

A
15
48

09255+096261+ 096291

PROEFSTATION VOOR DE GROENTEN- EN FRUITTEELT ONDER GLAS
TE NAALDWIJK

VERSLAG METINGEN AFGASSEN VAN KETELINSTALLATIES
OP AARDGAS

door

Ir. N. van Berkel

Naaldwijk, september 1972
No. 527=1972

2215510

Inhoud	Pag.
1. Inleiding	3
2. Proefopstelling	4
3. Tekortkomingen bij de meting	6
4. Resultaten en bespreking	7
4.1 Gassen, die onafhankelijk zijn van onvolledige verbranding	8
4.2 Gassen, die ontstaan bij onvolledige verbranding	9
5. Verbeteringen bij de meting	11
5.1 Verliezen door condensatie waterdamp	11
5.2 Wisselende hoeveelheid rookgassen	11
5.3 Wisselende temperaturen rookgassen	11
5.4 Verdunning in een mengfles	12
6. Samenvatting	12.

1. Inleiding

Uit een gesprek tussen Ir. *Brasser* (Instituut voor Gezondheidstechniek TNO -IG - TNO) te Delft en Ir. *van Berkel* en Dr. *Bravenboer* (Proefstation) te Naaldwijk, bleek dat van beide zijden belangstelling bestond meer te weten te komen over de samenstelling van de afgassen van grote ketelinstallaties, die op aardgas gestookt worden.

De belangstelling van het IG-TNO gold de bijdrage van stookinstallaties in de milieubelasting, het Proefstation had tevens belangstelling uit het oogpunt van CO₂-dosering. Met name voor de componenten CO, C₂H₄ en aldehyden.

Het gesprek resulteerde in het besluit om metingen te gaan doen. IG-TNO heeft een meetset beschikbaar. Maar de mankracht om monsters te nemen ontbreekt voorlopig. Mogelijk dat vanaf oktober studenten, die milieubeheer tot studierichting hebben, zulks kunnen doen. Vóór oktober zal het Proefstation mankracht beschikbaar stellen.

De metingen zullen de volgende gassen betreffen :

NO₂ en NO

aldehyden

gasvormige koolwaterstoffen, CH₄ tot en met C₆H₁₄

C₂H₄ en hogere onverzadigde verbindingen

CO en CO₂.

Een en ander zal geschieden in nauw overleg met Ir. *Huygen* van IG-TNO.

Voor de metingen is het bedrijf van de Gebr. *De Vogel*, Koningshof 22, Pijnacker gekozen. Aangezien niet duidelijk voor ogen stond welke eisen aan een bedrijf moeten worden gesteld om zinvol metingen te doen, werd de keuze van het bedrijf bepaald door motieven als de afstand tot Delft en het feit dat gedurende de gehele dag CO₂ werd gedoseerd.

2. Proefopstelling

Het gekozen bedrijf heeft een oppervlakte van 12.000 m².

Er worden vroege tomaten geteeld. De verwarming geschiedt met een kleine ketel van 1 miljoen Kcal (70 m² VO).

Afhankelijk van de vraag naar warmte werkt deze bij wisselende belastingen. Wordt meer warmte gevraagd dan deze ketel kan leveren, dan wordt ook een grotere ketel ingeschakeld.

Het benodigde CO₂ wordt verkregen uit de rookgassen van de kleine ketel. Incidenteel uit een mengsel van kleine en grote ketel.

De rookgassen worden met behulp van een ventilator, via een aftakking in de rookgang achter de ketel, aangezogen. Vlak voor de ventilator zit een klep, via welke buitenlucht wordt bijgemengd. Hierdoor worden de rookgassen verdund en daalt de temperatuur.

De stand van de klep is van twee factoren afhankelijk :

1. Van aanwezig CO. De hoeveelheid CO wordt binnen de perken gehouden door een beveiligingstoestel, dat aanwezige CO katalytisch na verbrandt. Is er te veel CO, dan sluit de klep de toevoer van afgassen volledig af en wordt alleen buitenlucht aangezogen.
2. Van de temperatuur van het mengsel buitenlucht en afgassen in de transportleiding achter de ventilator. Is deze hoog, dan gaat de klep verder dicht, zodat meer buitenlucht wordt toegevoegd om de temperatuur op 80°C te houden.

Het mengsel *afgassen /lucht* wordt in een ruime kunststoffen leiding gestuwd. Hierdoor stroomt het naar de kas. De leiding vertakt zich daar in leidingen van veel geringere diameter. Bovendien zijn deze leidingen geperforeerd. Via de gaatjes stroomt het mengsel in de kas en vermengt zich met de kaslucht.

Met het oog op de metingen werd besloten om afgassen rechtstreeks uit de geperforeerde leiding te zuigen. De alternatieve mogelijkheden, afzuigen uit de rookgang nabij de ketel en bemonsteren van de kaslucht waren minder geschikt. De eerste omdat te verwachten was dat de grote hoeveelheid waterdamp als condenswater de metingen

afbreuk zouden doen, de tweede omdat bij de automatische regeling van de temperatuur in de kas wisselende hoeveelheden buitenlucht zich met de kaslucht vermengen. Bleef dus de *derde* mogelijkheid over.

Daar het optreden van condens de metingen sterk bemoeilijkt, werd hiervoor een voorziening getroffen. Weliswaar hebben de gassen op weg naar de geperforeerde leidingen door afkoeling reeds veel waterdamp verloren, maar om elke kans op condensvorming in de meetapparatuur te voorkomen werd de aangezogen monsterlucht in een mengfles gemengd met gedroogde kaslucht in de verhouding van ongeveer 1 : 10.

Ten behoeve van de verschillende metingen werd voor elke component apart, gas uit de mengfles gezogen.

Voor NO_2 en NO werd het gas door wasflesjes geleid die waren gevuld met alkalische absorptie-vloeistof, voor de aldehyden ging het gas door wasflesjes met reagens van de MBTH-methode. Telkens werden na een uur automatisch nieuwe wasflesjes aangesloten.

Voor C_2H_4 en de gasvormige koolwaterstoffen werd heel langzaam een zak met gas gevuld. Na een uur werden ze omgewisseld voor een nieuwe. Naderhand werden de gasmonsters langs gaschromatografische weg geanalyseerd.

Ter bepaling van het CO -gehalte stroomde het gas continu door een registrerend meettoestel, dat werkte op basis van infrarood-absorptie.

Het monster voor de CO_2 -bepaling werd anders als bij de andere componenten in het laatste kwartier van elk uur getrokken. In die tijd werd een infuusfles met gas gevuld. Met $\text{Ba}(\text{OH})_2$ en fenolftaleïne als indicator werd de hoeveelheid CO_2 bepaald.

De CO_2 -meting had een bijzondere betekenis. Het CO_2 -gehalte zou worden gebruikt als correctiefactor om de meetwaarden voor de andere gascomponenten kwantitatief te bepalen.

Om het kwartier werd van de gassen in de geperforeerde leiding de temperatuur afgelezen. Deze verschaftte een indruk van het al of niet geblokkeerd zijn van de toevoer van rookgassen of van de mate van bijmengen van koele buitenlucht. Daling van de temperatuur betekent volledig of gedeeltelijk afsluiten van de klep, waardoor het aandeel van koele buitenlucht in het mengsel toeneemt.

3. Tekortkomingen bij de meting

Voordat de resultaten en hun bespreking worden gegeven, moet worden opgemerkt, dat de gemeten waarden in de tabellen hieronder geen juist beeld geven van de concentratie van de rookgassen bij de ketel.

Ook is het niet mogelijk het beeld te verbeteren door de gemeten waarden te corrigeren, zoals hierna zal blijken.

Er zijn verschillende tekortkomingen die de gemeten waarden lager doen zijn dan in werkelijkheid, te weten :

1. Verliezen door condensatie waterdamp

Onderweg van de ketel naar de monsterplaats gaat veel van de aanwezige waterdamp door condensvorming verloren. Een deel van de gassen, die relatief sterk in water oplossen, zoals NO_2 en CO_2 gaan daarbij ook verloren. Daardoor worden op de monsterplaats te lage waarden gemeten.

2. Verdunning afgassen bij de ketel

In hoofdstuk 2 (blz. 4) is deze oorzaak beschreven. Het gevolg van de verdunning is een voortdurend wisselen van het gehalte van alle gassen. Hoe meer secundaire lucht wordt bijgemengd, hoe lager het gehalte is.

Een indruk van de verdunning wordt verkregen uit de temperatuur van het mengsel op de plaats van bemonstering (zie tabel 2). Hoe lager de temperatuur, hoe meer secundaire lucht is bijgevoegd.

3. Wisselende belasting van de ketel

Dit heeft tweeërlei effect :

3.1 wisselende hoeveelheid afgassen

Afhankelijk van de vraag naar warmte zal de ketel meer of minder aardgas verbranden. Daarmee gepaard zal er ook meer of minder rookgas per tijdseenheid worden geproduceerd en via de schoorsteen worden afgevoerd. Bij bepaalde klepstand wordt een konstant volume afgassen aangezogen. Dit volume is evenwel geen konstant percentage van de totale hoeveelheid rookgassen gezien de wisselende belasting.

3.2 wisselende temperatuur

Met veranderingen in de belasting gaan gepaard wisselingen van de temperatuur van de afgassen. Dit heeft schommelingen in het gewicht per volume-eenheid van het gasmengsel en derhalve van de samenstellende componenten tot gevolg.

4. Verdunning in de mengfles

In de mengfles werd het te analyseren gasmengsel gemengd met droge lucht, ongeveer in de verhouding 1 : 10.

In deze verhouding ging ^{dus} ook het gehalte van de componenten omlaag. De preciese verhouding is niet bekend, daar is verzuimd om van de correctiegrootheid CO_2 , naast het gehalte van het mengsel in de fles, ook het gehalte van het monster-gas vóór de menging te bepalen.

5. Uiteenlopende monsterperioden

De verkregen CO_2 -waarden zijn ook om een tweede reden niet voor een correctie te gebruiken. Ze berusten op een bemonstering tijdens het laatste kwartier van elk uur. Aangezien de toestand in deze periode drastisch kan afwijken van die in de rest van het betrokken uur zijn deze CO_2 -waarden niet geschikt om de verdunningsfactor vast te stellen. De variatie in de CO_2 -waarde loopt verre van parallel met die van de NO -waarden.

4. RESULTATEN EN BESPREKING

Door de tekortkomingen zoals in hoofdstuk 3 (blz. 6) beschreven, hebben de meetresultaten een beperkte waarde. Over de werkelijke concentraties van de gascomponenten valt niets te zeggen. Wél over de onderlinge verhouding van de componenten en het verloop gedurende een dag.

Voor de eenvoud is onderscheiden in gassen, waarvan het voorkomen afhankelijk is van de temperatuur bij de verbranding en gassen, die slechts optreden als de verbranding onvolledig is. Tot de eerste groep behoren NO en NO_2 ; tot de tweede groep de overige. CO_2 wordt gemakshalve bij de eerste groep ondergebracht.

4.1 Gassen, die onafhankelijk zijn van onvolledige verbranding

In onderstaande tabel zijn de uursgemiddelden van NO en NO₂ en de kwartiers-gemiddelden van CO₂ vermeld. De getallen voor de uren betekenen bij NO en NO₂ het einde van het voorafgaande uur.

(Bijvoorbeeld : 7 betekent het tijdvak van 6 - 7 uur); bij CO₂ het einde van het voorafgaande kwartier (Bijvoorbeeld : 7 staat voor 6.45 - 7.00 uur).

Tabel 1 Gehalten aan NO ; NO₂ (mg/m³) en CO₂ (volume %)

Uur Gas	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
NO	5,0	3,4	4,8	2,7	0,1	2,3	3,6	3,6	1,5	3,3
NO ₂	0,6	0,6	0,3	0,3	0,0	0,3	0,6	0,6	0,3	0,6
CO ₂	0,05	0,18	0,47	0,09	0,11	0,13	0,21	0,31	0,42	0,20

De waarden voor NO₂ zijn erg onnauwkeurig. Door een slechte werking van het pompje bij de monsterneming was de luchthoeveelheid bij de NO₂-bepaling te laag. Over NO₂ zal daarom in het vervolg niets worden gezegd.

De NO-waarden lopen sterk uiteen. Dit is in de eerste plaats het gevolg van de wisselende temperaturen in de vuurhaard van de ketel. Hoe hoger de temperatuur hoe meer NO er ontstaat. De hoogste waarden mag men daarom verwachten in perioden, waarin de ketel veel warmte moet leveren. Dat zijn de vroege ochtenduren. In de tijd van 6 - 9 uur komen juist de hoogste NO-waarden voor.

Verder zijn de schommelingen afhankelijk van de verhouding afgassen / secundaire lucht. Zoals we zagen werd deze geregeld in afhankelijkheid van het CO-gehalte en de temperatuur van het mengsel achter de ventilator.

Een indruk omtrent deze verhouding wordt verkregen uit de temperatuur van het mengsel op de plaats van bemonstering. Hoe meer secundaire

lucht is bijgevoegd, hoe lager de temperatuur is (zie tabel 2).

Tabel 2 Gemiddelde temperaturen van het gasmengsel ($^{\circ}\text{C}$)

Uur	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Temperatuur	36,9	33,5	42,9	34,4	25,0	33,9	37,8	40,4	36,1	38,7

Een dieptepunt in de NO-getallen is de waarde 0,1 van 10 - 11 uur. Er werd ook een lage temperatuur gemeten. Kennelijk is in deze periode veel secundaire lucht bijgemengd. Overigens geeft de temperatuur niet steeds een goede indicatie of een hoge NO-waarde zal worden gevonden. De aangegeven temperatuur is het gemiddelde van 5 momentane waarnemingen, terwijl de NO-waarde verkregen is door continue bemonstering.

De ware hoogte van de NO-getallen kon niet worden vastgesteld. Hiertoe ontbrak de verdunningsfactor. De CO_2 -waarden waren niet geschikt om deze te leveren, zoals in hoofdstuk 3, punt 4 is opgemerkt.

4.2 Gassen, die ontstaan bij onvolledige verbranding

In onderstaande tabel 3 staan de hoeveelheden gasvormige koolwaterstoffen (waaronder ethyleen (etheen) vermeld. Ook is CO opgenomen; hiervan zijn vermeld de piekhoogten en de tijdsduur van optreden, in minuten.

Tabel 3 Gehalten aan aldehyden ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en diverse koolwaterstoffen (inclusief CO) in dpm.

Gas \ Uur	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Methaan	0,15	0,15	0,14	0,02	0,16	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
Ethaan	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Etheen	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Propaan	0,01	0,13	0,16	0,05	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01
Acethyleen				0,01						
I-butaan				<0,01		<0,01	<0,01	<0,01		
N-butaan		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
I-buteen	<0,01	0,01	0,01	0,01		<0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Aldehyden	2	5			4	14	38	16		
CO	1	1	8	4;12		1;1	1;1			
	4'	4'	0,3'	0,3';05'		10';10'	5';5'			

Er is weinig CO opgetreden, overwegend lage pieken. Dit was het gevolg van de beveiligingsapparatuur. Zodra er maar even CO ontstond, gaf het beveiligingstoestel een signaal aan de klep, om de toevoer van afgassen af te sluiten.

Door verschillende oorzaken kon CO ontstaan :

1. Door het inschakelen van de grote ketel
Dit gebeurde twee maal in de tijdvakken 6 - 7 en 7 - 8 uur.
2. Door het in bedrijf komen van een compressor, die de kasluchting bediende, hetgeen veel electrisch vermogen vroeg. Tijdelijk verminderde het beschikbare vermogen voor de ventilator, die de luchttoevoer van de ketel verzorgde. Hierdoor ontstond korte tijd een verkeerde verhouding brandstof / lucht, hetgeen leidde tot tijdelijke CO-vorming. In het tijdvak van 8 tot 10 uur traden enkele storingen van deze aard op.
3. Door manipulaties aan de verwarmingsinstallatie.
Een technicus van het beveiligingstoestel bracht om het toestel te testen, enkele kunstmatige storingen teweeg. Dit vond plaats in de periode 11 - 13 uur. Door de aanwezigheid van de beveiliging kon er slechts weinig CO op de bemonsteringsplaats komen.

Met het bovenstaande is tevens verklaard waarom de gehalten van de koolwaterstoffen ook niet hoog konden oplopen. Immers deze zijn net als het gehalte van CO afhankelijk van het optreden van onvolledige verbranding. De hoogste gehalten bereikte methaan. Ze lagen op een konstant niveau.

Alleen bij propaan waren er enkele uitschieters, vroeg op de dag.

Bij de aldehyden waren ^{er} evenzo uitschieters, midden op de dag.

Vergelijking van de gehalten van de koolwaterstoffen en van CO wijst hier niet op een verband. Alleen bij de aldehyden zien we relatief hoge waarden als de hoeveelheid CO het grootst is. Bij propaan zijn er enkele uitschieters in de perioden als de grote ketel wordt ingeschakeld.

Of er werkelijk verbanden tussen het optreden van CO en koolwaterstoffen of tussen koolwaterstoffen onderling bestaan, zullen verdere metingen moeten leren.

5. VERBETERINGEN BIJ DE METING

Door tekortkomingen bij de monsterneming hadden de meetuitkomsten een beperkte waarde. In hoofdstuk 3 is beschreven welke tekortkomingen er aan de metingen kleefden. Ter verbetering van de toestand wordt hieronder nagegaan wat er aan kan worden gedaan.

5.1 *Verliezen door condensatie waterdamp*

Door verplaatsing van de monsterplaats uit de teeltruimte naar de rookgang achter de ketel wordt voorkomen dat een onbekende hoeveelheid waterdamp onderweg condenseert en onbekende verliezen van NO_2 en CO_2 optreden.

Bemonstering direkt uit de rookgang achter de ketel is gemakkelijk te realiseren als de hete rookgassen kunnen worden gekoeld. Dit is mogelijk met een eenvoudig toestel voorzien van waterkoeling. Het condensaat wordt in een fles opgevangen en kan worden bemonsterd op NO_2 en CO_2 . Deze methode heeft bovendien het voordeel, dat men onafhankelijk wordt van de wijze waarop gassen aan de rookgang worden onttrokken en worden geconditioneerd voor het CO_2 -doseren in de kassen.

5.2 *Wisselende hoeveelheid rookgassen*

Voor een goede schatting van de totale emissie aan NO_2 enz., is het niet voldoende alleen het gehalte van de componenten te kennen. Ook de wisselingen in de hoeveelheid rookgassen moet bekend zijn.

Een goede indruk hiervan wordt verkregen als per meetperiode de hoeveelheid verbruikt aardgas wordt afgelezen en de luchtfactor wordt gemeten.

Deze factor is een maat voor de hoeveelheid lucht die voor de verbranding van het aardgas wordt toegevoerd.

5.3 *Wisselende temperaturen rookgassen*

Om twee redenen is meting van de temperatuur van de rookgassen gewenst. In de eerste plaats wegens het verband dat er tussen de emissie van N-oxiden en de temperatuur bestaat. De temperatuur van de rookgassen hangt samen met de temperatuur van de vuurhaard, waar de N-oxiden ontstaan. Voorts is een temperatuur meting gewenst om de emissie van van verschillende ketelinstallaties met elkaar te vergelijken.

5.4 Verdunning in een mengfles

Mochten de te bemonsteren rookgassen tijdens de koeling nog niet voldoende vocht hebben verloren, dan kan een verdunning met droge lucht in een verhouding van circa 1 : 10 nodig zijn. Wel moet precies worden vastgesteld hoe groot de mate van verdunning is. Dit geschiedt door het gehalte van een gas *voor* en *na* de verdunning te meten. Het beste is hiervoor NO te gebruiken, een gas dat zeer weinig in water oplost.

6. SAMENVATTING

- Het Proefstation te Naaldwijk heeft in samenwerking met het Instituut voor Gezondheidstechniek TNO metingen verricht aan een ketelinstallatie, gestookt op aardgas. Het doel van de metingen was om een beeld te krijgen van de bijdrage, die een ketelinstallatie aan de milieubelasting kan leveren.
De volgende componenten uit de rookgassen zijn gemeten :
NO₂
NO
aldehyden
gasvormige koolwaterstoffen CH₄ t/m C₆H₁₄
C₂H₄ en hogere onverzadigde verbindingen
CO en CO₂.
- Door verschillende oorzaken leverden de meetgegevens slechts informatie van relatieve waarde.
- Er worden verschillende aanbevelingen gedaan, teneinde toekomstige metingen beter tot hun recht te laten komen.