

## BIJLAGE VII

## VOORBEELD VAN DE BEREKENINGSMETHODE

## 1. ESC-TEST

## 1.1. Gasvormige emissies

De meetgegevens voor de berekening van de resultaten van de afzonderlijke testfasen staan hieronder. In dit voorbeeld worden CO en NO<sub>x</sub> op droge basis en HC op natte basis gemeten. De HC-concentratie wordt uitgedrukt in propaanequivalent (C3) en moet met 3 worden vermenigvuldigd om het C1-equivalent te verkrijgen. De berekeningswijze is identiek voor de andere testfasen.

P (kW)	T <sub>a</sub> (K)	H <sub>a</sub> (g/kg)	G <sub>EXH</sub> (kg)	G <sub>AIRW</sub> (kg)	G <sub>FUEL</sub> (kg)	HC (ppm)	CO (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)
82,9	294,8	7,81	563,38	545,29	18,09	6,3	41,2	495

Berekening van de droog/nat-correctiefactor  $K_{w,r}$  (bijlage III, aanhangsel 1, punt 4.2)

$$F_{FH} = \frac{1,969}{1 + \frac{18,09}{545,29}} = 1,9058 \quad \text{en} \quad K_{w2} = \frac{1,608 \times 7,81}{1\,000 + (1,608 \times 7,81)} = 0,0124$$

$$K_{w,r} = \left( 1 - 1,9058 \times \frac{18,09}{541,06} \right) - 0,0124 = 0,9239$$

Berekening van de natte concentraties

$$\text{CO} = 41,2 \times 0,9239 = 38,1 \text{ ppm}$$

$$\text{NO}_x = 495 \times 0,9239 = 457 \text{ ppm}$$

Berekening van de NO<sub>x</sub>-vochtigheidscorrectiefactor  $K_{H,D}$  (bijlage III, aanhangsel 1, punt 4.3)

$$A = 0,309 \times 18,09/541,06 - 0,0266 = -0,0163$$

$$B = -0,209 \times 18,09/541,06 + 0,00954 = 0,0026$$

$$K_{H,D} = \frac{1}{1 - 0,0163 \times (7,81 - 10,71) + 0,0026 \times (294,8 - 298)} = 0,9625$$

Berekening van de emissiemassastroom (bijlage III, aanhangsel 1, punt 4.4)

$$\text{NO}_x = 0,001587 \times 457 \times 0,9625 \times 563,38 = 393,27 \text{ g/h}$$

$$\text{CO} = 0,000966 \times 38,1 \times 563,38 = 20,735 \text{ g/h}$$

$$\text{HC} = 0,000479 \times 6,3 \times 3 \times 563,38 = 5,100 \text{ g/h}$$

Berekening van de specifieke emissies (bijlage III, aanhangsel 1, punt 4.5)

Het volgende voorbeeld heeft betrekking op CO; voor de andere componenten is de berekeningswijze identiek.

De emissiemassastromen van de afzonderlijke testfasen worden vermenigvuldigd met de respectieve wegingsfactoren, als vermeld in bijlage III, aanhangsel 1, punt 2.7.1, en vervolgens bij elkaar opgeteld. Dit resulteert in de gemiddelde emissiemassastroom over de cyclus:

$$\begin{aligned} \text{CO} &= (6,7 \times 0,15) + (24,6 \times 0,08) + (20,5 \times 0,10) + (20,7 \times 0,10) + (20,6 \times 0,05) + (15,0 \times 0,05) \\ &\quad + (19,7 \times 0,05) + (74,5 \times 0,09) + (31,5 \times 0,10) + (81,9 \times 0,08) + (34,8 \times 0,05) + (30,8 \times 0,05) \\ &\quad + (27,3 \times 0,05) \\ &= 30,91 \text{ g/h} \end{aligned}$$

Het motorvermogen van de afzonderlijke testfasen wordt vermenigvuldigd met de respectieve wegingsfactoren, als vermeld in bijlage III, aanhangsel 1, punt 2.7.1, en vervolgens bij elkaar opgeteld. Dit resulteert in het gemiddelde vermogen over de cyclus:

$$\begin{aligned} P(n) &= (0,1 \times 0,15) + (96,8 \times 0,08) + (55,2 \times 0,10) + (82,9 \times 0,10) + (46,8 \times 0,05) + (70,1 \times 0,05) \\ &\quad + (23,0 \times 0,05) + (114,3 \times 0,09) + (27,0 \times 0,10) + (122,0 \times 0,08) + (28,6 \times 0,05) \\ &\quad + (87,4 \times 0,05) + (57,9 \times 0,05) \\ &= 60,006 \text{ kW} \\ \overline{\text{CO}} &= \frac{30,91}{60,006} = 0,0515 \text{ g/kWh} \end{aligned}$$

Berekening van de specifieke  $\text{NO}_x$ -emissie voor een willekeurig punt (bijlage III, aanhangsel 1, punt 4.6.1)

Stel dat voor het willekeurige punt de volgende waarden zijn bepaald:

$$\begin{aligned} n_z &= 1\,600 \text{ min}^{-1} \\ M_z &= 495 \text{ Nm} \\ \text{NO}_{x,\text{mass},z} &= 487,9 \text{ g/h (berekend met de voorgaande formules)} \\ P(n)_z &= 83 \text{ kW} \\ \text{NO}_{x,z} &= 487,9/83 = 5,878 \text{ g/kWh} \end{aligned}$$

Bepaling van de emissiewaarde uit de testcyclus (bijlage III, aanhangsel 1, punt 4.6.2)

Stel dat de waarden voor de vier omgevingstoestanden voor de ESC-cyclus als volgt luiden:

$n_{RT}$	$n_{SU}$	$E_R$	$E_S$	$E_T$	$E_U$	$M_R$	$M_S$	$M_T$	$M_U$
1 368	1 785	5,943	5,565	5,889	4,973	515	460	681	610

$$E_{TU} = 5,889 + (4,973 - 5,889) \times (1\,600 - 1\,368) / (1\,785 - 1\,368) = 5,377 \text{ g/kWh}$$

$$E_{RS} = 5,943 + (5,565 - 5,943) \times (1\,600 - 1\,368) / (1\,785 - 1\,368) = 5,732 \text{ g/kWh}$$

$$M_{TU} = 681 + (601 - 681) \times (1\,600 - 1\,368) / (1\,785 - 1\,368) = 641,3 \text{ Nm}$$

$$M_{RS} = 515 + (460 - 515) \times (1\,600 - 1\,368) / (1\,785 - 1\,368) = 484,3 \text{ Nm}$$

$$E_z = 5,732 + (5,377 - 5,732) \times (495 - 484,3) / (641,3 - 484,3) = 5,708 \text{ g/kWh}$$

Vergelijking van de  $\text{NO}_x$ -emissiewaarden (bijlage III, aanhangsel 1, punt 4.6.3)

$$\text{NO}_{x,\text{diff}} = 100 \times (5,878 - 5,708) / 5,708 = 2,98 \%$$

## 1.2.

### Deeltjesemissies

De deeltjesmeting is gebaseerd op het principe van bemonstering van de deeltjesmassa over de volledige cyclus, terwijl de deeltjesmassa van de monsters en deeltjesstroom ( $M_{\text{SAM}}$  en  $G_{\text{EDF}}$ ) in de afzonderlijke testfasen worden bepaald. De berekening van  $G_{\text{EDF}}$  is afhankelijk van het gebruikte systeem. In de volgende voorbeelden wordt zowel een systeem met  $\text{CO}_2$ -meting en een koolstofbalansmethode als een systeem met stroommeting gebruikt. Bij gebruik van een volledige-verdunningssysteem wordt  $G_{\text{EDF}}$  rechtstreeks door de CVS-apparatuur gemeten.

Berekening van  $G_{\text{EDF}}$  (bijlage III, aanhangsel 1, punten 5.2.3 en 5.2.4)

Stel dat meetgegevens voor testfase 4 als volgt zijn. De berekeningsmethode is identiek voor de overige testfasen.

$G_{\text{EXH}}$ (kg/h)	$G_{\text{FUEL}}$ (kg/h)	$G_{\text{DILW}}$ (kg/h)	$G_{\text{TOTW}}$ (kg/h)	$\text{CO}_{2D}$ (%)	$\text{CO}_{2A}$ (%)
334,02	10,76	5,4435	6,0	0,657	0,040

a) koolstofbalansmethode

$$G_{EDFW} = \frac{206,5 \times 10,76}{0,657 - 0,040} = 3\,601,2 \text{ kg/h}$$

b) stroommetingsmethode

$$q = \frac{6,0}{6,0 - 5,4435} = 10,78$$

$$G_{EDFW} = 334,02 \times 10,78 = 3\,600,7 \text{ kg/h}$$

*Berekening van de massastroom (bijlage III, aanhangsel 1, punt 5.4)*

De massastromen  $G_{EDFW}$  voor de afzonderlijke testfasen worden vermenigvuldigd met de respectieve wegingsfactoren, als vermeld in bijlage III, aanhangsel 1, punt 2.7.1, en bij elkaar opgeteld. Dit resulteert in de gemiddelde  $G_{EDF}$  over de cyclus. De totale deeltjesmassa van de monsters  $M_{SAM}$  wordt berekend door de deeltjesmassa's voor de afzonderlijke cycli bij elkaar op te tellen.

$$\begin{aligned} \bar{G}_{EDFW} &= (3\,567 \times 0,15) + (3\,592 \times 0,08) + (3\,611 \times 0,10) + (3\,600 \times 0,10) + (3\,618 \times 0,05) + (3\,600 \\ &\quad \times 0,05) + (3\,640 \times 0,05) + (3\,614 \times 0,09) + (3\,620 \times 0,10) + (3\,601 \times 0,08) + (3\,639 \times 0,05) \\ &\quad + (3\,582 \times 0,05) + (3\,635 \times 0,05) \\ &= 3\,604,6 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{SAM} &= 0,226 + 0,122 + 0,151 + 0,152 + 0,076 + 0,076 + 0,076 + 0,136 + 0,151 + 0,121 + 0,076 + \\ &\quad 0,076 + 0,075 \\ &= 1,515 \text{ kg} \end{aligned}$$

Stel dat de massa van de deeltjes op de filters 2,5 mg bedraagt, dan is:

$$PT_{\text{mass}} = \frac{2,5}{1,515} \times \frac{360,4}{1\,000} = 5,948 \text{ g/h}$$

*Achtergrondcorrectie (facultatief)*

Stel dat er een achtergrondmeting heeft plaatsgevonden met de volgende resultaten. De verdunningsfactor DF wordt op dezelfde wijze berekend als in punt 3.1 van deze bijlage en wordt hier niet getoond.

$$M_d = 0,1 \text{ mg}; M_{DIL} = 1,5 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Som van de DF} &= [(1-1/119,15) \times 0,15] + [(1-1/8,89) \times 0,08] + [(1-1/14,75) \times 0,10] + [(1-1/10,10) \\ &\quad \times 0,10] + [(1-1/18,02) \times 0,05] + [(1-1/12,33) \times 0,05] + [(1-1/32,18) \times 0,05] \\ &\quad + [(1-1/6,94) \times 0,09] + [(1-1/25,19) \times 0,10] + [(1-1/6,12) \times 0,08] + [(1-1/20,87) \\ &\quad \times 0,05] + [(1-1/8,77) \times 0,05] + [(1-1/12,59) \times 0,05] \\ &= 0,923 \end{aligned}$$

$$PT_{\text{mass}} = \frac{2,5}{1,515} - \left( \frac{0,1}{1,5} \times 0,923 \right) \times \frac{3\,604,6}{1\,000} = 5,726 \text{ g/h}$$

*Berekening van de specifieke emissie (bijlage III, aanhangsel 1, punt 5.5)*

$$\begin{aligned} P(n) &= (0,1 \times 0,15) + (96,8 \times 0,08) + (55,2 \times 0,10) + (82,9 \times 0,10) + (46,8 \times 0,05) + (70,1 \times 0,05) \\ &\quad + (23,0 \times 0,05) + (114,3 \times 0,09) + (27,0 \times 0,10) + (122,0 \times 0,08) + (28,6 \times 0,05) + \\ &\quad (87,4 \times 0,05) + (57,9 \times 0,05) \\ &= 60,006 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\bar{PT} = \frac{5,948}{60,006} = 0,099 \text{ g/kWh}$$

$$\bar{PT} = (5,726/60,006) = 0,095 \text{ g/kWh, met achtergrondcorrectie :}$$

Berekening van de effectieve wegingsfactor (bijlage III, aanhangsel 1, punt 5.6)

Als de waarden voor toestand 4 op bovenstaande wijze zijn berekend, dan:

$$WF_{E,i} = (0,152 \times 3\,604,6 / 1,515 \times 3\,600,7) = 0,1004$$

Deze waarde is in overeenstemming met de voorgeschreven waarde van  $0,10 \pm 0,003$ .

## 2. ELR-TEST

Aangezien het gebruik van een Bessel-filter voor de berekening van het gemiddelde in de Europese wetgeving inzake uitlaatgassen geheel nieuw is, wordt hieronder een uitleg van het Bessel-filter, een voorbeeld van het opstellen van een Bessel-algoritme en een voorbeeld van de berekening van de uiteindelijke rookwaarde gegeven. De constanten van het Bessel-algoritme zijn uitsluitend afhankelijk van het ontwerp van de opaciteitsmeter en de bemonsteringsfrequentie van het data-acquisitiesysteem. Het verdient aanbeveling dat de fabrikant van de opaciteitsmeter de uiteindelijke Bessel-filterconstanten voor verschillende bemonsteringsfrequenties opgeeft en dat de klant deze constanten gebruikt voor het opstellen van het Bessel-algoritme en voor het berekenen van de rookwaarden.

### 2.1. Algemene opmerkingen over het Bessel-filter

Ten gevolge van hoogfrequente vervorming vertoont het ruwe signaal van de opaciteitsmeter (opaciteits-signaal) gewoonlijk een grillig karakter. Om deze hoogfrequente vervorming te elimineren is bij de ELR-test een Bessel-filter nodig. Het Bessel-filter zelf is een recursief, tweede orde-laagdoorlaatfilter dat een zo kort mogelijke stijgtijd van het signaal mogelijk maakt zonder overshoot.

Stel dat rook in real time door de uitlaatpijp passeert. Elke opaciteitsmeter levert met een zekere vertraging een verschillend opaciteitssignaal. De vertraging en de grootte van het gemeten opaciteitssignaal zijn voornamelijk afhankelijk van de geometrie van de meetkamer van de opaciteitsmeter, de bemonsteringsleidingen voor de uitlaatgassen inbegrepen, en van de tijd die de elektronica van de opaciteitsmeter nodig heeft om het signaal te verwerken. De voor deze twee effecten karakteristieke waarden worden de fysische en de elektrische responsietijd genoemd. Zij vormen een apart filter voor elk type opaciteitsmeter.

Een Bessel-filter wordt gebruikt om te zorgen voor een uniform totaal filter dat karakteristiek is voor het gehele opaciteitsmetersysteem, bestaande uit:

- de fysische responsietijd van de opaciteitsmeter ( $t_p$ );
- de elektrische responsietijd van de opaciteitsmeter ( $t_e$ );
- de filterresponsietijd van het gebruikte Bessel-filter ( $t_f$ ).

De resulterende totale responsietijd  $t_{Aver}$  van het systeem wordt gegeven door

$$t_{Aver} = \sqrt{t_f^2 + t_p^2 + t_e^2}$$

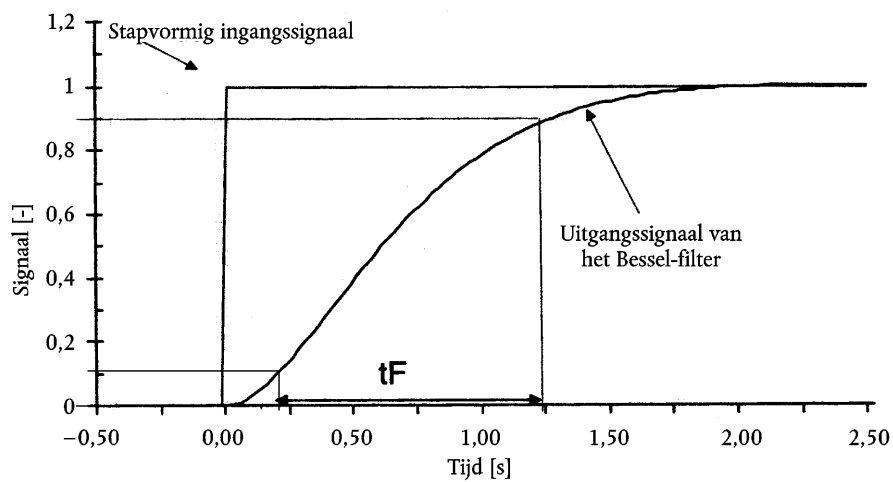
en moet voor alle soorten opaciteitsmeters gelijk zijn om dezelfde rookwaarde op te leveren. Daarom moet een zodanig Bessel-filter worden ontworpen dat de filterresponsietijd ( $t_f$ ) samen met de fysische ( $t_p$ ) en de elektrische responsietijd ( $t_e$ ) van de afzonderlijke opaciteitsmeter de gewenste totale responsietijd ( $t_{Aver}$ ) oplevert. Aangezien  $t_p$  en  $t_e$  voor elke opaciteitsmeter vastliggen en  $t_{Aver}$  voor deze richtlijn vastgesteld is op 1,0 s, kan  $t_f$  als volgt worden berekend:

$$t_f = \sqrt{t_{Aver}^2 - t_p^2 - t_e^2}$$

Per definitie is de filterresponsietijd  $t_f$  de stijgtijd van het uitgangssignaal van het filter tussen 10 % en 90 % van de waarde van het stapvormige ingangssignaal. Daarom moet de grensfrequentie van het Bessel-filter iteratief worden bepaald, zodat de responsietijd van het Bessel-filter binnen de voorgeschreven grenzen voor de stijgtijd ligt.

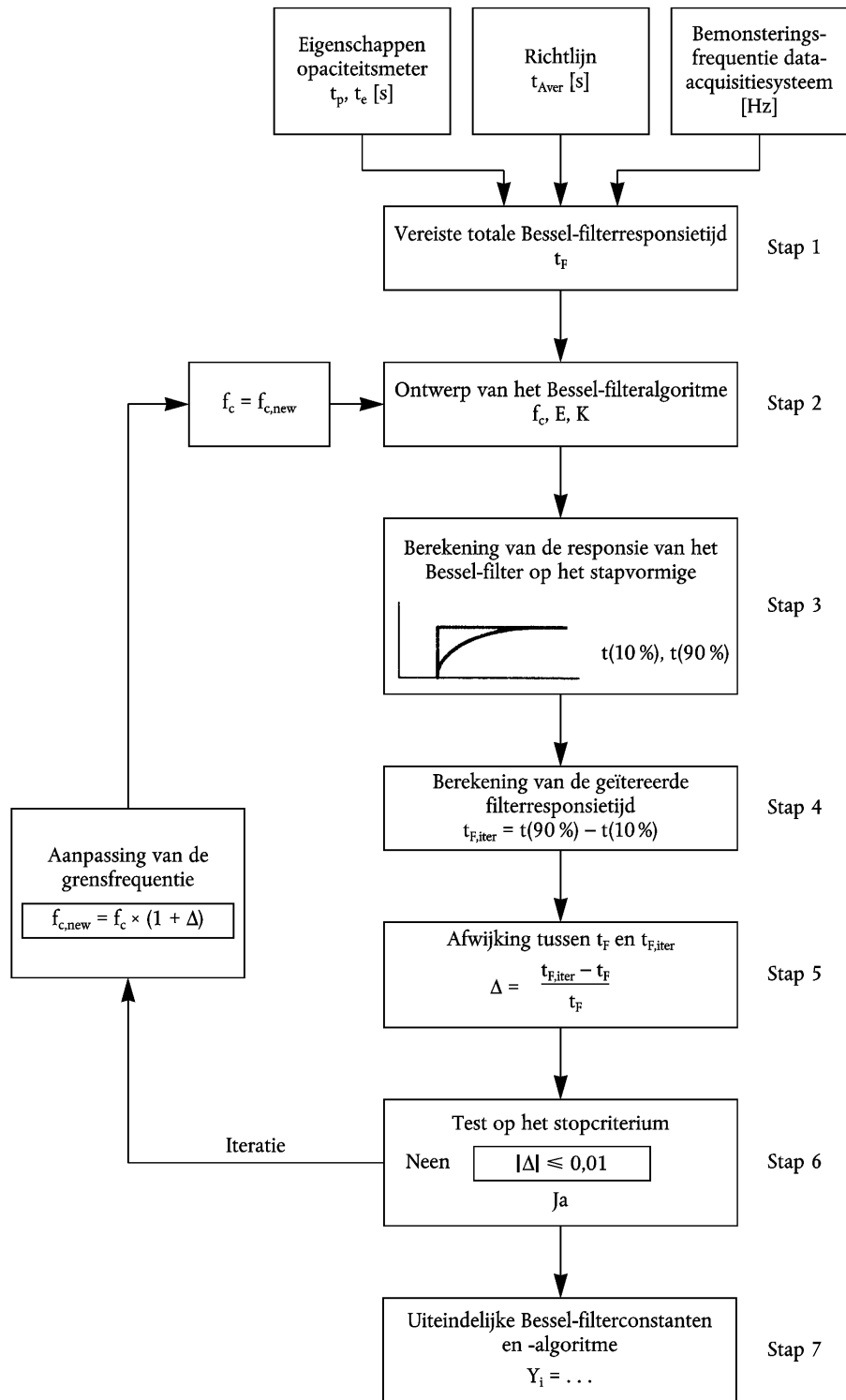
Figuur a

## Signaalverloop van het stapvormig ingangssignaal en het gefilterde uitgangssignaal



Figuur a toont het verloop van het stapvormige ingangssignaal en het uitgangssignaal van het Bessel-filter en de responsietijd ( $t_F$ ) van het Bessel-filter.

Het ontwerp van het uiteindelijke Bessel-filter is een meerstappenprocedure waarvoor verschillende iteratiecyclussen nodig zijn. Het schema van het iteratieproces staat hieronder.



## 2.2. Berekening van de Bessel-algoritme

In dit voorbeeld wordt in verschillende stappen een Bessel-algoritme ontwikkeld op basis van bovenstaande iteratieprocedure, die gebaseerd is op bijlage III, aanhangsel 1, punt 6.1.

Voor de opaciteitsmeter en het data-acquisitiesysteem wordt uitgegaan van de volgende karakteristieken:

- fysische responsietijd  $t_p$ : 0,15 s;
- elektrische responsietijd  $t_c$ : 0,05 s;
- totale responsietijd  $t_{Aver}$ : 1,00 s (gedefinieerd in deze richtlijn);
- bemonsteringsfrequentie: 150 Hz.

*Stap 1 Vereiste responsietijd  $t_F$  van het Bessel-filter*

$$t_F = \sqrt{1^2 - (0,15^2 + 0,05^2)} = 0,987421 \text{ s}$$

*Stap 2 Schatting van de grensfrequentie en berekening van de Bessel-constanten E en K voor de eerste iteratie*

$$f_c = \frac{3,1415}{10 \times 0,987421} = 0,318152 \text{ Hz}$$

$$\Delta t = 1/150 = 0,006667 \text{ s}$$

$$\Omega = \frac{1}{\tan [3,1415 \times 0,006667 \times 0,318152]} = 150,07664$$

$$E = \frac{1}{1 + 150,076644 \times \sqrt{3 \times 0,618034 + 0,618034 + 150,076644^2}} = 7,07948 \times 10^{-5}$$

$$K = 2 \times 7,07948 \times 10^{-5} \times (0,618034 \times 150,076644^2 - 1) - 1 = 0,970783$$

Dit levert het volgende Bessel-algoritme op:

$$Y_i = Y_{i-1} + 7,07948 E - 5 \times (S_i + 2 \times S_{i-1} + S_{i-2} - 4 \times Y_{i-2}) + 0,970783 \times (Y_{i-1} - Y_{i-2})$$

waarin  $S_i$  de waarde van het stapvormige ingangssignaal is („0” of „1”) en  $Y_i$  de gefilterde waarde van het uitgangssignaal is.

*Stap 3 Toepassing van het Bessel-filter op het stap signaal*

De filterresponsietijd  $t_F$  van het Bessel-filter is gedefinieerd als de stijgtijd van het gefilterde uitgangssignaal tussen 10 % en 90 % van de waarde van het stapvormige ingangssignaal. Om het tijdstip te bepalen waarop het uitgangssignaal 10 % ( $t_{10}$ ), respectievelijk 90 % ( $t_{90}$ ) van de waarde van het uitgangssignaal bereikt, moet een Bessel-filter worden toegepast op het stapvormige ingangssignaal met gebruikmaking van de bovenstaande waarden voor  $f_c$ , E en K.

De index, de tijd en de waarde van het stapvormige ingangssignaal en de resulterende waarde van het gefilterde uitgangssignaal voor de eerste en de tweede iteratie staan in tabel B. De punten die grenzen aan  $t_{10}$  en  $t_{90}$  zijn vetgedrukt.

Na de eerste iteratie ligt in tabel B de 10 % waarde tussen index 30 en 31 en de 90 %-waarde tussen index 191 en 192. Voor de berekening van  $t_{F,iter}$  worden de  $t_{10}$ - en  $t_{90}$ -waarden op de volgende wijze bepaald door lineaire interpolatie tussen de aangrenzende meetpunten:

$$t_{10} = t_{lower} + \Delta t \times (0,1 - out_{lower}) / (out_{upper} - out_{lower})$$

$$t_{90} = t_{lower} + \Delta t \times (0,9 - out_{lower}) / (out_{upper} - out_{lower})$$

waarin  $out_{upper}$ , respectievelijk  $out_{lower}$  de aangrenzende punten van het Bessel-gefilterde uitgangssignaal zijn en  $t_{lower}$  de tijd is van het voorgaande tijdstip, zoals aangegeven in tabel B.

$$t_{10} = 0,200000 + 0,006667 \times (0,1 - 0,099208) / (0,104794 - 0,099208) = 0,200945 \text{ s}$$

$$t_{90} = 0,273333 + 0,006667 \times (0,9 - 0,899147) / (0,901168 - 0,899147) = 1,276147 \text{ s}$$

*Stap 4 Filterresponsietijd voor de eerste iteratiecyclus*

$$t_{F,iter} = 1,276147 - 0,200945 = 1,075202 \text{ s}$$

Stap 5 Afwijking tussen de gewenste en de berekende filterresponsietijd voor de eerste iteratiecyclus

$$\Delta = (1,075202 - 0,987421) / 0,987421 = 0,081641$$

Stap 6 Test op het stopcriterium

De eis is dat  $|\Delta| \leq 0,01$ . Aangezien  $0,081641 > 0,01$ , is niet aan het stopcriterium voldaan en is een tweede iteratiecyclus nodig. Voor deze iteratiecyclus wordt uit  $f_c$  en  $\Delta$  een nieuwe grensfrequentie berekend:

$$f_{c,\text{new}} = 0,318152 \times (1 + 0,081641) = 0,344126 \text{ Hz}$$

Deze nieuwe grensfrequentie wordt in de tweede iteratiecyclus gebruikt, waarbij weer bij stap 2 wordt begonnen. De iteratie gaat door totdat aan het stopcriterium is voldaan. De resulterende waarden voor de eerste en de tweede iteratie staan in het overzicht van tabel A.

Tabel A

Waarden voor de eerste en de tweede iteratie

Parameter		Iteratie 1	Iteratie 2
$f_c$	(Hz)	0,318152	0,344126
E	(-)	7,07948 E-5	8,272777 E-5
K	(-)	0,970783	0,968410
$t_{10}$	(s)	0,200945	0,185523
$t_{90}$	(s)	1,276147	1,179562
$t_{\text{Filter}}$	(s)	1,075202	0,994039
$\Delta$	(-)	0,081641	0,006657
$f_{c,\text{new}}$	(Hz)	0,344126	0,346417

Stap 7 Uiteindelijke Bessel-algoritme

Zodra aan het stopcriterium is voldaan, worden de uiteindelijke Bessel-filterconstanten en de uiteindelijke Bessel-algoritme bepaald overeenkomstig stap 2. In dit voorbeeld wordt na de tweede iteratie aan het stopcriterium voldaan ( $\Delta = 0,006657 \leq 0,01$ ). De uiteindelijke algoritme wordt dan gebruikt om de gemiddelde rookwaarden te bepalen (zie onderstaand punt 2.3).

$$Y_i = Y_{i-1} + 8,272777 \times 10^{-5} \times (S_i + 2 \times S_{i-1} + S_{i-2} - 4 \times Y_{i-2}) + 0,968410 \times (Y_{i-1} - Y_{i-2})$$

Tabel B

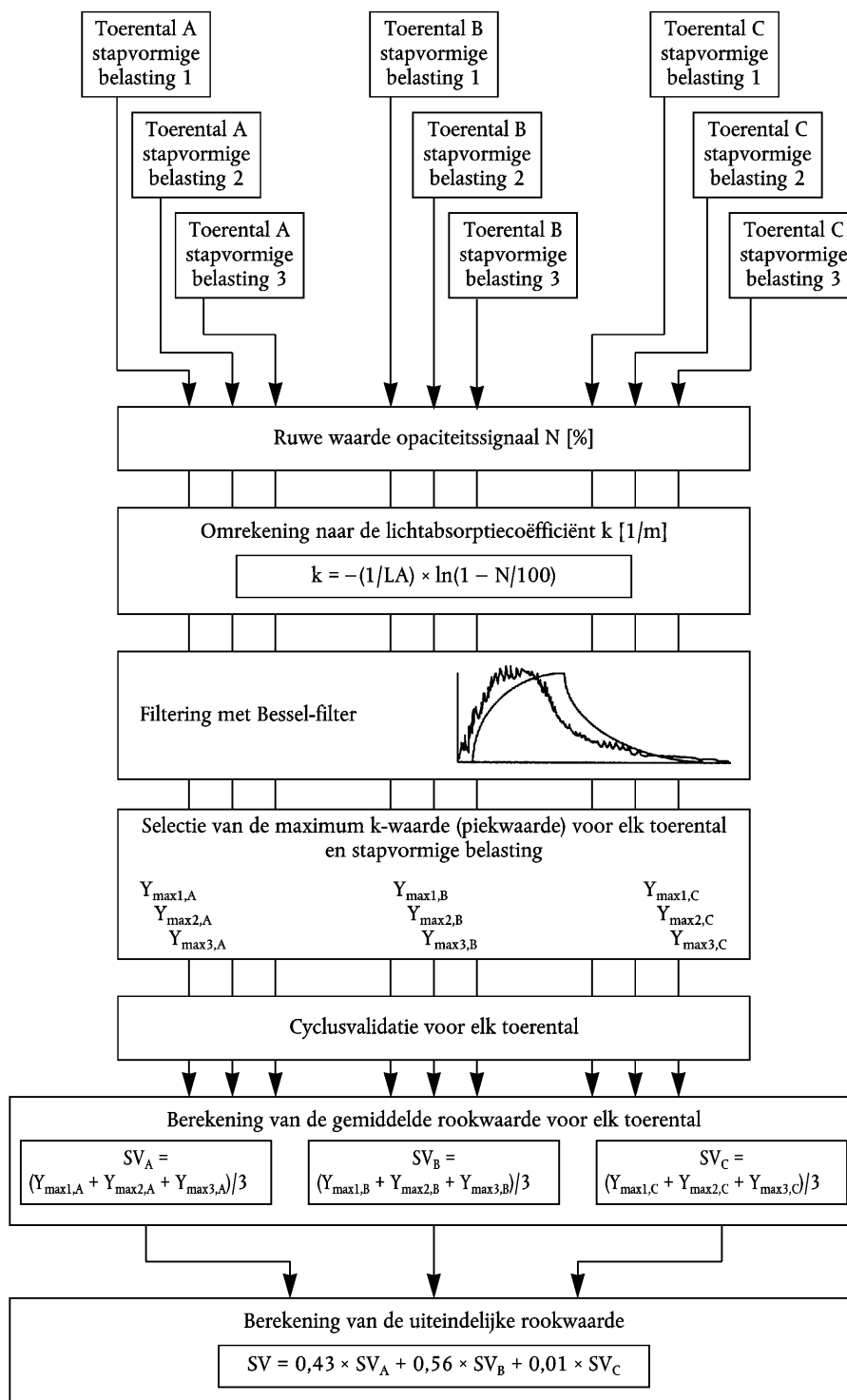
Waarden van het stapvormig ingangssignaal en het uitgangssignaal van het Bessel-filter voor de eerste en de tweede iteratiecyclus

Index i [-]	Tijd [s]	Stapvormig ingangssignaal $S_i$ [-]	Gefilterd uitgangssignaal $Y_i$ [-]	
			Iteratie 1	Iteratie 2
- 2	- 0,013333	0	0,000000	0,000000
- 1	- 0,006667	0	0,000000	0,000000
0	0,000000	1	0,000071	0,000083
1	0,006667	1	0,000352	0,000411
2	0,013333	1	0,000908	0,001060
3	0,020000	1	0,001731	0,002019
4	0,026667	1	0,002813	0,003278
5	0,033333	1	0,004145	0,004828
~	~	~	~	~
24	0,160000	1	0,067877	0,077876
25	0,166667	1	0,072816	0,083476
26	0,173333	1	0,077874	0,089205
27	0,180000	1	0,083047	0,095056
28	0,186667	1	0,088331	0,101024
29	0,193333	1	0,093719	0,107102
30	0,200000	1	0,099208	0,113286
31	0,206667	1	0,104794	0,119570
32	0,213333	1	0,110471	0,125949
33	0,220000	1	0,116236	0,132418
34	0,226667	1	0,122085	0,138972
35	0,233333	1	0,128013	0,145605
36	0,240000	1	0,134016	0,152314
37	0,246667	1	0,140091	0,159094
~	~	~	~	~
175	1,166667	1	0,862416	0,895701
176	1,173333	1	0,864968	0,897941
177	1,180000	1	0,867484	0,900145
178	1,186667	1	0,869964	0,902312
179	1,193333	1	0,872410	0,904445
180	1,200000	1	0,874821	0,906542
181	1,206667	1	0,877197	0,908605
182	1,213333	1	0,879540	0,910633
183	1,220000	1	0,881849	0,912628

Index i [-]	Tijd [s]	Stapvormig ingangssignaal $S_i$ [-]	Gefilterd uitgangssignaal $Y_i$ [-]	
			Iteratie 1	Iteratie 2
184	1,226667	1	0,884125	0,914589
185	1,233333	1	0,886367	0,916517
186	1,240000	1	0,888577	0,918412
187	1,246667	1	0,890755	0,920276
188	1,253333	1	0,892900	0,922107
189	1,260000	1	0,895014	0,923907
190	1,266667	1	0,897096	0,925676
191	1,273333	1	0,899147	0,927414
192	1,280000	1	0,901168	0,929121
193	1,286667	1	0,903158	0,930799
194	1,293333	1	0,905117	0,932448
195	1,300000	1	0,907047	0,934067
~	~	~	~	~

## 2.3. Berekening van de rookwaarden

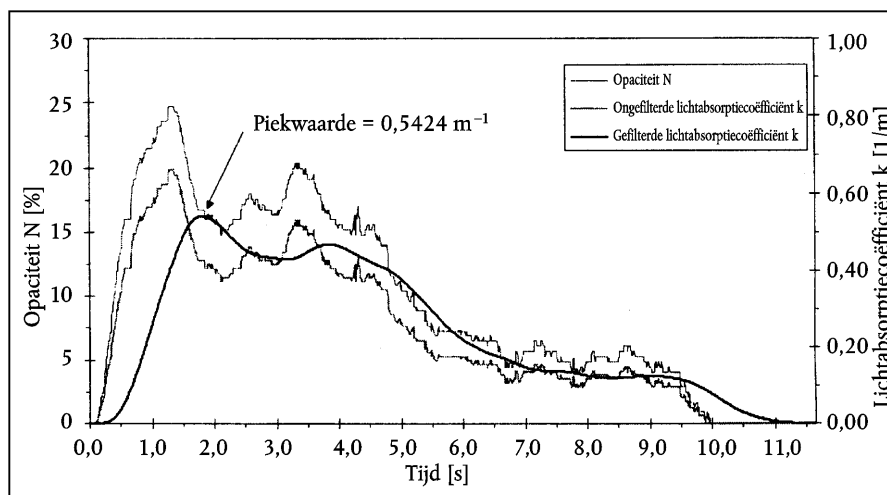
Onderstaand schema toont de algemene gang van zaken voor de bepaling van de uiteindelijke rookwaarde.



In figuur B zijn het verloop van het gemeten ruwe opaciteitssignaal en dat van de ongefilterde en de gefilterde lichtabsorptiecoëfficiënt (k-waarde) van de eerste belastingsstap bij een ELR-test getoond. Ook is de maximumwaarde  $Y_{\max,LA}$  (piek) van het k-signaal aangegeven. Tabel C bevat de overeenkomstige numerieke waarden van de index  $i$ , de tijd (bemonsteringsfrequentie 150 Hz), het ruwe opaciteitssignaal, de ongefilterde k-waarde en de gefilterde k-waarde. De filtering is verricht met de constanten van het in punt 2.2 van deze bijlage ontwikkelde Bessel-algoritme. Vanwege de grote hoeveelheid gegevens zijn alleen het signaalverloop rond het begin en de piek van het signaal in de tabel opgenomen.

Figuur b

Verloop van de gemeten opaciteit N, de ongefilterde lichtabsorptiecoëfficiënt k en de gefilterde lichtabsorptiecoëfficiënt k



De piekwaarde ( $i = 272$ ) wordt berekend uitgaande van de volgende gegevens voor tabel C. Alle overige k-waarden worden op dezelfde wijze berekend. Bij het begin van het algoritme worden  $S_{-1}$ ,  $S_{-2}$ ,  $Y_{-1}$  en  $Y_{-2}$  op nul gesteld.

$L_A$ (m)	0,430
Index $i$	272
N (%)	16,783
$S_{271}$ ( $m^{-1}$ )	0,427392
$S_{270}$ ( $m^{-1}$ )	0,427532
$Y_{271}$ ( $m^{-1}$ )	0,542383
$Y_{270}$ ( $m^{-1}$ )	0,542337

Berekening van de k-waarde (bijlage III, aanhangsel 1, punt 6.3.1)

$$k = -(1/0,430) \times \ln(1 - (16,783/100)) = 0,427252 \text{ m}^{-1}$$

Deze waarde correspondeert met  $S_{272}$  in de volgende vergelijking.

Berekening van de Bessel-gemiddelde rookwaarde (bijlage III, aanhangsel 1, punt 6.3.2)

In de volgende vergelijking worden de Bessel-constanten uit het voorgaande punt 2.2 gebruikt. De momentane ongefilterde k-waarde, die hierboven is berekend, correspondeert met  $S_{272}$  ( $S_i$ ).  $S_{271}$  ( $S_{i-1}$ ) en  $S_{270}$  ( $S_{i-2}$ ) zijn de twee voorgaande ongefilterde k-waarden,  $Y_{271}$  ( $Y_{i-1}$ ) en  $Y_{270}$  ( $Y_{i-2}$ ) zijn de twee voorgaande gefilterde k-waarden.

$$Y_{272} = 0,542383 + 8,272777 \times 10^{-5} \times (0,427252 + 2 \times 0,427392 + 0,427532 - 4 \times 0,542337) + 0,968410 \times (0,542383 - 0,542337)$$

$$= 0,542389 \text{ m}^{-1}$$

Deze waarde correspondeert met  $Y_{\max, A}$  in de volgende vergelijking.

*Berekening van de uiteindelijke rookwaarde (bijlage III, aanhangsel 1, punt 6.3.3)*

Voor elk toerental wordt het maximum van de gefilterde k-waarde genomen als uitgangspunt voor de verdere berekening.

Uitgaande van de volgende waarden:

Toerental	$Y_{\max} \text{ (m}^{-1}\text{)}$		
	Cyclus 1	Cyclus 2	Cyclus 3
A	0,5424	0,5435	0,5587
B	0,5596	0,5400	0,5389
C	0,4912	0,5207	0,5177

$$SV_A = (0,5424 + 0,5435 + 0,5587) / 3 = 0,5482 \text{ m}^{-1}$$

$$SV_B = (0,5596 + 0,5400 + 0,5389) / 3 = 0,5462 \text{ m}^{-1}$$

$$SV_C = (0,4912 + 0,5207 + 0,5177) / 3 = 0,5099 \text{ m}^{-1}$$

$$SV = (0,43 \times 0,5482) + (0,56 \times 0,5462) + (0,01 \times 0,5099) = 0,5467 \text{ m}^{-1}$$

*Cyclusvalidatie (bijlage III, aanhangsel 1, punt 3.4)*

Voor de berekening van de SV moet de cyclus worden gevalideerd door de relatieve standaarddeviatie van de rookwaarde van de drie cycli voor elk toerental te berekenen.

Toerental	Gemiddelde SV ( $\text{m}^{-1}$ )	Absolute standaarddeviatie ( $\text{m}^{-1}$ )	Relatieve standaarddeviatie (%)
A	0,5482	0,0091	1,7
B	0,5462	0,0116	2,1
C	0,5099	0,0162	3,2

In dit voorbeeld wordt voldaan aan het validatiecriterium van 15 % voor elk toerental.

Tabel C

## Opaciteit N, ongefilterde en gefilterde k-waarde aan het begin van de belastingsstap

Index i [-]	Tijd [s]	Opaciteit N [%]	Ongefilterde k-waarde [m <sup>-1</sup> ]	Gefilterde k-waarde [m <sup>-1</sup> ]
- 2	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
- 1	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
0	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
1	0,006667	0,020000	0,000465	0,000000
2	0,013333	0,020000	0,000465	0,000000
3	0,020000	0,020000	0,000465	0,000000
4	0,026667	0,020000	0,000465	0,000001
5	0,033333	0,020000	0,000465	0,000002
6	0,040000	0,020000	0,000465	0,000002
7	0,046667	0,020000	0,000465	0,000003
8	0,053333	0,020000	0,000465	0,000004
9	0,060000	0,020000	0,000465	0,000005
10	0,066667	0,020000	0,000465	0,000006
11	0,073333	0,020000	0,000465	0,000008
12	0,080000	0,020000	0,000465	0,000009
13	0,086667	0,020000	0,000465	0,000011
14	0,093333	0,020000	0,000465	0,000012
15	0,100000	0,192000	0,004469	0,000014
16	0,106667	0,212000	0,004935	0,000018
17	0,113333	0,212000	0,004935	0,000022
18	0,120000	0,212000	0,004935	0,000028
19	0,126667	0,343000	0,007990	0,000036
20	0,133333	0,566000	0,013200	0,000047
21	0,140000	0,889000	0,020767	0,000061
22	0,146667	0,929000	0,021706	0,000082
23	0,153333	0,929000	0,021706	0,000109
24	0,160000	1,263000	0,029559	0,000143
25	0,166667	1,455000	0,034086	0,000185
26	0,173333	1,697000	0,039804	0,000237
27	0,180000	2,030000	0,047695	0,000301
28	0,186667	2,081000	0,048906	0,000378
29	0,193333	2,081000	0,048906	0,000469
30	0,200000	2,424000	0,057067	0,000573
31	0,206667	2,475000	0,058282	0,000693

Index i [-]	Tijd [s]	Opaciteit N [%]	Ongefilterde k-waarde [m <sup>-1</sup> ]	Gefilterde k-waarde [m <sup>-1</sup> ]
32	0,213333	2,475000	0,058282	0,000827
33	0,220000	2,808000	0,066237	0,000977
34	0,226667	3,010000	0,071075	0,001144
35	0,233333	3,253000	0,076909	0,001328
36	0,240000	3,606000	0,085410	0,001533
37	0,246667	3,960000	0,093966	0,001758
38	0,253333	4,455000	0,105983	0,002007
39	0,260000	4,818000	0,114836	0,002283
40	0,266667	5,020000	0,119776	0,002587

**Opaciteit N, ongefilterde en gefilterde k-waarde rond  $Y_{\max, A}$  (= piekwaarde, vetgedrukt)**

Index i [-]	Tijd [s]	Opaciteit N [%]	Ongefilterde k-waarde [m <sup>-1</sup> ]	Gefilterde k-waarde [m <sup>-1</sup> ]
259	1,726667	17,182000	0,438429	0,538856
260	1,733333	16,949000	0,431896	0,539423
261	1,740000	16,788000	0,427392	0,539936
262	1,746667	16,798000	0,427671	0,540396
263	1,753333	16,788000	0,427392	0,540805
264	1,760000	16,798000	0,427671	0,541163
265	1,766667	16,798000	0,427671	0,541473
266	1,773333	16,788000	0,427392	0,541735
267	1,780000	16,788000	0,427392	0,541951
268	1,786667	16,798000	0,427671	0,542123
269	1,793333	16,798000	0,427671	0,542251
270	1,800000	16,793000	0,427532	0,542337
271	1,806667	16,788000	0,427392	0,542383
272	1,813333	16,783000	0,427252	<b>0,542389</b>
273	1,820000	16,780000	0,427168	0,542357
274	1,826667	16,798000	0,427671	0,542288
275	1,833333	16,778000	0,427112	0,542183
276	1,840000	16,808000	0,427951	0,542043
277	1,846667	16,768000	0,426833	0,541870
278	1,853333	16,010000	0,405750	0,541662
279	1,860000	16,010000	0,405750	0,541418
280	1,866667	16,000000	0,405473	0,541136
281	1,873333	16,010000	0,405750	0,540819
282	1,880000	16,000000	0,405473	0,540466

Index i [-]	Tijd [s]	Opaciteit N [%]	Ongefilterde k-waarde [m <sup>-1</sup> ]	Gefilterde k-waarde [m <sup>-1</sup> ]
283	1,886667	16,010000	0,405750	0,540080
284	1,893333	16,394000	0,416406	0,539663
285	1,900000	16,394000	0,416406	0,539216
286	1,906667	16,404000	0,416685	0,538744
287	1,913333	16,394000	0,416406	0,538245
288	1,920000	16,394000	0,416406	0,537722
289	1,926667	16,384000	0,416128	0,537175
290	1,933333	16,010000	0,405750	0,536604
291	1,940000	16,010000	0,405750	0,536009
292	1,946667	16,000000	0,405473	0,535389
293	1,953333	16,010000	0,405750	0,534745
294	1,960000	16,212000	0,411349	0,534079
295	1,966667	16,394000	0,416406	0,533394
296	1,973333	16,394000	0,416406	0,532691
297	1,980000	16,192000	0,410794	0,531971
298	1,986667	16,000000	0,405473	0,531233
299	1,993333	16,000000	0,405473	0,530477
300	2,000000	16,000000	0,405473	0,529704

## 3. ETC-TEST

## 3.1. Gasvormige emissies (dieselmotor)

Laten we uitgaan van de volgende testresultaten voor een PDP-CVS-systeem:

$V_0$ (m <sup>3</sup> /rev)	0,1776
$N_p$ (rev)	23 073
$p_B$ (kPa)	98,0
$p_1$ (kPa)	2,3
T (K)	322,5
$H_a$ (g/kg)	12,8
$NO_{x\ conc}$ (ppm)	53,7
$NO_{x\ concd}$ (ppm)	0,4
$CO_{conc}$ (ppm)	38,9
$CO_{concd}$ (ppm)	1,0
$HC_{conc}$ (ppm)	9,00
$HC_{concd}$ (ppm)	3,02
$CO_{2,conc}$ (%)	0,723
$W_{act}$ (kWh)	62,72

Berekening van de verdunde uitlaatgasstroom (bijlage III, aanhangsel 2, punt 4.1)

$$M_{\text{TOTW}} = 1,293 \times 0,1776 \times 23\,073 \times (98,0 - 2,3) \times 273 / (101,3 \times 322,5) = 4\,237,2 \text{ kg}$$

Berekening van de  $\text{NO}_x$ -correctiefactor (bijlage III, aanhangsel 2, punt 4.2)

$$K_{\text{H,D}} = \frac{1}{1 - 0,0182 \times (12,8 - 10,71)} = 1,039$$

Berekening van de concentraties met achtergrondcorrectie (bijlage III, aanhangsel 2, punt 4.3.1.1)

Stel dat de dieselbrandstof de samenstelling  $\text{C}_1\text{H}_{1,8}$  heeft.

$$F_S = 100 \times \frac{1}{1 + \frac{1,8}{2} + \left[ 3,76 \times \left( 1 + \frac{1,8}{4} \right) \right]} = 13,6$$

$$DF = \frac{13,6}{0,723 + (9,00 + 38,9) \times 10^{-4}} = 18,69$$

$$\text{NO}_{x \text{ conc}} = 53,7 - 0,4 \times (1 - (1/18,69)) = 53,3 \text{ ppm}$$

$$\text{CO}_{\text{conc}} = 38,9 - 1,0 \times (1 - (1/18,69)) = 37,9 \text{ ppm}$$

$$\text{HC}_{\text{conc}} = 9,00 - 3,02 \times (1 - (1/18,69)) = 6,14 \text{ ppm}$$

Berekening van de emissiemassastroom (bijlage III, aanhangsel 2, punt 4.3.1)

$$\text{NO}_{x \text{ mass}} = 0,001587 \times 53,3 \times 1,039 \times 4\,237,2 = 372,391 \text{ g}$$

$$\text{CO}_{\text{mass}} = 0,000966 \times 37,9 \times 4\,237,2 = 155,129 \text{ g}$$

$$\text{HC}_{\text{mass}} = 0,000479 \times 6,14 \times 4\,237,2 = 12,462 \text{ g}$$

Berekening van de specifieke emissies (bijlage III, aanhangsel 2, punt 4.4)

$$\overline{\text{NO}}_x = 372,391 / 62,72 = 5,94 \text{ g/kWh}$$

$$\overline{\text{CO}} = 155,129 / 62,72 = 2,47 \text{ g/kWh}$$

$$\overline{\text{HC}} = 12,462 / 62,72 = 0,199 \text{ g/kWh}$$

### 3.2. Deeltjesemissies (dieselmotor)

Stel dat testresultaten voor een PDP-CVS-systeem met dubbele verdunning als volgt zijn:

$M_{\text{TOTW}}$ (kg)	4 237,2
$M_{\text{f,p}}$ (mg)	3,030
$M_{\text{f,b}}$ (mg)	0,044
$M_{\text{TOT}}$ (kg)	2,159
$M_{\text{SEC}}$ (kg)	0,909
$M_{\text{d}}$ (mg)	0,341
$M_{\text{DIL}}$ (kg)	1,245
DF	18,69
$W_{\text{act}}$ (kWh)	62,72

Berekening van de massa-emissie (bijlage III, aanhangsel 2, punt 5.1)

$$M_f = 3,030 + 0,044 = 3,074 \text{ mg}$$

$$M_{SAM} = 2,159 - 0,909 = 1,250 \text{ kg}$$

$$PT_{mass} = \frac{3,074}{1,250} \times \frac{4\,237,2}{1\,000} = 10,42 \text{ g}$$

Berekening van de massa-emissie met achtergrondcorrectie (bijlage III, aanhangsel 2, punt 5.1)

$$PT_{mass} = \left[ \frac{3,074}{1,250} - \left( \frac{0,341}{1,245} \times \left( 1 + \frac{1}{18,69} \right) \right) \right] \times \frac{4\,237,2}{1\,000} = 9,32 \text{ g}$$

Berekening van de specifieke emissie (bijlage III, aanhangsel 2, punt 5.2)

$$\overline{PT} = 10,42/62,72 = 0,166 \text{ g/kWh}$$

$$\overline{PT} = 9,32/62,72 = 0,149 \text{ g/kWh, met achtergrondcorrectie.}$$

### 3.3. Gasvormige emissies (CNG-motor)

Stel dat de testresultaten voor een PDP-CVS-systeem met dubbele verdunning als volgt zijn:

$M_{TOTW}$ (kg)	4 237,2
$H_a$ (g/kg)	12,8
$NO_x$ conce (ppm)	17,2
$NO_x$ concd (ppm)	0,4
$CO_{conce}$ (ppm)	44,3
$CO_{concd}$ (ppm)	1,0
$HC_{conce}$ (ppm)	27,0
$HC_{concd}$ (ppm)	3,02
$CH_4$ conce (ppm)	18,0
$CH_4$ concd (ppm)	1,7
$CO_{2,conce}$ (%)	0,723
$W_{act}$ (kWh)	62,72

Berekening van de  $NO_x$ -correctiefactor (bijlage III, aanhangsel 2, punt 4.2)

$$K_{HG} = \frac{1}{1 - 0,0329 \times (12,8 - 10,71)} = 1,074$$

Berekening van de NMHC-concentratie (bijlage III, aanhangsel 2, punt 4.3.1)

a) GC-methode

$$NMHC_{conce} = 27,0 - 18,0 = 9,0 \text{ ppm}$$

## b) NMC-methode

Bij een rendement van 0,04 voor methaan en 0,98 voor ethaan (zie bijlage III, aanhangsel 5, punt 1.8.4) is:

$$\text{NMHC}_{\text{conce}} = \frac{27,0 \times (1 - 0,04) - 18,0}{0,98 - 0,04} = 8,4 \text{ ppm}$$

Berekening van de concentraties met achtergrondcorrectie (bijlage III, aanhangsel 2, punt 4.3.1.1)

Met  $G_{20}$  als referentiebrandstof (100 % methaan) met samenstelling  $C_1H_4$  is:

$$F_S = 100 \times \frac{1}{1 + \frac{4}{2} + \left(3,76 \times \left(1 + \frac{4}{4}\right)\right)} = 9,5$$

$$DF = \frac{9,5}{0,723 + (27,0 + 44,3) \times 10^{-4}} = 13,01$$

Voor NMHC is de achtergrondconcentratie gelijk aan het verschil tussen  $HC_{\text{concd}}$  en  $CH_{4\text{concd}}$

$$\text{NO}_{x\text{conc}} = 17,2 - 0,4 \times (1 - (1/13,01)) = 16,8 \text{ ppm}$$

$$\text{CO}_{\text{conc}} = 44,3 - 1,0 \times (1 - (1/13,01)) = 43,4 \text{ ppm}$$

$$\text{NMHC}_{\text{conc}} = 8,4 - 1,32 \times (1 - (1/13,01)) = 7,2 \text{ ppm}$$

$$\text{CH}_{4\text{conc}} = 18,0 - 1,7 \times (1 - (1/13,01)) = 16,4 \text{ ppm}$$

Berekening van de emissiemassastromen (bijlage III, aanhangsel 2, punt 4.3.1)

$$\text{NO}_{x\text{mass}} = 0,001587 \times 16,8 \times 1,074 \times 4\,237,2 = 121,330 \text{ g}$$

$$\text{CO}_{\text{mass}} = 0,000966 \times 43,4 \times 4\,237,2 = 177,642 \text{ g}$$

$$\text{NMHC}_{\text{mass}} = 0,000502 \times 7,2 \times 4\,237,2 = 15,315 \text{ g}$$

$$\text{CH}_{4\text{mass}} = 0,000554 \times 16,4 \times 4\,237,2 = 38,498 \text{ g}$$

Berekening van de specifieke emissies (bijlage III, aanhangsel 2, punt 4.4)

$$\overline{\text{NO}}_x = 121,330/62,72 = 1,93 \text{ g/kWh}$$

$$\overline{\text{CO}} = 177,642/62,72 = 2,83 \text{ g/kWh}$$

$$\overline{\text{NMHC}} = 15,315/62,72 = 0,244 \text{ g/kWh}$$

$$\overline{\text{CH}}_4 = 38,498/62,72 = 0,614 \text{ g/kWh}$$

4.  $\lambda$ -VERSCHUIVINGSFACTOR ( $S_\lambda$ )4.1. Berekening van de  $\lambda$ -verschuivingsfactor ( $S_\lambda$ )<sup>(1)</sup>

$$S_\lambda = \frac{2}{\left(1 - \frac{\text{inert gas \%}}{100}\right) \left(n + \frac{m}{4}\right) - \frac{\text{O}_2^*}{100}}$$

waarin:

$S_\lambda$  =  $\lambda$ -verschuivingsfactor

% inert gas = vol % van de inerte gassen in de brandstof ( $N_2$ ,  $CO_2$ , He, enz.)

$O_2^*$  = vol % van de oorspronkelijke zuurstof in de brandstof

<sup>(1)</sup> Stoichiometrische lucht-brandstofverhouding van brandstoffen voor automobielen – SAE J1829, juni 1987. John B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill, 1988, hoofdstuk 3.4 „Combustion stoichiometry” (blz. 68-72).

n en m = staan voor de gemiddelde  $C_nH_m$  van de koolwaterstoffen in de brandstof, d.w.z.:

$$n = \frac{1 \times \left[ \frac{CH_4 \%}{100} \right] + 2 \times \left[ \frac{C_2 \%}{100} \right] + 3 \times \left[ \frac{C_3 \%}{100} \right] + 4 \times \left[ \frac{C_4 \%}{100} \right] + 5 \times \left[ \frac{C_5 \%}{100} \right] + \dots}{1 - \% \text{ verdunningsmiddel}}$$

$$m = \frac{4 \times \left[ \frac{CH_4 \%}{100} \right] + 4 \times \left[ \frac{C_2H_4 \%}{100} \right] + 6 \times \left[ \frac{C_2H_6 \%}{100} \right] + \dots + 8 \times \left[ \frac{C_3H_8 \%}{100} \right] + \dots}{1 - \% \text{ verdunningsmiddel}}$$

waarin:

$CH_4$  = vol % methaan in de brandstof

$C_2$  = vol % van alle  $C_2$ -koolwaterstoffen (bv.  $C_2H_6$ ,  $C_2H_4$ , enz.) in de brandstof

$C_3$  = vol % van alle  $C_3$ -koolwaterstoffen (bv.  $C_3H_8$ ,  $C_3H_6$ , enz.) in de brandstof

$C_4$  = vol % van alle  $C_4$ -koolwaterstoffen (bv.  $C_4H_{10}$ ,  $C_4H_8$ , enz.) in de brandstof

$C_5$  = vol % van alle  $C_5$ -koolwaterstoffen (bv.  $C_5H_{12}$ ,  $C_5H_{10}$ , enz.) in de brandstof

verdunningsmiddel = vol % van de verdunningsgassen in de brandstof ( $O_2^*$ ,  $N_2$ ,  $CO_2$ , He, enz.).

#### 4.2. Voorbeelden van de berekening van de $\lambda$ -verschuivingsfactor $S_\lambda$

Voorbeeld 1:  $G_{25}$ :  $CH_4 = 86\%$ ,  $N_2 = 14\%$  (vol)

$$n = \frac{1 \times \left[ \frac{CH_4 \%}{100} \right] + 2 \times \left[ \frac{C_2 \%}{100} \right] + \dots}{1 - \% \text{ verdunningsmiddel}} = \frac{1 \times 0,86}{1 - \frac{14}{100}} = \frac{0,86}{0,86} = 1$$

$$m = \frac{4 \times \left[ \frac{CH_4 \%}{100} \right] + 4 \times \left[ \frac{C_2H_4 \%}{100} \right] + \dots}{1 - \% \text{ verdunningsmiddel}} = \frac{4 \times 0,86}{0,86} = 4$$

$$S_\lambda = \frac{2}{\left(1 - \frac{\text{inert gas \%}}{100}\right) \left(n + \frac{m}{4}\right) - \frac{O_2^*}{100}} = \frac{2}{\left(1 - \frac{14}{100}\right) \times \left(1 + \frac{4}{4}\right)} = 1,16$$

Voorbeeld 2:  $G_R$ :  $CH_4 = 87\%$ ,  $C_2H_6 = 13\%$  (vol)

$$n = \frac{1 \times \left[ \frac{CH_4 \%}{100} \right] + 2 \times \left[ \frac{C_2 \%}{100} \right] + \dots}{1 - \% \text{ verdunningsmiddel}} = \frac{1 \times 0,87 + 2 \times 0,13}{1 - \frac{0}{100}} = \frac{1,13}{1} = 1,13$$

$$m = \frac{4 \times \left[ \frac{CH_4 \%}{100} \right] + 4 \times \left[ \frac{C_2H_4 \%}{100} \right] + \dots}{1 - \% \text{ verdunningsmiddel}} = \frac{4 \times 0,87 + 6 \times 0,13}{1} = 4,26$$

$$S_\lambda = \frac{2}{\left(1 - \frac{\text{inert gas \%}}{100}\right) \left(n + \frac{m}{4}\right) - \frac{O_2^*}{100}} = \frac{2}{\left(1 - \frac{0}{100}\right) \times \left(1,13 + \frac{4,26}{4}\right)} = 0,911$$

Voorbeeld 3: USA: CH<sub>4</sub> = 89 %, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> = 4,5 %, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> = 2,3 %, C<sub>6</sub>H<sub>14</sub> = 0,2 %, O<sub>2</sub> = 0,6 %, N<sub>2</sub> = 4 %

$$n = \frac{1 \times \left[ \frac{\text{CH}_4\%}{100} \right] + 2 \times \left[ \frac{\text{C}_2\%}{100} \right] + \dots}{\frac{1 - \% \text{ verdunningsmiddel}}{100}} = \frac{1 \times 0,89 + 2 \times 0,045 + 3 \times 0,023 + 4 \times 0,002}{1 - \frac{(0,6 + 4)}{100}} = 1,11$$

$$m = \frac{4 \times \left[ \frac{\text{CH}_4\%}{100} \right] + 4 \times \left[ \frac{\text{C}_2\text{H}_4\%}{100} \right] + 6 \times \left[ \frac{\text{C}_2\text{H}_6}{100} \right] + \dots + 8 \times \left[ \frac{\text{C}_3\text{H}_8}{100} \right]}{\frac{1 - \% \text{ verdunningsmiddel}}{100}}$$

$$= \frac{4 \times 0,89 + 4 \times 0,045 + 8 \times 0,023 + 14 \times 0,002}{1 - \frac{0,6 + 4}{100}} = 4,24$$

$$S_\lambda = \frac{2}{\left(1 - \frac{\text{inert gas \%}}{100}\right) \left(n + \frac{m}{4}\right) - \frac{\text{O}_2^*}{100}} = \frac{2}{\left(1 - \frac{4}{100}\right) \times \left(1,11 + \frac{4,24}{4}\right) - \frac{0,6}{100}} = 0,96$$