

Odin B.V. Technische Apparaten Fabriek

Wiltonstraat 23
NL-2722NG Zoetermeer
The Netherlands

Tel. +31 (0) 793 315 302
Fax. +31 (0) 798 900 398
URL www.hasmi.nl
Email info@hasmi.nl
swift ABNANL2A

ABN/AMRO 51.68.11.010
ING 38.92.851
K.v.K 27092718
BTW No. 004559150B01
IBAN NL82ABNA0516811010

Afleiding van de basisvergelijking voor de constructie van een zelf-luchtaanzuigende branderkop

Intellectueel eigendom van:

Odin verbindings technieken,
Hasmi Propaan gereedschappen
Auteur: P.R. van 't Wout
Datum: 10-02-1983

Wiltonstraat 23
2722NG Zoetermeer
www.hasmi.nl



H A S M I propaangereedschap

Odin B.V. Technische Apparaten Fabriek

Wiltonstraat 23
NL-2722NG Zoetermeer
The Netherlands

Tel. +31 (0) 793 315 302
Fax. +31 (0) 798 900 398
URL www.hasmi.nl
Email info@hasmi.nl
swift ABNANL2A

ABN/AMRO
ING
K.v.K
BTW No.
IBAN

51.68.11.010
38.92.851
27092718
004559150B01
NL82ABNA0516811010

Inhoudsopgave

1	Voorwoord.....	4
2	Inleiding	5
3	Uitgangspunten voor de constructie van een branderkop.....	6
3.1	De capaciteit van de branderkop	6
3.2	Het gewenste vlambeeld.....	6
3.3	Aanbod van het gas en de aanzuiging van lucht	7
3.4	De gassoort.....	7
4	De vergelijking die ten grondslag liggen van de afleiding van de basisvergelijking.....	8
4.1	Schematische voorstelling van de branderkop	8
4.2	Opstelling van de vergelijking.....	9
4.3	Beschouwing van de vergelijking en de onbekenden	10
4.4	Strategie voor het oplossen van de vergelijking	11
5	Oplossen van de vergelijking.....	12
6	Discussie	15
7	Verklaring van symbolen	16

1 Voorwoord

Dit Rapport omvat de afleiding van de basisvergelijking voor de constructie van een zelf-luchtaanzuigende branderkop.

Vanuit een vlam met een gewenste capaciteit en vlambeeld en de condities van het gas (gassoort, druk van het gas) kan met de basisvergelijking worden bekeken of aan deze voorwaarden een branderkop voldoet.

Voldoet er een branderkop dan is de basisvergelijking oplosbaar, zoniet dan is de basisvergelijking niet oplosbaar. Uit de oplossing van de basisvergelijking volgen gegevens voor de constructie van de branderkop.

2 Inleiding

Dit Rapport omvat de afleiding van de basisvergelijking voor de constructie van een zelf-luchtaanzuigende branderkop. Deze afleiding ligt in het kader van het onderzoek om de industriële Hasmi-propaan branders aan te passen voor aardgas gebruik dat plaatsvindt voor Hasmi Technische apparaten B.V. te Zoetermeer. Een draaiboer van dit onderzoek staat in het praktijkverslag "Inleiding tot het onderzoek om de industriële Hasmi-Propaan branders aan te passen voor Aardgas gebruik".

Onderzoek door P.R. van 't Wout, H.T.S. Rijswijk

De branderkop is de schakel tussen de toevoer van gas en de aanzuiging van lucht enerzijds en de vlam anderzijds.

De branderkop moet de gas- en luchtstroom goed en in de juiste verhouding mengen zodat er een volledige verbranding plaatsvindt en moet door zijn geometrie de gewenste vlam produceren.

De constructie van de branderkop wordt bepaald door het aanbod van gas en lucht enerzijds en de gewenste vlam anderzijds. Daarom moet er een vergelijking worden opgesteld waarin de gegevens over het aanbod van gas en lucht en de gewenste vlam de invoer vormen en waaruit gegevens over de constructie van de branderkop volgen.

De samenstelling van de invoer bepaald of de vergelijking oplosbaar is m.a.w. of er een branderkop te construeren die onder de gegeven condities de gewenste vlam kan produceren.

Met behulp van de gevonden basisvergelijking kan de theoretisch mogelijke collectie aardgasbranders worden bepaald.

3 Uitgangspunten voor de constructie van een branderkop

Een branderkop is een systeem dat als input gas en lucht en als output een vlam met een bepaalde capaciteit en een bepaald vlambeeld heeft.



Uitgangspunten voor de constructie van de branderkop zijn de gewenste capaciteit, het gewenste vlambeeld, aanbod van gas, aanzuiging van lucht en de gassoort.

3.1 De capaciteit van de branderkop

De capaciteit is de hoeveelheid warmte die bij (volledige) verbranding per tijdseenheid wordt geproduceerd.

De capaciteit is afhankelijk van de calorische onderwaarde (stookwaarde) van de gassoort en afhankelijk van de doorstroomende hoeveelheids gas per tijdseenheid.

Bij het gebruik van dezelfde gassoort kan de capaciteit van de branderkop worden gevarieerd door de doorstroomende hoeveelheid gas te variëren.

De doorstroomende hoeveelheids gas per tijdseenheid kan worden vastgelegd door de uitstroomsnelheid (V_a) en het uitstroomoppervlak (A_o).

3.2 Het gewenste vlambeeld

Het vlambeeld is de vorm en de grootte van de vlam. Voor wat betreft de vorm van de vlam is voor Hasmi alleen de ronde, volle, convergerende vlam van belang.

De grootte van de vlam wordt bepaald door de uitstroomsnelheid (V_o) en het uitstroomoppervlak (A_o).

3.3 Aanbod van het gas en de aanzuiging van lucht

Om een goede verbranding te bewerkstellingen moet de branderkop een goed en in de juiste verhouding gemengd mengsel van gas en lucht produceren.

Het gas wordt onder druk aangeboden en de lucht moet door het gas worden aangezogen. Het gas en de lucht moeten zich mengen in de branderkop en daarna uitstromen in de atmosfeer. Het proces dient stationair te verlopen.

Voor wat betreft de stroming van gas en lucht is dit het principe van de ejecteur zoals dat beschreven staat in : Ir L.A. van de Putte, Stromingsleer ; Amsterdam /Brussel, Agon Elsevier, 1975, p 105-108.

De afleiding van de basisformule gaat analoog aan de afleiding van de ejecteurs zoals dat daarin beschreven staat.

3.4 De gassoort

Elke gassoort is anders en de verschillen tussen de gassoorten spelen ook door in de constructie van de branderkop.

De eigenschappen van elke gassoort die voor de constructie van de branderkop van belang zijn, zijn:

- De calorische onderwaarden (stookwaarde) (H_i);
- De dichtheid (P);
- De Stoichiometrische luchtbehoefte (I).



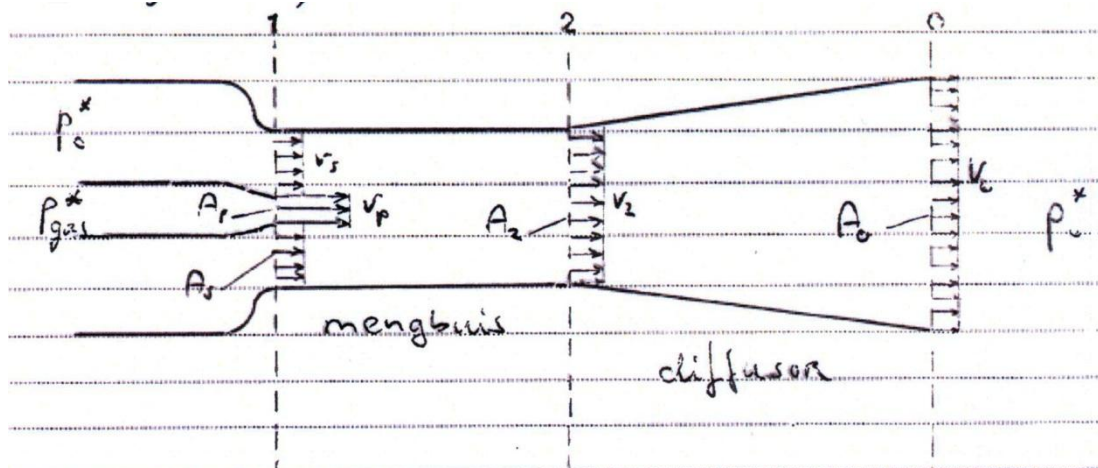
4 De vergelijking die ten grondslag liggen van de afleiding van de basisvergelijking

De branderkop werkt volgens het principe van de ejecteur.

Er wordt van een ideaalbeeld uitgegaan:

De stroming is stationair en wrijvingsloos, verder wordt verondersteld dat het gas en lucht goed mengt. De afleiding wordt algemeen gehouden, in die zin dat hij voor alle gassoorten van toepassing is.

4.1 Schematische voorstelling van de branderkop



Zwaartekrachtinvloeden worden buiten beschouwing gelaten



H A S M I propaangereedschap

Odin B.V. Technische Apparaten Fabriek

Wiltonstraat 23
NL-2722NG Zoetermeer
The Netherlands

Tel. +31 (0) 793 315 302
Fax. +31 (0) 798 900 398
URL www.hasmi.nl
Email info@hasmi.nl
swift ABNANL2A

ABN/AMRO
ING
K.v.K
BTW No.
IBAN

51.68.11.010
38.92.851
27092718
004559150B01
NL82ABNA0516811010

4.2 Opstelling van de vergelijking

Aan het begin van de mengbuis ter plaatse van doorsnede 1 heerst een druk P^* . De lucht, de secundaire stroom, wordt aangezogen uit de vrije atmosfeer waar de druk P_o^* heerst. De mengbuis is cilindrisch en heeft overal dezelfde doorsnede. De lucht en het gas worden volledig gemengd in de mengbuis. De snelheid aan het einde van de mengbuis (2) is homogeen evenals de snelheid aan het einde van de Diffusor. De intreesnelheid van de lucht en het gas aan het begin van de mengbuis(1) zijn ook homogeen. Het mengsel stroomt uit de diffusor in de vrije atmosfeer.

Nu gelden de volgende vergelijkingen:

Bij doorsnede van 1:

$$P_o = P_1^* + \frac{1}{2} \rho_5 v_5^2 \quad (1) \text{ Bernoulli}$$

$$P_{\text{gas}} = P_1^* + \frac{1}{2} \rho_5 v_5^2 \quad (2) \text{ Bernoulli}$$

Volgens de continuïteitsbetrekking geldt:

$$P_1 A_p V_p + P_5 A_5 V_5 = P_2 A_2 V_2 \quad (3)$$

Daar de mengbuis cilindrisch is geldt:

$$A_2 = A_p + A_5 \quad (4)$$

Om een Stoichiometrische verbranding bewerkstelligen:

$$A_5 V_5 = l A_p V_p \quad (5)$$

De dichtheid van het mengsel ter plekke van doorsnede 2

$$\rho_2 = (P_5 + l P_5) / l + 1 \quad (6)$$

De impulsbetrekking toegepast in de asrichting:

$$P_1^* + \frac{1}{2} \rho_2 v_2^2 = P_o + \frac{1}{2} \rho_2 v_2^2 - P_p A_p v_p^2 - P_5 A_5 v_5^2 \quad (7)$$

In de diffusor:

$$P_2^* + \frac{1}{2} \rho_2 v_2^2 = P_o^* + \frac{1}{2} \rho_2 v_o^2 \quad (8)$$

$$\text{en } A_2 V_2 = A_o V_o \quad (9)$$



4.3 Beschouwing van de vergelijking en de onbekenden

In de 9 vergelijkingen bevinden zich 16 grootheden te weten:

$$p_0^*, p_{gas}^*, p_1^*, p_2^*$$

$$p_1, p_s, p_2$$

$$A_1, A_s, A_2, A_0$$

$$v_1, v_s, v_2, v_0$$

$$l$$

Er zijn 7 behouden, te weten

$$p_0^*, p_{gas}^*$$

$$p_1, p_s$$

$$A_0$$

$$v_0$$

$$l$$

Dit betekent dat er 9 vergelijkingen met 9 onbekenden zijn, hieraan zal resulteren in 1 oplossing. Of de oplossing reëel is (d.w.z. niet imaginair) hangt af van de waarden van de bekende

Hier is prettiger om met gereduceerde drukken te werken, de vergelijkingen luiden dan:

$$0 = p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 \quad (1)$$

$$p_{gas} = p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 \quad (2)$$

$$p_1 A_1 v_1 + p_s A_s v_s = p_2 A_2 v_2 \quad (3)$$

$$A_2 = A_1 + A_s \quad (4)$$

$$A_s v_s = l A_1 v_1 \quad (5)$$

$$p_2 = \frac{p_1 + l p_s}{l + 1} \quad (6)$$

$$p_1 (A_1 + A_s) - p_2 A_2 = p_2 A_2 v_2^2 - p_1 A_1 v_1^2 - p_s A_s v_s^2 \quad (7)$$

$$p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 = \frac{1}{2} \rho v_0^2 \quad (8)$$

$$A_2 v_2 = A_0 v_0 \quad (9)$$



Odin B.V. Technische Apparaten Fabriek

Wiltonstraat 23
NL-2722NG Zoetermeer
The Netherlands

Tel. +31 (0) 793 315 302
Fax. +31 (0) 798 900 398
URL www.hasmi.nl
Email info@hasmi.nl
swift ABNANL2A

ABN/AMRO
ING
K.v.K.
BTW No.
IBAN

51.68.11.010
38.92.851
27092718
004559150B01
NL82ABNA0516811010

4.4 Strategie voor het oplossen van de vergelijking

De bekenden zijn: p_{gas} , p , p_s , A_0 , v_0 en l .
De geometrie van de branderstop wordt bepaald door A_p , A_s , A_2 en A_0 . A_0 is reeds bekend en $A_2 = A_p + A_s$ (4).
Alles moet dus worden uitgedrukt in de bekenden A_p en A_s , waardoor er uiteindelijk twee vergelijkingen overblijven met A_p en A_s als onbekenden, waaraan A_p en A_s dan kunnen worden opgelost.

Bij het oplossen wordt de volgende strategie toegepast:

- 1 de onbekenden (behalve A_p en A_s) uitdrukken in de bekenden A_p en A_s ,
- 2 de twee overgebleven vergelijkingen vereenvoudigen dan de constanten uitdrukken in l (de constanten zijn een functie van de bekenden).
 A_p wordt x en A_s wordt y ,
- 3 de twee "nieuwe" vergelijkingen oplossen in x , hetgeen de basisvergelijking in y geeft. na een tweede vereenvoudiging van de constanten.



5 Oplossen van de vergelijking

(5), (6) en (9) invullen in (3).

$$p_p A_p v_p + p_s l A_p v_p = \frac{(p_p + l p_s)}{l+1} A_0 v_0$$

$$\Rightarrow v_p = \frac{A_0 v_0}{A_p (l+1)} \quad (10)$$

uit (10) en (5): $v_s = \frac{l A_0 v_0}{(l+1) A_s} \quad (11)$

uit (9) en (4): $v_2 = \frac{A_0 v_0}{(A_p + A_s)} \quad (12)$

uit (1) en (12): $p_1 = -\frac{1}{2} p_s \frac{l^2 A_0^2 v_0^2}{(l+1)^2 A_s^2} \quad (13)$

uit (1) en (3): $p_{gas} = \frac{1}{2} p_p v_p^2 - \frac{1}{2} p_s v_s^2$
invullen (11) en (12): $p_{gas} = \frac{1}{2} \frac{p_p A_0^2 v_0^2}{(l+1)^2 A_p^2} - \frac{1}{2} p_s \frac{l^2 A_0^2 v_0^2}{(l+1)^2 A_s^2} \quad (14)$

uit (14) en (12): $p_2 = \frac{1}{2} p_s v_2^2 \left(1 - \frac{A_0^2}{(A_p + A_s)^2} \right) \quad (15)$

p_2 blijft voor het gemak zo staan, de waarde van p_2 ligt vast in (6)

(10), (11), (12), (13) en (15) invullen in (7)

$$-\frac{1}{2} p_s \frac{l^2 A_0^2 v_0^2}{(l+1)^2 A_s^2} (A_p + A_s) - \frac{1}{2} p_2 v_2^2 \left(1 - \frac{A_0^2}{(A_p + A_s)^2} \right) (A_p + A_s) =$$

$$= p_2 (A_p + A_s) \frac{A_0^2 v_0^2}{(A_p + A_s)^2} - p_p \frac{A_0^2 v_0^2}{(l+1)^2 A_p^2} - p_s \frac{l^2 A_0^2 v_0^2}{(l+1)^2 A_s^2}$$

na deling door $A_0^2 v_0^2$ en vereenvoudiging:

$$-\frac{1}{2} p_s \frac{l^2 A_p}{(l+1)^2 A_s^2} + \frac{1}{2} p_s \frac{l^2}{(l+1)^2 A_s} - \frac{1}{2} p_2 \frac{A_p}{A_0} - \frac{1}{2} p_2 \frac{A_s}{A_0} +$$

$$-\frac{1}{2} p_2 \frac{1}{(A_p + A_s)} + \frac{p_p}{2 p_p (l+1)^2} = 0 \quad (16)$$



Odin B.V. Technische Apparaten Fabriek

Wiltonstraat 23
NL-2722NG Zoetermeer
The Netherlands

Tel. +31 (0) 793 315 302
Fax. +31 (0) 798 900 398
URL www.hasmi.nl
Email info@hasmi.nl
swift ABNANL2A

ABN/AMRO
ING
K.v.k
BTW No.
IBAN

51.68.11.010
38.92.851
27092718
004559150B01
NL82ABNA0516811010

$$\text{Stel } A = \frac{1}{2} \rho \cdot \frac{l^2}{(l+1)^2} \quad B = \frac{1}{2} \rho \cdot \frac{l^2}{A_0} \quad C = \frac{1}{2} \rho \cdot \frac{l^2}{A_0} \\ D = \frac{\rho}{(l+1)^2} \quad E = \rho g h \quad F = \frac{1}{2} \rho \cdot \frac{l^2}{(l+1)^2} \cdot v^2 \\ G = \frac{1}{2} \rho \cdot \frac{l^2}{(l+1)^2} \cdot A_0 \cdot v^2 \\ A_f = x \quad \text{en} \quad A_s = y$$

dan wordt (16):

$$-A \frac{x}{y^2} + \frac{A}{y} - Bx - By - \frac{C}{(x+y)} + \frac{D}{x} = 0 \quad (17)$$

en wordt (14): $E = \frac{F}{x^2} - \frac{G}{y^2} \quad (18)$

uit (16): $x^2 = \frac{y^2}{\frac{E}{F} y^2 + \frac{G}{F}}$

stel $H = \frac{E}{F}$ en $K = \frac{G}{F}$

dan $x^2 = \frac{y^2}{Hy^2 + K}$ H, K, x en y zijn altijd positief
 $\Rightarrow x = \frac{y}{\sqrt{Hy^2 + K}} \quad (19)$

(19) ingevuld in (17):

$$-\frac{A}{y^2 \sqrt{Hy^2 + K}} + \frac{A}{y} - \frac{By}{\sqrt{Hy^2 + K}} - By - \frac{C}{y \left(\frac{1}{\sqrt{Hy^2 + K}} + 1 \right)} + \frac{D \sqrt{Hy^2 + K}}{y} = 0$$

herschrijven geeft:

$$\{A + AK - CK + DK\} + DK \sqrt{Hy^2 + K} + \{AH - 2B - CH + DH\} y \\ + \{-2B + DH\} y^2 \sqrt{Hy^2 + K} - DH y^4 = 0$$

stel $L = A + AK - CK + DK$

$M = DK$

$N = AH - 2B - CH + DH$

$P = -2B + DH$

$Q = DH$



H A S M I propaangereedschap

Odin B.V. Technische Apparaten Fabriek

Wiltonstraat 23
NL-2722NG Zoetermeer
The Netherlands

Tel. +31 (0) 793 315 302
Fax. +31 (0) 798 900 398
URL www.hasmi.nl
Email info@hasmi.nl
swift ABNANL2A

ABN/AMRO
ING
K.v.K
BTW No.
IBAN

51.68.11.010
38.92.851
27092718
004559150B01
NL82ABNA0516811010

dan gaat de vergelijking over in

$$L + M \sqrt{Hy^2 + K} + Ny^2 + Py^2 \sqrt{Hy^2 + K} - Qy^4 = 0 \quad (20)$$

Dit is de basisvergelijking waaraan na invulling van de constanten L, M, N, P en Q (die afhankelijk zijn van $p_{gas}, p_p, p_s, A_0, v_0$ en l) $y (= A_s)$ kan worden opgelost. $x (= A_p)$ kan dan worden berekend met (19).
 Dan volgt ook $A_2 (= A_p + A_s = x + y)$

Alle resultaten op een rij:

$$L + M \sqrt{Hy^2 + K} + Ny^2 + Py^2 \sqrt{Hy^2 + K} - Qy^4 = 0 \quad (20)$$

$$x = \frac{y}{\sqrt{Hy^2 + K}} \quad x = A_p \quad y = A_s \quad (19)$$

$$A = \frac{1}{2} p_s \frac{l^2}{(l+1)^2}$$

$$B = \frac{1}{2} \frac{P_s}{A_0}$$

$$C = \frac{1}{2} P_s$$

$$D = \frac{p_p}{(l+1)^2}$$

$$E = p_{gas}$$

$$F = \frac{1}{2} p_s \frac{l^2 A_0 v_0^2}{(l+1)^2}$$

$$G = \frac{1}{2} l^2 p_s A_0 v_0^2$$

$$H = \frac{E}{F}$$

$$K = \frac{G}{F}$$

$$L = -A + AK - C.K + DK$$

$$M = DK$$

$$N = AH - 2B.C.H +$$

$$Q = B.H$$

$$A_2 = A_p + A_s \quad (4)$$

$$p_2 = \frac{p_0 + p_s (6}{l+1}$$

6 Discussie

Op blz staan de resultaten van de afleiding van de basis vergelijking voor de constructie van de branderkop.

Worden de gegevens P_{gas} , P_p , P_5 , A_o , V_o en I ingevuld dan moet de basisvergelijking worden opgelost.

De oplossing zal moeten worden gevonden met behulp van een iteratieve oplossing om wortels te vinden. Of er een reële (dwz niet imaginair) oplossing is hangt af van de waarden van de gegevens P_{gas} , P_p , P_5 , A_o , V_o en I . Volgt er geen reële oplossing dan betekent dit dat er geen branderkop te construeren is die de gewenste vlam geeft bij de gegevens condities (P_{gas} , P_p , P_5 , A_o , V_o en I).

Met behulp van de gevonden basisvergelijking dan betekent dit niet dat in de praktijk de branderkop voldoet, daarvoor zullen nog een aantal correcties moeten worden toegepast.



H A S M I propaangereedschap

Odin B.V. Technische Apparaten Fabriek

Wiltonstraat 23
NL-2722NG Zoetermeer
The Netherlands

Tel. +31 (0) 793 315 302
Fax. +31 (0) 798 900 398
URL www.hasmi.nl
Email info@hasmi.nl
swift ABNANL2A

ABN/AMRO
ING
K.v.K.
BTW No.
IBAN

51.68.11.010
38.92.851
27092718
004559150B01
NL82ABNA0516811010

7 Verklaring van symbolen

H	Calorische onderwaarde (stookwaarde)	KJ/m ³
L	Stoichiometrische luchtbehoefte	m ³ (lucht) / m ³ (gas)
P	Dichtheid	Kg/ m ³
V	Snelheid	m/ ³
A	Oppervlakte	m ²
P*	Absolute druk	N/m ²
P	Gereduceerde druk	N/m ²

Indices:

P = Primaire stroming
5 = Secundaire stroming
1 = Ter plekke doorsnede 1
2 = Ter plekke doorsnede 2
0 = Ter plekke doorsnede 0/ vrije atmosfeer
gas = Gas