

1966.  
B14

KERAMISCH INSTITUUT T.N.O.  
Postbus 49  
Delft.

*Het blauwstoken van dakpannen  
met aardgas-*

Opdrachtgever : Gasunie n.v.  
Govers Deynsestweg 34  
SCHIEDAM

Opdrachtnummer : 13.355

Kenmerk : 66-K-137/VA/AB, 14 januari 1966.

Auteur : Ir. H. van Amerongen

## Het blauwstoken van dakpannen met aardgas.

### Inleiding.

Aan rode dakpannen kan een zwartblauwe kleur gegeven worden door na het normale steekproces een reductieperiode in te voeren en de afkoelperiode in reducerende of neutrale atmosfeer te laten verlopen.

Tot nu toe geschiedde dit in discontinue ovens door na het gaar steken de oven vol te gooien met kolen en daarna de oven af te sluiten. Hierbij ontstaat een atmosfeer die berekend op droog gas ongeveer bestaat uit 40% H<sub>2</sub>, 20% CO, 20% CH<sub>4</sub> en 20% CO<sub>2</sub>. De reducerende gassen nemen vrij snel af, terwijl het CO<sub>2</sub> percentage stijgt tot ca. 70%.

Na verloop van tijd wordt water op de oven aangebracht dat door het plafond naar binnen dringt zodat tijdens de verdere afkoeling de ovenatmosfeer vrijwel uitsluitend uit waterdamp bestaat.

Het veranderen van de kleur van de dakpan is het gevolg van reductie van de in de klei voorkomende ijzerverbindingen. Hiervoor is nodig dat er voldoende ijzer in de klei aanwezig is en weinig kalk.

In enkele bedrijven wordt ook olie toegepast voor het bakken en blauwstoken van dakpannen.

Voor de overschakeling op aardgas werd het wenselijk geacht om eerst aan de hand van laboratoriumproeven vast te stellen hoe het proces verloopt, wat de beste omstandigheden zijn en welke moeilijkheden op kunnen treden.

### Opzet van het onderzoek.

De problemen die een rol spelen zijn de volgende:

1. het verkrijgen van de blauwe kleur door reductie (temperatuur, aanhoudtijd, gassenstelling)
2. voorkomen van roetafzetting (temperatuur, gassenstelling)
3. voorkomen van heroxydatie tijdens afkoelen
4. explosie-gevaar.

Het volgende verkschema werd toegepast:

1. literatuurstudie over het blauwstoken van dakpannen
2. literatuurstudie over de gasevenwichten: CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, CO

CO<sub>2</sub> met C.

3. proeven in een elektrische buisoven waarin over een stukje roodgebakken dakpan verschillende gassenstellingen werden geleid bij variërende temperatuur en aanhoudtijd
4. proeven met een stukje blauwe pan om vast te stellen bij welke temperatuur geen oxydatie meer optreedt
5. semi-technische proeven in een grotere elektrische oven aan hele dakpannen.
6. oriëntatie in de praktijk.

De volgende proeven moeten hiervoor verricht worden:

- a. overleiden van CH<sub>4</sub>
- b. overleiden van CH<sub>4</sub> + waterdamp
- c. overleiden van CH<sub>4</sub> + lucht (eventueel voorverbranden)
- d. overleiden van CH<sub>4</sub> + lucht + waterdamp
- e. ter oriëntatie H<sub>2</sub> of CO overleiden.
- f. variëren van de temperatuur (max. 1000 °C)
- g. variëren van de aanhoudtijd
- h. over blauwe pan lucht leiden bij verschillende temperaturen
- i. semi-technische proef in grotere elektrische oven.

#### Literatuur over het blauweten van dakpannen

De literatuur over het blauweten van dakpannen is zeer beperkt. Sinds in 1937 een artikel verscheen van het toenmalige "Rijkskleiproefstation" zijn slechts enkele onderzoeken over dit onderwerp verricht, hoofdzakelijk door P.W. Berg.

Het proces van het blauweten berust op de reductie van het rode Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in het zwarte Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> of zwartgrijze FeO, waarbij de omzetting in Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> de belangrijkste is.

De volgende reacties kunnen tijdens het reduceren plaatsvinden, afhankelijk van het gebruikte gas:



Verhorst (1) die de reducerende werking van CO, H<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub> onderzocht, constateerde het volgende:

Bij gebruik van CO en H<sub>2</sub> trad bij 600 °C reeds een geringe reductie op, bij CH<sub>4</sub> werd deze reductie pas vastgesteld bij 700 °C. Pas bij

800 °C geeft  $\text{CH}_4$  een goede reductie. Het  $\text{CH}_4$  vindt ook een sterke grafietafsetting plaats vooral merkbaar bij hoge temperaturen.

Door metingen in een praktijkoven werd nagegaan hoe de samenstelling van het gas tijdens de reductieperiode varieerde. Direct na het begin van het reduceren blijkt in de oven het  $\text{CO}_2$  percentage sterk toe te nemen, totdat na ongeveer 10 uur een maximum wordt bereikt. Hierna daalt het  $\text{CO}_2$  gehalte totdat na 24 uur het gehalte gedurende het verder verloop van het proces constant blijft.

Het gehalte aan reducerende bestanddelen in het gas daalt in het begin sterk tot een minimum na ca. 10 uur waarna een geleidelijke stijging optreedt totdat dit na ca. 24 uur constant wordt. De eigenlijke reductie vindt dus plaats in de eerste 10 uur van het smoren.

Na de reductie blijkt waterdamp verreweg het belangrijkste bestanddeel van de ovenatmosfeer te zijn.

Laboratoriumproeven waarbij na de reductieperiode (780 °C) in grote hoeveelheden water in de laboratoriumoven werd gespoten totdat een temperatuur van 450 °C was bereikt leverde door en door gereduceerde pannen van een goede kleur op.

P.W. Berg (2) werkte met een methanol-oplossing in water. Bij hogere temperatuur ontleedt methanol als volgt:



met ijzeroxyde:



Reactie (2) verloopt niet door het verband tussen de evenwichtsconstanten, maar het CO reageert wel met water:



De evenwichtsconstante in het temperatuurbereik van 400 - 1000 °C bedraagt voor reactie (1):

$$3,16 \times 10^{-6} < K = \frac{p_{\text{H}_2}}{p_{\text{H}_2\text{O}}} < 3,16 \times 10^{-5}$$

Uit een onderzoek naar de invloed van de porositeit op het blauwteken van dakpannen door Verhorst (1) bleek dat bij een porositeit variërend tussen 16 en 34 vol.% geen verschil in

blauwkleuring optrad. Ook werd de invloed van  $TiO_2$  nagegaan. De kleur bleek door de aanwezigheid van kleine hoeveelheden niet te worden beïnvloed.

Sandford en Liljegren (3) hebben bij de bestudering van kleurvorming in rode en gele stenen o.a. proeven gedaan met overleiden van verschillende gasseninstellingen over ijzer-oxyde bij diverse temperaturen.

In een Russisch artikel (4) wordt gesproken over water-injectie tijdens de aanhoudtijd. Daar in de grondstof reeds 60 - 80% van de brandstof (van te voren ingebracht) aanwezig is ontstaat een reducerende atmosfeer waardoor de kleur van rood in grijs overgaat.

#### Literatuur:

1. Blauwstoken van dakpannen, Ir. G.F. Verhorst.  
"Klei" 1957, blz. 109 en "Klei" 1958 blz. 117 en 129.
2. The use of controlled atmospheres, P.W. Berg.  
"Science of Ceramics", volume 2 1965 blz. 203.  
Verfahren zum Blaudämpfen von Ziegeln, P.W. Berg  
"Die Ziegelindustrie" 1964, blz. 652  
"Kontrollerede atmosfærens anvendelse i nogle keramiske industrier", P.W. Berg. Dissertatie Kopenhagen 1963.
3. The formation of colour in red and yellow brick.  
F. Sandford and B. Liljegren.  
Trans. Chalmers University of Techn. Gothenburg, nr. 282 1963
4. Ziegelbrennen mit Befeuchtung in der Garbrandsone,  
L.M. Lickunovitsch.  
"Die Ziegelindustrie", 1960, blz. 105.

#### Literatuur over de gasevenwichten.

Over de gasevenwichten is vrij veel bekend in verband met de bestudering van de omsetting van aardgas en raffinaderijgas in stadsgas. De verschillende verklaringen van de verschijnselen die hierbij optreden zijn niet altijd met elkaar in overeenstemming.

De evenwichten kunnen wel berekend worden. Methaan kan bij verhitting uiteenvallen in:



Deze reactie begint te verlopen boven 800 °C. De vorming van koolstof is ongeveest en kan tegen gegaan worden met behulp van waterdamp of met lucht.

Bij de omsetting van aardgas met stoom kan een groot aantal reacties optreden. Een aantal van deze reacties zijn afhankelijk en kunnen geëlimineerd worden, anderen kunnen verwaarloosd worden. We houden dan de volgende reacties over:



Hierbij kan roet gevormd worden volgens reactie (4) terwijl tevens reactie (1) nog op kan treden. De eenmaal gevormde C is inactief en reageert niet meer met waterdamp of zuurstof. Door de methaan-stoomverhouding is de ligging van de evenwichten te beïnvloeden. Indien we aannemen dat geen roetvorming optreedt (door voldoende stoom) hebben we alleen te maken met reacties (2) en (3) en kan met de bekende reactie constanten de evenwichtssamenstelling bij verschillende temperaturen en bij verschillende methaan-stoomverhoudingen berekend worden. Bij toevoegen van meer stoom stijgen de percentages  $\text{CO}_2$  en  $\text{H}_2$ , terwijl het CO percentage daalt dus  $\frac{p_{\text{CO}}^2}{p_{\text{CO}_2}}$  daalt.

Bij lagere temperatuur stijgt het percentage  $\text{CO}_2$  en dalen de percentages CO en  $\text{H}_2$ , dus  $\frac{p_{\text{CO}}^2}{p_{\text{CO}_2}}$  daalt.

Reactie (4) verschuift bij lagere temperatuur naar links dus  $K_4$  daalt, maar sneller dan de verhouding  $\frac{p_{\text{CO}}^2}{p_{\text{CO}_2}}$  uit reacties (2)

en (3) met de temperatuur.

Om geen roetvorming te krijgen moet  $\frac{p_{\text{CO}}^2}{p_{\text{CO}_2}}$  lager zijn dan  $K_4$ .

Omdat  $K_4$  sneller afneemt, zal bij een bepaalde temperatuur  $K_4$  dezelfde waarde krijgen als  $\frac{p_{\text{CO}}^2}{p_{\text{CO}_2}}$ . Deze temperatuur is de roet-

grens. Door meer stoom toe te voegen daalt  $\frac{p_{\text{CO}}^2}{p_{\text{CO}_2}}$  en wordt roetaf-

afscheiding vermeden. Hoe lager de temperatuur hoe meer stoom moet worden toegevoegd.

Wanneer ook nog lucht wordt toegevoerd zal de volgende reactie tevens plaatsvinden:



Doordat hierbij minder  $\text{H}_2$  gevormd wordt dan bij reactie (2) zal reactie (3) naar rechts verschuiven. Er wordt meer  $\text{CO}_2$  gevormd ten koste van  $\text{CO}$ ,  $\frac{p_{\text{CO}}^2}{p_{\text{CO}_2}}$  zal dalen en de roetgrens zal verder

naar beneden gebracht kunnen worden.

Een reducerende atmosfeer kan ook verkregen worden door het aardgas te verbranden met ondermaat lucht. We krijgen dan naast reacties (4) en (5) nog:



Zonder roetvorming hebben we te maken met reacties (5) en (6). De evenwichtsaanstelling kan berekend worden.  $\frac{p_{\text{CO}}^2}{p_{\text{CO}_2}}$  zal af-

hangen van de hoeveelheid  $\text{O}_2$  die wordt toegevoegd en kan zodanig gekozen worden dat  $\frac{p_{\text{CO}}^2}{p_{\text{CO}_2}}$  kleiner is dan  $K_4$ .

Aardgas bevat naast  $\text{CH}_4$  ook hogere koolwaterstoffen. Deze laatste kraken bij lagere temperatuur en zullen meer aanleiding geven tot koolstof- en teer afscheiding. Bij omzetten met stoom zullen deze hogere koolwaterstoffen moeilijkheden blijven geven. Bij verbranding met ondermaat  $\text{O}_2$  kan dit beter voorkomen worden.

#### Literatuur:

1. Omsetting van koolwaterstoffen in stadsgas.  
J. v. Willigen, diss. Delft 1963.
2. Thermisch omzetten van gasvormige koolwaterstoffen met stoom.  
H.W.D. van Kempen, diss. Delft 1958.
3. Katalytisch en thermisch omzetten van gassen.  
Ir. G. Gaikhorst, W.J. Klein en J.A. Verhout.  
"Mededelingen Gasstichting", nr. 23.

4. Die theoretischen Gleichgewichtszusammensetzungen bei der Spaltung von Methan-Wasserdampf-Gemischen.  
G. Ruder, "Gas/Wasser/Wärme" 1960, p. 243.
5. Umsetzung von Kohlenwasserstoffen zu Kohlenoxyd-Wasserstoff-Gemischen.  
K. Peters und E. Kappelmacher, "Brennstoff-Chemie", 1952, p. 296.
6. Reforming of natural gas.  
T.G. Somer, "British Chemical Engineering", 1963, p. 466.
7. Die katalytische Sauerstoffspaltung.  
"Gas/Wasser/Wärme", Bd. X/3 p. 125.

#### Uitvoering der proeven.

- A. Voor de proeven met aardgas en aardgas-waterdampmengsels werd de opstelling gebruikt van fig. 1. Een buis werd vertikaal in een elektrische oven geplaatst. Onderin stond een proefstukje (stukje gebakken rode pan) en de inleidbuis mondde hier vlak naast uit.  
De temperatuur in de buis werd geregeld door de temperatuur van de elektrische oven. Deze werd opgevarmd tot de vereiste temperatuur. De lucht werd verdreven uit het systeem met  $N_2$  en daarna werden aardgas-waterdampmengsels doorgeleid.  
Het aardgas werd geleid door een kolf met water. Door de temperatuur van het water te veranderen kon de hoeveelheid meegevoerde waterdamp geregeld worden.  
De proeven werden uitgevoerd bij verschillende temperaturen en aanhoudtijden. Gevarieerd werd verder nog de hoeveelheid aardgas en de aardgas-waterdamp verhouding. Afgekoeld werd in verschillende atmosferen zoals  $N_2$ , waterdamp,  $N_2$ -waterdamp, aardgas, aardgas-waterdamp. Tevens werd in deze opstelling een proef gedaan met  $H_2$  ter vergelijking.
- B. Voor de proeven met aardgas-luchtmengsels werd de opstelling van fig. 2 gebruikt. Met een brander waarvan de gas- en luchthoeveelheid geregeld kan worden, wordt een oventje vervarmd. Het proefstukje bevindt zich achter een vlammuurtje. De temperatuur werd gemeten met



een thermokoppel. In een drukketeltje kan stoom worden geproduceerd. In de verbrandingsgassen kon met behulp van een "MONO" apparaat de hoeveelheid  $\text{CO}_2$  en "onverbrand" ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$  en  $\text{CH}_4$ ) worden gemeten. Tevens zijn monsters genomen die bij het instituut voor warmtetechniek verder zijn geanalyseerd.

Het oventje werd oxyderend opgestookt tot de gewenste temperatuur. De luchthoeveelheid werd daarna zoveel verminderd dat de "MONO" een bepaald percentage "onverbrand" aangaf. Door gas en lucht te verminderen kon de temperatuur omlaag gebracht worden. Tijdens de afkoelperiode werd stoom ingeleid.

6. Voor proeven op grotere schaal werd de opstelling van fig. 3 gebruikt. In een elektrische oven werd een groot stuk dakpan geplaatst. Door een opening in de bodem konden reducerende gassen (door onvolledige verbranding) binnen geleid worden. Via een aansluiting op de stoomleiding was toevoer van voldoende stoom mogelijk. Met de "MONO" apparatuur werd de atmosfeer gecontroleerd, terwijl gasmonsters zijn genomen die geanalyseerd zijn door de afdeling "Warmtetechniek" van het Centraal Technisch Instituut T.N.O.

### Resultaten.

#### A. Aardgas-waterdamp.

De temperatuur waarbij gereduceerd werd varieerde van  $900^\circ - 960^\circ \text{C}$ . De tijd van reduceren varieerde van 1 - 2 uur. In het begin van de afkoeling werd de reducerende atmosfeer gehandhaafd tot temperaturen die varieerden van  $350 - 600^\circ \text{C}$ . Deze reducerende atmosfeer bestond uit aardgas-waterdampmengsels waarbij de hoeveelheid aardgas varieerde van 20 - 120 bellen per minuut en de temperatuur van het water waardoor het gas werd geleid bedroeg  $87^\circ \text{C}$  tot kooktemperatuur. De verdere afkoeling had in  $\text{H}_2$  atmosfeer plaats.

Een proef met alleen aardgas leverde een uitermate zwart beroet steentje op. De kern was donkergrijs.

Een proef met zuivere waterstof leverde een mooi blauw gekleurd steentje op.

Uit de andere proeven bleek dat met aardgas-waterdampmengsels:

1. in dit temperatuurgebied reductie mogelijk is. De kleur wordt grijs in overeenstemming met de pannen gesteekt in de praktijk.
2. in principe roetvorming voorkomen kan worden met voldoende waterdamp. Op koudere plaatsen in de oven trad evenwel toch roet- en teervorming op (hogere koolwaterstoffen?)
3. afkoelen in waterdamp atmosfeer dezelfde resultaten oplevert als afkoeling in aardgas-waterdampmengsels, maar met minder kans op roetvorming.
4. Bij lagere temperaturen en minder aardgas een aanhoudtijd van 2 uur vereist was, in de andere gevallen 1 uur.
5. Geen van de resultaten werkelijk bevredigend was.

#### B. Aardgas-lucht

Bij inleidende proeven bleek al dat de reductie met een reducerende vlam veel vlotter verliep. In een kwartier waren de proefstukjes al door en door gereduceerd. In de eerste serie proeven werd gereduceerd bij dezelfde temperatuur (ca. 980 °C) gedurende een kwartier. De afkleding geschiedde in atmosfeer waarin tot een bepaalde temperatuur, die varieerde van 940 - 550 °C met een reducerende vlam werd gesteekt en daarna verder met stoom. Mengsels van reducerende vlam met stoom werden geprobeerd en mengsels van stoom met iets onverbrand aardgas. Ook werd alleen in stoom afgekoeld.

Hierbij bleek dat de proefstukjes allemaal goed gereduceerd waren. Bij de proeven waarbij onverbrand aardgas tijdens het koelen werd gebruikt trad in sommige gevallen roetvorming op. Daar het geen invloed bleek te hebben op de reductie en de hermydatie tijdens afkoelen is dit bij verdere proeven achterwege gelaten.

Bij de volgende serie proeven werd de reductietemperatuur, de aanhoudtijd en de mate van reductie gevarieerd met verschillende atmosferen tijdens afkoelen.

De conclusies waren:

1. reductie met onvolledig verbrand aardgas verloopt vlot. Een kwartier was lang genoeg behalve bij temperaturen van 850 °C en lager
2. dat de reductie ook bij 800 °C nog verloopt.
3. hoe lager de reductietemperatuur hoe donkerder de kleur werd.
4. met een niet te sterk reducerende vlam treedt geen roetvorming op.
5. bij afkoelen in waterdamp-atmosfeer treedt geen heroxydatie op.
6. het beste resultaat werd verkregen door een stukje dakpan bij 950 °C te reduceren. Tijdens de reductieperiode werd al iets stoom toegelaten. Bij het afkoelen werd de hoeveelheid stoom langzamerhand verhoogd en de hoeveelheid gas verminderd. Vanaf 800 °C alleen stoom

#### C. Grote elektrische oven met onvolledig verbrand aardgas.

Ook bij deze proeven ging de reductie vlot. Er waren wat meer moeilijkheden met het voorkomen van heroxydatie daar deze oven nogal wat lek vertoende.

Aangenien bleek, dat de proeven dezelfde resultaten opleverden als in het kleine oventje (alleen de reductieperiode moest verlengd worden tot een half uur) is de hele proevenserie niet herhaald.

Nagegaan diende nog te worden wat de minimum concentratie aan reducerende gassen is om nog een blauwe kleur te verkrijgen. Dit staat in verband met de gassen die in het roekgaskanaal en schoorsteen met lucht vermengd worden en daar mogelijk explosiegevaar kunnen opleveren. De reducerende atmosfeer werd gevarieerd en gecontroleerd met de "MONO" apparatuur. Toen de juiste atmosfeer was gevonden waarbij nog net blauwkleuring optrad, zijn er monsters genomen die geanalyseerd zijn door de afdeling "Warmtetechniek" van het Centraal Technisch Instituut T.N.O.

De gassen hadden de volgende samenstelling:

CO<sub>2</sub>: 10,6%, O<sub>2</sub>: 0,3%, CO: 0,9%, CH<sub>4</sub>: 0,4% en H<sub>2</sub>: 1,0%.

Deze hoeveelheden liggen ruim beneden de explosiegrens.

Bij de proeven met het overleiden van lucht over een stukje blauwe pan bleek bij 500 °C nog een lichte heroxydatie op te treden. Bij 400 °C was dit niet meer het geval. Beneden 400 °C hoeft dus niet meer gevreesd te worden voor heroxydatie.

#### Metingen in de praktijk.

Door de Gasunie zijn metingen verricht bij een dakpannenfabriek in een periodieke oven waarin blauwgestookt werd. De resultaten zijn weergegeven in fig. 4.

Voor het afsluiten van de oven bedraagt de trek in de oven ca. 18 mm WK. Het zuurstofpercentage bedraagt tijdens het gaarstoken 16 à 17%. Na het afsluiten van de oven loopt de druk sterk op tot 50 mm WK. Deze daalt echter snel naar 15 mm WK en daarna langzaam naar 10 mm WK. Als ~~er~~ water op de oven wordt gebracht, loopt de druk weer op naar 20 mm WK. Het percentage  $H_2$  bedraagt vlak na het dichtstoppen van de oven ca. 45%,  $CO$  en  $CH_4$  bedragen 20 à 25%.

Deze percentages nemen vrij snel af terwijl het percentage  $CO_2$  sterk toeneemt. Nadat het water op de oven wordt gebracht gaat de atmosfeer vrijwel uit waterdamp bestaan. Deze waarnemingen zijn in overeenstemming met de resultaten die vroeger door Verhorst zijn verkregen.

Enkele gegevens over de oven:

Inhoud: 70 à 80 m<sup>3</sup>. Inset: 18000 pannen (1 Pan weegt 2800 gram).  
Verbruik voor roodstoken 0,5 kg kolen/pan, voor het smoken 1000 kg kolen per oven extra.

Later zijn nog enkele metingen verricht in het rookgaskanaal en in de schoorsteen in verband met explosiegevaar. De samenstelling van het gas was:

in het rookgaskanaal vlak achter de schuif,  
tijdens gaarstoken: 0,01%  $H_2$ , 18,3%  $O_2$ , 78,5%  $N_2$ , 3,2%  $CO_2$   
vlak voor sluiten : 0,01%  $H_2$ , 15,2%  $O_2$ , 73,0%  $N_2$ , 11,8%  $CO_2$   
in de schoorsteen : 0,01%  $H_2$ , 19,0%  $O_2$ , 79,4%  $N_2$ , 1,3%  $CO_2$

Wat betreft het explosiegevaar kan de gassamenstelling in het rookgaskanaal en de schoorsteen beschouwd worden alsof het de samenstelling van lucht heeft.

Samenvatting en conclusies.

Een overzicht wordt gegeven van wat er bekend is in de literatuur over het blauwstoken van dakpannen. De gasevenvichten die mogelijk op kunnen treden worden besproken met een aantal literatuurgegevens.

Proeven werden verricht waarbij gereduceerd werd met aardgas-steen-mengsels en met onvolledig verbrand aardgas (reducerende vlam). Geconstateerd werd dat de reductie met een reducerende vlam vlotter verloopt dan met aardgas-steen-mengsels terwijl de kans op roetvorming kleiner is. In een waterdamp-atmosfeer treedt geen heroxydatie op. In lucht treedt beneden 400 °C geen heroxydatie meer op. De samenstelling van het reducerende gas kan zodanig zijn dat geen gevaar voor explosie gevreesd hoeft te worden.

De metingen in de praktijk door de Gasunie worden vermeld. De beste manier om in de praktijk blauwe pannen te stoken lijkt ons om gaar te stoken in een oxyderende atmosfeer, daarna de branders zo instellen dat een reducerende atmosfeer ontstaat. Deze reducerende atmosfeer enige tijd handhaven met open schuif. Daarna de oven afsluiten en laten afkoelen terwijl de atmosfeer in de oven vervangen wordt door waterdamp. Handhaven van een overdruk in de oven tijdens de afkoeling is noodzakelijk om het naar binnen lekken van luchtzuurstof heroxydatie ten gevolge kan hebben.

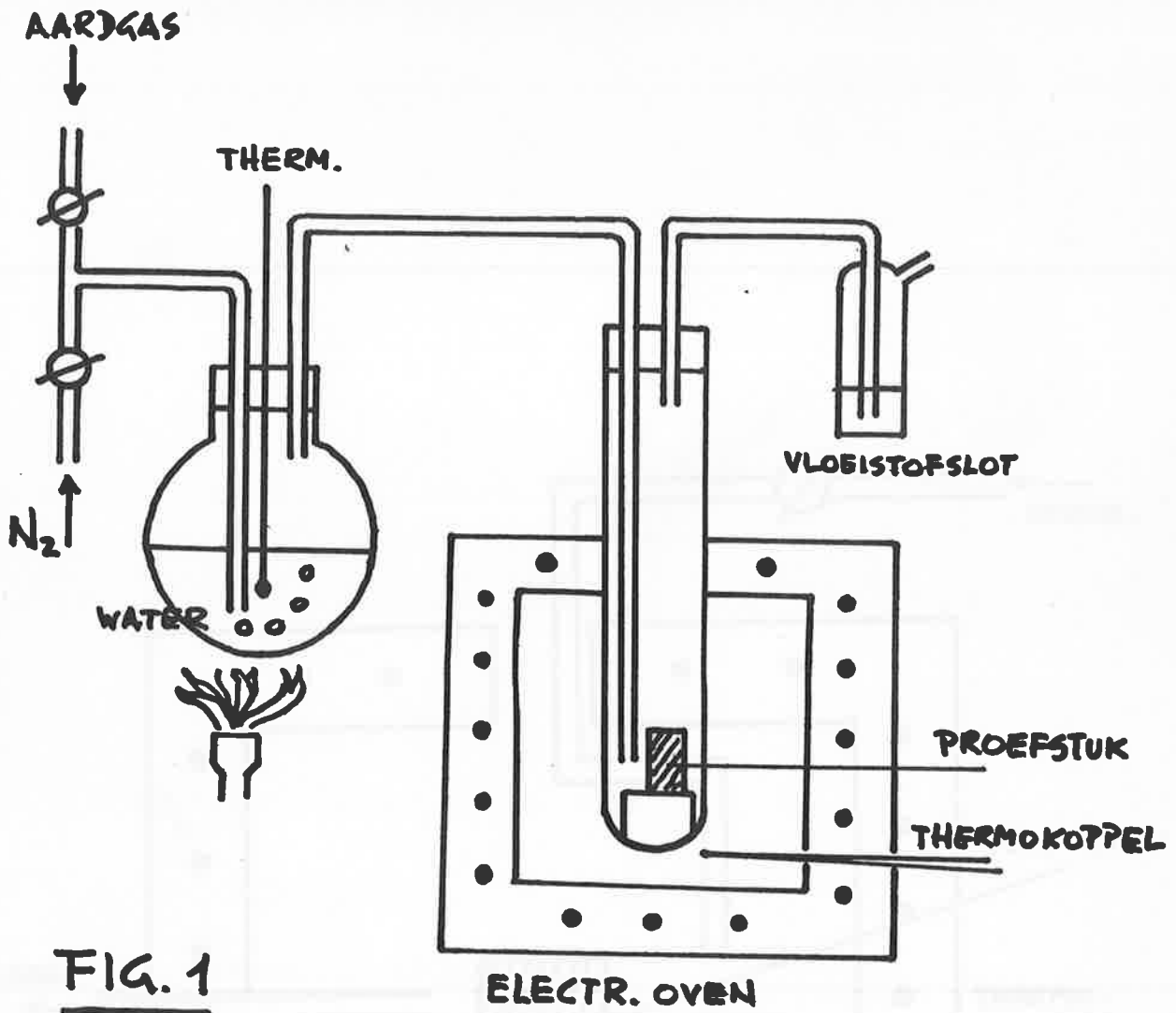


FIG. 1

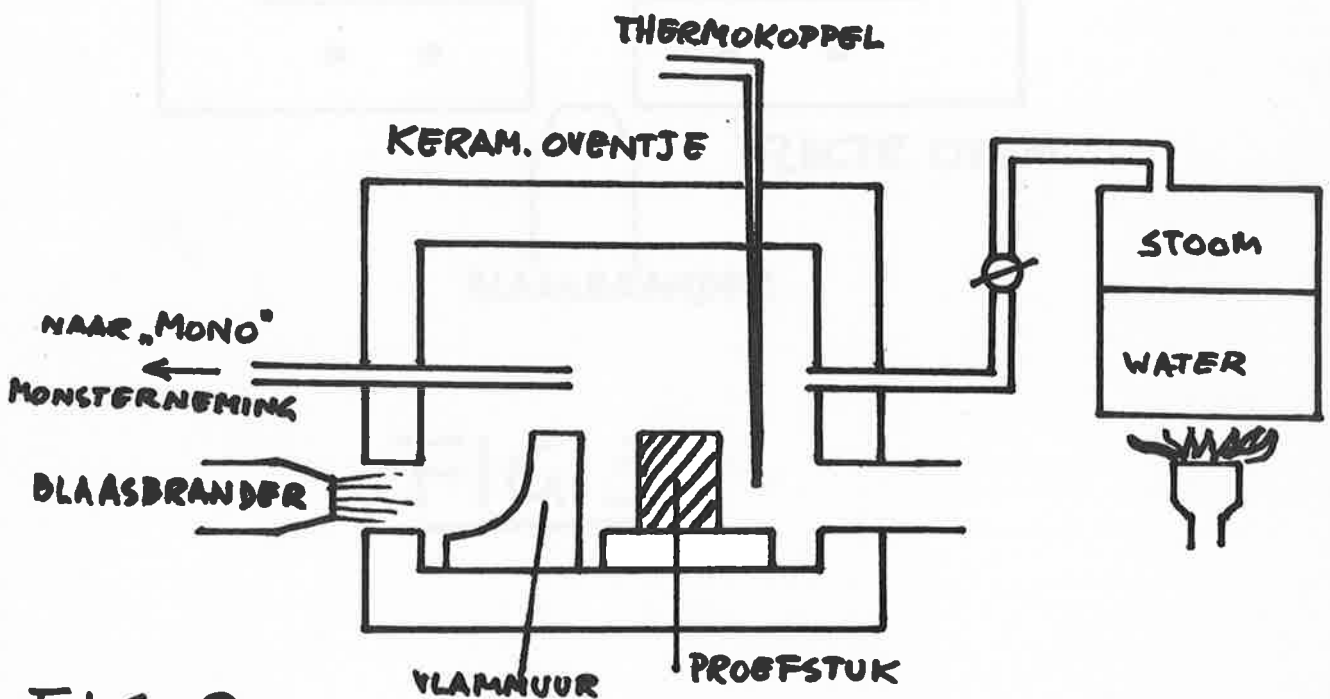


FIG. 2



