

Nadere toelichting NO_x reductie maatregelen KGF1



Auteur



Datum

13-10-2023

1. Inhoud

1. Inhoud.....	3
2. Inleiding	4
3. Waterinjectie om NO _x te reduceren	5
3.1 Theoretische achtergrond	5
3.2 Technische toepasbaarheid bij KGF1	7
3.3 Financiële evaluatie	8
3.3.1 Kosten M-water.....	8
3.3.2 Kosten van het extra stookgas.....	8
3.3.3 Kosten van de extra CO ₂ uitstoot	8
3.3.4 Projectkosten nevelinstallatie	8
3.3.5 Totale kosten vernevelingsproject KGF1.....	9
3.4 Milieu effect.....	9
4. Verhogen van het BTX-gehalte in KO-gas	10
4.1 Theoretische achtergrond	10
4.2 Technische toepasbaarheid bij KGF1	11
4.3 Financiële evaluatie	12
4.3.1 Rekenvoorbeelden met verwachte prijzen na 2026.....	12
4.3.2 Rekenvoorbeeld 1; lage GJ prijs en lage BTX baten.....	12
4.3.3 Rekenvoorbeeld 2; hoge GJ prijs en hoge BTX baten.....	13
4.4 Milieu effect.....	14
4.4.1 NO _x effect	14
4.4.2 CO ₂ effect	14
5. Conclusies	15
Literatuur.....	16

2. Inleiding

Uit hoofde van de vigerende omgevingsvergunning voor milieu (Zaaknummer 60649 van 10 mei 2022 geldt voor de Kooks- en Gasfabrieken van Tata Steel IJmuiden B.V. (de KGF) een onderzoeksverplichting tot het reduceren van NO_x. Op 22 december 2022 heeft de KGF een onderzoeksrapport ingediend dat door de Omgevingsdienst NZKG is goedgekeurd, maar waarbij tevens bij besluit d.d. 12 april 2023 nadere eisen zijn gesteld. De nadere eisen verzoeken een nadere toelichting verzocht voor de NO_x reductie maatregelen waterinjectie en het verhogen van het BTX in het KO-gas. Met voorliggende notitie wordt daar uitvoering aan gegeven.

Hieronder de tekst overgenomen uit de beoordeling:

Nadere eisen

Tata Steel dient het rapport op de volgende onderdelen nader aan te vullen:

1. De maatregel waterinjectie dient nader uitgewerkt (al dan niet in combinatie met een andere techniek/maatregel) en onderbouwd te worden. Over de feitelijke toepasbaarheid bij KGF1 is niet gerapporteerd. Deze maatregel lijkt erg effectief en zeer voor de hand liggend, maar in dit rapport is deze maar beperkt uitgewerkt;
2. De conclusie over het wijzigen van BTX-wassing moet worden verduidelijkt. Zo is het niet duidelijk of deze maatregel al is verwerkt in de huidige NO_x rapportage. Daarnaast zijn de milieueffecten van de huidige situatie en de nieuwe situatie niet duidelijk omschreven, zodat deze niet met elkaar vergeleken kunnen worden. Dit dient alsnog inzichtelijk te worden gemaakt. De onderbouwing van de negatieve effecten van het wijzigen van BTX-wassing is onvoldoende. Deze onderbouwing dient concreter te worden geformuleerd. Tata Steel geeft aan dat aanpassing van de BTX-wassing effecten kan hebben op andere installaties. Deze effecten zijn niet omschreven en dienen concreet te worden gemaakt.
3. De financiële rapportage moet nader worden uitgewerkt en onderbouwd. Tata Steel rapporteert over de kosten per maatregel, maar de opgegeven range wordt niet toegelicht.

3. Waterinjectie om NO_x te reduceren

3.1 Theoretische achtergrond

In 2021 is door TATA Steel Research & Development een literatuurstudie^[1] uitgevoerd naar de mogelijkheid om NO_x emissie te reduceren. Hieronder wordt een samenvatting gegeven van de bevindingen. Voor de nadere details wordt verwezen naar het onderzoeksrapport.

De vorming van NO_x kan verlaagd worden door de vlamtemperaturen te verlagen. De verlaging van vlamtemperaturen kan gerealiseerd worden door de vlammen te verdunnen met gasen zoals N₂, CO₂ of H₂O (stoom).

De literatuur lijkt aan te geven dat stoom meer invloed heeft op NO_x verlaging in vergelijking met andere gasen. De literatuur^[1] zegt dat stoom de vorming van NO_x sterker vermindert vanwege:

- Chemische acties in de vlam (OH en CH-reacties)
- Het uittrekken van verbrandingszones en radicaal concentraties in de vlam
- Het verlagen/dempen van piektemperaturen in de vlam door straling van H₂O

Er is theoretisch onderzoek gedaan naar de effecten van stoom en stikstof toevoeging aan brander vlammen in gasturbinemotoren. Laminaire berekeningen laten zien dat stikstof de NO-emissies doet stijgen, terwijl stoom deze doet dalen. Turbulente berekeningen laten een dalende trend zien voor zowel stikstof- als stoominjectie, waarbij stoom een hogere emissiereductie veroorzaakt in vergelijking met stikstof. In de turbulente vlammen wordt NO gereduceerd door een combinatie van een reductie in piektemperaturen en een reductie van de piek O-radicaalconcentratie.

Door middel van chemische actie van stoom wordt hierdoor de piek O-concentratie verder gereduceerd dan het geval is in de stikstof verdunde vlam. De concentratie aan O-atomen wordt onderdrukt via verschillende mechanisme. Vanwege het toevoegen van stoom is het nodig om de verbranding dicht bij de stoichiometrische brandstof-lucht ratio te bedrijven om de adiabatiscie vlamtemperatuur gelijk te houden. Dit reduceert de beschikbare zuurstof en daarmee de O-radicaal concentratie.

Een overmaat aan H₂O zorgt eveneens dat de reactie $O + H_2O \rightarrow 2OH$ naar rechts verschuift. De lagere concentratie O-radicaal vermindert de productie van NO via het thermische mechanisme en het N₂O mechanisme. Verder zorgt de hogere concentratie OH-radicaal voor een vermindering in de directe prompt NO-productie. In turbulente vlammen kan de NO-emissie verder verlaagd worden door het dempende effect van H₂O. In een turbulente vlam is de lokale temperatuur afhankelijk van turbulente fluctuaties. In gebieden met hoge temperatuur wordt meer NO geproduceerd dan in gebieden met lagere temperatuur.

Een overmaat aan H₂O kan leiden tot een meer uniform temperatuurprofiel omdat H₂O warmte efficiënter absorbeert en uitstraalt in vergelijking met N₂ en O₂. Gebieden met een brandstof-lucht mengsel dicht bij het stoichiometrische mengsel zullen meer warmte wegstralen en leiden tot lagere temperaturen in vergelijking met de theoretische adiabatiscie vlamtemperatuur in deze zones.

Het onderzoek concludeert dat zowel H₂O en N₂ toevoeging bij een constante adiabatiese vlamtemperatuur de NO-emissies kunnen verminderen maar dat de vermindering van NO door H₂O toevoeging ongeveer een factor 2 groter is dan de vermindering van NO door N₂ toevoeging. De resultaten geven de indicatie dat H₂O naast het verminderen van de zuurstofconcentratie ook een chemisch effect heeft op de NO-emissies.

3.2 Technische toepasbaarheid bij KGF1

Naar aanleiding van de eerdere literatuuronderzoeken is nader onderzoek gedaan door R&D middels CFD simulaties^[2]. Voor dit onderzoek zijn de branders van KGF1 in CFD software geconstrueerd en gebruikt om meer zekerheid te krijgen over de toepasbaarheid van deze NO_x reductie techniek bij KGF1.

In de simulaties is ervoor gekozen om in plaats van stoom een waternevel te introduceren. De reden hiervoor is dat een waternevel in de praktijk eenvoudiger en veiliger te realiseren is en het verwachte effect is gelijk, aangezien de nevel met de lucht in de regeneratoren zodanig verwarmd worden voor de verbranding dat het water omgezet wordt in stoom.

De CFD simulatie van R&D laten zien dat waterverneveling in de verbrandingslucht een zeer effectieve methode lijkt om NO_x vorming te verlagen voor KGF1.

Er is nog geen onderzoek gedaan naar het combineren van verschillende NO_x reductie technieken. Op voorhand is daar niet met hoge zekerheid uitspraak over te doen, maar vooralsnog is er geen aanleiding om aan te nemen dat het niet te combineren zou zijn met andere onderzochte NO_x reductie technieken.

In het eerdere onderzoek naar NO_x reductie bij KGF1^[3], is de praktische toepasbaarheid nog niet onderzocht. De daadwerkelijk toepasbaarheid van deze techniek in de praktijk is nog niet bewezen voor KGF1. Dit zal in eerste instantie met een proefopstelling moeten worden onderzocht bij enkele ovens.

Het aan te bevelen praktijkonderzoek zal gericht zijn op:

- Haalbaarheid van een veilig ontwerp van het injectiesysteem (HAZOP)
- Risico's voor de huidige installatie (bv. corrosie klepkasten en zuurdauw in batterijschoorsteen)
- Effect op procesvoering van het stoken (bv. rookgas- en regeneratortemperaturen en stabiliteit van het stoken)
- Het NO_x effect in de praktijk (vracht en concentratie van de NO_x ten opzichte van huidige werkwijze)
- Mogelijkheid tot combineren met andere NO_x-reductie technieken

3.3 Financiële evaluatie

De kosten kunnen worden opgesplitst in:

- Operationele kosten van het M-water
- Kosten van het extra stookgas
- Kosten van de extra CO₂ uitstoot
- Projectkosten nevelinstallatie

3.3.1 Kosten M-water

Voor het creëren van een nevel is M-water nodig. De kosten hiervan zijn € 1,42 per m³. (bron ENB, 2022)

Het benodigde waterverbruik is ingeschat op 2,3 m³ per uur om bij alle ovens 15 gram per Nm³ verbrandingslucht nevel te realiseren.

Dit resulteert in:

$$2,3 \text{ m}^3 / \text{uur} * 1,42 \text{ €} / \text{m}^3 * 24 \text{ uur} / \text{dag} * 365 \text{ dagen} / \text{jaar} = 28,6 \text{ k€ per jaar.}$$

3.3.2 Kosten van het extra stookgas

Voor het verdampen en verwarmen tot 250 °C (rookgas temperatuur) van de 2,3 m³ M-water per uur, is 10 GJ per uur nodig. Hierbij wordt uitgegaan van het theoretische energie rendement van 65% zoals in eerdere studies in het kader van energie-efficiëntie zijn bepaald.

De kosten per GJ kooksgas zijn 55 € (bron ENB 2022).

Dit resulteert in:

$$10 \text{ GJ} / \text{uur} * 55 \text{ €} / \text{GJ} * 24 \text{ uur} / \text{dag} * 365 \text{ dagen per jaar} = 4.818 \text{ k€ per jaar}$$

3.3.3 Kosten van de extra CO₂ uitstoot

De kosten van elke ton extra CO₂ uitstoot liggen op 70 € per ton. (bron HSSE 2022)

Op basis van een theoretische verbranding berekening van de het kooksgas wordt er een CO₂ concentratie van 112 gram per Nm³ rookgas verwacht in een flow van 171.000 Nm³ per uur. Indien de flow met 2% toen neemt door de hogere energie behoefte resulteert dit in:

$$0,112 \text{ kgCO}_2/\text{Nm}^3 * 171.000 \text{ Nm}^3/\text{uur} * 2/100 = 383 \text{ kg extra CO}_2 \text{ per uur}$$

$$0,383 \text{ ton} * 70 \text{ €} / \text{ton} * 24 \text{ uur} / \text{dag} * 365 \text{ dagen} / \text{jaar} = 235 \text{ k€ per jaar}$$

3.3.4 Projectkosten nevelinstallatie

Een eerste inschatting van de projectkosten zijn 1 à 2 milj Euro. Dit zou overeen periode van 10 tot 15 jaar afgeschreven moeten worden, wat zou neerkomen op 100 tot 200 k€ per jaar.

3.3.5 Totale kosten vernevelingsproject KGF1

Alle posten bij elkaar optellend om een eerste inschatting van de totale kosten te krijgen resulteert in:

• Operationele kosten van het M-water	29 k€ per jaar
• Kosten van het extra stookgas	4.818 k€ per jaar
• Kosten van de extra CO ₂ uitstoot	235 k€ per jaar
• Projectkosten nevelinstallatie	150 k€ per jaar
Totale project kosten	5.232 k€ per jaar

Daarbij moet opgemerkt worden dat de kosten zijn berekend voor 2022. Voor het kookgas is de verwachting dat de komende jaren de prijs van 55 €/GJ zal dalen naar 25 tot 35 €/GJ in 2024/25 en onder de 20 €/GJ na 2026. De kosten van de CO₂ per ton zullen stijgen van 70 naar > 100 €/ton

Lange termijn zullen de jaarlijkse kosten afhankelijk van de aannames variëren tussen de 2 en 6 miljoen Euro per jaar.

3.4 Milieu effect

Met 15 g/Nm³ verneveld M-water is de verwachte NO_x reductie 20% in concentratie en vracht bij stoken op KO-gas.

Nadeel is dat het energieverbruik van KGF1 zal stijgen door minder efficiënt stoken. Voor KO-gas betekent dit een stijging van 2%.

Ook de CO₂ uitstoot zal hierdoor significant toenemen. Bij KO-gas stoken jaargemiddelde 3,4 kton.

4. Verhogen van het BTX-gehalte in KO-gas

4.1 Theoretische achtergrond

Bij besluit van 13 april 2023 is voorts de nadere eis gesteld waarbij wordt verzocht om een verduidelijking van de conclusie uit het primaire onderzoeksrapport over de wijziging van de BTX wasser. Zo is het de Omgevingsdienst NZKG niet duidelijk of deze maatregel al is verwerkt in de primaire NO_x rapportage. Daarnaast is verzocht om een verduidelijking van de milieueffecten van de huidige situatie en de nieuwe situatie, zodat deze met elkaar vergeleken kunnen worden. Tenslotte vraagt de Omgevingsdienst NZKG om de negatieve effecten van het wijzigen van BTX-wassing nader te onderbouwen, waarbij eveneens wordt ingegaan op de effecten van de wijziging van de BTX-wassing op andere installaties. Hierover het volgende.

Het mechanisme achter NO_x reductie door BTX gehalte in stookgas bij KGF1 wordt nog niet volledig begrepen en dient verder onderzocht te worden. Het reactiemechanisme is zeer complex en lastig te simuleren. In recent onderzoek ^[4] gepubliceerd in het tijdschrift "Combustion and Flames" wordt het volgende gerapporteerd.

"Zover de auteurs weten, is het effect van benzeenoxidatie op NO-vorming tot nu toe niet experimenteel of numeriek onderzocht. Eerdere onderzoeken zijn vooral gericht op het verdiepen van het begrip van benzeenoxidatiechemie, het effect ervan op vlamreactiviteit en, uiteindelijk, de vorming van roetdeeltjes.

In het onderzoek wordt geconcludeerd dat NO-formatie progressief neemt toe met de hoeveelheid benzeen bij alle onderzochte equivalentieverhoudingen, en een dergelijke toename meestal op treedt bij het vlamfrontgebied. Door middel van een gedetailleerde kinetische analyse is gebleken dat het toevoegen van benzeen de NO-vorming in H₂/CH₄/CO/C₆H₆ vlammen verhoogt. Dit komt vooral door de verbetering van de snelle en thermische NO-routes."

Dit theoretische en experimentele onderzoek suggereert dus een tegengesteld effect van wat in het verleden in de praktijk bij KGF1 is geconstateerd, niet een verlaging maar een verhoging van NO door hogere benzeen gehaltenes.

Een verklaring hiervoor is lastig te geven. Het zou gezocht kunnen worden in stromingsgedrag en lokale omstandigheden bij de branders van kookfabrieken gecombineerd met een complexer gasmengsel.

4.2 Technische toepasbaarheid bij KGF1

Het instellen van het proces op een bepaald BTX gehalte in het reingas om NO_x te beïnvloeden is nog geen standaard praktijk. Wel komt het resulterende NO_x gehalte uiteraard gewoon in de rapportages ongeacht het gerealiseerde BTX gehalte in het reingas.

De NO_x concentraties worden namelijk met continu monitoren gemeten. Deze data van NO_x concentraties in combinatie met de data van de gerealiseerde BTX gehalten in het reingas heeft deze interessante onderzoeksrichting naar voren gebracht welke verder uitgezocht dient te worden.

Het huidige "normale" werkgebied van BTX in reingas ligt tussen de 1 en 10 gram per Nm³, met een jaargemiddelde van 3,6 gram per Nm³. Enkel tijdens stilstanden van de BTX-wassing ligt het niveau voor korte tijd op 25 tot 30 gram per Nm³.

Bij KGF1 is geen ervaring met verhoogde BTX-gehalten in reingas voor langere tijd. Een langdurige proefperiode zal moeten aantonen welk niveau werkbaar is. Aannemelijk is dat boven in het normale werkgebied niet tot problemen zal leiden.

Indien men echter volledig zou stoppen met uitwassen levert dit waarschijnlijk problemen op binnen de eigen verbrandingsinstallatie maar ook bij de afnemers van het KO-gas, denk hierbij aan onder andere de warmbandwalserij. Bij verbranding van BTX kan grafiet op de branders afgaan zetten, structurele hoge BTX-gehalten zijn daarom niet wenselijk. Met een duurproef zouden lange termijn effecten bij o.a. de afnemers moeten worden onderzocht.

Mogelijke negatieve effecten bij de afnemers van KO-gas zijn bijvoorbeeld:

- Een hoger benzeen concentratie in KO-gas zorgt in de KO-leidingen naar de afnemers waarschijnlijk voor meer condensaat met een hoger benzeengehalte.

Vragen die beantwoord moeten worden zijn:

- Kan het condensaat nog goed en veilig verwerkt worden?
- Kan het onderhoud en inspecties van leidingwerk en andere installatiedelen op gelijke manier plaatsvinden?

- Bij het verbranden van benzeen ontstaat vaak een roetende vlam met teerachtige rookgassen.

Vragen die beantwoord moeten worden zijn:

- Ontstaan er bij de afnemers bij verbranding van KO-gas met een verhoogd benzeen gehalte roet en/of teerachtige producten?
- Slaan de roet/teerachtige producten neer op de bundels van de ENB-ketels, energiecentrales of het materiaal bij WB2?
- Moet er vaker en/of ander onderhoud aan branders worden gedaan?
- Is er mogelijk een effect op (roet) stof uit batterijschoorstenen?

4.3 Financiële evaluatie

Normaal gesproken levert het uitwassen van BTX baten op. De verkoopprijs per ton BTX is bijna altijd hoger dan de baten in het gas. Momenteel is dat echter niet het geval. Met de huidige prijs van gas uitgedrukt in euro per GJ zijn de baten van BTX uitwassen negatief. Het levert dus extra gasbaten op als er niet uitgewassen wordt.

Een gehalte van 10 g/Nm³ BTX in het reingas zou op basis van realisaties in het verleden mogelijk lijken. Deze stap zou een reductie van 5 tot 10% NO_x kunnen opleveren. Met de huidige forecast van de prijzen zal niet uitwassen tot 2026 een positief financieel resultaat geven. Na 2026 is de verwachting dat het ongeveer 1 tot 2 miljoen Euro per jaar zal kosten om 5 tot 10% NO_x te reduceren in concentratie en vracht bij KO-gas stoken.

De verwachte kosten van deze extra CO₂ emissie zijn meegenomen in de financiële evaluatie.

4.3.1 Rekenvoorbeelden met verwachte prijzen na 2026

Verwachting is dat na 2026 de prijs van kookgas zal dalen tot onder de 20 €/GJ. De opbrengsten van BTX worden verwacht rond de 650 €/ton en tot slot zal de CO₂ prijs stijgen tot boven de 100 €/ton. Met deze set prijzen is een evaluatie te doen van het totale financiële effect. Met name de toekomstige opbrengsten van de GJ gas en BTX zijn onzeker. Daarom twee voorbeeld berekeningen met verschillende prijzen.

4.3.2 Rekenvoorbeeld 1; lage GJ prijs en lage BTX baten.

Allereerst worden de baten van BTX als gas berekend.

KO-gas met 10 g/Nm³ BTX heeft een calorische waarden van 17,08 MJ/Nm³.

KO-gas met 3,6 g/Nm³ BTX heeft een calorische waarde van 16,82 MJ/Nm³.

Het verschil tussen de twee is 0,26 MJ/Nm³. Dit getal vermenigvuldigd met 55.300 Nm³/uur geeft 14,4 GJ/uur als de BTX in het gas blijft. Uitgaande van 5 €/GJ levert het 72 €/uur op.

Op dag basis is dat € 1722.

Vervolgens moeten de baten van BTX als uitgewassen vloeistof worden berekend.

Met een flow van 55.300 Nm³/uur en een verschil van 6,4 g/Nm³ wordt er 350 kg per uur minder uitgewassen. Dat is 8,5 ton per dag met een waarde van 500 €/ton.

Op dag basis is dat € 4281.

Hieruit blijkt dat de baten van BTX als uitgewassen vloeistof groter zijn dan baten van BTX in het gas. Niet uitwassen levert dus minder geld op.

Het verschil tussen 1722 en 4281 = -2559 €/dag wat op jaarbasis 934 k€ kost.

Echter moeten ook de CO₂ kosten meegenomen worden en die zijn als volgt:

De in paragraaf 4.4.2 berekende 10,5 kton vermenigvuldigd met 100 €/ton is 1050 k€ per jaar.

De totale kosten zijn dan 1984 k€ per jaar.

4.3.3 Rekenvoorbeeld 2; hoge GJ prijs en hoge BTX baten.

Allereerst worden de baten van BTX als gas berekend.

KO-gas met 10 g/Nm³ BTX heeft een calorische waarden van 17,08 MJ/Nm³.

KO-gas met 3,6 g/Nm³ BTX heeft een calorische waarde van 16,82 MJ/Nm³.

Het verschil tussen de twee is 0,26 MJ/Nm³. Dit getal vermenigvuldigd met 55.300 Nm³/uur geeft 14,4 GJ/uur als de BTX in het gas blijft. Uitgaande van 20 €/GJ levert het 287 €/uur op.

Op dag basis is dat € 6888.

Vervolgens moeten de baten van BTX als uitgewassen vloeistof worden berekend.

Met een flow van 55.300 Nm³/uur en een verschil van 6,4 g/Nm³ wordt er 350 kg per uur minder uitgewassen. Dat is 8,5 ton per dag met een waarde van 800 €/ton.

Op dag basis is dat € 6849.

Hieruit blijkt dat de baten van BTX in het gas groter zijn dan de baten van BTX als uitgewassen vloeistof.

Het verschil tussen 6888 en 6849 = 39 €/dag wat op jaarbasis 14 k€ oplevert.

Echter moeten ook de CO₂ kosten meegenomen worden en die zijn als volgt:

De in paragraaf 4.4.2 berekende 10,5 kton vermenigvuldigd met 100 €/ton is 1050 k€ per jaar.

Hier moeten dan de baten van afgehaald worden en dan houden we 1036 k€ per jaar als kosten.

4.4 Milieu effect

Het milieu effect is tweezijdig, enerzijds positief, namelijk minder NO_x uitstoot, maar anderzijds negatief meer CO₂ uitstoot. In onderstaande paragrafen worden beide effecten nader toegelicht.

4.4.1 NO_x effect

Het jaargemiddelde BTX gehalte in reingas over de periode oktober 2021 tot en met oktober 2022 was 3,6 gram per Nm³. Het gemiddelde NO_x concentratie in dezelfde periode bij batterij 11 en 12 was 870 mg/Nm³ droog en de vracht bedroeg gemiddelde 500 kg/dag.

Tijdens stilstanden in 2021 zijn niveaus van 22 tot 28 mg/Nm³ gemeten door ANA en tijdens die stilstanden was de NO_x concentratie 630 mg/Nm³ droog en de vracht 360 kg/dag.

Lineaire regressie van deze gegevens geeft de volgende relaties:

$$\text{NO}_x \text{ concentratie} = -9,8188 * \text{BTX in reingas} + 902,83$$

$$\text{NO}_x \text{ vracht} = -5,9625 * \text{BTX in reingas} + 527,75$$

Met behulp van deze relaties kan de verwachte NO_x concentratie en vracht berekend worden voor KO-gas met 10 gram per Nm³.

$$\text{NO}_x \text{ concentratie} = -9,8188 * 10 + 902,83 = 805 \text{ gram per Nm}^3$$

$$\text{NO}_x \text{ vracht} = -5,9625 * 10 + 527,75 = 468 \text{ kg/dag}$$

In vergelijking met de jaargemiddelde NO_x waarden van batterij 11 en 12 zijn deze waarden respectievelijk 7,3% en 7,6% lager.

4.4.2 CO₂ effect

Indien in plaats van 3,6 gram per Nm³ jaargemiddelde op 10 gram per Nm³ reingas gestuurd wordt, blijft er dus 6,4 gram per Nm³ meer BTX in het gas.

Uitgaande van een gemiddelde KO-gas flow van 55.000 Nm³/u met 6,4 gram meer BTX per Nm³, betekent dat 3100 ton BTX.

$$\begin{aligned} 55.000 \text{ Nm}^3/\text{uur} * 6,4 \text{ gram} / \text{Nm}^3 * 24 \text{ uur} / \text{dag} * 365 \text{ dagen} / \text{jaar} \\ = 3100 \text{ ton BTX} / \text{jaar} \end{aligned}$$

Per ton BTX komt 3,4 ton CO₂ vrij bij verbranding. Dit betekent:

$$3100 \text{ ton BTX/jaar} * 3,4 \text{ ton CO}_2 / \text{ton BTX} = 10.540 \text{ ton CO}_2 \text{ per jaar}$$

5. Conclusies

In het voorliggende rapport zijn op verzoek twee specifieke maatregelen nader toegelicht.

In hoofdstuk 3 wordt waterinjectie in verbrandingslucht behandeld.

Het mechanisme van NO_x verlaging is bekend en uitlegbaar. Waterinjectie verlaagt de vlamtemperatuur waardoor er minder thermische NO_x ontstaat.

De technische toepasbaarheid moet nog nader onderzocht worden. Verschillende onderzoeksvragen over proces- en installatie risico's zijn gedefinieerd en moeten in een volgende fase beantwoord worden.

Waterinjectie verlaagt de energie-efficiëntie van het stoken. Dit is bepalend voor de kosten. Ook zal er meer CO₂ emissie ontstaan met bijbehorende kosten en milieueffecten.

Lange termijn zullen de jaarlijkse kosten afhankelijk van de aannames variëren tussen de 2 en 6 miljoen Euro per jaar om een NO_x reductie van 20% in concentratie en vracht bij stoken op KO-gas te realiseren.

In hoofdstuk 4 wordt verhoogd BTX gehalte in KO-gas behandeld.

Het mechanisme van NO_x verlaging is niet goed bekend. De literatuur geeft tegengestelde resultaten met de praktijkervaringen van KGF1.

De technische toepasbaarheid moet nog nader onderzocht worden. Verschillende onderzoeksvragen over proces- en installatie risico's zijn gedefinieerd en moeten in een volgende fase beantwoord worden.

Met de huidige forecast van de prijzen zal deze methode tot 2026 een positief financieel resultaat geven. Na 2026 is de verwachting dat het ongeveer 1 tot 2 miljoen Euro per jaar zal kosten om 5 tot 10% NO_x te reduceren in concentratie en vracht bij KO-gas stoken.

Er wordt verwacht dat deze methode leidt tot ruim 10 kton meer CO₂ uitstoot. Daarnaast kan deze methode leiden tot een verhoogde kans op roetvorming bij de verbranding. Dit zou mogelijk tot meer stof in de rookgassen kunnen leiden. Zoals gesteld in een van de onderzoeksvragen in hoofdstuk 4.2, dient dit effect nader onderzocht te worden.

Literatuur

- [1] L. Bleijendaal, F. de Groot, "*Thermal NO_x reduction by steam injection*", 2021, Reference Source 202244, Project STIR ISC / 9860

- [2] V. Dhiman, S. Rajendran, "Numerical Modeling of NO_x generation in KGF1 Ovens", 2022, Reference Source number: 203559, Project number: RD000718

- [3] S. van der Molen, "NO_x reductie KGF1", 2022

- [4] M. Cafiero, V. Dias, A. Stagni et al , "The effect of benzene on the structure of low-pressure premixed H₂/CH₄/CO-air flames and related NO formation at different equivalence ratios", 2021, Combustion and Flame 232 (2021) 11510