

Eindrapportage inzet zero emissie materieel



Opdrachtgever: Provincie Gelderland

Documentnummer: N346-RAP-100004433
Revisie: C
Status: Definitief
Datum: 21-jun-2024

© Niets uit dit rapport en / of dit ontwerp mag worden verveelvoudigd, openbaar gemaakt en / of overhandigd aan derden, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Projectteam N346 Schakel Achterhoek – A1

Opgesteld door:
Rik Schepers
Manager procesbeheersing

Paraaf

Gecontroleerd door:
Johan van de Mars
Manager uitvoering

Paraaf

Vrijgegeven door:
Rick Bruinink
Projectmanager

Paraaf

Revisiebeheer

Document Revisie			
<i>Rev.</i>	<i>Datum</i>	<i>Omschrijving</i>	<i>Opsteller</i>
0.01	01-05-2024	Conceptversie opgesteld	Rik Schepers
A	05-06-2024	Definitieve versie vastgesteld	Rik Schepers
A.01	12-06-2024	Opmerkingen van OG verwerkt	Rik Schepers
B	14-06-2024	Versie definitief vastgesteld	Rik Schepers
B.01	19-06-2024	Opmerkingen van OG verwerkt	Rik Schepers
C	21-06-2024	Versie definitief vastgesteld	Rik Schepers

Beheer: De meest recente revisie in het DMS is geldend.

Na interne ondertekening wordt het document automatisch binnen het gehele projectteam gedeeld. Tevens wordt het document door de documentcontroller verstuurd vanuit Thinkproject! naar de externen die in bovenstaande lijst staan aangegeven.

Beheer

De documentcontroller van N346 Schakel Achterhoek – A1 verzorgt de distributie conform de distributiematrix / documentenplanning. De actuele versie van het document is te vinden in DMS.

Bij uitgifte van een document met een hoger revisienummer verliest de voorgaande versie automatisch haar geldigheid. Kopiehouders dienen het voorblad van een ongeldige versie te markeren met een diagonale lijn samen met de tekst 'vervallen' (alleen bij verspreiden van hardcopy's)

Bij twijfel over de geldende versie contact opnemen met de documentcontroller.

Afhankelijk van de contractbepalingen kan het plan ter acceptatie / ter informatie bij de Opdrachtgever worden ingediend.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
1.1	Scope Eindrapportage.....	4
1.2	Wijziging ten opzichte van Annex XVIII	5
2	Voeding zero emissie mobiele werktuigen	6
3	Vergelijking tussen werkplan en daadwerkelijke inzet	7
3.1	Geplande inzet elektrisch materieel	7
3.2	Daadwerkelijke inzet elektrisch materieel	7
3.3	Beloften uit het werkplan	10
3.3.1	Registratie materieel	10
3.3.2	Tussentijdse controle correctheid administratie	10
4	Onderbouwing van besparing emissie uitstoot	12
5	Analyse wijze van vastlegging	14
6	Analyse inzet van zero emissie werktuigen	15
6.1	Uitgevoerde werkzaamheden.....	15
6.1.1	Elektrische mobiele graafmachine	15
6.1.2	Elektrische asfaltset	15
6.1.3	Elektrische rupskraan.....	16
6.2	Opgedane leerpunten.....	17
6.2.1	Algemene leerpunten	17
6.2.2	Elektrische mobiele graafmachine	18
6.2.3	Elektrische asfaltset	18
6.2.4	Elektrische rupskraan.....	19
7	Conclusies	20

Bijlage 1. Emissie uitstoot meetrapport van een vergelijkbare mobiele graafmachine op brandstof (betreft een eerder uitgevoerd onderzoek)

22

1 Inleiding

Het Project N346 Schakel Achterhoek – A1 is een pilotproject binnen het Schone Lucht Akkoord (SLA). In dat kader wil de Provincie Gelderland (opdrachtgever) de beschikbaarheid en de mogelijkheden van het gebruik van schonere mobiele werktuigen samen met BAM (Opdrachtnemer) verkennen. Dat wil concreet zeggen beter - minder emissie uitstoot - dan de op dit moment gestelde algemene VSE-eis: Stage IV.

Als (minimum)eis is in het contract gesteld dat materieel dat wordt ingezet ten minste voldoet aan de voorwaarden van Stage IV motorisering als bedoeld in de Europese richtlijn 2004/26/EC (VSE eis SES-04010).

De Provincie Gelderland heeft als gevolg van input door marktpartijen in de aanbestedingsfase er niet voor gekozen om de minimumeis te verzwaren, maar om extra te gaan stimuleren op de inzet van zero-emissie mobiele werktuigen. Specifiek richt de Provincie Gelderland zich hierbij op de daadwerkelijke inzet van twee zero-emissie mobiele werktuigen.

In onderstaande tabel zijn de eigenschappen van deze 2 werktuigen beschreven:

	Vermogen KW	
	van	tot
Graafmachine, mobiel, hydraulisch	105	129
Wiellaadschop, bakinhoud 1500 liter	75	137

In het contract is opgenomen dat BAM de volgende onderdelen dient uit te voeren. Per onderdeel is een stelpost beschikbaar waarop de betreffende kosten verrekend kunnen worden:

1. Opstellen werkplan inzet materieel
2. Opzetten materieelpaspoort per in te zetten mobiel werktuig
3. Inzet zero-emissie materieel en bijhouden materieelregister
4. Meten daadwerkelijke emissie uit de uitlaat van twee individuele mobiele werktuigen
5. Opstellen eindrapport

Van het kostenverschil tussen de inzet van een Stage IV en zero-emissie (Graafmachine en de Wiellaadschop) kan BAM 90% op de stelpost verrekenen.

Het Werkplan inzet zero emissie materieel (N346-WPL-100001558) is in 2023 opgesteld en beoordeeld door de Provincie Gelderland. Dat plan heeft de basis gevormd voor de inzet van het zero emissie materieel.

1.1 Scope Eindrapportage

In deze eindrapportage beschrijft BAM op welke wijze invulling is gegeven aan de inzet van zero-emissie materieel. Het doel van dit plan is te evalueren hoeveel minder emissie uitstoot op het project heeft plaatsgevonden ten gevolge van de inzet van zero emissie materieel. Tevens worden de opgedane leerervaringen gedeeld. Hiervoor worden de volgende onderwerpen beschreven/uitgewerkt:

- Een vergelijking maken tussen het werkplan en de daadwerkelijke werkelijke inzet;
- Onderbouwing van de besparing emissie uitstoot ten opzichte van de Stage IV -mobiele werktuigen;
- Analyse of de wijze van vastlegging passend was, of hoe dit anders zou moeten;
- Analyse van de inzet van zero emissie werktuigen (opgedane leerervaringen in de praktijk).

1.2 Wijziging ten opzichte van Annex XVIII

Bij de uitwerking van het werkplan inzet zero emissie materieel bleek dat de elektrische variant van de wiellaadschop qua specificaties veel afwijkt van hetgeen wordt gevraagd in het contract (zie §2.2). Verder heeft BAM in haar aanbieding gepland met de inzet van een wiellaadschop met een bakinhoud van 2800 liter. Dit leidt ertoe dat de elektrische wiellaadschop niet te vergelijken is met de ingezette wiellaadschop op brandstof. Vergelijking van de emissie uitstoot is daarom niet mogelijk. In overleg met Opdrachtgever is daarom besloten om de wiellaadschop niet op te nemen in deze pilot.

Om meer dan 1 werktuig te kunnen vergelijken qua uitstoot heeft BAM gekeken welke werktuigen geëlektrificeerd zijn/worden naast de graafmachine en wiellaadschop, waarbij een vergelijk mogelijk is tussen de brandstof variant en de elektrische variant en waarbij een significante inzet is op een project als N346 Schakel Achterhoek – A1. Hierbij is BAM uitgekomen op de inzet van een elektrische asfaltspredmachine en de inzet van een elektrische rupskraan.

BAM beschikt sinds 2022 over een elektrische variant van een asfaltspredmachine. Deze elektrische variant is qua omvang en productie vergelijkbaar met een asfaltspredmachine op brandstof welke reeds voorzien was voor inzet op het project N346 Schakel Achterhoek – A1. Verder is voor de werkzaamheden een elektrische variant van een rupskraan ingehuurd. Het betreft een Hyundai HX260AL. Dit is een volledige elektrische kraan met een gewicht van 31.700kg. Deze is vergelijkbaar met de ingezette rupskraan op brandstof: Volvo 250EL welke 28.000 kg weegt en een stage V motor heeft.

2 Voeding zero emissie mobiele werktuigen

De in te zetten zero emissie mobiele werktuigen zijn gevoed middels een accupakket. Om continuering van de werktuigen tijdens de uitvoering te garanderen zet BAM een extra accupakket per werktuig in. Zo kan de machinist altijd beschikken over een vol accupakket en ontstaat geen wachttijd ten gevolge van een lege accu welke moet worden opgeladen.

Conform Annex XVIII zou de Provincie Gelderland zich inspannen om voor zijn rekening twee stroomoplaadpunten voor begin 2023 te (laten) realiseren. Indien mogelijk zou de Provincie Gelderland de locaties in samenspraak met BAM bepalen.

Na gunning is tussen BAM en de Provincie Gelderland afgesproken dat BAM de 2 stroompunten aanvraagt bij de netbeheerder en dat de Provincie deze kosten vergoed (2x €1.142,- = €2.284,- excl. BTW). Afgesproken is dat op de volgende 2 locaties een 3x 80 Ampère stroompunt wordt gerealiseerd om zo voldoende vermogen te hebben voor het opladen van mobiele werktuigen:

- Ter plaatse van de voorbouwlocatie van de brug over het Twentekanaal;
- Ter plaatse van kunstwerk 2.

Met deze locaties beschikt BAM aan beide zijden van het Twentekanaal over een oplaadpunt. Hiermee wordt voorkomen dat materieel moet omrijden om te kunnen opladen.

BAM heeft de bouwaansluiting ter plaatse van de voorbouwlocatie aangevraagd op 21 juli 2022. Deze aansluiting is gerealiseerd op 24 oktober 2023. De totale doorlooptijd bedraagt hiermee 66 weken.

BAM heeft de bouwaansluiting ter plaatse van kunstwerk 2 aangevraagd op 9 juni 2022. Deze aansluiting is gerealiseerd op 20 juli 2023. De totale doorlooptijd bedraagt hiermee 58 weken.

Normaliter hanteert Liander een doorlooptijd voor huis- en bouwaansluitingen van 8 tot 10 weken. De daadwerkelijke realisatie van de aansluitingen is op dit project dus overschreden met respectievelijk 56 en 48 weken.

BAM verneemt van andere projecten dat ook op andere projecten de doorlooptijden voor het aansluiten van aansluitingen fors wordt overschreden. Een leerpunt zou dus zijn dat de Opdrachtgever de aansluitingen al in de voorbereidingsfase aanvraagt.



3 Vergelijking tussen werkplan en daadwerkelijke inzet

3.1 Geplande inzet elektrisch materieel

BAM heeft in de ontwerpfase een Werkplan inzet zero emissie materieel opgesteld (N346-WPL-100001558). In dit plan is de aanpak beschreven voor de inzet van Zero emissie materieel. Conform dat plan zou BAM de volgende machines inzetten:

- Elektrische graafmachine; Doosan DX165W
- Elektrische asfaltset

Deze machines zouden in de volgende weken worden ingezet:

[illegible]

3.2 Daadwerkelijke inzet elektrisch materieel

Gedurende 2023 zijn er enkele zaken gewijzigd in de inzet van elektrisch materieel. Hierdoor is de werkelijke inzet anders geweest dan de geplande inzet.

Naast de elektrische graafmachine en elektrische asfaltset is ook een elektrische mobiele rupskraan ingezet. In onderstaande tabel is de werkelijke inzet van deze machines weergegeven:

[illegible]

Elektrische graafmachine Doosan DX165W:

De inzet van de elektrische graafmachine heeft op 2 langduriger momenten plaatsgevonden. In de periode van week 9 tot en met week 10 en in de periode van week 21 tot en met 30.

BAM heeft in oost Nederland 1 elektrische graafmachine tot haar beschikking. Deze machine moest gedeeld worden tussen het project N341 Schakel Achterhoek – A1 en een project in Nunspeet. Hierdoor kon de elektrische graafmachine niet gedurende heel 2023 worden ingezet.

Verder heeft BAM ook een keer een graafmachine uit een andere regio ingezet. Tijdens de start van het project heeft BAM de planning afgestemd met het project Nunspeet. Echter, tijdens uitvoering gaf het project in Nunspeet aan dat zij de mobiele graafmachine weer opnieuw tussentijds moesten inzetten. Door onvoorziene omstandigheden moest de kraan weer terug naar Nunspeet omdat er op dat contract een resultaatsverplichting zat op de inzet van de machine. Bij het project N346 Schakel Achterhoek-A1 zat er een inspanningsverplichting op de inzet. BAM heeft toen wel andere partijen benaderd, echter was nergens een dergelijke elektrische mobiele graafmachine beschikbaar. Er is momenteel nog een tekort aan dergelijke machines. Hierom heeft BAM een verzoek ingediend bij OG om een andere type machine in te zetten (zie de inzet van de rupskraan). BAM ziet dat de ontwikkelingen momenteel ontzettend snel gaan. Waardoor de inzichten momenteel volledig anders zijn dan wat in de tenderfase is beloofd. Zo had in de tenderfase de inzet van een rupskraan niet voorzien kunnen worden. Tijdens realisatie bleek een dergelijke rupskraan wel beschikbaar.



Elektrische asfaltset:

De elektrische asfaltset bestaat uit meerdere afzonderlijke elektrische materieelstukken. De set bestaat uit een elektrische asfaltafwerkmachine, een HW 90 statische wals, een tandemwals (DV70/90) een kleine wals (HD 10/12) en een spuitauto groot.



De inzet van de elektrische asfaltset was gepland gedurende 2 setdagen in week 26, in week 29 en een setdag in week 30. De asfaltplanning verliep anders, waardoor ook de geplande inzet voor de elektrische asfaltset is gewijzigd. Verder bleek dat het niet altijd mogelijk was om de volledige asfaltset in te zetten. Een deel van de materieelstukken waren op andere projecten reeds gepland. Op die andere projecten was er een resultaatsverplichting. Door de asfaltset te splitsen probeert BAM toch alle projecten te bedienen. BAM heeft 1 elektrische asfaltset en 1 asfaltset op waterstof. In 2023 beschikte BAM over 1 volledige elektrische set. Inmiddels zijn er ook meerdere losse walsen aangeschaft. Dit voorjaar (2024) heeft BAM 2 nieuwe elektrische walsen aangeschaft, deze waren in 2023 nog niet beschikbaar.

Onderdelen van deze set zijn daarom separaat ingezet. In onderstaande tabel is de inzet weergegeven:

Week	Dag inzet	Uren inzet	Materieelstuk
24	16-06-2023	8	HW 90 statische wals inclusief HCQ
			Kleine wals HD 10/12 (2,7 ton)
			Asfaltafwerkmachine V1800/1900-3i (2,5-5 m1 of 3-6 m1) inclusief Roadscan
			Tandemwals (DV70/90)
28	11-07-2023	8	Tandemwals (DV70/90)
			HW 90 statische wals inclusief HCQ
40	02-10-2023	8	Asfaltafwerkmachine V1800/1900-3i (2,5-5 m1 of 3-6 m1) inclusief Roadscan
			Sputauto groot
			HW 90 statische wals inclusief HCQ
			Tandemwals (DV70/90)
			Kleine wals HD 10/12 (2,7 ton)
43	24-10-2023	4	Kleine wals HD 10/12 (2,7 ton)
			Asfaltafwerkmachine V1800/1900-3i (2,5-5 m1 of 3-6 m1) inclusief Roadscan



Electrische rupskraan Hyundai HX260AL:

In oktober van 2023 kreeg BAM het aanbod vanuit een leverancier om een elektrische rupskraan in te zetten op het project. Omdat BAM veel gebruik maakt van rupskranen op het project, werd van dit aanbod gebruik gemaakt. Op deze manier kon een goed vergelijk gemaakt worden tussen twee gelijkwaardige machines; een brandstof aangedreven stage V rupskraan en een elektrisch aangedreven rupskraan. Uiteindelijk is het vergelijk niet volledig uitgevoerd doordat geen onderzoek heeft plaatsgevonden naar de uitstoot van een rupskraan met een brandstof motor. De oorzaken hiervan worden verder toegelicht in hoofdstuk 4.

In de planning was de inzet van een elektrische rupskraan niet voorzien omdat de elektrische variant van deze machines voor 2023 nog nauwelijks beschikbaar waren. Uiteindelijk is de elektrische rupskraan fulltime ingezet in week 45 tot en met week 51 2023.



3.3 Beloften uit het werkplan

3.3.1 Registratie materieel

Het meten van de daadwerkelijke draaiuren van materieel bleek niet mogelijk. BAM heeft de draaiuren bijgehouden op basis van de facturen van de leverancier van het materieel. De zero emissie machines die BAM voor de N346 Schakel Achterhoek – A1 heeft ingezet blijken niet over een logsysteem te beschikken die de daadwerkelijke draaiuren registreren. In de voorbereidingsfase is uitgegaan van een graafmachine met een brandstofmotor die een dergelijk systeem wel heeft. Dat systeem maakt onderscheid tussen werkelijke bedrijfsuren, uren die de machine stationair draait en tijd dat de motor is uitgeschakeld. Deze differentiatie is uiteraard niet van toepassing op elektrische machines, omdat het stationair draaien van de motor niet van toepassing is. Inmiddels zijn systemen beschikbaar (GPS log systemen) die de draaiuren van elektrisch materieel wel kunnen registreren. Om de daadwerkelijke inzet van elektrisch materieel te kunnen bepalen verdient het de aanbeveling om dergelijke systemen in te zetten om de draaiuren te kunnen registreren.

3.3.2 Tussentijdse controle correctheid administratie

Tussentijds zou BAM een controle uitgevoerd op de correctheid van de administratie. Deze controle heeft niet plaatsgevonden in de vorm van een audit. Wekelijks vindt een gesprek plaats met de uitvoerder waarin de leerpunten voor het ingezette elektrisch materieel werden bijgehouden. Verder verzamelde de projectcontroller de facturen van de inzet van het elektrisch materieel. Deze administratie werd vergeleken met de toelichting van de uitvoerder en dit kwam overeen. Hierover heeft geen gesprek meer plaatsgevonden met de opdrachtgever.

N346 Schakel Achterhoek–A1



4 Onderbouwing van besparing emissie uitstoot

In dit hoofdstuk wordt een onderbouwing gegeven van de besparing van de emissie uitstoot ten opzichte van de Stage IV -mobiele werktuigen. Om te onderbouwen hoeveel besparing van emissie uitstoot heeft plaatsgevonden zou de uitstoot van vergelijkbare werktuigen op brandstof moeten worden onderzocht.

Het plan was om hierbij een brandstof variant van de mobiele graafmachine en de rupskraan te onderzoeken. Echter, doordat de rupskraan pas laat in 2023 onderdeel is gaan uitmaken van deze proef kon ook de uitvraag voor het onderzoek aan de brandstofvariant van de rupskraan pas laat plaatsvinden. Uiteindelijk heeft de uitvraag voor het emissieonderzoek van de rupskraan op brandstof pas in februari 2024 plaatsgevonden. De doorlooptijd voor het uitvoeren en uitwerken van een onderzoek bleek toen tenminste 3 maanden. Hiermee heeft de uitvraag te laat plaatsgevonden en is het advies voor toekomstige pilots om direct bij start van de inzet van elektrisch materieel navraag te doen wat de doorlooptijd van een emissie onderzoek is.

Voor de elektrische asfaltset geldt dat deze set uit meerdere elektrische materieelstukken bestaat. Hiervoor is besloten om geen meting uit te voeren van de brandstofvariant omdat dit veel tijd kost en kosten voor het uitvoeren van het onderzoek.

De uitvraag voor de emissiemeting van de rupskraan is gedaan bij . Zij konden deze meting pas uitvoeren in de tweede helft van juni 2024. De resultaten zouden pas eind juni 2024 beschikbaar komen. Dit is te laat om nog mee te nemen in de resultaten van deze pilot. Beperkte beschikbaarheid van onderzoeksbureaus is daarom een van de conclusies van deze pilot.

Voor de emissiemeting van de brandstof variant van een mobiele graafmachine is gebruik gemaakt van een onderzoek dat reeds door de leverancier van de mobiele graafmachine (fa.) was uitgevoerd voor een ander project. heeft uitstootmetingen uitgevoerd aan de uitlaat van een vergelijkbare mobiele graafmachine brandstof werkt. Dit onderzoek is eind 2020 uitgevoerd op een mobiele graafmachine van het type Volvo EWR150E met een Stage IV motor. Dit is ook een mobiele 15 tons graafmachine, net als de mobiele 15 tons graafmachine op brandstof. Dergelijke machines worden nog steeds ingezet en daarmee is het onderzoek nog steeds representatief. De onderzoeksrapportage is opgenomen in bijlage 1.

De volgende machine is hierbij onderzocht:

1. Mobiele graafmachine (Volvo EWR150E):

Component		R0815
Fabrikant		Volvo (deutz)
model		D4J
Serie nummer		VCEW150EK00320520
Cilinders		4
Lijn / V		Line
inlaatlucht		Turbo
Intercooler		Yes
nominaal vermogen	kW	105 (143 pk)
omwentelingen	rpm	2000
Brandstof		Diesel (EN590)

De resultaten van de mobiele graafmachine is als volgt:

1. Mobiele graafmachine:

Installatie	Meting 1	Meting 2	Meting 3
EWB 150E, diesel			
Gemiddeld afgenomen Vermogen kW	61	61	61
Uitlaat temperatuur °C	210	220	215
O ₂ vol%	7.0	9.4	8.2
NO _x mg/m ³	<2.1	6.8	3.3
NO _x mg/m ³ @ 15 vol% O ₂	< 1.0	3.5	1.5
NO _x g/kWh	<0.01	0.03	0.01

De gemiddelde besparing betreft $(0,01+0,03+0,01)/3=0,0167$ g/kWh. Dit is $0,0167 \times 61 = 1,017$ gram per uur. In totaal is de mobiele elektrische graafmachine 480 uur ingezet. Hiermee bedraagt de totale besparing $480 \times 1,017 = 488$ gram NO_x

BAM kan enkel de uitstootwinst in NO_x vaststellen aangezien de met de rapportage van de uitstoot alleen de uitstoot in NO_x is gemeten. Dit is conform de uitvraag van de provincie Gelderland.

Conform de specificaties van de leverancier stoot de motor van de Volvo EWR150E maximaal 0,4 g/kWh uit. In de praktijk blijkt de emissie fors lager dan de door de fabrikant opgegeven waarde.

5 Analyse wijze van vastlegging

In dit hoofdstuk volgt een analyse of de wijze van vastlegging passend was, of hoe dit anders zou moeten.

De vastlegging van de data bestond voornamelijk uit het bijhouden van:

- de gewerkte uren per materieelstuk;
- uitgevoerde werkzaamheden;
- opgedane verbeterpunten/leerervaringen.

Daarnaast moesten emissiemetingen van brandstofuitvoeringen van ingezet materieel worden uitgevoerd.

De wijze van vastleggen bestond uit:

- Registratie van het ingezette materieel;
- Registratie van uren van het ingezette materieel;
- Metingen van uitstoot van vergelijkbaar materieel op brandstof.

Deze wijze van vastlegging was iets intensiever dan de vastlegging van reguliere werkzaamheden. Normaliter worden deze gegevens niet vastgelegd ten behoeve van de opdrachtgever. Omdat het materieel wordt ingehuurd bij een leverancier/onderaannemer/materieelbedrijf ontvangt BAM facturen. Het registreren van de draaiuren middels de facturen is een passend registratiesysteem. De betreffende documentatie is reeds voorhanden en er hoeft geen separate informatiestroom opgezet te worden om deze informatie te vergaren.

Tevens is deze informatiestroom vergelijkbaar met de informatiestroom die beschikbaar is voor de materieelstukken op brandstof. In dat geval kan de inzet van elektrisch materieel vergeleken worden met de inzet van materieel op brandstof.

Een registratiesysteem waarbij gebruik gemaakt wordt van de loggegevens van de materieelstukken is nauwkeuriger, maar dit vraagt om extra inspanning voor het verkrijgen van deze gegevens. In dat geval moet namelijk een dergelijk systeem op alle materieel worden geïnstalleerd.

6 Analyse inzet van zero emissie werktuigen

In dit hoofdstuk wordt de inzet van zero emissie werktuigen geanalyseerd. Hiervoor wordt ten eerste een overzicht gegeven van de werkzaamheden die zijn uitgevoerd per type materieel. Vervolgens wordt ingegaan op de leerpunten die zijn opgedaan tijdens de inzet van het elektrisch materieel.

6.1 Uitgevoerde werkzaamheden

In onderstaande paragrafen wordt ingegaan op de werkzaamheden die de verschillende elektrische werktuigen hebben verricht.

6.1.1 Elektrische mobiele graafmachine

De elektrische mobiele graafmachine heeft de volgende werkzaamheden uitgevoerd:

- Het verwijderen van stobben voorafgaand aan het verleggen van kabels en leidingen;
- Het leggen van stelconplaten op de voorbouwlocatie/depot;
- Het verplaatsen van vleermuisschermen;
- Afrastering verwijderen in het stationsgebied;
- Palen plaatsen voor vleermuizen schermen (ontgraven sleuf, plaatsen palen en aanvullen palen; hierbij moest veel gereden worden waarmee veel stroom verbruikt wordt)
- Voorbereidende werkzaamheden ten behoeve van de aanleg van riolering;
- Riolering aanleggen:
 - o Aanvoeren van rioolbuizen en overige materialen
 - o Verwijderen van de bemaling
 - o Aanvullen van het riool op de Kwinkweerd
- Het opbreken van asfaltverharding en klinkerverharding op de Kwinkweerd;
- Grond omslaan op het depot bij Naeff.



6.1.2 Elektrische asfaltset

De elektrische asfaltset heeft de volgende werkzaamheden verricht:

- Asfalteren van de bypass langs de Goorsegweg;
- Asfalteren van een deel van de asfaltverharding op de Kwinkweerd.



6.1.3 Elektrische rupskraan

De elektrische rupskraan heeft de volgende activiteiten uitgevoerd:

- Terrein uitvlakken op de voorbouwlocatie;
- Grondverbetering aanbrengen op de voorbouwlocatie;
- Cunetten uitgegraven;
- Betonplaten uitgebroken.





6.2 Opgedane leerpunten

In onderstaande paragraaf wordt ingegaan op de leerpunten die zijn opgedaan tijdens de inzet van het elektrisch materieel.

6.2.1 Algemene leerpunten

Bij de start van de inzet van de graafmachine was nog geen bouwstroom beschikbaar. De bouwstroomaansluiting op de voorbouwlocatie is tijdig aangevraagd maar kent een zeer lange doorlooptijd waardoor deze niet tijdig gereed was. De aansluiting bij Campina betrof daarom een tijdelijke oplossing welke een stoeve start kende.

Met Campina waren afspraken gemaakt dat BAM tijdelijk gebruik kon maken van de aansluiting van Campina. Bij de start van de graafmachine bleek er toch geen werkend oplaadpunt bij Campina te zijn. We dachten dat hier een oplaadpunt was maar deze aansluiting bleek afgezekerd op 16 ampere. Voor het opladen van de graafmachine is minimaal een 32 ampère aansluiting benodigd. Dit is vervolgens opgelost door bij het Mechanisatiebedrijf aan de Kwinkweerd in Lochem de graafmachine op te laden. Men dacht dat deze aansluiting 32 ampère was. 's Nachts is echter de zekering eruit geslagen waarbij bleek dat dit ook maar een 16 ampère aansluiting is. Doordat de stroomvraag te hoog was klapte de zekering er na verloop van tijd uit. Hierdoor was de accu niet volledig opgeladen en was de kraan 's ochtends maar voor een deel opgeladen en kon deze de dag erna maar een halve dag worden ingezet. Hierdoor kon de machine die dagen niet volledig worden ingezet, maar leidde dit ook tot stilstand van de machinist en de grondwerker. Er was namelijk geen andere machine voorhanden. Voor de inzet van elektrisch materieel moet men er dus zeker van zijn dat de stroomaansluiting voldoen aan de vereiste specificaties om niet voor onverwachte situaties te komen staan.



Uiteindelijk is de zekering bij de aansluiting van Campina aangepast naar een 2x 32 ampère zekering. De voeding van de betreffende aansluiting betrof namelijk 63 ampère. Dit heeft tot aanvullende kosten geleid voor het aanpassen van de kast.

De bouwaansluiting is uiteindelijk gerealiseerd op 24 oktober 2023. Dit was dus tegen het einde van het jaar waarin de pilot werd uitgevoerd. In dit geval was de pilot dus enkel mogelijk doordat een reeds bestaande bedrijfsaansluiting beschikbaar was op de locatie waar de werkzaamheden werden uitgevoerd.

6.2.2 Elektrische mobiele graafmachine

BAM heeft voor de elektrische mobiele graafmachine gebruik gemaakt van een extra accupakket om de kraan bij te laden. Het voordeel van een accupakket is dat deze de gehele dag kan laden aan het net.

Vervolgens kan dit accupakket de kraan tijdens pauzes versneld bijladen. Dit bijladen gaat veel sneller (65 kWh in een kwartier/half uur) dan wanneer de kraan tijdens de pauzes via het stroomnet wordt opgeladen.

Het volledige accucapaciteit van 390 kWh (eigen accu en extra accu pakket) bleek ook volledig nodig bij bijvoorbeeld een dag stobben verwijderen en het rijden van- en naar het depot. Deze activiteit (rijden met de graafmachine) vergt veel energie. Een extra accupakket blijkt dus noodzakelijk om een kraan een dag volledig te kunnen inzetten.

Tijdens kouder weer bleek dat de accu iets sneller leeg werd getrokken. Hierdoor moet de machinist gedurende de dag beter op het verdelen van de werkzaamheden letten om de accu niet te snel leeg te trekken.

Bij het werken met de mobiele graafmachine kwam naar voren dat het verstandig is om eerst alle materialen bij te rijden en dan te pauzeren, waarin de machine kan opladen. Vervolgens kan met de werkzaamheden (ontgraven) gestart te worden. Het bijrijden van materialen vraagt zeer veel energie.

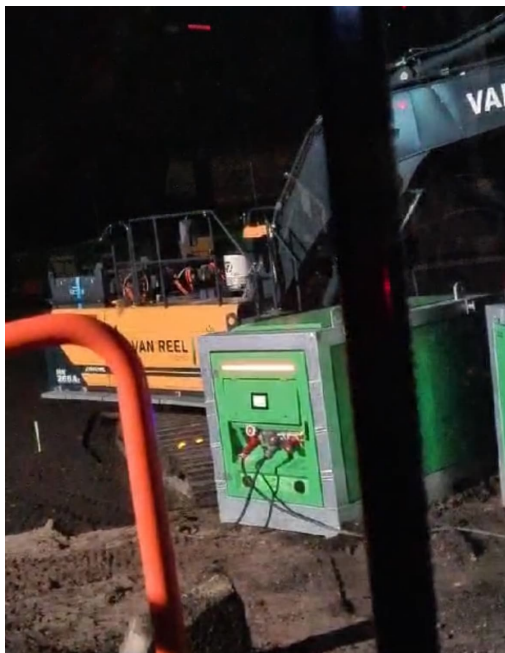
De machine functioneert prima bij het aanleggen van riool. Er zijn geen verschillen ervaren met het leggen van riolering middels een graafmachine op brandstof.

6.2.3 Elektrische asfaltset

De asfaltset is per definitie mobiel en dient daarom te beschikken over accu's die moeten zijn opgeladen voorafgaand aan de werkzaamheden. De laadcyclus komt hierbij heel nauw. De asfaltset wordt veelal iedere dag op een andere locatie ingezet. Dit betekent dat de set tussentijds vervoerd wordt waardoor de tijd om te laden nog korter wordt. De set moet echter volledig volgeladen op het project komen om een volledige setdag te kunnen realiseren. In het geval een asfaltafwerkmachine stil komt te staan betekent dit dat ook de walsen en alle asfalttransportauto's stil komen te staan. In tegenstelling tot de overige materieelstukken komen hier dus meerdere materieelstukken stil te staan in het geval dat de accu leeg is. Qua prestaties presteren de materieelstukken van een elektrische asfaltset vergelijkbaar met de variant op brandstof.

6.2.4 Elektrische rupskraan

De elektrische rupskraan verbruikt circa 400 kilowattuur per dag. De kraan werd aangesloten op 2 accupakketten van 250kWh. In de praktijk bleek een stroomaansluiting van 2x32A eigenlijk te laag. De accupakketten moesten hierdoor namelijk continu aan de voeding gekoppeld blijven waardoor de accupakketten 24 uur per dag geladen konden worden. Overdag liepen de accupakketten dan gedeeltelijk leeg. In de nacht kon het percentage worden bijgeladen, echter niet voldoende om voor een hele dag bij te laden. Gedurende de week liepen de accupakketten dus verder leeg. Pas in het weekend, als de kraan niet gebruikt werd, konden de accupakketten weer volledig worden opgeladen. De rupskraan was hierdoor minder mobiel en kon enkel in de nabijheid van een voedingspunt worden gebruikt.



Voor deze rupskraan is dus eigenlijk een 2x 63 Ampere aansluiting benodigd. In dat geval kunnen de accupakketten gedurende de nacht volledig worden opgeladen en kan de rupskraan overdag mobiel werken.

De machine is qua prestaties vergelijkbaar gebleken met een rupskraan op brandstof.

7 Conclusies

De voornaamste conclusie is dat de machines qua werking vergelijkbaar zijn met de variant op brandstof. De prestaties zijn gelijkwaardig. Dit betekent dat de machines qua kracht vergelijkbaar zijn en hierdoor ook qua inzet mogelijkheden. De machines verschillen op de volgende punten:

- Bij werkzaamheden waarbij met een mobiele graafmachine veel moet worden gereden raakt de accu sneller leeg dan wanneer ze op 1 locatie werken. Mobiele graafmachines op accus zijn dus minder goed bruikbaar als 'transport middel'.
- Bij elektrisch materieel moet voorafgaand aan de werkzaamheden goed nagedacht worden over het elektriciteitsverbruik en oplaadmogelijkheden om de machine gedurende een hele dag en week inzetbaar te houden.

Opsomming leerpunten:

- De aansluiting voor bouwstroom dient tijdig (1 tot 1,5 jaar voor gebruik) aangevraagd te worden;
- Elektrisch materieel is nog beperkt beschikbaar. De inzet dient dus tijdig te worden ingepland en te worden gereserveerd bij de leverancier/verhuurder en/of te worden afgestemd met andere projecten;
- Er is veel concurrentie tussen verschillende projecten voor de inzet van elektrisch materieel. De inzet daarvan vormt veelal onderdeel van de BPKV-uitvraag van een opdrachtgever of wordt in het contract voorgeschreven. Een aannemer zal het beschikbare materieel daarom eerst op dergelijke projecten inzetten;
- Er vindt veel ontwikkeling plaats op het gebied van elektrisch materieel. Het was voor BAM in de tenderfase moeilijk te voorspellen welk materieel 2 jaar later beschikbaar zou zijn. Het is aan te bevelen om het type in te zetten vrij te laten, zodat de aannemer kan inspelen op de meest recente ontwikkelingen;
- Het uitvoeren van onderzoek naar de emissie uitstoot van materieel op brandstof dient tijdig ingepland te worden.

Inplannen volgorde werkzaamheden

Het belangrijk verschil tussen machines op brandstof en op elektra is dat de elektrische machine moet beschikken over een volgeladen accu. Bijladen van een accu kost veel meer tijd dan het aftanken van een machine met brandstof. Dit vergt enige flexibiliteit in de volgorde van werkzaamheden; energie vretende activiteiten moeten goed gepland worden in relatie tot tijd die beschikbaar is voor het opladen van de accu. Tevens heeft BAM goede ervaring opgedaan met de inzet van een extra accupakket (2 pakketten in plaats van 1). Hierdoor wordt de aanwezige energie verdubbeld waardoor het mogelijk was om een hele dag te draaien.

Bouwaansluiting

De capaciteit bij netbeheerders is momenteel ontzettend beperkt. Doorlooptijden voor het aanvragen van stroomaansluitingen worden hierom bij lange na niet gehaald. De bouwaansluiting die benodigd was voor de pilot bleek uiteindelijk pas 2 maanden voor het einde van de pilot beschikbaar. De pilot was hierdoor enkel mogelijk doordat BAM medewerking kreeg van bedrijven uit de omgeving die hun bestaande electra aansluiting beschikbaar stelden. Voor toekomstige projecten moet rekening gehouden worden met een doorlooptijd van 1 – 1,5 jaar in plaats van de door de netbeheerder gestelde 8-10 weken.



Beschikbaarheid materieel

Binnen de bouwbranche is elektrisch materieel nog maar beperkt beschikbaar. Hierdoor kon BAM het elektrisch materieel maar beperkt inzetten. De mobiele graafmachine moest gedeeld worden met een project in Nunspeet. Verder beschikt BAM slechts over 1 elektrische asfaltset, welke wordt gedeeld met alle andere projecten.

Administratie

Het bijhouden van de administratie is iets wat normaal niet in die mate gebeurt voor de inzet van materieel. Dit is begrijpelijk in het geval van deze pilot maar lijkt niet reëel om standaard in te vragen bij de inzet van elektrisch materieel. Indien het bijhouden van de draaiuren op basis facturen kan gebeuren dan valt de bijkomende administratie mee.

Indien men naar daadwerkelijke draaiuren wil kijken, dan betekent dit dat op ieder voertuig een GPS tracker geïnstalleerd moet worden. Vervolgens moet de informatiestroom van deze GPS tracker separaat verzameld worden.

Verder bleek het meten van de emissie van brandstofvoertuigen lastig in te plannen omdat de bureaus die deze metingen kunnen uitvoeren beperkt zijn in capaciteit. De doorlooptijd van het onderzoek bleek uiteindelijk 3 maanden. Daarmee is de uitvraag voor het onderzoek naar de rupskraan te laat gedaan. Het advies voor toekomstige projecten is om al bij de start van het project navraag te doen bij het onderzoeksbureau, wat de doorlooptijd van dergelijke onderzoeken en daarmee rekening te houden in de planning.



Bijlage 1. Emissie uitstoot meetrapport van een vergelijkbare mobiele graafmachine op brandstof (betreft een eerder uitgevoerd onderzoek)

MEETRAPPOR

RESULTATEN VAN DE NOX-METINGEN AAN MOBIELE KRAAN VOLVO EWR150E

MEETRAPPOR

RESULTATEN VAN DE NOX- METINGEN AAN MOBIELE KRAAN VOLVO EWR150E

Revisie historie		
Rev.	Datum	Wijzigingen
0	02 12 2020	Raportage opgesteld
1		
2		
3		

Bij een revisie vervalt de voorgaande versie.

SAMENVATTING

uitgevoerd aan een mobiele kraan deze stond opgesteld bij de opdrachtgever in
De metingen zijn verricht op 20 november 2020.

DOEL VAN DE METINGEN

Het doel van de metingen betreft het bepalen van de NO_x-emissie van de eenheden.

RESULTATEN VAN DE METINGEN

De kraan is gemeten tijdens een simulatie van normaal kraan bedrijf. Deze normale graaf werkzaamheden zijn gedurende 3 maal een half uur gesimuleerd.

De resultaten van de metingen staan samengevat weer gegeven in onderstaande tabel.

Tabel 1 Samenvatting resultaten metingen

Installatie	Meting 1	Meting 2	Meting 3
EWR 150E, diesel			
Gemiddeld afgenomen vermogen kW	61	61	61
Uitlaat temperatuur °C	210	220	215
O ₂ vol%	7.0	9.4	8.2
NO _x mg/m ₀ ³	<2.1	6.8	3.3
NO _x mg/m ₀ ³ @ 15 vol% O ₂	< 1.0	3.5	1.5
NO _x g/kWh	<0.01	0.03	0.01

1.	INLEIDING	7
2.	INSTALLATIEGEGEVENS	8
2.1	BESCHRIJVING INSTALLATIE	8
2.2	BESCHRIJVING PROCESCONDITIES	8
2.3	GEGEVENS AFKOMSTIG VAN DE OPDRACHTGEVER	8
3.	BESCHRIJVING MEETAPPARATUUR EN MEETMETHODEN	9
3.1	MEETAPPARATUUR	9
3.2	MEETMETHODEN.....	9
3.2.1	<i>Gasvormige rookgascomponenten.....</i>	<i>9</i>
3.2.2	<i>Bepaling van de afgastemperatuur.....</i>	<i>9</i>
3.3	MEETVLAKBEOORDELING.....	10
4.	MEETPROGRAMMA EN AFWIJKINGEN TEN OPZICHTE VAN DE NORMEN	11
4.1	MEETPROGRAMMA.....	11
4.2	AFWIJKINGEN TEN OPZICHTE VAN DE MEETNORMEN	11
4.3	UITBESTEDE ANALYSES	11
5.	BEREKENINGEN.....	12
6.	RESULTATEN	13
6.1	RESULTATEN MEETVLAKBEOORDELING	13
6.2	RESULTATEN METINGEN	13
	APPENDICES	14

LIJST MET TABELLEN

Tabel 1	Samenvatting resultaten metingen	4
Tabel 2	Informatie motoren	8
Tabel 3	Meetapparatuur	9
Tabel 4	Meetprogramma	11
Tabel 5	Samenvatting meetresultaten	13
Tabel 6	Berekening meetonzekerheden te toetsen waarden.....	20

LIJST MET APPENDICES

Appendix 1: Meet - en berekeningresultaten

Appendix 2: Kalibratiegegevens

Appendix 3: Foutendiscussie

Appendix 4: Nomenclatuur

1. INLEIDING

In opdracht van van

aan een mobiele kraan deze stond opgesteld bij de opdrachtgever in
De metingen zijn verricht op 20 november 2020.

Het doel van de metingen betreft het bepalen van de NO_x-emissie van de mobiele kraan volvo EWR 150E.

In hoofdstuk 2 staat een korte omschrijving van de installatie. In hoofdstuk 3 staat een omschrijving van de meetapparatuur, -methoden en meetvlak. In hoofdstuk 4 wordt het meetprogramma weergegeven. Een overzicht van de berekeningen staan in hoofdstuk 5 weergegeven. De resultaten van de metingen worden in hoofdstuk 6 gepresenteerd.

2. INSTALLATIEGEGEVENS

In dit hoofdstuk staat een korte omschrijving van de meetlocatie.

2.1 BESCHRIJVING INSTALLATIE

De metingen zijn verricht aan een mobiele kraan van van op het eigen terrein in

De motoren betreffen zogenaamde Single motoren.

Tabel 2 Informatie motoren

Component		R0815
Fabrikant		Volvo (deutz)
model		D4J
Serie nummer		VCEW150EK00320520
Cilinders		4
Lijn / V		Line
inlaatlucht		Turbo
Intercooler		Yes
nominaal vermogen	kW	105 (143 pk)
omwentelingen	rpm	2000
Brandstof		Diesel (EN590)

2.2 BESCHRIJVING PROCESCONDITIES

De metingen hebben met diesel als brandstof hebben plaatsgevonden tijdens gesimuleerd normaal kraanbedrijf gedurende driemaal een half uur.

Tijdens de simulatie is gedurende driemaal een half uur gegraven in wit zand op het terrein van

2.3 GEGEVENS AFKOMSTIG VAN DE OPDRACHTGEVER

In onderstaande opsomming staan gegevens die aangeleverd werden door de klant. Dit betreffen enkel gegevens die van invloed kunnen zijn op de meet- en berekeningsresultaten:

- Diameter van de schoorsteen
- Brandstofsamenstelling
- Afgenomen vermogens
- Brandstof verbruik

3. BESCHRIJVING MEETAPPARATUUR EN MEETMETHODEN

In het voorliggende hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van de meetapparatuur en de meetmethoden.

3.1 MEETAPPARATUUR

In de navolgende paragrafen staan de meetmethoden weergegeven.

Tabel 3 Meetapparatuur

Component	Analyser	Identificatie	Meetprincipe	Standaard
Afgastemperatuur	Thermokoppel K	07-09A	Chromel-Alumel	ISO 8756
Koolstofdioxide	Horiba PG350	18-079	Non-Dispersive IR	ISO 12039
Koolstofmonoxide	Horiba PG350	18-079	Non-Dispersive IR	EN 15058
Stikstof oxide	Horiba PG350	18-079	Chemiluminescentie	EN 14792
Zuurstof	Horiba PG350	18-079	Paramagnetisch	EN 14789

3.2 MEETMETHODEN

3.2.1 Gasvormige rookgascomponenten

De bemonsterde rookgassen worden door een temperatuur geregelde teflonleiding naar de rookgaskoeler gevoerd waar door middel van afkoeling de waterdamp uit de rookgassen wordt verwijderd. Vervolgens worden de gedroogde en gefiltreerde rookgassen naar de meetinstrumenten geleid.

Minimaal voorafgaand aan de metingen is voor elke component een tweepuntskalibratie uitgevoerd met stikstof (nulgaz) en gecertificeerde kalibratiegassen (spangassen). De kalibratie vindt plaats over het systeem van analyser, data acquisitie systeem en computer. Na kalibratie met nul- of kalibratiegas wordt het signaal van de analysers softwarematig gecorrigeerd naar de waarde van het kalibratiegas. Vervolgens wordt het gehele monsternamesysteem op lektheid getest en wordt een controlegas aangeboden. Na de metingen wordt met nulgaz en spangas een controle op de drift van de monitoren verricht.

Hierna is nogmaals stikstof aangeboden ter controle van het verloop van de analyser. De kalibraties worden uitgevoerd exclusief het bemonsteringssysteem. Het monsternamesysteem is voorafgaand aan de metingen op lektheid getest en lekdicht bevonden.

3.2.2 Bepaling van de afgastemperatuur

De afgastemperatuur is bepaald door middel van een gecontroleerd type K thermokoppel en uitleesunit.

3.3 MEETVLAKBEOORDELING

De meetsonde van is via de opening aan het uiteinde van de uitlaat ca. 0.5 meter in de uitlaat gemonteerd.

Het meetvlak bevindt zich aan de achterzijde van de kraan in het verticale deel van de uitlaat op een hoogte van ca 2 meter en is bereikbaar via opstapje op de kraan.

De diameter van het kanaal bedraagt ca 0.1 meter

Het meetvlak voldoet niet aan de richtlijnen zoals gesteld in de NEN-EN 15259. verwacht dat de invloed hiervan op de metingen verwaarloosbaar is.

4. MEETPROGRAMMA EN AFWIJKINGEN TEN OPZICHTE VAN DE NORMEN

In dit hoofdstuk staan het meetprogramma en de afwijkingen ten opzichte van de gebruikte meetnormen weergegeven.

4.1 MEETPROGRAMMA

De meetperioden van de metingen staan in onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 4 Meetprogramma

Meting	Installatie	Datum	Periode	Brandstof	Gemiddeld afgenomen vermogen (kW)
1	Volvo EWR 150E	20 november 2020	10:30 – 11:00	Diesel	61
2			11:00 – 11:30		
3			11:30 – 12:00		

4.2 AFWIJKINGEN TEN OPZICHTE VAN DE MEETNORMEN

Er zijn geen afwijkingen van de meetnormen geconstateerd.

4.3 UITBESTEDE ANALYSES

Er zijn geen analyses uitbesteed.

5. BEREKENINGEN

Voor rapportage van de meetresultaten in de gewenste eenheden en condities zijn de volgende berekeningen uitgevoerd:

Omrekening volumeconcentraties (vppm) naar massaconcentraties (mg/m_0^3):

$$C_{\text{massa}} = \rho \times C_{\text{volume}}$$

Omrekening naar standaard (referentie) zuurstofconcentraties:

$$C^{\text{ref } O_2} = C^m \times \frac{(20.9 - a)}{(20.9 - O_2^m)}$$

Berekening emissies in kg/h :

$$E = C \times Q_{\text{rookgas}} \times 10^{-6} \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right)$$

Berekening van de relatieve emissie in g/GJ

$$\text{RE} = C_{\text{massa}} \times \frac{V_{\text{stoich}}}{\text{STW}} \times \frac{20.94}{(20.94 - O_2^m)}$$

of:

$$\text{RE} = \frac{E}{Q_b \times \text{STW} \times 3600} = \frac{Q_{\text{rookgas}} \times C}{Q_b \times \text{STW}}$$

waarin:

- a = standaard zuurstofpercentage, afhankelijk van het type installatie
- C = concentratie van een component
- ρ = volumieke massa (kg/m_0^3)
- H_2O = waterdampconcentratie (vol%)
- Q = rookgasdebiet in (m_0^3/h)
- E = Emissie (kg/h)
- STW = stookwaarde in MJ/m_0^3 of MJ/kg
- V_{stoich} = stoichiometrisch droog rookgasvolume in m_0^3 per m_0^3 of kg brandstof

Bij berekening van de q-waarden wordt ervan uitgegaan dat de betreffende gassen zich in rookgas als een ideaal gas gedragen met een molair volume van $22.41 \text{ m}_0^3/\text{kmol}$.

Volumieke massa van rookgascomponenten in kg/m_0^3

- CO - 1.250
- NO_x als NO_2 - 2.053

6. RESULTATEN

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de metingen samengevat.

6.1 RESULTATEN MEETVLAKBEOORDELING

De diameter van het rookgaskanaal bedraagt ca 0.1 meter. Een homogeniteitsmeting is enkel noodzakelijk als de diameter meer bedraagt dan 0.35 cm. Er is derhalve geen homogeniteitsbepaling verricht.

6.2 RESULTATEN METINGEN

In navolgende tabel staan de resultaten van de metingen samengevat weergegeven. De uitgebreide meet- en berekeningsresultaten worden in appendix 1 gepresenteerd.

Tabel 5 Samenvatting meetresultaten

Installatie	Meting 1	Meting 2	Meting 3
EWR 150E, diesel			
Gemiddeld afgenomen Vermogen kW	61	61	61
Uitlaat temperatuur °C	210	220	215
O ₂ vol%	7.0	9.4	8.2
NO _x mg/m ₀ ³	<2.1	6.8	3.3
NO _x mg/m ₀ ³ @ 15 vol% O ₂	< 1.0	3.5	1.5
NO _x g/kWh	<0.01	0.03	0.01

APPENDICES

APPENDIX 1: MEET - EN BEREKENINGRESULTATEN

Datum	mobiele kraan Volvo EWR150E		
Projectnummer:			
Locatie			
Installatie			
Medewerkers			
Meting	A	B	C
Datum	20-Nov-20	20-Nov-20	20-Nov-20
Starttijd	10:19	10:49	11:19
Eindtijd	10:49	11:19	11:49
Gasvormig, in droog rookgas			
O ₂ (vol%)	7.0	9.4	8.2
CO ₂ (vol%)	10.2	8.5	9.5
CO (vppm)	2.0	1.6	1.4
NO _x (vppm)	<1.0	3.3	1.6
Bij actueel O₂			
CO (mg/m ³)	2.5	2.0	1.8
NO _x (mg/m ³)	<2.1	6.8	3.3
Gecorrigeerd naar 15 vol%			
CO (mg/m ³)	1.1	1.0	0.8
NO _x (mg/m ³)	<0.9	3.5	1.5

Table 4: Emission concentrations at standard conditions

Engine				
Type	D4J			
Number	VCEW150EK00320520			
Location	1			
Standard flue gas conditions				
Moisture	(vol %)	0.0		
Temperature	(°C)	0		
Pressure	(mbar)	1013		
Molar volume	(m³/kmol)	22.40		
Oxygen concentration	(vol% dry flue gas)	15		
Test		53%	53%	53%
Date	(dd/mm/yyyy)	20/11/2020	20/11/2020	20/11/2020
Start	(hh:mm)	10:30	11:00	11:30
End	(hh:mm)	11:00	11:30	12:00
Results in flue gas at standard conditions				
CO	(vppm)	0.9	0.8	0.7
NO _x	(vppm)	-0.4	1.7	0.7
Flue gas flow	(m ₀ ³ /h)	490	490	490
Relative emissions				
CO ₂	(g/kWh)	683	683	683
CO	(g/kWh)	0.01	0.01	0.01
NO _x	(g/kWh)	<0.01	0.03	0.01

APPENDIX 2: KALIBRATIEGEGEVENS

Tijd	Conc.	Kal. waarde	Afwijking	ID-Kal.gas	Parameter	Tui-nummer	Datum
9:39 AM	20.44	20.90	-1.80	lucht	O2 (vol%)	18-079	11/20/2020
9:41 AM	-0.06	0.00	-0.20	N2	O2 (vol%)	18-079	11/20/2020
9:41 AM	0.08	0.00	0.40	N2	CO2 (vol%)	18-079	11/20/2020
9:41 AM	0.76	0.00	0.80	N2	CO (ppm)	18-079	11/20/2020
9:41 AM	0.25	0.00	0.20	N2	NOX (ppm)	18-079	11/20/2020
9:44 AM	18.24	17.90	1.70	20192589	CO2 (vol%)	18-079	11/20/2020
9:44 AM	92.19	90.60	1.60	20192589	CO (ppm)	18-079	11/20/2020
9:44 AM	89.85	90.20	-0.30	20192589	NOX (ppm)	18-079	11/20/2020
9:46 AM	20.9	20.90	0.00	lucht	O2 (vol%)	18-079	11/20/2020
12:50 PM	20.45	20.90	-1.80	lucht	O2 (vol%)	18-079	11/20/2020
12:53 PM	0.28	0.00	1.10	N2	O2 (vol%)	18-079	11/20/2020
12:53 PM	0.04	0.00	0.20	N2	CO2 (vol%)	18-079	11/20/2020
12:53 PM	-0.07	0.00	-0.10	N2	CO (ppm)	18-079	11/20/2020
12:53 PM	-0.11	0.00	-0.10	N2	NOX (ppm)	18-079	11/20/2020
12:55 PM	18.29	17.90	2.00	20192589	CO2 (vol%)	18-079	11/20/2020
12:55 PM	88.74	90.60	-1.9	20192589	CO (ppm)	18-079	11/20/2020
12:55 PM	92.24	90.20	2.00	20192589	NOX (ppm)	18-079	11/20/2020

De certificaten van de gebruikte ijkgasen en/of de gegevens van het converterrendement kunnen op verzoek worden toegezonden.

APPENDIX 3: FOUTENDISCUSSIE

Doel foutendiscussie

Bij het uitvoeren van een meting moet men er altijd van bewust zijn dat er fouten in het eindresultaat zullen optreden. Dit geldt niet alleen voor de metingen, ook bij de berekeningen kunnen fouten optreden. Onder een "fout" wordt iedere afwijking van de werkelijke waarde verstaan. Door het uitvoeren van een *foutenbeschouwing* kan de invloed van de fout nagegaan worden. Deze beschouwing moet voor en na de meting uitgevoerd worden. Voor een meting heet dit een *foutenprognose* en na de meting een *foutenberekening*. De foutendiscussie heeft de volgende doelen:

Vaststellen van de nauwkeurigheid van een resultaat

Wil men het resultaat van een proef in een objectief getal uitdrukken, zal men ook de nauwkeurigheid in een objectief getal willen weergeven. Hierdoor leren we in eerste instantie de grenzen waarbinnen de *werkelijke waarde* van het resultaat ligt kennen.

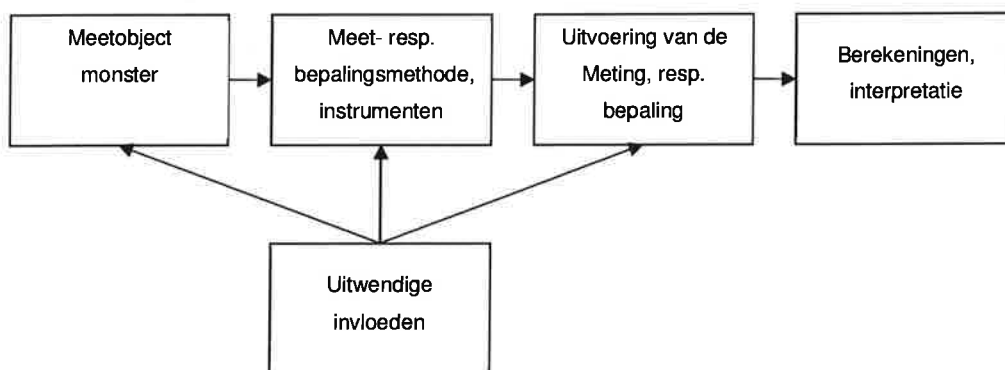
Keuze van de methode en de instrumenten

Aan de hand van de gewenste nauwkeurigheid en de meetmethode kan door het uitvoeren van een foutenprognose bepaald worden of de meting voldoet aan de gestelde nauwkeurigheid. Bereikt men de gewenste nauwkeurigheid niet dan zullen er foutenbronnen verwijderd moeten worden of er moet naar een geheel andere meetmethode gezocht worden.

Door de proeven efficiënt in te richten en zich vooral te richten op het onderdeel dat de grootste bron van onnauwkeurigheid is, kunnen betere resultaten bereikt worden en wordt er minder tijd verspild.

Classificatie van fouten

In het volgende figuur staat schematisch weergegeven een aantal stappen waarin fouten kunnen optreden.



Fouten samenhangend met meetobject

In het meetobject zijn vaak al foutenbronnen aanwezig.

- B.v.:
- Geen homogene samenstelling van een gas.
 - Niet genoeg rechte lengte voor een hoeveelheidmeting.
 - Een temperatuurmeting aan de 'schaduwzijde'.

Fouten in de meet- resp. bepalingmethode

Door deze zogenaamde *methodefouten* treedt er vaak een verkeerd meet- of analyseresultaat op. Dit schuilt in de toegepaste werkwijze. De meting beïnvloedt de te meten waarde. B.v. bij een snelheidsmeting in een kleine leiding blokkeert de pitot-buis een groot deel van de leiding waardoor een verkeerde snelheid gemeten wordt.

Instrumentfouten

Deze fouten schuilen in het gebruikte instrumentarium. Ze kunnen ontstaan door *kalibratiefouten* of door *instelfouten*. Het komt ook nogal eens voor dat de *nulstand* of de *referentiestand* van een meter niet constant is.

Fouten die ontstaan bij de uitvoering van de meting

Dit type fout komt voornamelijk voor rekening van de uitvoerder van de meting. De fouten zijn door correct en zorgvuldig uitvoeren van de meting te voorkomen.

Fouten die ontstaan door uitwendige invloeden

Dit soort fouten ontstaan buiten de eigenlijke uitvoering van de proef om en zijn toch van invloed zijn op het resultaat.

- B.v.:
- magnetische velden om meetapparatuur
 - trillingen
 - vochtigheid
 - het weer

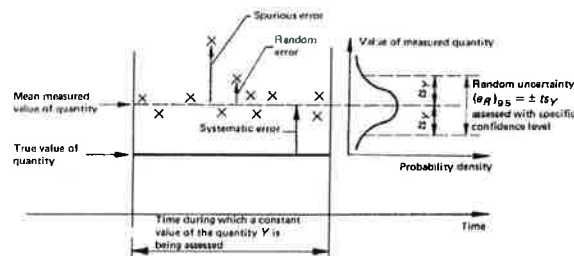
Fouten bij de interpretatie van de fouten

Hierbij moet men zich afvragen of wat men meet ook is wat men inderdaad denkt te meten. Het moet zeker gesteld zijn dat de gebruikte methode de juiste is voor hetgeen dat bepaald moet worden.

Soorten fouten die op kunnen treden

De fouten die bij een meting op kunnen treden zijn onder te verdelen in:

- *Systematische fouten*
- *Toevallige fouten*
- *Parasitaire fouten*



Systematische fouten

Systematische fouten zijn fouten die een meting steeds op dezelfde wijze beïnvloeden. Ze veroorzaken altijd een te grote of een te kleine waarde. Door veel metingen wordt de fout niet kleiner.

De systematische fouten zijn voornamelijk fouten in de meetinstrumenten en ontstaan door een verkeerde kalibratie van een instrument of door een niet correcte nul instelling.

De systematische fouten zijn in twee grote groepen onder te verdelen.

- Constante systematische fouten
Deze zijn normaal voor alle metingen uitgevoerd onder dezelfde omstandigheden en zijn constant in de tijd maar, kunnen afhankelijk van de aard van de fout, variëren met de waarde verkregen bij de meting.
- Variabele systematische fouten
Deze kunnen ontstaan door het niet constant houden van de condities waaronder gemeten wordt. Bijvoorbeeld door het oplopen van de temperatuur bij een meetinstrument dat voor gebruik bij een bepaalde temperatuur gekalibreerd is.
Een tweede type variabele systematische fout kan ontstaan door het meten met een digitaal meetinstrument aan een continue variërende grootte.

Toevallige fouten, reproduceerbaarheid

Onder toevallige fouten verstaan we fouten waarvan de grootte en de richting volkomen afhangen van het toeval en die dus bij iedere meting anders kunnen uitvallen. Bij een groot aantal metingen kunnen de fouten elkaar ten dele opheffen.

Een andere term die in dit verband gebruikt wordt is de term *reproduceerbaarheid*. Hieronder wordt verstaan de overeenkomst tussen een aantal metingen aan één grootte met dezelfde methode.

Reproduceerbaar wil nog niet zeggen dat er geen systematische fout in het spel is. Een systematische fout kan alleen opgespoord worden door het uitvoeren van de meting met een andere methode.

Het zal niet altijd mogelijk zijn een fout in een van de twee groepen onder te brengen, enerzijds omdat subjectieve criteria worden aangehouden bij het onderbrengen van een fout in één van de groepen, anderzijds omdat gemaakte fouten vaak ten dele systematisch, ten dele toevallig zijn.

Parasitaire fouten

Parasitaire fouten zijn fouten als menselijke fouten of fouten ontstaan door het tijdelijk uitvallen van een meetinstrument. De waarnemingen met deze fouten moeten niet mee genomen worden met de middeling van de meetwaarden omdat deze grote afwijkingen kunnen geven van de resultaten.

Foutenberekening

Bij de foutenberekening moet er gekeken worden naar het totale meetsysteem. Dit omvat:

- De monstername
- Het monsternamesysteem
- De analyser
- Converter rendement (CE)
- Het registratiesysteem
- De kalibratiegassen

Overzicht meetonzekerheden

Onderstaande tabel geeft de geschatte totale meetonzekerheden voor de verschillende rookgascomponenten zoals die bij de hier gerapporteerde metingen zijn gerealiseerd.

De meetonzekerheid wordt berekend door de totale meetfout te delen door de wortel van het aantal metingen en te vermenigvuldigen met de meetwaarde (NEN-ISO 14596).

$$U = \frac{E}{\sqrt{n}} * C$$

Hierin is:

U : Meetonzekerheid in de concentratie

E : Totale meetfout in de concentratie

C : Concentratie in mg/m_0^3

n : Aantal deelmetingen

Tabel 6 Berekening meetonzekerheden te toetsen waarden

Rookgascomponent	Totale Meetfout ($\pm$ % van meetwaarden)	Aantal metingen	Meetonzekerheid ($\pm$ % van meetwaarden)
Koolstofdioxide	9.4	1	9.4
Koolstofmonoxide	9.4	1	9.4
Stikstof oxide	9.4	1	9.4
Zuurstof	9.4	1	9.4

* Omdat er geen sprake is van indentieke proces omstandigheden is het aantal metingen gelijk aan 1.

APPENDIX 4: NOMENCLATUUR

°C	graden Celsius
gew%	gewichtsprocenten
h	uur
ind	in normaal toestand droog (101.3 kPa, 273 K)
inv	in normaal toestand vochtig (101.3 kPa, 273 K)
K	Kelvin
kg	kilogram
kPa	kiloPascal
m	meter
vppm	volume parts per million
mg/m ₀ ³	milligram per normaal kubieke meter
m ³	kubieke meter
mg	milligram
vol%	volumeprocent
g	gram
GJ	gigajoules
m ³ /h	debiet onder bedrijfsomstandigheden
m ₀ ³ /h	debiet genormaliseerd 273 K, 1013 hPa, actueel % O ₂ en droog afgas)
m ₀ ³ /h @ x vol% O ₂	debiet genormaliseerd (273 K, 1013 hPa bij X vol% O ₂ en droog afgas)
s _D	standaardafwijking van de verschillen D _i bij de vergelijkende metingen
D _i	verschil tussen de gemeten ^{ide} waarde van de SRM en de overeenkomstige gekalibreerde (gecorrigeerde) waarde van het AMS
σ _o	onzekerheid afgeleid van de gestelde eisen in het wetgeving
AMS	Automatische Meet Systeem
JC /AST	Jaarlijkse Controle / Annual Surveillance Toets
EGW	Emissie Grens Waarde
QAL1 / KBN1	eerste kwaliteitsborgingsniveau (First Quality Assurance Level, QAL1)
QAL2 / KBN2	tweede kwaliteitsborgingsniveau (Second Quality Assurance Level, QAL2)
QAL3 / KBN3	derde kwaliteitsborgingsniveau (Third Quality Assurance Level, QAL3)
SRM	Standaard Referentie Methode
K _v	Zijn de toetswaarden uit x ² -toets met een β-waarde van 50%, factor van 0.9161-0.9521 (afhankelijk van aantal metingen). is een waarde uit een tabel en is afhankelijk van aantal metingen. Varieert tussen 0.91 en 0.98
t _{0.95}	Betrouwbaarheidsniveau van 95%
t _{0.95} (N-1)	is een waarde uit een tabel en is afhankelijk van aantal metingen. Varieert globaal tussen 2.1 en 1.8
