

Van afvalstoffen naar grondstoffen in de staalindustrie

Voordracht uit de 17e vakantie cursus in behandeling van afvalwater 'Wat de industrie doet', gehouden op 13 en 14 mei 1982 aan de TH Delft.

Algemene inleiding

In deze voordracht zullen twee afvalstoffen worden behandeld, die ontstaan bij het produceren van staal:

- hoogovengasstof;
- polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK).

Hoogovengasstof is een afvalstof die voor alle hoogovenbedrijven in de wereld een ernstig probleem vormt. Na langdurig onderzoek is door Hoogovens IJmuiden een verwerkingsmethode gevonden waarvan verwacht wordt dat, tegen redelijke kosten, volledig hergebruik van deze afvalstof als grondstof mogelijk is.



IR. C. WELVAADT
Hoogovens Groep BV
Afdeling Milieubeheer

Polycyclische aromatische koolwaterstoffen komen voor in het afvalwater van de cokesfabrieken. Gezien de aard van deze stoffen is een goed toepasbare verwijderingsmethode van groot belang. De methode die bij Hoogovens IJmuiden is gevonden, biedt uitstekende perspectieven voor wat betreft het verwijderingsrendement uit het afvalwater en de uiteindelijke milieuhygiënisch verantwoorde manier van vernietiging van de afvalstof.

Voorafgaand aan de bespreking van deze specifieke afvalstoffen enige globale gegevens over het staalbedrijf te IJmuiden. Het bedrijfsterrein is circa 800 hectare groot. Er werken ongeveer 20.000 mensen. De productiecapaciteit van het bedrijf bedraagt circa 7 miljoen ton staal per jaar. In 1981 is in IJmuiden circa 5 miljoen ton staal geproduceerd.

De grondstoffen ijzererts en kolen worden voorbereid tot sinter, pellets en cokes. Daaruit wordt in hoogovens onder toevoeging van kalksteen en dolomiet, ruwijzer geproduceerd met een koolstofgehalte van circa 4,5%. Naast ruwijzer wordt slak afgetapt die als grondstof in de cementfabricage wordt gebruikt. Het ruwijzer wordt in de staalfabrieken verwerkt tot verschillende staalsoorten met koolstofgehalten < 0,10%.

Het staal wordt uitgegoten tot blokken of plakken. Tot plakken uitgewalde blokken en direct gegoten plakken zijn de basis voor een reeks van gewalde producten. Bij de productieprocessen is voor wat betreft de milieu-effecten, het streven gericht op recirculatie van water en hergebruik van afvalstoffen. Bij het vernieuwen van bestaande en bouwen van nieuwe installaties

wordt dit streven in de ontwerpfase geconcretiseerd.

De twee afvalstoffen die gekozen zijn voor deze voordracht, ontstaan in processen in bestaande installaties. De benodigde ingrepen zijn daardoor moeilijk en kostbaar.

Hoogovengasstof

Hoogovengasstof komt bij het huidige productieniveau vrij met een hoeveelheid op drogestofbasis van circa 60.000 ton per jaar. Door het gehalte aan zink en lood heeft de tot voor kort gevolgde verwijderingsmethode, afvoer naar zee met het gaswaswater, geleid tot grote problemen bij de verwijdering van het baggerslib uit de haven. Getracht zal worden duidelijk te maken hoe dit probleem in verschillende stappen wordt verkleind om uiteindelijk tot een volledige oplossing te komen door hergebruik als grondstof. Om het ontstaan van deze afvalstof te verduidelijken, moet nader worden ingegaan op het productieproces in een hoogoven (zie afb. 1).

Voor het bereiden van ruwijzer wordt een hoogoven gevuld met een mengsel van cokes, ertspelleten, sinter en toeslagstoffen. Door een gassluizensysteem kan dit vullen doorgaan terwijl de hoogoven in bedrijf is, zonder dat gassen uit de hoogoven ontwijken. Onder in de hoogoven wordt lucht met een temperatuur van omstreeks 1.000 °C geblazen. Door verbranding van cokes ontstaat CO₂, dat bij de heersende temperaturen en de overmaat aan cokes direct gereduceerd wordt tot CO. Dit gas is van essentieel belang voor de reductie van de ijzeroxyden in het erts.

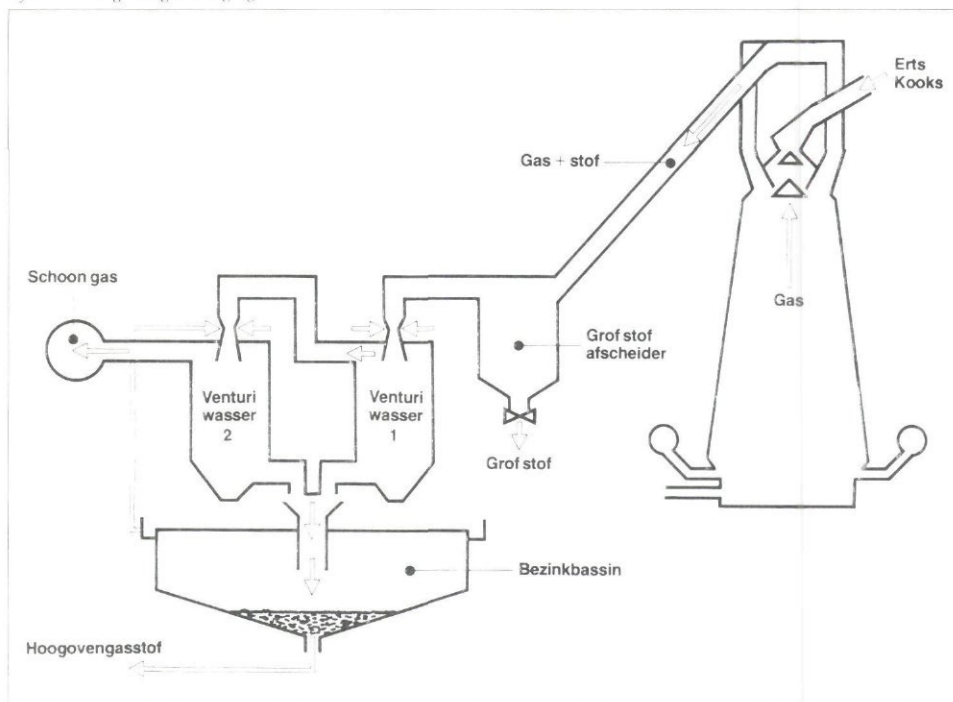
In IJmuiden staan 5 hoogovens, die in haarddiameter oplopen van 5,90 m tot 13,00 m. Op het ogenblik zijn 2 à 3 hoogovens in productie.

In het gas dat aan de bovenzijde de hoogoven verlaat, is nog een deel van het gevormde CO aanwezig. Hierdoor heeft het gas nog een, zij het lage, calorische waarde (700 Kcal/Nm³). Gemengd met hoger-calorisch gas is het geschikt als brandstof in andere onderdelen van het hoogovenbedrijf en in de elektriciteitscentrale van het PEN in Velsen. De hoeveelheid is 1.700 m³/ton ruwijzer. Vóór gebruik moet dit gas echter gereinigd en gekoeld worden, omdat door de grote hoeveelheden gas die met hoge snelheid door de hoogovenvulling stromen, stof wordt meegenomen dat bestaat uit erts, cokes en kalksteendeeltjes. Het stofgehalte is circa 7 g/m³. De gasreiniging bij de hoogovens bestaat uit een droge voorreiniging die op zwaartekracht berust, waarin het grovere stof wordt verwijderd en een natte reiniging waarin het fijne stof wordt uitgewassen en de temperatuur van het gas wordt teruggebracht tot omstreeks 40 °C.

Het droge stof (5 kg/ton ruwijzer) wordt opgevangen in een zogenaamde stofzak en via de sinterfabriek weer in de hoogoven ingezet.

Het gaswaswater met daarin het fijnere stof (12 kg/ton ruwijzer) werd tot januari 1982 geloosd in de Buitenhaven, die in directe verbinding staat met de Noordzee. Bij de verwijdering van het havenslib bij baggerwerkzaamheden ontstonden grote problemen door de gehalten aan zink en lood, oplopend

Afb. 1 - Hoogovengasreiniging.



tot 5 g Zn/kg droge stof en 2 g Pb/kg droge stof.

De aanwezigheid van zink en lood in het fijne hoogovengasstof kan worden verklaard door het gedrag van deze elementen in een hoogoven.

In het reducerend milieu in de hoogoven worden niet alleen ijzeroxyden gereduceerd, maar ook oxyden van metalen die bij vrij lage temperaturen verdampen, zoals zink en lood. Zonder diepgaand op het gedrag van deze metalen in te gaan, kan gesteld worden dat zij de neiging vertonen zich te concentreren in de hoogovens om vervolgens, grotendeels met het stof de hoogoven via de top te verlaten.

Om de lozing te beëindigen, is besloten de natte gasreiniging zodanig te wijzigen, dat het in de gasreinigingen van de hoogovens gebruikte waswater wordt hergebruikt, nadat in een bezinkinstallatie het stofgehalte teruggebracht is van 2.500 g/m³ naar minder dan 50 g/m³.

Om te voorkomen dat corrosie of aangroeiing in het systeem optreedt, moet bovendien een aantal aanvullende maatregelen genomen worden om een goede waterkwaliteit te waarborgen.

Hiervoor is een installatie gebouwd die bestaat uit drie parallelle straten met een voorbezinking, een beluchting en een indikker, terwijl voor de ontwatering van het bezonken slib twee filterpersen staan opgesteld (afb. 2).

Per straat kan maximaal 1.150 m³/h waswater worden behandeld.

Voorbezinking

Om de goede werking van de installatie te behouden, ook in die gevallen waar incidenteel een dubbele hoeveelheid stof wordt aangeboden, bijvoorbeeld bij het slecht functioneren van de drogestof-verwijdering, is een vóóraf scheiding gebouwd.

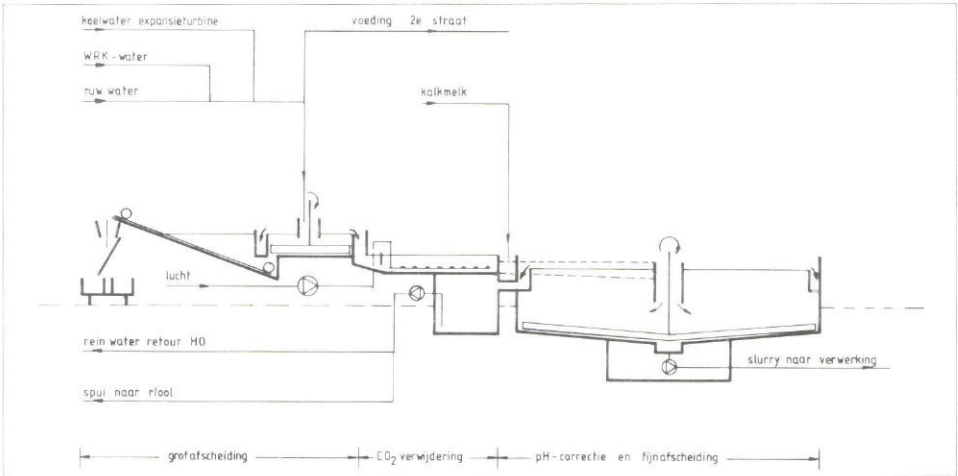
De problemen die daarmee kunnen worden voorkomen, zijn:

- bezinking in de beluchtingsruimte;
- vastlopen van het schrappermechanisme in het indikkerbassin;
- moeilijkheden bij de slibafvoer.

Deze vóóraf scheiding is zodanig gedimensioneerd, dat alle vaste stof groter dan 100 µm wordt afgescheiden.

Onder normale bedrijfsomstandigheden betekent dit dat circa 20% van het stof (dat is 1.200 kg/uur) wordt gevangen. Om het bezinksel uit de grofafscheider te verwijderen, wordt gebruik gemaakt van grofslibharken.

Het harkprodukt, met een vochtgehalte van maximaal 30%, wordt naar een tussenopslag afgevoerd ten behoeve van hergebruik binnen Hoogovens via de sinterfabriek. Het zinkgehalte is namelijk zeer laag.



Afb. 2 - Waterreiniging hoogovengaswassing.

Beluchting

De beluchtingseenheid die in deze installatie is opgenomen, heeft tot taak de waterkwaliteit zodanig te verbeteren, dat recirculatie mogelijk is en de spui een kwaliteit heeft in overeenstemming met de eisen gesteld in de lozingsvergunning.

In de gaswasser lost CO₂ op tot een gehalte van 200 mg/l.

Dit CO₂-gehalte zou een agressieve waterkwaliteit opleveren met een pH van 5,5 à 6,0. Aantastingen in het leidingsysteem en oplossen van zink en lood uit het slib zou daarvan het gevolg zijn.

Door de beluchting wordt CO₂ verwijderd tot circa 25 mg/l. Afhankelijk van de daarbij bereikte (gemeten) pH kan kalk worden gedoseerd om het punt te bereiken waarbij de oplosbaarheid van zink minimaal is.

Voor de beluchting is gekozen voor Brandol-elementen met een indompeldiepte van 0,75 m.

Direct na inbedrijfstelling van de installatie bleken deze elementen ernstig te vervuilen door het hoogovengasstof.

Binnen korte tijd liep de luchthoeveelheid zo sterk terug dat het stof in de beluchtingsruimte bezonk.

Dit probleem is opgelost door filterdoek om de beluchtingselementen aan te brengen met een maaswijdte kleiner dan de korrelgrootte van het stof dat de verstoppingen veroorzaakte. Na het aanbrengen van deze extra voorziening functioneert de installatie naar behoren.

Een apart (arbeidshygiënisch) probleem vormt CO dat, evenals CO₂, oplost in het waswater en dat ook door de beluchting wordt verwijderd. Er worden metingen uitgevoerd om vast te stellen welke maatregelen ten behoeve van de arbeidsomstandigheden moeten worden genomen.

Indikkerbassin

Bij dit ontwerp is, gezien de bezinkeigenschappen van het stof, gekozen voor bezink-

bassins met een diameter van 25 m, overeenkomend met een oppervlaktebelasting van max. 2,3 m/uur. De spuihoeveelheid bedraagt circa 100 m³/h. De kwaliteit van de spui wordt dagelijks gecontroleerd. De resultaten beantwoorden tot dusver aan de verwachtingen (zie tabel I).

TABEL I – Kwaliteit van de spui uit de waterreinigingsinstallatie van de hoogovengaswassing.

Gemiddelde van 11 proportionele week-mengmonsters in de periode 15 juni 1982 - 1 september 1982.

Debiet 2.400 m ³ /etmaal	
Zwevend stof	25 mg/l
Zn-totaal	2,6 mg/l
Pb-totaal	0,25 mg/l
Cd-totaal	< 0,01 mg/l
CZV	27 mg/l
Kj-N	45 mg/l
S''	1,6 mg/l
CN ⁻	≤ 1 mg/l

Via de spui komt jaarlijks nog circa 45 ton stof in het oppervlaktewater terecht in plaats van 60.000 ton.

Met de ingebruikname van deze installatie, die een investering heeft gevegd van 38 miljoen gulden, is dus het zinklozingsprobleem en daarmee het baggerslibprobleem opgelost.

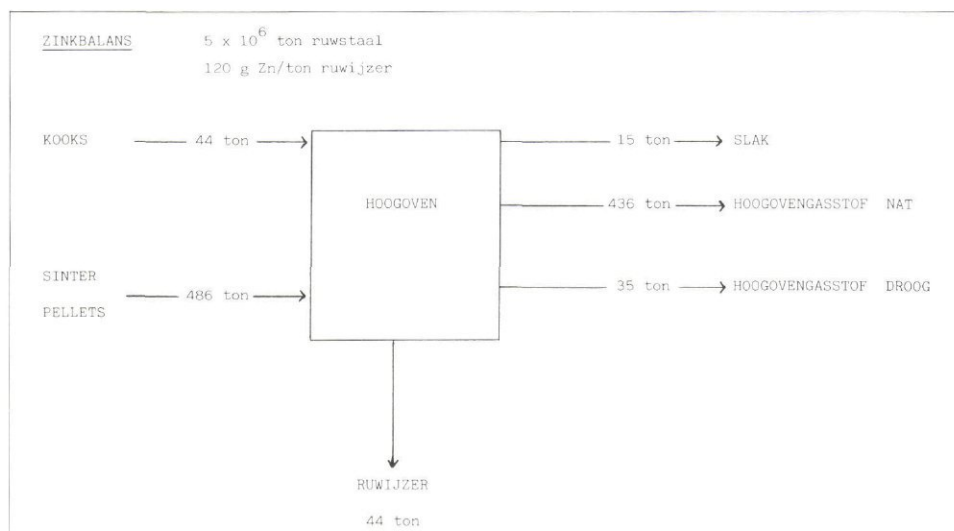
Het in de filterpersen ontwaterde slib wordt voorlopig opgeslagen op het Hoogoven-terrein. Daarmee is een nieuw probleem ontstaan; een berg die groeit met 100.000 ton slib/jaar.

Samenstelling hoogovengasstof

De samenstelling van hoogovengasstof wordt

TABEL II – Gemiddelde samenstelling hoogovengasstof (%).

Fe (als oxyde)	36
Zn	0,8
Pb	0,3
Cd	0,003
C	32
CaO	2
Al ₂ O ₃	3
MgO	1,5



Afb. 3.

aangegeven in tabel II. Herinzet van deze stof, de meest voor de hand liggende oplossing gezien het ijzer- en het koolstofgehalte, wordt verhinderd door het zinkgehalte. Door het gedrag van zink en lood in het hoogovenproces, geeft de aanwezigheid van deze stoffen ernstige problemen bij de bedrijfsvoering van de hoogovens doordat aanzettingen worden gevormd, de vuurvaste bemetseling wordt aangetast en de arbeids-hygiënische omstandigheden in het ovenhuis worden verslechterd als bij het ruwijzer-aftappen zinkdampen vrijkomen. Aan de hoeveelheid zink, die in de hoogoven wordt ingezet, is daarom een strenge bovengrens gesteld.

Zink komt in de hoogoven terecht met de ertsen, cokes en toeslagstoffen, waarin het in lage concentraties voorkomt en met retourstoffen uit het hoogovenproces en de staalfabrieken. (Zie afb. 3)

Circa 80% van het ingezette zink komt uiteindelijk in het fijne stof terecht dat door het hoogovengas wordt afgevoerd. Wanneer het gas gereinigd wordt en het stof na droging weer ingezet in de sinterfabriek, is het duidelijk dat opzameling van zink het gevolg is.

Daarom kan dit slib alleen worden ingezet in de hoogovens als het grootste deel van het zink is verwijderd.

Om een methode te vinden voor de verwijdering van zink uit hoogovengasstof is een uitgebreid onderzoek uitgevoerd naar de fysische en chemische eigenschappen van het stof.

Kort samengevat komen de resultaten van dit laboratoriumonderzoek op het volgende neer:

- het zink- en loodgehalte van het hoogoven-slib aanwezig in steekmonsters varieert sterk van 0,1-1,5% (gemiddeld 0,8%) Zn en 0,1-0,6% (gemiddeld 0,3%) Pb; analyses op droge-stofbasis. Een en ander is duidelijk

afhankelijk van de procesfluctuaties;

- het zink komt voornamelijk voor als ZnO, daarnaast ook als Zn-silicaat en Zn-ferriet;
- het stof bevat daarnaast Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , FeO , SiO_2 , C, CaCO_3 , $\text{AlO}(\text{OH})$ en $(\text{Ca}, \text{Mg})\text{CO}_3$;
- het hoogovengasstof is erg fijn, gemiddeld $30\% < 20 \mu\text{m}$ en $50\% < 60 \mu\text{m}$. Zink en lood bevinden zich vooral in de fijnste korrelfracties ($< 5 \mu\text{m}$).

Verwerkingsmogelijkheden hoogovengasstof

Voor de verwerking van hoogovengasstof zijn in theorie pyrometallurgische en hydrometallurgische procédé's beschikbaar. In de wereld is tot nu toe het onderzoek naar verwerkingsmethoden vooral gericht geweest op pyrometallurgische methoden (thermisch opwerken).

Thermisch opwerken

Een groot aantal, nagenoeg identieke, processen zijn uitgedacht, maar slechts beperkt en hoofdzakelijk in Japan toegepast. Verschillende stofsoorten worden gemengd, zodat een constant en homogeen produkt verkregen wordt. Van dit produkt worden pellets gevormd, die na voordroging samen met een vast reductiemiddel, bijvoorbeeld cokes of bruinkool, in een draaioven worden gebracht en verhit tot 1.000 à 1.100°C . De ijzeroxyden worden gereduceerd en zink en lood worden voor het grootste deel verdampt. Zink- en loodoxyden worden in filters afgevangen en kunnen, indien een bepaalde concentratie gehaald wordt, verkocht worden.

De pellets bevatten daarna nog circa 0,1% Zn en kunnen in de hoogoven ingezet worden. Het proces is zeer energie-intensief met hoge bedrijfskosten en benodigt een zéér hoge investering. Voor behandeling van 200.000 ton stof per jaar is een investering

nodig van circa f 100 - f 150 mln. Daarbij worden zelfs de bedrijfskosten (exclusief kapitaalslasten) niet terugverdiend via de verrekeningsprijzen voor ijzer en koolstof en de verkoopprijzen van zink en lood.

Hydrometallurgisch behandelen

Fysisch-chemische methoden komen als eerste in aanmerking wegens relatief lage kosten en omdat deze methoden met name in de mijnbouw grootschalig gebruikt worden en omdat deze processen ook op kleine schaal ingezet kunnen worden in tegenstelling tot directe reductiemethoden. Uiteindelijk zijn door Hoogovens op laboratoriumschaal de volgende technieken op hun bruikbaarheid onderzocht:

- chemische loging;
- magnetische scheiding;
- scheiding op korrelgrootte: -flotatie; hydrocyclonage.

Chemische loging

Een aantal loogmedia is onderzocht. Uiteindelijk is gebleken, dat loging met HCl mogelijkheden biedt om het zink en lood voor een belangrijk deel uit het gasstof te verwijderen.

De toepasbaarheid in de praktijk voor de totale hoeveelheid slik is, gezien de gecompliceerde procesvoering en de kosten, echter twijfelachtig.

Magnetische scheiding

De mogelijkheden van magnetische scheiding zijn onderzocht in samenwerking met de Amerikaans-Zweedse firma Sala, die specifieke kennis bezit op het gebied van Hoge Gradient Magnetische Filtratie (HGMF). Hoogovenslik blijkt, na beproeving in Zweden, echter niet op een zodanige wijze met HGMF te scheiden, dat er een duidelijke zinkarme en zinkrijke fractie ontstaat.

Scheiding op korrelgrootte

Scheiding op korrelgrootte biedt goede mogelijkheden.

Op laboratoriumschaal zijn proeven gedaan met hydrocycloonscheiding en flotatie. Het onderzoek op semi-technische schaal is gesubsidieerd door het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.

De flotatieproeven verliepen gunstig op laboratoriumschaal. Proeven daarna op semi-technische schaal gaven echter slechte scheidingsrendementen. Herhaling van de laboratoriumproeven op nieuwe stofmonsters gaven eveneens een slecht resultaat. Het verschil met de eerste proeven is nog niet geheel verklaard. Een relatie met het intussen stopzetten van de olie-injectie in de hoogovens lijkt aanwezig te zijn. De proeven met hydrocyclonage hebben

TABEL III – Hoogovengasstof (zink- en loodgehalte van de korrelfracties).

Fractie (µm)	Stof (gew. %)	Zink (gew. %)	Lood (gew. %)
< 5	14	3,61	1,25
5 – 10	3	0,64	0,18
10 – 20	12	0,28	0,10
20 – 30	7	0,20	0,04
30 – 60	28	0,18	0,05
> 60	36	0,14	0,04

vrijwel eenduidige goede resultaten te zien gegeven.

Bij hydrocyclonage ontstaan uit de oorspronkelijke slibstroom een ingedikte stroom met het grove stof en een verdunde stroom met daarin het fijne stof.

Een voorbeeld van een korrelverdeling van hoogovengasstof met bijbehorende zink- en loodgehaltes is weergegeven in tabel III.

Door de keuze van randvoorwaarden en koppeling van hydrocyclonen kan voor hoogovengasstof een technisch haalbare methode ontwikkeld worden om het stof in een kleine zinkrijke en een grote zinkarme fractie te scheiden.

De zinkarme fractie kan als grondstof in het hoogovenproces worden ingezet. Onderzoek naar een methode om uit de zinkrijke fractie op chemische wijze het zink te verwijderen, is in een vergevorderd stadium.

Voor deze nieuwe ontwikkelingen is patent aangevraagd om het industriële eigendom te beschermen.

Conclusie

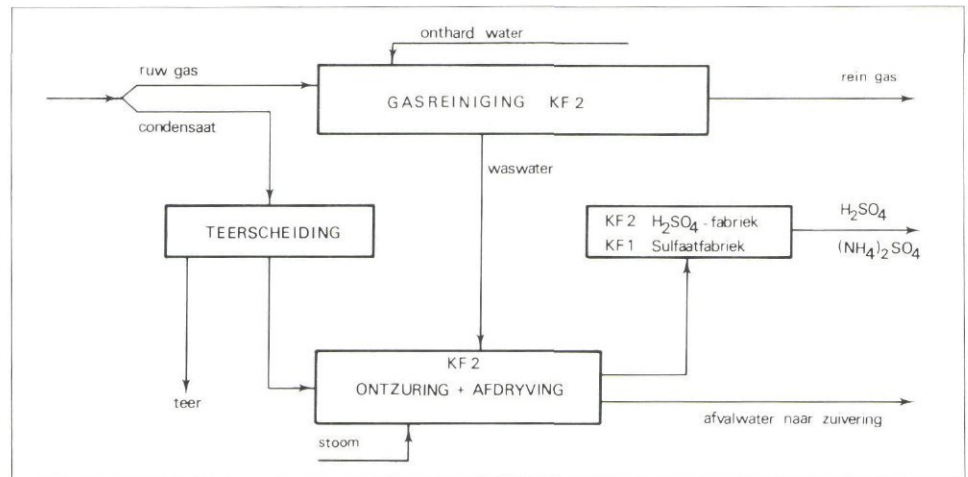
Na jarenlang onderzoek is besloten tot de bouw van een installatie waarin 70 à 80% van een afvalstof, die met een hoeveelheid van 60.000 ton (ds) per jaar ontstaat, als grondstof kan worden hergebruikt. Dit past zowel in het bedrijfsbeleid dat is gericht op zoveel mogelijk recirculatie van afvalstoffen als in het landelijk milieubeleid.

De te bouwen installaties zullen zeker geoptimaliseerd moeten worden gezien de geringe ervaringen op dit gebied.

Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK)

Sinds enkele jaren wordt steeds meer aandacht besteed aan het voorkomen van PAK in het milieu. In deze grote groep van stoffen komt een aantal voor waaraan carcinogene werking wordt toegeschreven. Dit zijn vooral de hoog-moleculaire PAK. Een van de processen waarbij PAK ontstaan, is de pyrolyse van organisch materiaal, een omschrijving die uitstekend past op het cokesovenproces.

In een cokesoven wordt cokes bereid door kolen onder afsluiting van de lucht te verhitten tot een temperatuur van circa 1.300 °C. De vluchtige bestanddelen ontwijken, er ontstaat een harde poreuze brandstof die essentieel is voor het hoog-



Afb. 4 – Schema gasreiniging cokesfabrieken.

ovenproces. Voor de productie van 5 miljoen ton ruwijzer is 2,5 miljoen ton cokes nodig. Bij Hoogovens IJmuiden wordt de cokes geproduceerd door twee cokesfabrieken. De vluchtige bestanddelen die bij de bereiding van cokes ontwijken, vormen het cokesovengas, een gas met hoge calorische waarde dat in het productieproces wordt hergebruikt.

Vóór gebruik moet het gas worden gekoeld en gereinigd. Daarbij ontstaat condensaat en er wordt een grote hoeveelheid waswater gebruikt (zie afb. 4).

Uit het condensaat wordt teer verwijderd door zwaartekrachtscheiding; H₂S en NH₃ worden door stoom uitgedreven uit het waswater.

Het overblijvende water wordt ter verwijdering van vooral fenol nabehandeld in een actief-slibinstallatie die op het ogenblik bestaat uit een beluchtingsbassin met puntbeluchters en een nabezinking. Om de werking van deze installatie te verbeteren, zal in de komende jaren een aantal voorbehandelingseenheden worden gebouwd. In 1980 zijn de eerste onderzoeken gedaan naar het gehalte aan PAK in een aantal

afvalwaterstromen bij Hoogovens IJmuiden. Daaruit bleek dat aanzienlijke concentraties voorkwamen in het effluent van de biologische zuiveringsinstallatie (zie tabel IV). Hoewel nog geen PAK expliciet zijn aangewezen door de Europese Commissie als zwarte-lijst-stof, moet toch een aantal beschouwd worden als behorend tot onderdeel 4 van die lijst:

'stoffen waarvan is aangetoond dat zij in of via het water een kankerverwekkende werking hebben'.

Dit betekent dat voor deze afvalstof de zogenaamde emissie-aanpak geldt zoals die in het Indicatief Meerjaren Programma Water '80-'84 is omschreven.

Daarom is intensief onderzoek verricht naar verwijderingsmogelijkheden van deze stoffen uit het afvalwater van de cokesfabriek.

Omdat uit de analyses duidelijk blijkt, dat de PAK grotendeels aanwezig zijn in of aan de zwevende delen van het afvalwater, wat gezien de geringe oplosbaarheid in water van de meeste PAK ook voor de hand ligt, is het verdere onderzoek gericht op het terughouden van die zwevende delen. Deze zwevende delen kunnen worden omschreven als colloïdale slib/teerdeeltjes, waarbij zwaartekrachtscheiding met behulp van coagulatie niet of onvoldoende werkt. Onderzocht moet worden:

1. de filtermethode die voor deze vaste deeltjes de beste resultaten geeft: onderzocht zijn: microfilter en 2 typen precoat-filters;
2. de plaats van de teerdeeltjes-verwijdering in het systeem, te weten voor of na de biologische afvalwaterzuivering.

Als plaats is gekozen een opstelling vóór de biologische installatie. Hierdoor kan de hoeveelheid afvalstof die moet worden afgevoerd (een chemische afvalstof) zo klein mogelijk zijn. Bovendien heeft de aanwezigheid van teerdeeltjes in de actief-slibinstallatie een negatief effect op het zuiveringsproces. Bij plaatsing na de biologische zuivering zullen de te plaatsen filters behalve de

TABEL IV – PAK in effluent biologische zuiveringsinstallatie (in µg/l) november 1980.

	Vloeistof	Vaste stof
naftaleen	n.a.	n.a.
acenafteen	n.a.	n.a.
dibenzfuraan	n.a.	5
fluoreen	2	5
fenanthreen + anthraceen	30	185
fluorantheen	15	405
pyreen	6	220
1,2 benzantraceen + chryseën	1	280
benz(b+j+k)fluorantheen	n.a.	120
(1,2 + 3,4) benzpyreen	n.a.	155
1,12 benzperyleen	n.a.	60
coroneen	n.a.	35
totaal	54	1470

Scheiding vloeistof/vaste stof door filtratie over zilvermembraanfilter 0,8 µm.

n.a. = niet aantoonbaar; concentratie lager dan detectiegrens (< 1 µg/l).

oorspronkelijke aanwezige zwevende delen met PAK uit het influent, ook actief-slib-deeltjes in het effluent affiltreren. Dat zou de benodigde filteroppervlakken en daarmee de benodigde investeringen sterk verhogen. Ook zou een veel grotere hoeveelheid afval als chemisch afval moeten worden afgevoerd. Omdat ervaringen bestonden met microfilters bij overeenkomstige afvalwaterstromen, zijn de eerste proeven daarmee uitgevoerd. Deze proeven werden een mislukking. Sproeiers en filtergaas verstopten binnen korte tijd; deze vervuiling was door spoelen niet te verwijderen.

Het verdere onderzoek is daarna gericht op precoat-drukfiltratie en precoat-vacuümfiltratie, omdat daarmee hoge verwijderingsrendementen kunnen worden gehaald, ook of juist met colloïdale deeltjes en omdat de afvalstof op eenvoudig te hanteren wijze vrijkomt. Omdat als uiteindelijke verantwoorde verwijderingsmogelijkheid alleen verbranding (onder de juiste condities) van PAK in aanmerking komt, is een precoat-materiaal gekozen waarmee binnen Hoogovens IJmuiden uitstekende ervaringen waren opgedaan: houtmeel.

Precoat-materiaal

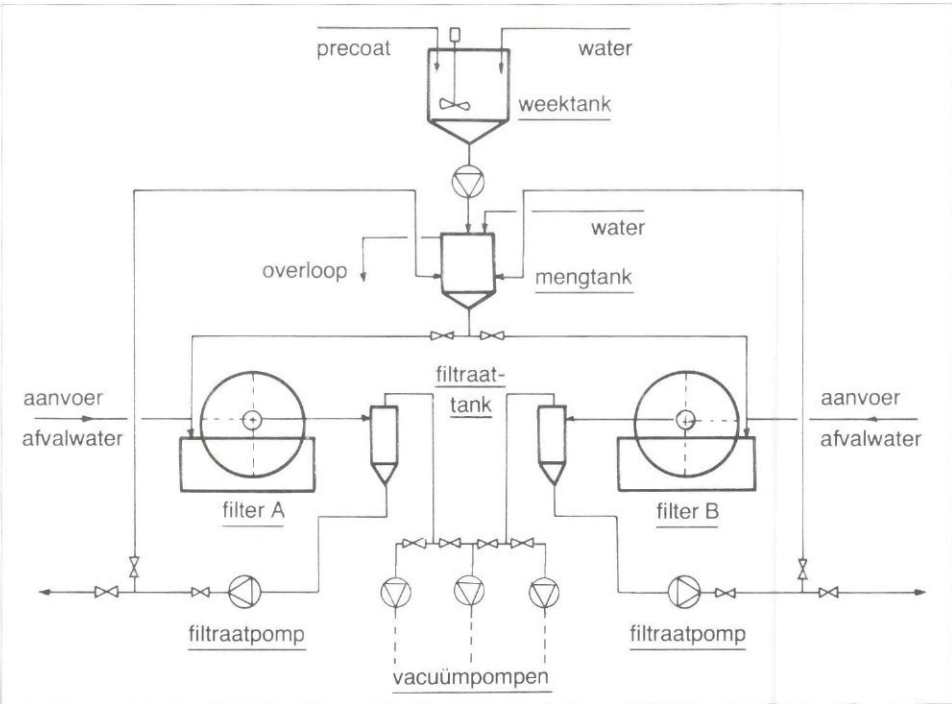
Bij precoat-filtratie kan men een keus doen uit een verscheidenheid aan filterhulpstoffen, die zich (ruwweg) laten onderverdelen in vier hoofdgroepen:

- 1. diatomee-aarde (kiezelgoer);
- 2. perliet;
- 3. celluloses;
- 4. houtmeel.

De uiteindelijke keuze wordt bepaald door een aantal factoren, die voor iedere combinatie zwevende delen - filterhulpstof weer anders zijn:

- verwijderingsrendement van zwevende delen;
- doorlaatbaarheid van de aangebrachte filterkoek;
- verwerkingsmogelijkheid van vuil + filterkoek;
- verbruikskosten filterhulpmiddel op jaarbasis;
- hantering en de arbeidshygiënische aspecten hiervan.

De laatste drie factoren zijn aanleiding geweest om als eerste mogelijkheid de toepassing van houtmeel te testen. Immers: houtmeel kan samen met de PAK-houdende afvalstoffen eenvoudig verbrand worden, de kosten liggen lager dan die van ieder ander filterhulpmiddel en houtmeel is arbeidshygiënisch te verkiezen boven diatomee en perliet; beide laatste stoffen bestaan hoofdzakelijk uit zeer fijn SiO₂. Later bleek dat juist houtmeel een hoge verwijderingsgraad van PAK-verbindingen



Afb. 5 - Schema precoat-vacuümfiltratie.

en een grote doorlaatbaarheid voor het af te filtreren medium bezit.

Precoat-drukfiltratie

Zowel uit laboratoriumonderzoek als door experimenten op semi-technische schaal is gebleken dat bij precoat-drukfiltratie de doorlaatbaarheid van de filterlaag zeer snel terugloopt, indien de maximaal gebruikelijke hoeveelheden filterhulpmiddel worden toegevoegd. Om dichtlopen van het filter te voorkomen, moeten grote hoeveelheden houtmeel worden verbruikt, hetgeen economisch niet aantrekkelijk is. Deze mogelijkheid verviel daardoor.

Precoat-vacuümfiltratie

Het principe van een precoat-vacuümfiltratie berust op het filtreren van vloeistoffen door

zogenaamde filterhulpstoffen, die extern, vaak als een centimeters dikke laag, op een ronddraaiende vacuümtrommel worden aangebracht. Met behulp van een vacuümpomp wordt de vloeistof door het filtermedium gezogen (zie afb. 5).

Tijdens de filtratie wordt met behulp van een schraper het bovenste laagje van de aangebrachte filterhulpstof (= precoat) verwijderd. Per uur wordt zo 1 à 2 mm van de precoat-laag verwijderd.

Bij de juiste keuze van precoat-materiaal zal alleen de buitenste schil vervuilen en wordt bij het afschrapen van een laagje van de precoat tevens de totale hoeveelheid afgevangen zwevend vuil verwijderd. Hierdoor blijft de precoat goed doorlaatbaar.

● Slot op pagina 375, 3e kolom

TABEL V – Resultaten proeffilter: PAK µg/l, april 1982.

	27-4-1982		28-4-1982		29-4-1982	
	in	uit	in	uit	in	uit
naftaleen	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
acenafteen	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
dibenzofuraan	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
fluoreen	n.a.	n.a.	7	n.a.	n.a.	n.a.
anthraceen + fenantheen	65	5	225	10	10	15
fluorantheen	487	4	1,435	8	370	20
pyreen	448	n.a.	1,093	n.a.	356	7
1,2-benzanthraceen + chryseen	873	15	2,660	4	1,190	4
benz(b+j+k)fluorantheen	755	n.a.	1,315	n.a.	440	n.a.
1,2-3,4-benzpyreen	965	n.a.	1,180	n.a.	520	n.a.
1,12-benzperyleen	160	n.a.	240	n.a.	70	n.a.
Totaal PAK	3,753	24	8,155	22	2,956	46
Opgelost	13	24	38	22	41	46
Gebonden	3,740	n.a.	8,117	n.a.	2,915	n.a.
Verwijderingsrendement (%)	99,4		99,7		98,4	

Scheiding vloeistof/vaste stof door filtratie over zilvermembraanfilter 0,8 µm.
n.a. = niet aantoonbaar; concentratie lager dan detectiegrens (< 1 µg/l).

standsverlaging en de afname van de verdamping.

Berekening uit het grondwater op de hogere gronden zal in Oost-Gelderland in gebieden met lagere gronden in vele gevallen tot grondwaterstandsverlagingen van minder dan 5 cm leiden (tabel V). Alleen wanneer zeer intensief wordt berekend uit het grondwater op zowel de hoge als middelhoge gronden (tabel II, scenario D) of bij minder intensieve berekening in extreem droge jaren (bijvoorbeeld 1976) zal de verlaging van de grondwaterstand in gebieden met lagere gronden meer dan 5 cm bedragen. De afname van de verdamping op de lagere gronden is in die gevallen dan ook niet meer verwaarloosbaar klein (> 2%). Dit impliceert dat de afname van de graslandopbrengst op de niet-beregende gronden meer dan 100 gulden per ha bedraagt.

De grondwaterstandsverlaging en de afname van de verdamping ten gevolge van berekening uit het grondwater is op de niet-beregende middelhoge gronden in Oost-Gelderland groter dan op de lagere gronden (tabel V en VII).

Ondanks de grote grondwaterstandsverlagingen op de hogere gronden (tabel V) zal berekening uit het grondwater daar slechts incidenteel (intensieve berekening en extreem droog jaar) tot merkbare schade aan grasopbrengst leiden (tabel VII).

De toename van het vochttekort op de niet-beregende gronden, die incidenteel met name op de middelhoge gronden merkbaar zal zijn, zal geen aanleiding zijn tot een zogenaamd sneeuwbal effect ten aanzien van de uitbreiding van de berekening. De toename van het vochttekort (maximaal 25 mm) is namelijk relatief klein ten opzichte van de van nature optredende vochttekorten.

Berekening uit het grondwater zal in Oost-Gelderland, bij weersomstandigheden zoals die in de jaren zeventig zijn opgetreden, niet tot een permanente daling van de grondwaterstand leiden. Alleen na droge zomerhalfjaren zal in het daaropvolgende zomerhalfjaar nog sprake zijn van een niet te verwaarlozen verlaging. Dit is dus een duidelijk verschil met de grondwateronttrekking door waterleidingbedrijven, waarbij de onttrekking leidt tot een permanente daling van de grondwaterstand.

Grondwaterwinning op de hogere gronden zal vooral in drogere jaren leiden tot een tijdelijke afname van de grondwatertoevoer naar de lagere gronden (afb. 6). In hoeverre dit de grondwaterkwaliteit beïnvloedt (die van levensbelang is voor sommige zeldzame

plantengemeenschappen in natuurterreinen), moet uit aanvullende hydrologische en geohydrochemische berekeningen worden afgeleid.

Dankbetuiging

Dank is verschuldigd aan mijn collega's G. J. Heij, C. R. Meinardi en H. L. M. Rolf voor het kritisch doornemen van het manuscript en de bijdrage aan de ideevorming ten aanzien van de schematisering van het gebied.

Literatuur

- Abrahamse, A. H., Baarse, G. and Beek, E. van, *Policy analysis of Water Management for the Netherlands. Vol XII; Model for regional hydrology, agriculture water demands and damages from drought and salinity*, a rand note. Rand corporation and Delft Hydraulics Laboratory, 1982.
- Awat, R. H. C. M. and Laat, P. J. M. de, *Groundwater-flow and evapotranspiration. A simulation model, Part 2. Applications*. Basisrapport Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland, 1980.
- Belmans, C., Wesseling, J. G. and Feddes, R. A., *Simulation model of the water balance of a cropped soil: SWATRE*. Journal of Hydrology, 1983.
- Boheemen, P. J. M. van en Wilde, J. G. S. de, *Water-voorziening land- en tuinbouw in het droge jaar 1976*. Regionale studies 15, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, 1979.
- Bouma, J. (editor), *Overzichtskarten met betrekking tot een aantal aspecten van de waterhuishouding in Gelderland*. Rapport 'Bezinningsgroep' van Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland, 1979.
- Bruin, H. A. R. de, *Neerslag, open-watervedamping en potentieel neerslagoverschot in Nederland; frequentieverdelingen in het groeiseizoen*. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut WR 79-4, 1979.
- Drecht, G. van (1982), *Model voor het niet-stationaire transport van water en een opgeloste stof in een kolom grond (model ONZAT)*. RID-mededeling (in voorbereiding).
- Ernst, L. F. en Feddes, R. A., *Invloed van grondwater-onttrekking voor berekening en drinkwater op de grondwaterstand*. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, nota 1116, 1979.
- Giessen, A. van der, *Grondwaterstandsverlagingen ten gevolge van onttrekkingen voor kunstmatige berekening en drinkwatervoorziening*. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, nota 1183, 1980.
- Laat, P. J. M. de, *Model for unsaturated flow above a shallow water-table applied to a regional sub-surface flow problem*. Pudoc, Agricultural Research Reports 895, 1980.
- Laat, P. J. M. de, *MUST, A simulated model for unsaturated flow*. Report International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering, 1982.
- Lanen, H. A. J. van, *Grondwater als bron voor de openbare watervoorziening en voor berekening in de landbouw*. H₂O (14) 1982, pag. 363-367.
- Lanen, H. A. J. van, *Berekening uit het grondwater op hogere gronden en het effect daarvan op de lagere gronden*. Interne RID-nota, 1982.
- Lanen, H. A. J. van (1983), *Aanvullend onderzoek met het model GELGAM in het studiegebied Sleen (Drenthe). Deel III: Hydrologische effecten van intensieve berekening uit het grondwater en het eerder of later opzetten van stuwen*. RID-rapport (in voorbereiding).
- Reijnen, M. J. S. M., Vreugdenhil, A. en Beijer, H. M., *Vegetatie en grondwaterwinning in het gebied ten zuiden van Breda*. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, rapport 81/24, 1981.
- Studiecommissie Waterbehoefte Land- en Tuinbouw (SWLT), *Aanvullende watervoorziening land- en tuinbouw*, 1980.
- Velde, G. van de en Overmars, B., *De voor een praktijkgeval berekende verlaging van de grondwaterstand ten gevolge van grondwateronttrekkingen voor berekening en drinkwatervoorziening*. H₂O (15) 1982, pag. 436-439.

Van afvalstoffen naar grondstoffen

● Slot van pagina 368

Het opbrengen van een nieuwe precoat-laag neemt tussen 1 en 1,5 uur in beslag, waardoor het filter niet continu bedreven kan worden. De laboratoriumproeven met dit proces gaven uitstekende resultaten. Bij een detectiegrens van 10 µg/l waren in het gefiltreerde water PAK niet aantoonbaar. Na deze op laboratoriumschaal uitgevoerde proeven is een proefinstallatie opgesteld om direct op het influent van de biologische zuiveringsinstallatie filtratieproeven uit te voeren. Daarbij is getracht voor de uiteindelijk filterinstallatie de condities vast te stellen die tot een optimaal filteroppervlak leiden.

Parameter zijn:

- de indompeldiepte van de ronddraaiende filtertrommel;
- de grootte van het vacuüm;
- de korrelgrootte van het houtmeel;
- de draaisnelheid van de trommel;
- de dikte van de afgeschraapte laag filterhulpmiddel.

Conclusie

Het onderzoek naar de verwijdering van PAK heeft dermate goede resultaten opgeleverd (zie tabel V), dat besloten is tot de bouw van een installatie waarmee het afvalwater van de cokesfabrieken kan worden gefiltreerd. Een verwijderingsrendement van meer dan 90% van de PAK kan hiermee worden bereikt. De installatie bestaat uit twee parallel opgestelde filters met elk een filteroppervlak van 36 m². De hoeveelheid te behandelen afvalwater zal circa 120 m³/h bedragen. De benodigde investering voor de filters is begroot op 1,7 miljoen gulden; inclusief bouwkundige en elektrotechnische voorzieningen moet ongeveer 3,1 miljoen gulden worden geïnvesteerd.

Dankwoord

Bij het samenstellen van deze voordracht is gebruik gemaakt van de resultaten van onderzoekwerk van een aantal medewerkers van de Afdeling Milieubeheer van Hoogovens IJmuiden. Daarvoor en voor het kritisch doornemen van de tekst dank ik de heren W. Kat en C. P. Heijwegen, die het onderzoek naar de verwerking van hoogovensgasstof hebben geleid, de heren B. de Mon en A. I. van Hoorn, die het onderzoek hebben uitgevoerd naar de verwijdering van polycyclische aromatische koolwaterstoffen en de heer E. J. Stuart die betrokken is geweest bij het ontwerp van de waterreinigingsinstallatie voor het gaswaswater van de hoogovens.

● ● ●

● ● ●