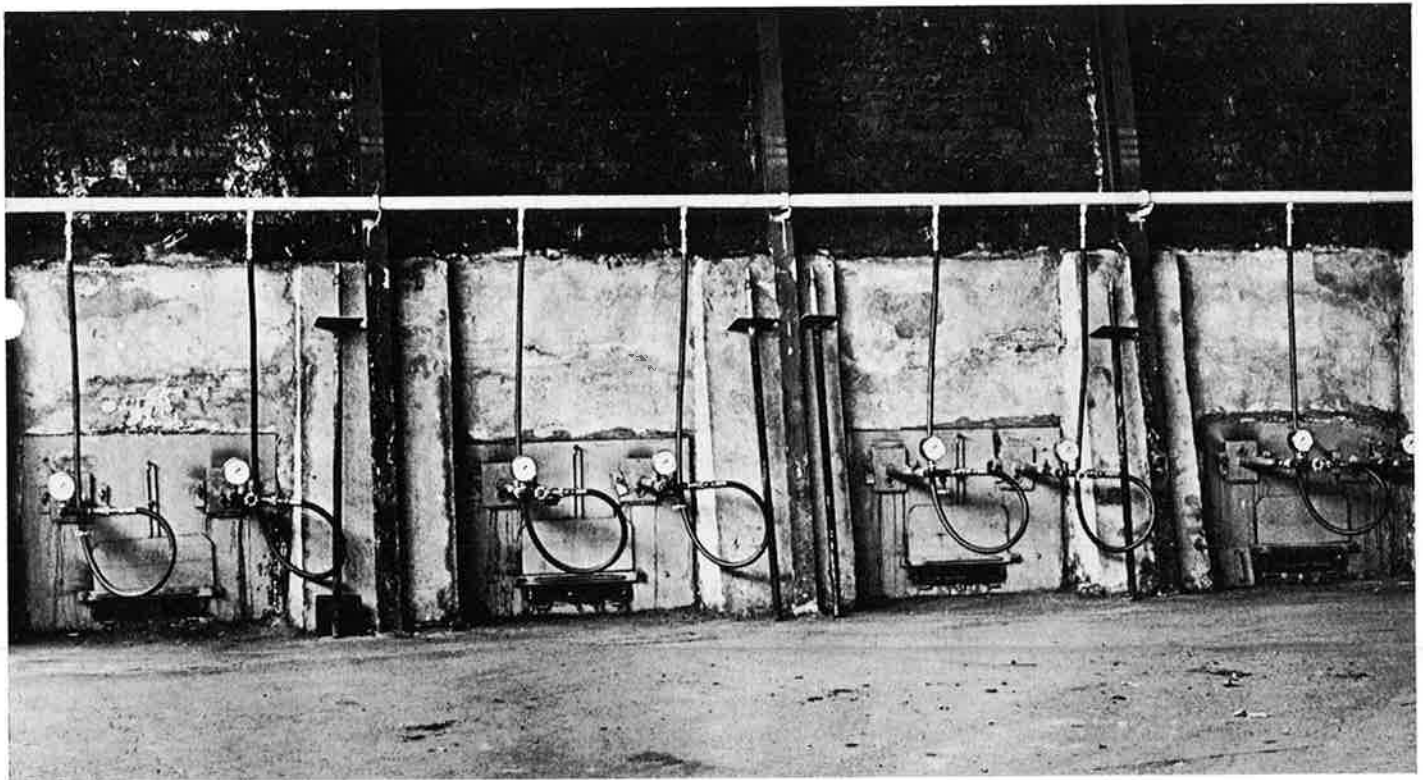


Foto links
Gedeeltelijk leeggehaalde dakpannenoven

Foto onder
Stookplaatsen met GIVEG-vlamstabile
branderlansen (dakpannenoven)

Foto geheel onder
Het inbrengen van puur aardgas door
middel van inbrenglansen
(dakpannenoven)



A Het blauwstoken van dakpannen

Het blauwstookproces (kolensituatie)

In Nederland worden blauwe dakpannen gefabriceerd aan de Oude Rijn en in Limburg. Door de verschillende situering van de fabrieken worden ook twee kleisoorten benut. In onderstaande tabel zijn de voornaamste bestanddelen gegeven:

	Oude Rijn	Limburg
SiO ₂	62,5 %	71,8 %
Al ₂ O ₃	15,4 %	16,0 %
TiO ₂	0,5 %	0,4 %
Fe ₂ O ₃	4,8 %	3,4 %

Zoals uit de tabel blijkt, is het Fe₂O₃-gehalte (d.i. de som van de ijzeroxyden uitgedrukt als Fe₂O₃) voor de Rijnklei hoger dan voor de Limburgse klei. De reductie geschiedt in de periodieke vlamoven door na de gaarbrand bij ca. 980 °C (fig.1) een grote hoeveelheid gasvlamkool op de roosters van de stookplaatsen te brengen, terwijl de oven zo goed en zo snel mogelijk wordt dichtgemaakt. Dit laatste is noodzakelijk om het toetreden van lucht in de oven te beletten, zodat geen heroxydatie kan optreden. Onder

deze omstandigheden ontstaat in de oven een reducerende atmosfeer. Vervolgens wordt op het ovendek water gebracht. Dit water dringt door capillaire werking en/of door scheuren in de oven, waar het in stoom overgaat. Men maakt gebruik van water om de volgende redenen:

1

Door de hoge verdampingswaarde van water, worden grote hoeveelheden warmte aan de inzet en aan de ovenwanden onttrokken, hetgeen een snelle afkoeling bevordert.

2

Het water reageert met de gloeiende cokes die na de ontgassing van de gasvlamkool op de roosters achterblijft, waardoor watergas ontstaat volgens:



3

Het water doet bij de overgang in stoom een neutrale atmosfeer ontstaan, waarbij tevens een zekere overdruk wordt gehandhaafd.

Na afloop van de reductieperiode, wordt de afkoeling door middel van water op het ovendek voortgezet tot ca. 450 °C. Dit is de temperatuur waarbeneden geen heroxydatie meer

Fig. 1

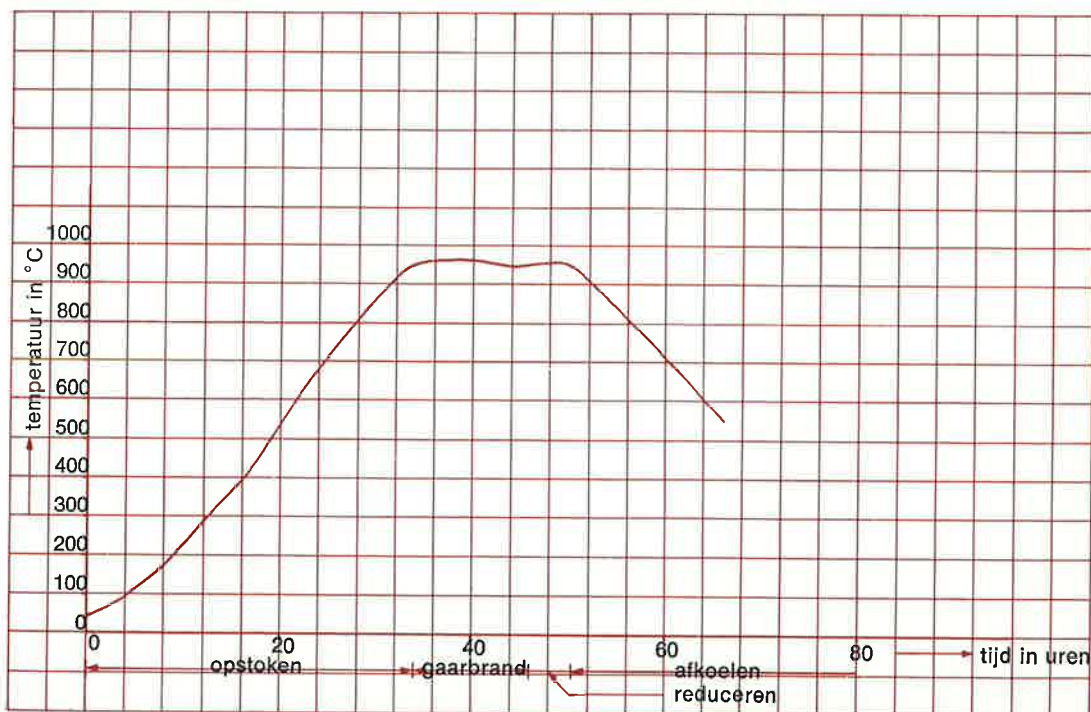
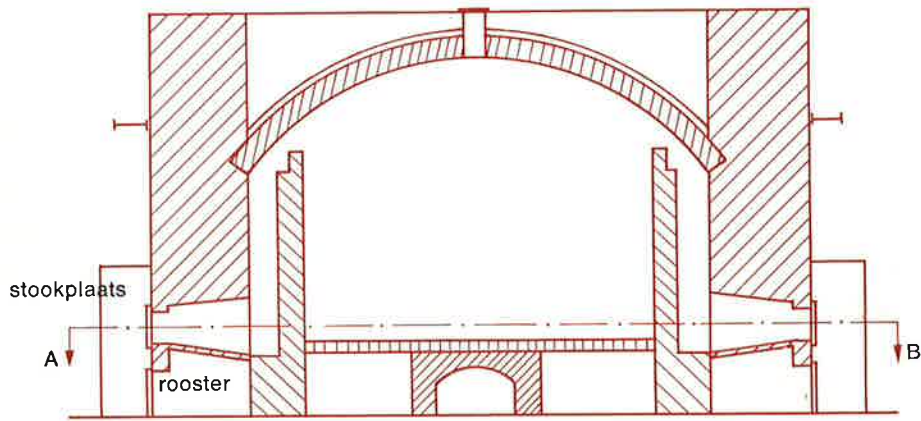


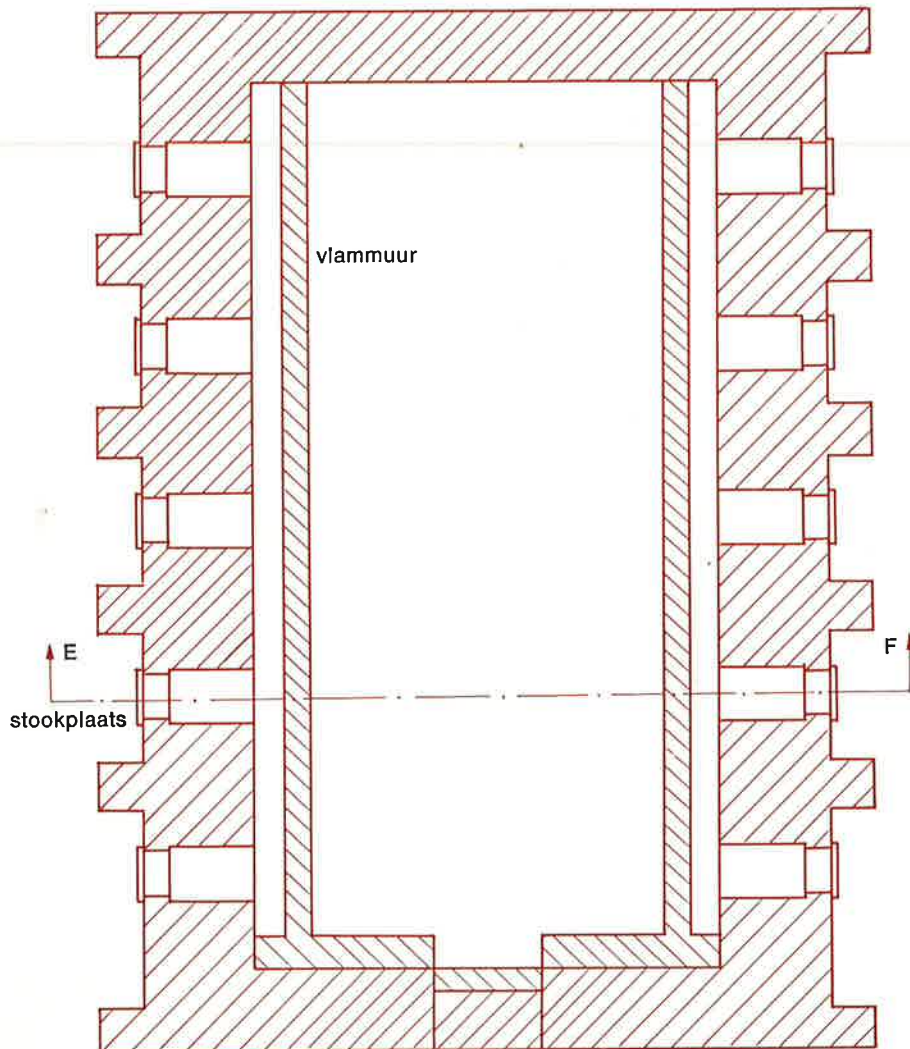
Fig. 1
Stookcurve voor dakpannen

Fig. 2
Schets periodieke vlamoven

Fig. 2



doorsnede E-F



doorsnede A-B

Fig. 3
Schets GIVEG-branderlans

- 1 Hoofdbranderpoort
- 2 Hulpgaspoorten
- 3 Stuw
- 4 Ringvormige kap
- 5 Gaspijp 1"
- 6 Stelring
- 7 Luchttoevoeropeningen
- 8 Spuitstuk 1,8 mmØ
- 9 Verloopsok 1" x 3/8"
- 10 Koppeling
- 11 Kraan
- 12 Gaslang

optreedt. Nu wordt de oven 'open' gemaakt, d.w.z. een gedeelte van de ovendeur wordt verwijderd en de stookplaatsdeuren worden geopend. In deze situatie blijft de oven staan totdat de temperatuur in de oven is gedaald tot ca. 40 à 50 °C. Afhankelijk van de grootte van de oven bedraagt de totale afkoeltijd ca. 4 à 6 dagen.

Periodieke vlamoven (fig.2)

De oven heeft in de lengterichting aan elke zijde vier of vijf stookplaatsen. De rookgassen, afkomstig van genoemde stookplaatsen, komen via een vlammuur in de ovenruimte. Hiervandaan stromen ze door de tussen de vlamuren geplaatste inzet en worden vervolgens door het onder de ovenvloer liggende rookgaskanaal afgevoerd naar de schoorsteen. Aan de voorzijde van de oven bevindt zich een opening, waardoor de oven gevuld en leeggehaald kan worden. Nadat de oven is ingezet met dakpannen (de ovencapaciteit varieert van 30 tot 55 ton) wordt deze afgesloten door een 'deur' (1/2-steensmuur, soms ook door een dubbele muur waartussen zand wordt gestort). In het gewelf bevinden zich drie kijk- of meetgaten. In het midden van de oven wordt de bedrijfspyrometer geplaatst. Verder is op het gewelf een zandbed aangebracht, waar tijdens de reductie- en afkoelperiode water wordt opgebracht. Het is ook mogelijk direct water in de oven te brengen door middel van vier (aan elke langszijde twee) waterdoseerpotten, die uitmonden tussen de vlammuur en de stookplaatsen.

Gasbranderinstallatie

Bij het opstoken en de gaarbrand worden verkorte vlamstabile GIVEG-branderlans (fig.3) toegepast. Voor elke stookplaats die voor gasstoken geschikt is gemaakt, zijn twee branderlansen geplaatst. Bij genoemd type branderlans wordt een voldoende vlamstabilisatie verkregen door middel van een hulpgasconstructie. Het gas-luchtmengsel stroomt in hoofdzaak uit door de hoofdbranderpoort, een klein gedeelte (ca. 15%) stroomt echter via de aangebrachte hulpgaspoorten zijdelings in de hulpgaskamer uit. Met de toestromende secundaire verbrandingslucht wordt op deze wijze een krans van hulpgasvlammen verkregen, die de hoofdvlam stabiliseren. De trek in de oven is in het algemeen zodanig, dat als de brander in de oven wordt gestoken, lucht met grote snelheid langs de branderkop stroomt, waardoor de hulpgasvlammen kunnen doven. Om dit laatste te voorkomen, is een ringvormige kap rondom de hulpgaskamer aangebracht, waarvan de bovenkant is

Fig. 3

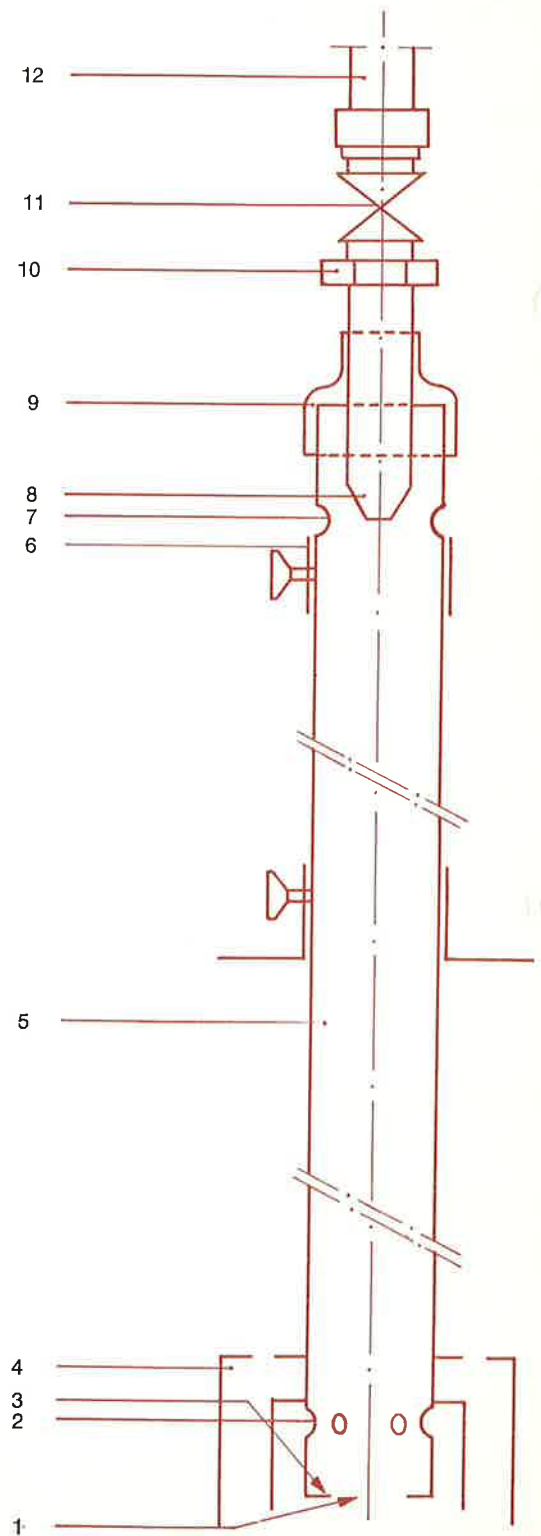


Fig. 4
Schets aardgasinbrengpijp

- 1 H.D. gasslang 1/2"
- 2 Naaldafsluiter 1/2"
- 3 Nippel 1/2" x 1/2" x 1/2"
- 4 T-stuk 1/2"
- 5 Spuitstuk 1/2"
- 6 Verloopsok 1" x 1/2"
- 7 Gaspijp 1"
- 8 Aansluiting manometer 1/2"

voorzien van een krans van gaten. Deze verlaagt de snelheid van de secundaire lucht. Wanneer de brander eenmaal in de oven is, doet deze ringvormige kap geen dienst meer.

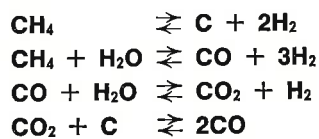
Werkwijze bij het reduceren met aardgas

Bij het begin van de reductieperiode worden de branders vervangen door zogenaamde aardgasinbrenglansen (fig.4). De vrijkomende branders kunnen dan weer worden gebruikt voor een andere in de stookcyclus staande oven. Deze laatste lansen brengen puur aardgas in de oven, die van de buitenlucht geheel is afgesloten. Dit is mogelijk, daar de temperatuur in de oven ver boven de ontstekings-temperatuur (ca. 670 °C) van het aardgas ligt. Uit proefnemingen in een periodieke vlamoven is komen vast te staan, dat voor een voldoende reductie ca. 14 à 15 m³ aardgas per ton dakpannen nodig is. Voor een oven met een lading van 30 ton is dus ca. 450 m³ aardgas nodig. Deze hoeveelheid wordt in ca. 4 uur in de oven gebracht. Ongeveer een half uur vóór het inbrengen van het aardgas wordt de watertoevoer gestart, zowel direct via de waterdoserpotten als indirect op het ovendek. De hoeveelheid water die direct in de oven wordt gebracht, bedraagt 50 à 80 liter per uur.

Ovenatmosfeer en ovendruk

Bij de beschreven reductiemethode met aardgas kunnen een groot aantal (voornamelijk evenwichts-) reacties in de oven optreden.

Onderstaand worden er enkele gegeven:



Om een indruk te krijgen van de atmosfeer die in de oven aanwezig is gedurende de reductieperiode, werden op regelmatige tijden ovengasmonsters getrokken. (Met behulp van een chroomnikkelstalen pijp met een doorsnede van 12 mm in de oven deur geplaatst op een hoogte van ca. 2 m gemeten vanaf de ovenvloer.) Deze ovengasmonsters werden vervolgens met een gaschromatograaf geanalyseerd. De analyseresultaten hiervan zijn gegeven in fig.5. Ter vergelijking volgt hierna een analyse van de ovenatmosfeer die aanwezig is bij het reduceren met kolen:

Fig. 4

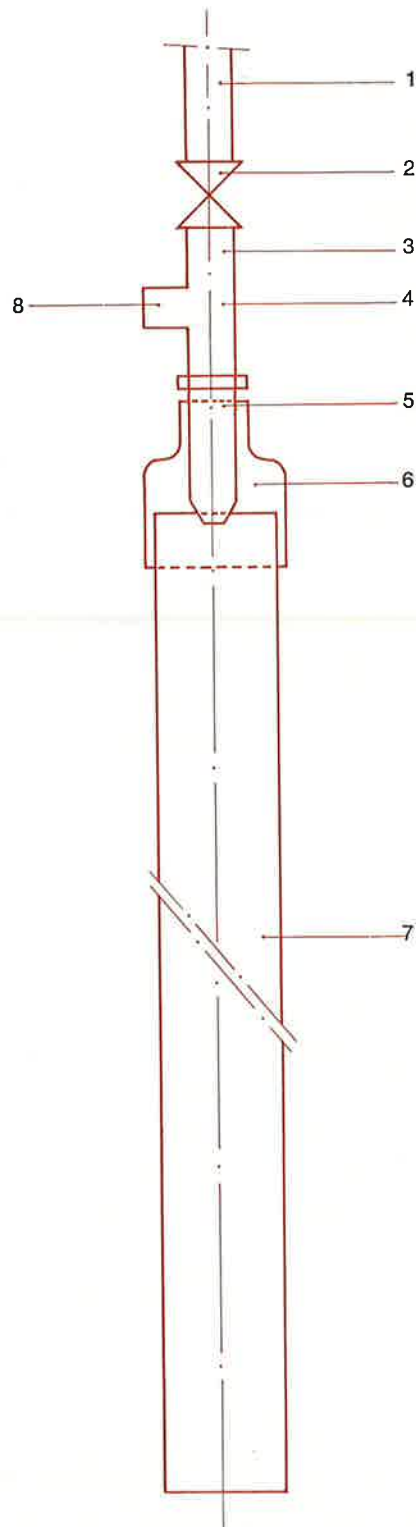


Fig. 5
 Analyseresultaten van ovengasmonsters
 tijdens het reduceren met aardgas.
 Totale aardgashoeveelheid 480 m³

Fig. 6
 Verband tussen de temperatuur en de
 druk in de oven en de reductietijd.
 Totale aardgashoeveelheid 480 m³

Fig. 5

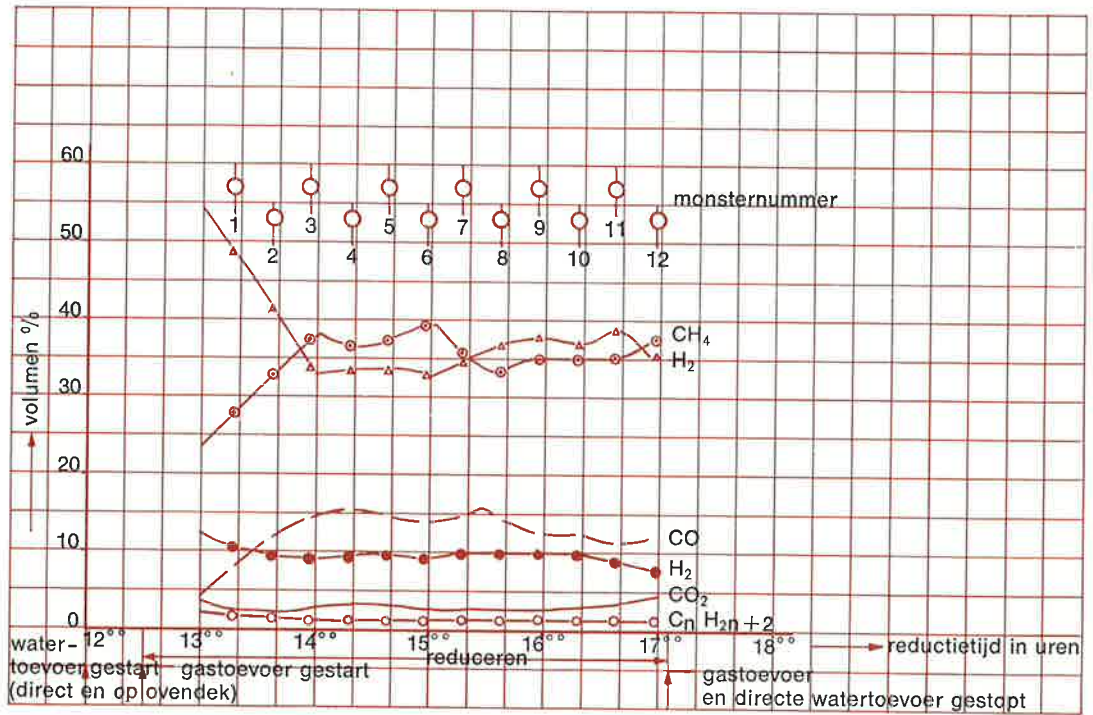
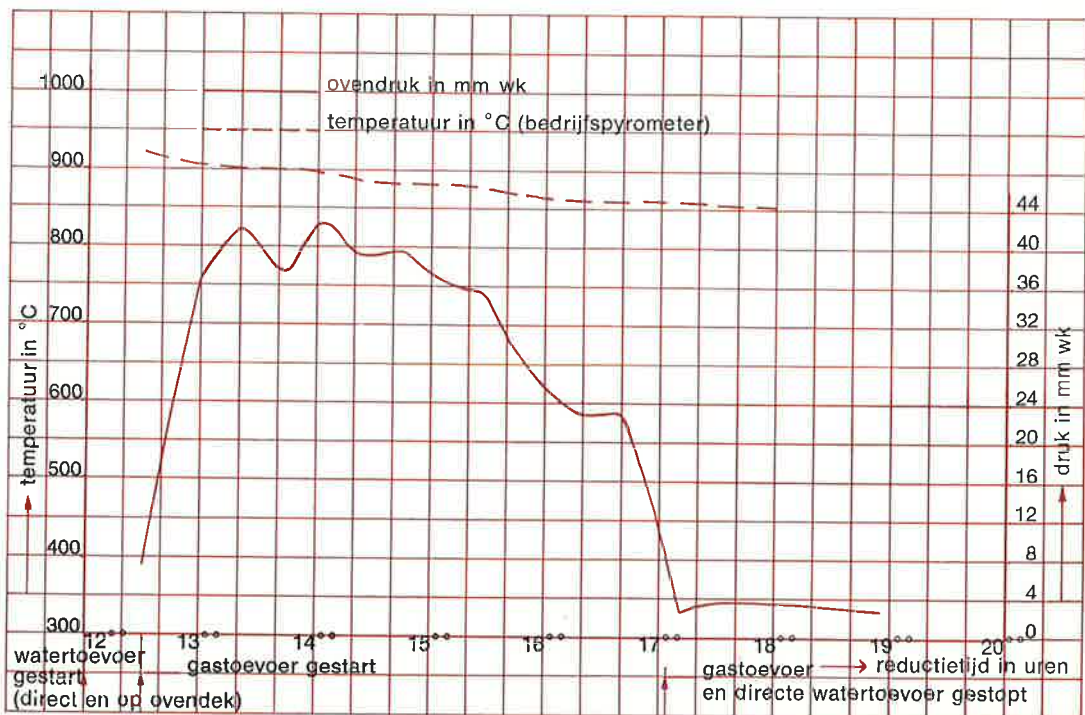


Fig. 6



Resultaten

H₂	31,6 %
CH₄	19,0 %
CO	15,0 %
CO₂	25,4 %
hogere koolwaterstoffen	1,0 %
O₂	0,8 %
N₂	7,2 %

Jit de resultaten van fig.5 volgt duidelijk dat de reducerende atmosfeer verkregen met aardgas zeker zo goed is als die verkregen met kolen.

In fig.6 is de temperatuur en de druk in de oven uitgezet als functie van de reductietijd. Hieruit blijkt dat behalve het optreden van een maximale druk van ca. 40 mm w.k. (afhankelijk van het meer of minder dicht zijn van de oven) een druk van 2 à 3 mm w.k. blijft gehandhaafd. Dit laatste kan toegeschreven worden aan het continueren van de watertoevoer op het ovendek.

1

De kleur van de dakpannen verkregen bij reductie met aardgas, is gelijk aan die verkregen bij reductie met kolen. Bij een enkel bedrijf is de kleur in het eerste geval iets lichter. Hier kan een kleurcorrectie worden toegepast door een ijzerhoudend afvalprodukt aan de grondstof toe te voegen.

2

De hoeveelheid aardgas nodig voor het reduceren bedraagt 14 à 15 m³ per ton dakpannen, de hoeveelheid direct in de oven gebracht water 50 à 80 liter per uur.

3

Door het inbrengen van puur aardgas in combinatie met het direct en indirect doseren van water, ontstaat een ovenatmosfeer die zeker vergelijkbaar is met die verkregen met kolen.

4

In de oven zijn geen koolstofafzettingen geconstateerd veroorzaakt door het kraken van CH₄ of hogere koolwaterstoffen. Dit is een belangrijk voordeel bij het met de hand leeghalen van de oven. Een ander belangrijk voordeel is de vermindering van de luchtverontreiniging (geen uitstoot meer van roet, die optreedt bij kolen- of oliestoken).

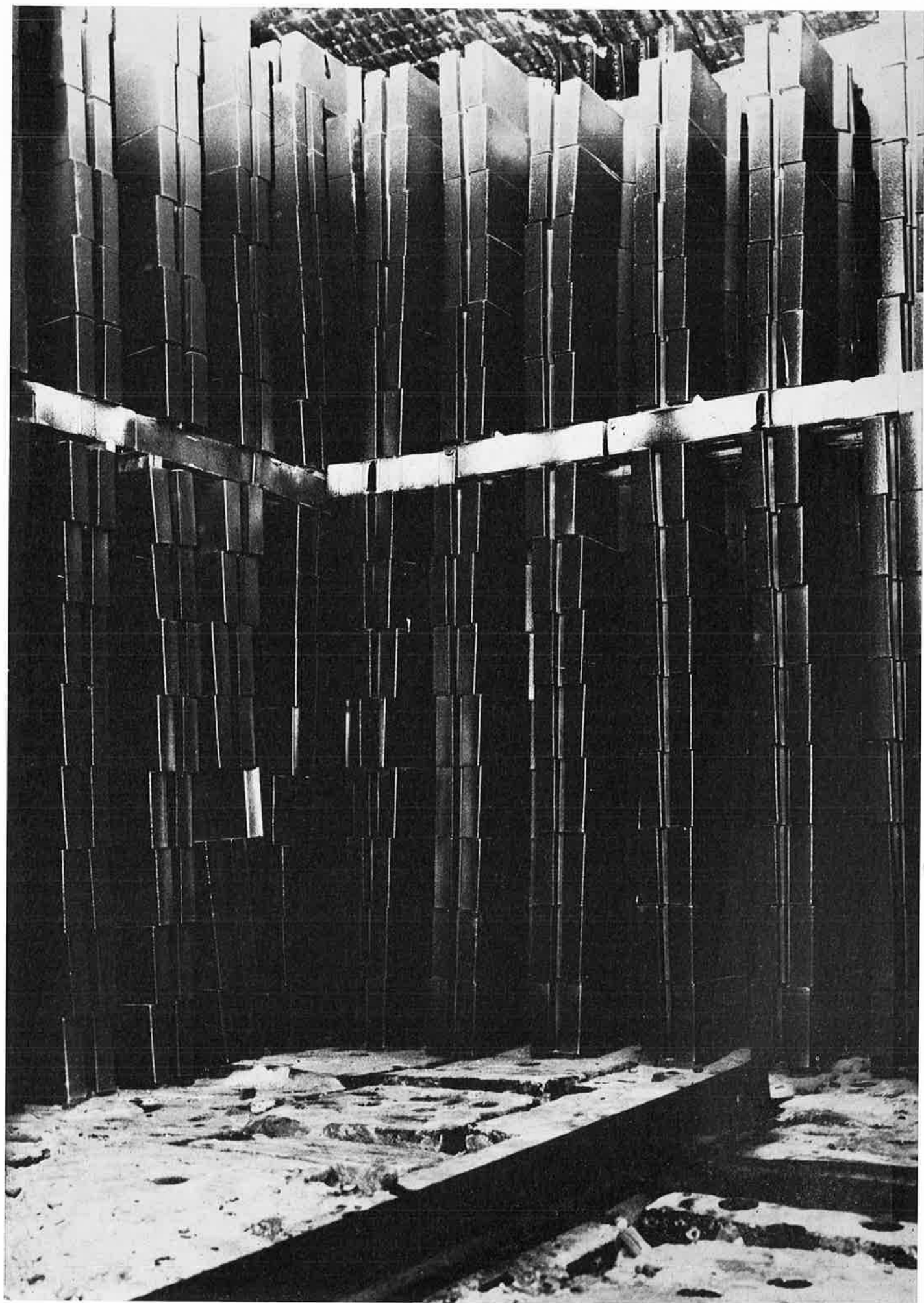
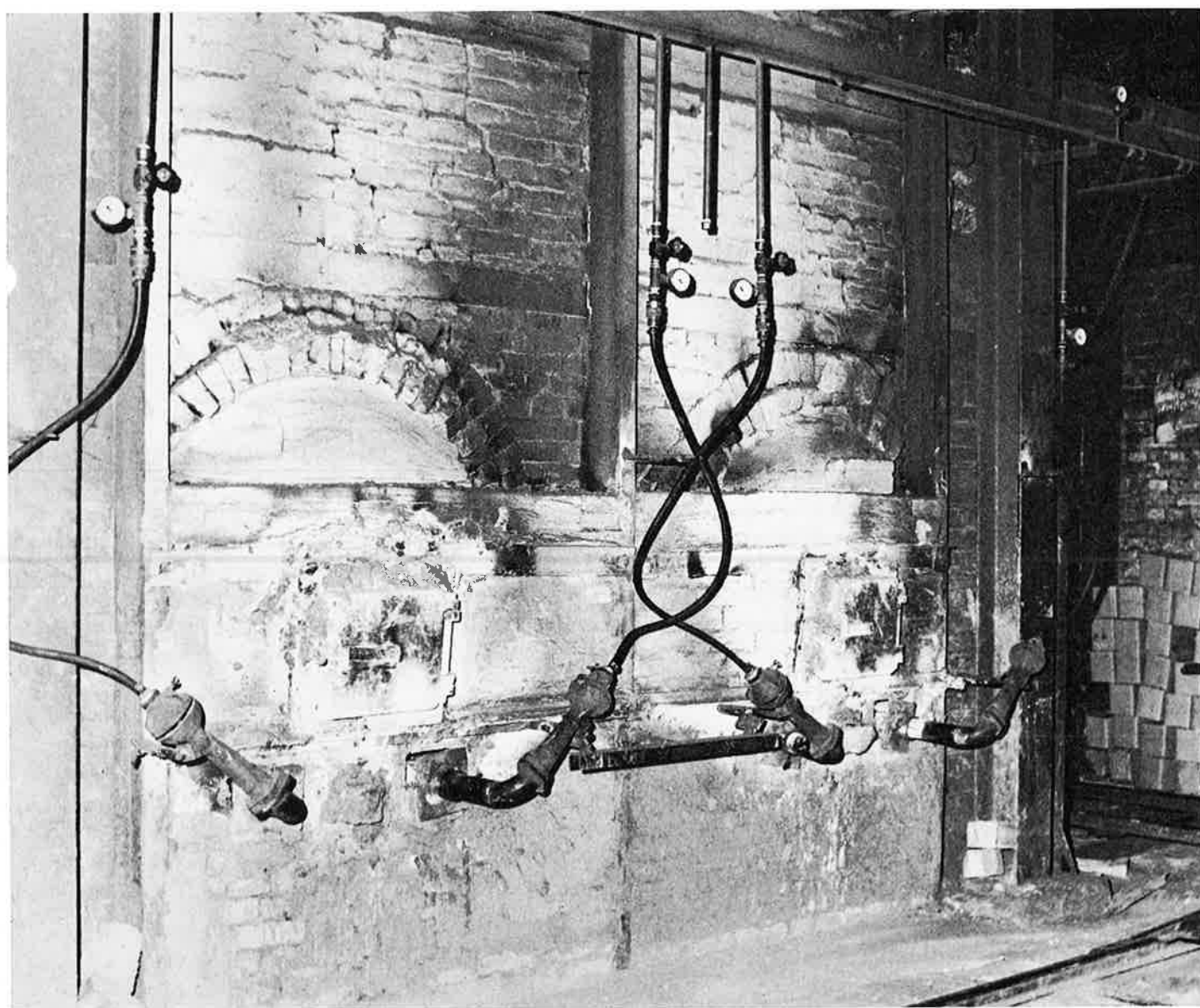


Foto links
Gedeeltelijk leeggehaalde raamdorpeloven

Foto onder
Stookplaatsen met Hauck
injecteurbranders (raamdorpeloven)



B

Het reducerend stoken van raamdorpels

Het stookproces (kolensituatie)

Voor het stoken van raamdorpels worden aan de grondstof de volgende hoofdeisen gesteld:

1

Al_2O_3 en SiO_2 moeten aanwezig zijn in een verhouding van 1 : 3 tot 1 : 5,5.

2

het Fe_2O_3 -gehalte moet liggen tussen 3 en 7 gew. %.

Om aan bovenstaande eisen te voldoen, worden gemengd:
30 % roodbakkende klei (voornaamste bestanddelen 14 à 15 % Al_2O_3 , 72 à 75 % SiO_2 en 7,5 % Fe_2O_3)

60 % geelbakkende klei (voornaamste bestanddelen 22 à 23 % Al_2O_3 , 70 % SiO_2 en 1,8 à 2 % Fe_2O_3)

10 % zand (vermageringsmiddel).

Zoals uit de in fig.7 weergegeven stookcurve is te zien, bedraagt de opstookperiode tot en met de gaarbrand (1200 °C) ca. 43 uren. Hierna volgt de reductieperiode, waarbij de secundaire luchttoevoer sterk wordt vermindert door het gedeeltelijk sluiten van de schoorsteen-schuif. Onder deze omstandigheden worden de kolen verbrand met ondermaat lucht, waarbij een reducerende atmosfeer in de oven ontstaat. Na deze reductieperiode (ca. 5 uur) volgt het zouten. Hierbij wordt in drie kort op elkaar

volgende perioden NaCl (ruw keukenzout) op de kolenvuren geschept. Het NaCl verdampt bij de hoge temperatuur en reageert met de waterdamp (aanwezig in de verbrandingsgassen) en het oppervlak van de scherf tot een natriumaluminiumsilicaat. De samenstelling daarvan kan variëren tussen $\text{Na}_2\text{O} \cdot 0,5 \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2,8 \text{SiO}_2$ en $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5,5 \text{SiO}_2$, afhankelijk van:

1

samenstelling van de scherf

2

korrelgrootte van de grondstof

3

temperatuur

4

hoeveelheid ingebracht NaCl.

Om nu de voor de raamdorpels typisch bruine kleur te ontwikkelen, wordt gedurende de derde maal zouten weer een korte tijd oxyderend gestookt. Hierbij wordt het bij de boven beschreven reactie vrijkomende HCl met de verbrandingsgassen afgevoerd, waarna de aanwezige zuurstof inwerkt op het glazuur, waarbij het oorspronkelijk door ferroverbindingen grijsgekleurde zoutglazuur aan het oppervlak wordt geoxydeerd. Er ontstaat dan een dun laagje

Fig. 7

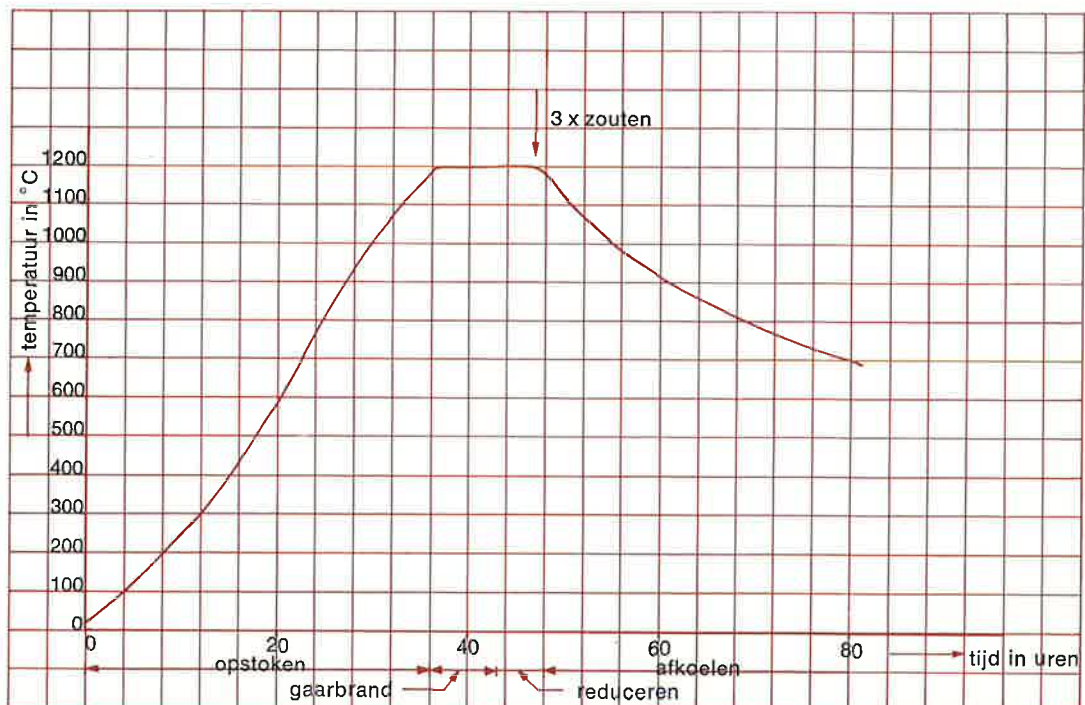


Fig. 7
Stookcurve voor raamdorpels

Fig. 8
Schets gresovens nr. 2A en 3A

Fig. 9
Schets stookplaats

Fig. 8

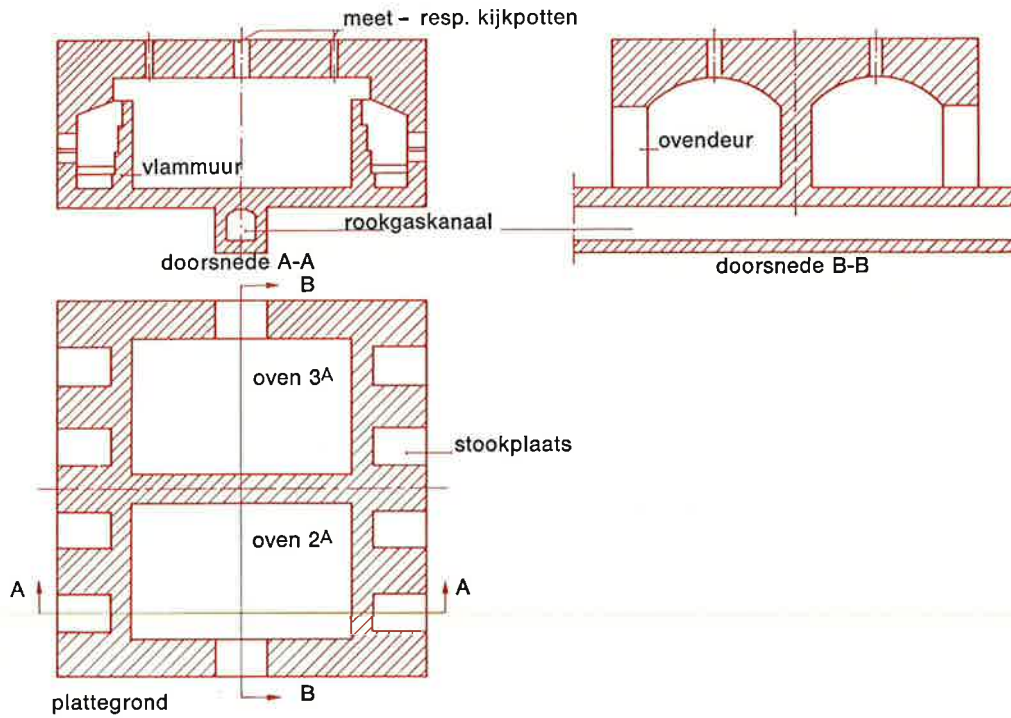


Fig. 9

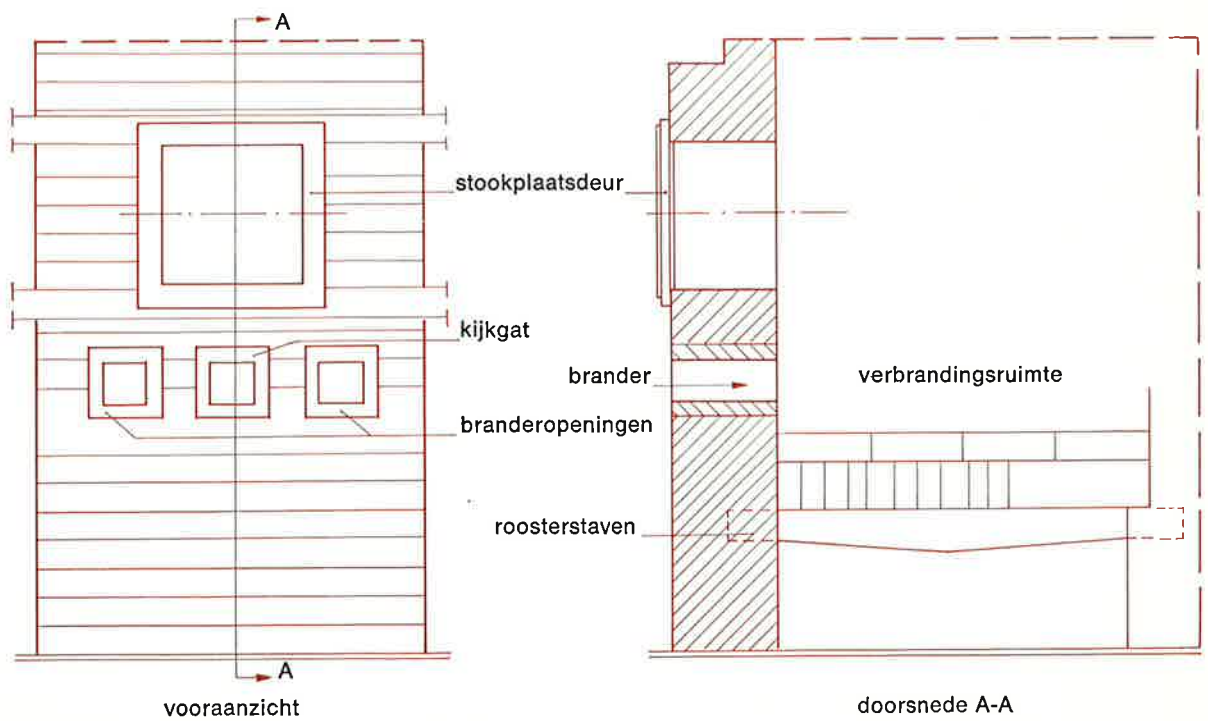


Fig. 10
Hauck injecteurbrander

- 1 Aardgastoevoer
- 2 Luchtregelschuif
- 3 Spuitstuk
- 4 Venturi
- 5 Vlamstabele branderkop
- 6 Hulpgaspoorten
- 7 Hoofdbranderpoort

lichtbruin ferrisilicaat, dat echter bij gelijktijdige aanwezigheid van FeO een diepbruine tint aanneemt.

Periodieke vlamoven (fig.8)

Deze oven is in principe gelijk aan die welke wordt toegepast bij het blauwstoken van dakpannen, alleen de uitvoering is iets anders. Door het aanbrengen van een wand in het midden van de oven wordt deze verdeeld in twee gelijke, kleinere ovens (hierom ook wel tweelingoven genoemd). De kleine ovens hebben aan de langszijde twee stookplaatsen en worden gelijktijdig gestookt. De inhoud van één kleine oven is 20 m³ en kan ca. 7,5 ton raamdorrels bevatten. De stookplaatsdeur dient hier voor het toetreden van de benodigde secundaire lucht en voor het inbrengen van het NaCl.

Gasbranderinstallatie

Vóór elke stookplaats zijn twee branders geplaatst, en wel hogedruk-injecteurbranders van het fabrikaat Hauck (fig.10). De voornaamste onderdelen van deze brander zijn: de primaire-luchtregelschuif, het spuitstuk, de venturi en de vlamstabele branderkop. Ook hier wordt weer vlamstabilisatie toegepast door een hulpgasconstructie. Na het zouten worden de branders uit de stookplaatsen verwijderd en kunnen ze weer worden gebruikt voor het stoken van een andere oven.

Werkwijze bij het reduceren met aardgas

Na de gaarbrand bij ca. 1200 °C wordt gedurende 5 uur gereduceerd. De trek in de oven wordt verlaagd door het gedeeltelijk sluiten van de schoorsteenschuif. Verder worden de stookplaatsdeuren nagenoeg gesloten en de primaire-luchttoevoer bij de branders verminderd. Onder deze omstandigheden wordt het aardgas met een ondermaat lucht verbrand, waarbij een reducerende atmosfeer ontstaat. Een controle van de reductie is mogelijk door het op regelmatige tijden trekken van proefstukken, die zich in een in de ovendeur gemetselde gresbuis (met een doorsnede van 100 mm) bevinden. Nadat hieruit is gebleken dat het materiaal voldoende is gereduceerd, volgen drie zoutperioden (elke periode duurt ca. 6 minuten), waarbij de schoorsteenschuif geheel wordt gesloten. De tijd tussen de zoutperioden bedraagt ongeveer een half uur. In deze tijd wordt de door het zouten veroorzaakte temperatuurdaling gecorrigeerd. De totale hoeveelheid zout bedraagt ongeveer 2,5 kg per m³ oveninhoud.

Fig. 10

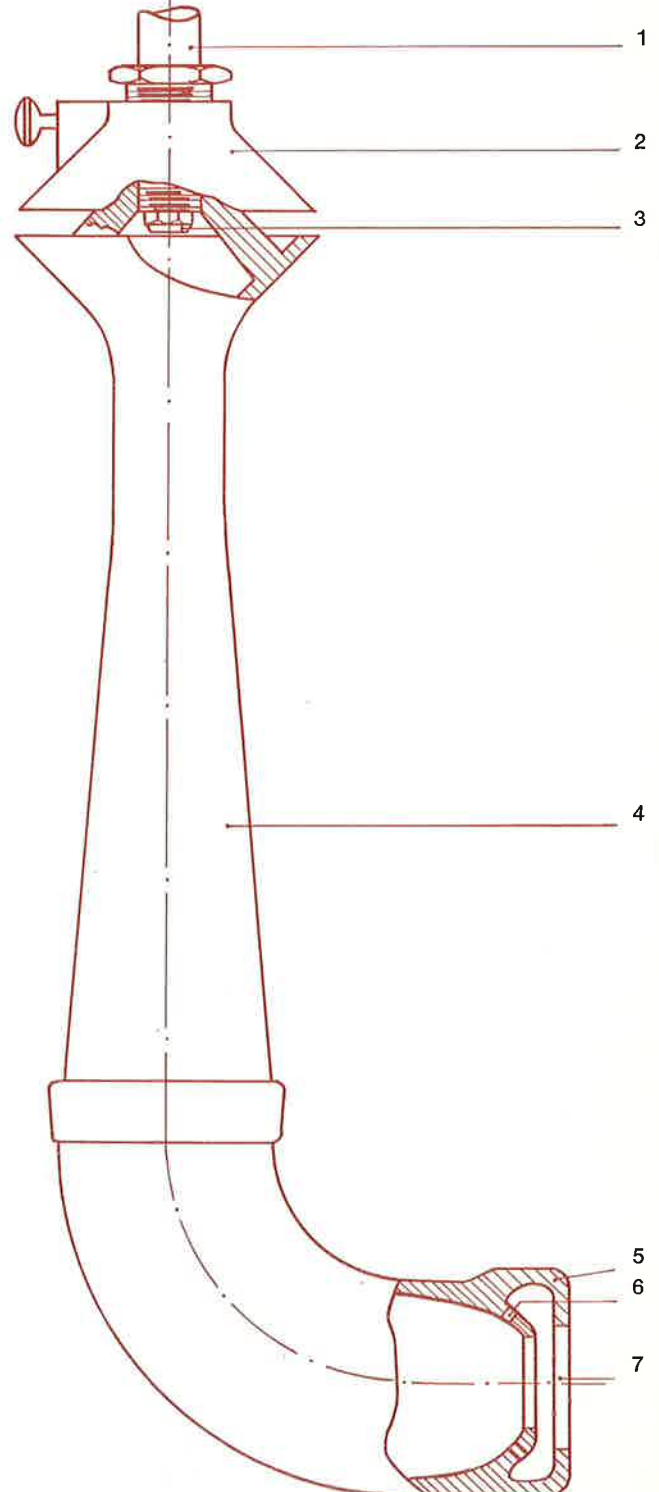
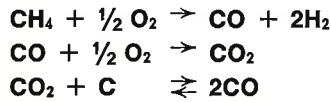


Fig. 11
 Analyseresultaten van ovengasmonsters
 tijdens reductie en zoutperiode bij het
 stoken met aardgas

Ovenatmosfeer

Bij het verbranden van aardgas met een ondermaat lucht ontstaat een reducerende atmosfeer. Enkele reacties die hierbij kunnen optreden zijn:

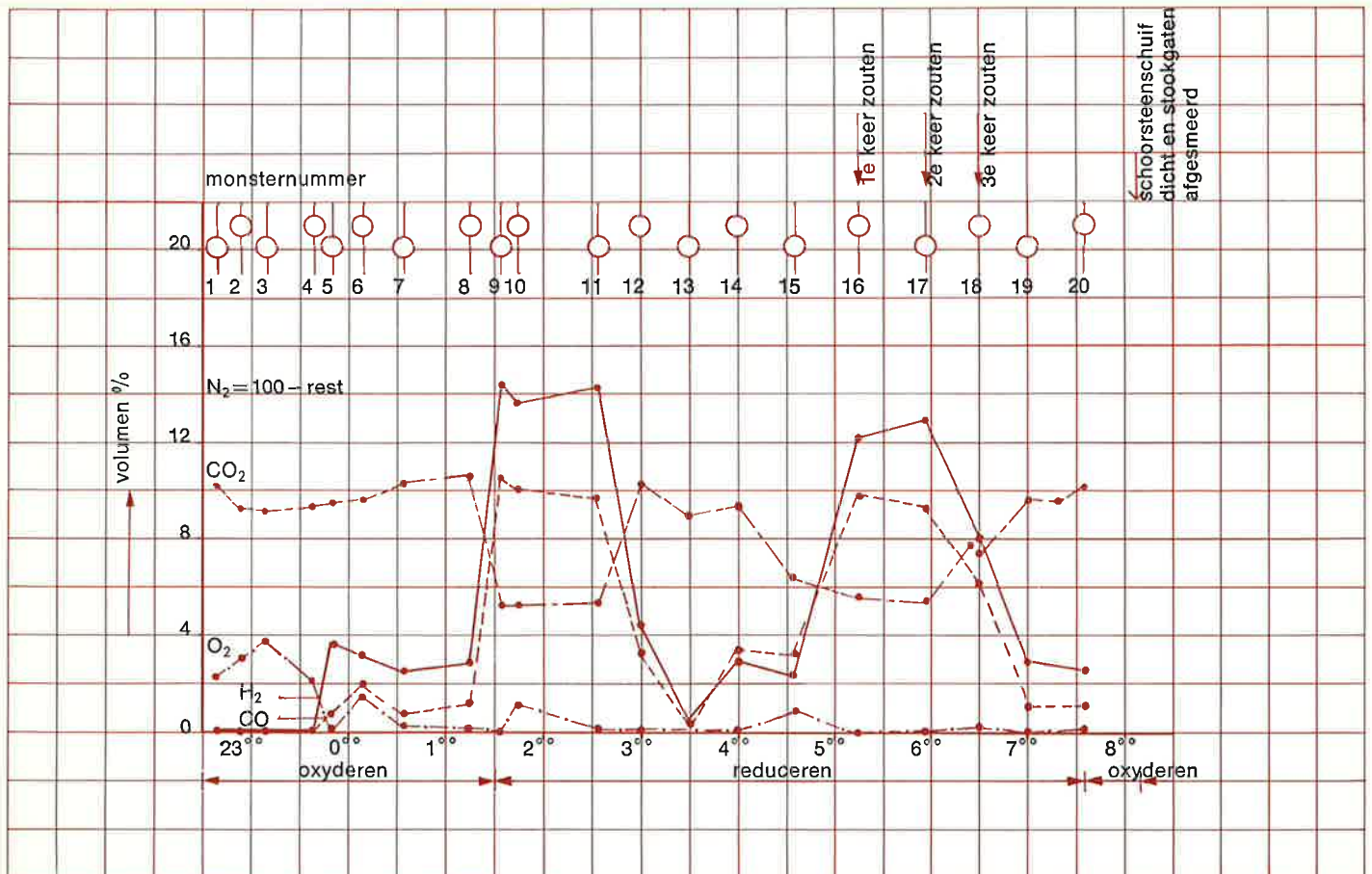


reducerende atmosfeer die in de oven aanwezig is bij het reduceren met kolen:

CO₂ - 10,7 %
CO - 6,7 %
H₂ - 3,4 %
O₂ - 2,9 %
N₂ - 76,3 %

Evenals bij het reduceren van dakpannen, worden gedurende de reductie- en zoutperiode op regelmatige tijden ovengasmonsters getrokken (bij ovendeur op 1 meter hoogte, gemeten vanaf de ovenvloer). Fig.11 geeft de analyseresultaten. Het is duidelijk dat de reductie het grootste is tijdens de eerste en de tweede zoutperiode (schoorsteenschuif gesloten). Ter beoordeling van de resultaten wordt hierna een gemiddelde analyse gegeven van de

Fig. 11



Resultaten

1

De met aardgas als brandstof verkregen raamdorpel was aanvankelijk lichter in kleur, en het zoutglazuur was minder glanzend dan het met kolen verkregen produkt. Toevoeging van FeCl_3 (kleurverbetering) en $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ (glansverbetering) aan het keukenzout gaf een produkt dat gelijkwaardig was aan dat verkregen met kolen.

2

Bij het met ondermaat lucht verbranden van aardgas werd een zeer goed reducerende atmosfeer verkregen, zoals blijkt uit fig.11 (maximum H_2 -gehalte 14 % en maximum CO-gehalte 10 %).

3

De totale hoeveelheid zout bedraagt 2,5 kg per m^3 oveninhoud.

4

In de oven werden geen koolstofafzettingen waargenomen. Evenals bij de reductie van dakpannen, werd een vermindering van de luchtverontreiniging geconstateerd.

Literatuur

1

*Het blauwstoken van dakpannen, Ir. G.F. Verhorst.
Klei en Keramiek (1965) nr. 9.*

2

*Verfahren zum Blaudämpfen von Ziegeln, P.W. Berg.
Die Ziegelindustrie 1964, Heft 17/18.*

3

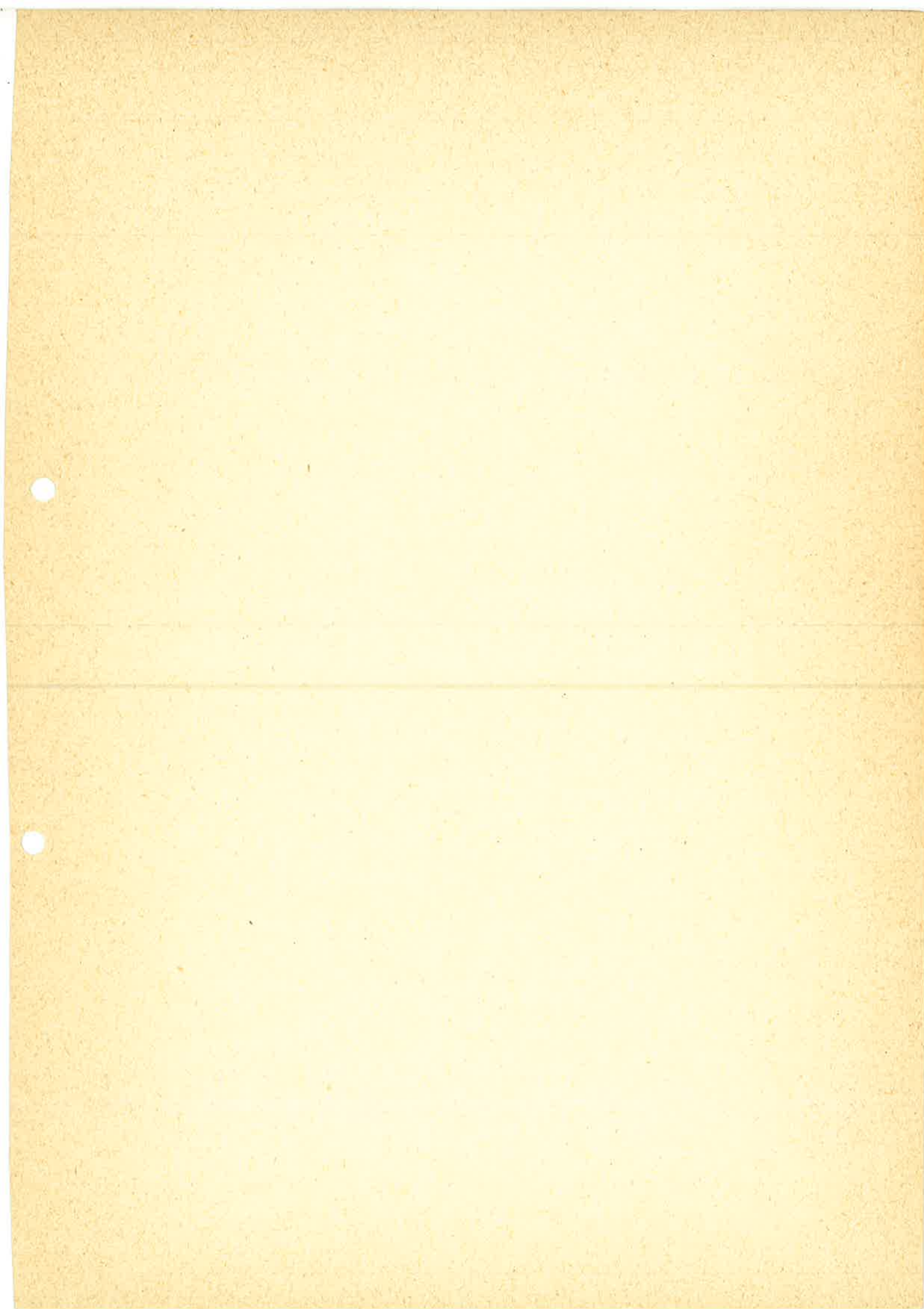
*Reduzierendes Brennen, W. Wanie.
Die Ziegelindustrie 1967, Heft 3.*

*Physikalische und Chemische Grundlagen, H. Salmang.
Die Keramik, 1958.*

5

*Het toepassen van hogedruk-aardgasbranders in een
hoffmannringoven.
Gastoepping nr. 713, maart 1965.*

Vormgeving
Design Combination 'Saen'
Druk
Vanmarken, Delft



**Uitgave van
het beproevingslaboratorium van de
N.V. Nederlandse Gasunie
Energieweg 17
Groningen
Telefoon 050-58958**

Juni 1969