

DEEL 3:

**Technische fiches thermische verwerkingstechnieken van
huishoudelijk afval.**

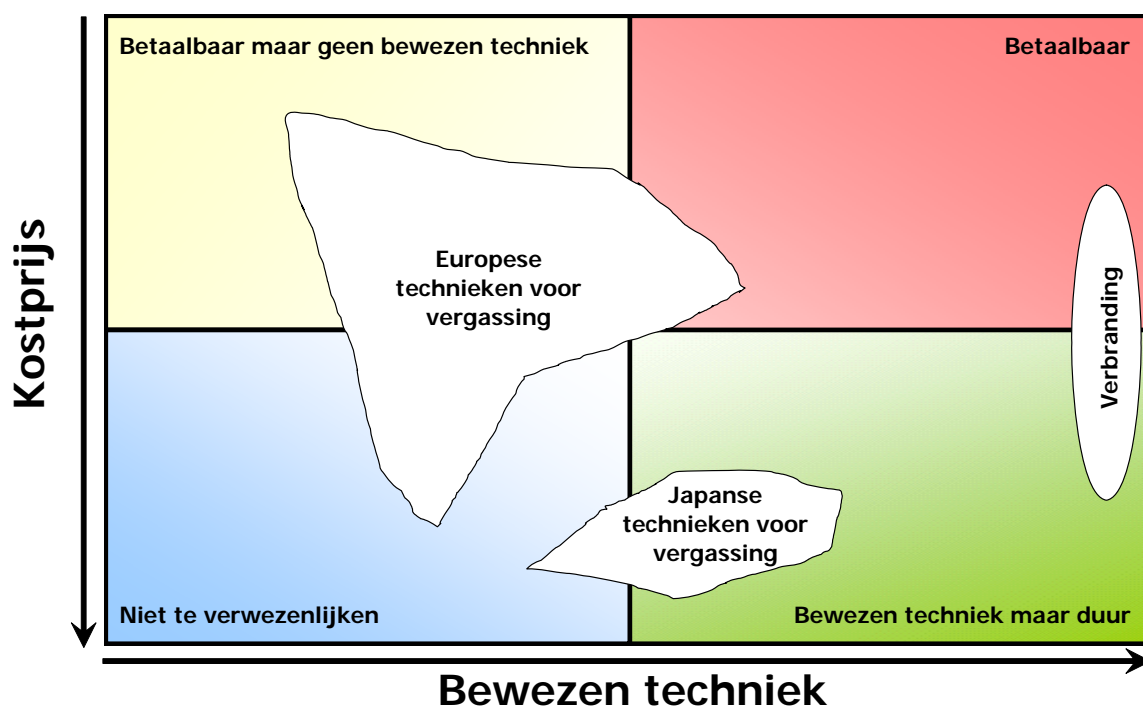
1 INLEIDING

In dit deel worden de volgende thermische verwerkingstechnieken voor huishoudelijke afval besproken:

Verbranding
Vergassing
Pyrolyse
(Andere)

Voor vergassing en pyrolyse wordt er een *niet limitatieve* beschrijving gegeven van een aantal installaties in gebruik, in aanbouw en in voorbereiding.

Figuur 48 geeft een beeld van de huidige situatie (kostprijs – bewezen techniek) voor vergassing in Europa en Japan, vergeleken met verbranding.



Figuur 48: Kostprijs versus bewezen techniek voor vergassing in Europa en Japan⁷⁰.

In Japan is vergassing als thermische verwerkingstechniek voor huishoudelijk afval reeds operationeel (commercieel). De hoofdredenen hiervoor zijn het gebrek aan stortgebied en de wens om verbranding te vermijden.

In Europa is verbranding veruit de meest voorkomende thermische verwerkingstechniek voor huishoudelijk afval. De interesse voor vergassing is aanwezig, er zijn reeds enkele pilotschalen actief, maar commercialisatie blijft uit. Volgens *Juniper*⁷¹ zijn er verschillende redenen waarom vergassing van huishoudelijk afval in Europa nog niet commercieel is:

Vergassing van huishoudelijk afval is een minder bewezen techniek waardoor er hieraan risico's verbonden zijn;

Economische aspecten zijn nog niet duidelijk;

Vergassing vereist een zeer goede zuivering van het syngas wat grote kosten met zich meebrengt;

Zonder tussenkomst van de overheid zullen de verbrandingsinstallaties niet vervangen worden door vergassingsinstallaties;

...

Het ziet er dus naar uit dat vergassing en pyrolyse nog geen belangrijke rol gaan spelen voor de thermische verwerking van huishoudelijk afval in de nabije toekomst.

2 VERBRANDING

Bij verbranding wordt de brandstof (afvalstof), wanneer de omstandigheden ideaal zijn, volledig omgezet in water en CO₂. Dit gebeurt bij een overmaat aan lucht. Zowel de temperatuurverdeling in de vuurhaard als de verblijftijd van het materiaal zijn van groot belang.

Er zijn verschillende typen verbrandingsprocessen, afgestemd op een specifieke schaalgrootte en op de eigenschappen van de brandstof :

- Roosterverbranding,
- Wervelbedverbranding,
- Vastbedverbranding (vnl. kleine schaal),
- Brandstof inblazing (bv. poederkool).

Onder verbranding vallen eveneens bijstook-initiatieven. Bij bijstoken wordt een deel van de primaire brandstof vervangen door een secundaire brandstof. Verbranding van huishoudelijk afval gebeurt in een roosteroven.

2.1 Roosteroven

2.1.1 Procesbeschrijving ⁷²

Het afval wordt via een voedingstrechter in de oven gebracht. Het wordt door een operator gehomogeniseerd en met een afvalkraan in de voedingstrechter gebracht. Het afval dat in de voedingstrechter aanwezig is, sluit de oven luchtdicht af en zorgt er voor dat deze op onderdruk wordt gehouden. Op deze manier wordt vlamterugslag voorkomen. Er is een kleppensysteem aanwezig, maar dit wordt enkel gebruikt bij het opwarmen van de oven tijdens de opstarfase en in noodsituaties.

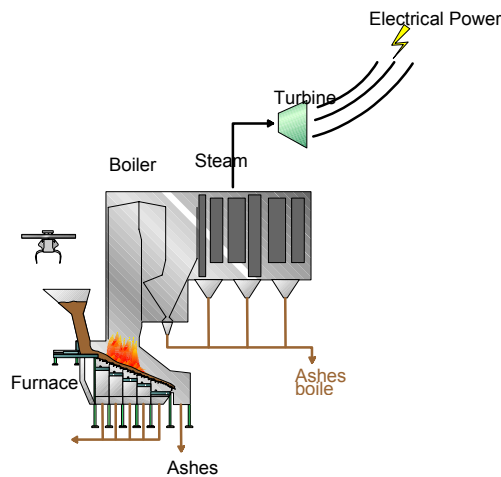
Onderaan de voedingstrechter wordt het afval op een hydraulisch aangedreven voedingsrooster gebracht, welke het afval op het eigenlijke verbrandingsrooster brengt. De snelheid kan worden aangepast waardoor de doorzet gecontroleerd kan worden.

Het eigenlijke verbrandingsproces voltrekt zich boven het rooster en kan opgesplitst worden in vier subprocessen. In eerste instantie wordt het afval gedroogd. In de volgende fase vindt de vergassing plaats: vervluchtigde koolwaterstoffen ontsnappen uit het afval. In de derde fase, de verbrandingsfase ontvlammen deze substanties en worden ze geoxideerd tot hoofdzakelijk CO₂ en water. Op het einde van het rooster tenslotte branden de laatste resten van de overgebleven vaste koolstof uit. Het verbrandingsrooster zorgt voor het transport van de vaste stoffen door de oven en voor de opmenging ervan.

Onder het rooster zijn trechters opgesteld voor de opvang van de roosterdoorval, en voor de toevoer van de primaire verbrandingslucht. Deze luchttoevoer wordt gestuurd aan de hand van temperatuursmetingen boven het rooster. Er wordt getracht een compromis te vinden tussen een goede uitbrand en een daling van de rookgastemperatuur door te sterke

verdunding. De rookgassen worden door een naverbrandingskamer gevoerd waar secundaire verbrandingslucht wordt toegevoerd.

De warmte uit de rookgassen wordt gerecupereerd door middel van een stoomketel. De thermische energie van de rookgassen wordt gebruikt om oververhitte stoom van 40 bar en 400 °C te produceren. De stoomketel bestaat uit een groot aantal buizen welke gevuld zijn met water. De rookgassen worden doorheen de stoomketel geleid waardoor het ketelwater opwarmt. In de eerst verticale lege trek van de ketel die geïntegreerd is in de ovenwand, gebeurt de warmte-overdracht door straling. In het tweede gedeelte zijn economizers, verdamper en oververhitters opgesteld, die de warmte van de rookgassen convectief opnemen. In de economizer wordt het water opgewarmd door de gassen tot ongeveer het kookpunt, in de verdampers wordt het water afkomstig van de economizer verder verwarmd tot verzadigde stoom wordt gevormd. Daarna wordt in de oververhitter de verzadigde stoom verder verwarmd tot oververhitte stoom (standaard 400 °C en 40 bar).



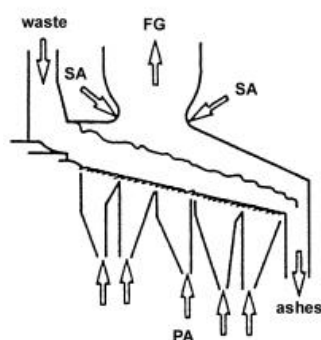
Figuur 49: Schema roosteroven.

2.1.2 Roostertypen ^{72, .73}

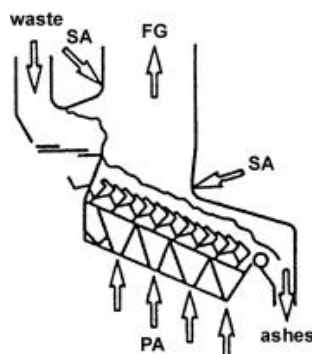
Er werden verschillende typen van verbrandingsroosters ontwikkeld:

- **Hellend rooster:** bij het hellend rooster kunnen twee typen worden onderscheiden : het eerste type is licht hellend opgesteld (15 – 30°) met tegels die in de voortgangsrichting bewegen (Noell, Von Roll, Seghers,..). Bij het tweede type rooster bewegen de tegels tegen de voortgangsrichting in. Hierdoor bekomt men een goede terugmenging van de brandende massa. Om het transport van de vaste fractie door de oven mogelijk te maken wordt gebruik gemaakt van een sterke roosterhelling welke de tegengestelde beweging van de tegels moet compenseren. (Martin)
- **Walsenrooster:** Het rooster wordt eveneens hellend uitgevoerd, maar in plaats van bewegende tegels te gebruiken, wordt gebruik gemaakt van geperforeerde cilinders die in de voorgangsrichting draaien. (Babcock)

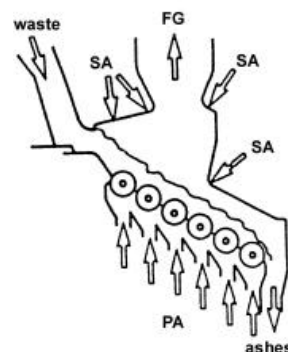
- Horizontaal rooster: het rooster wordt horizontaal opgesteld. De beweging van de roostertegels zorgt voor het transport van de vaste massa. (ABB)



Figuur 50: hellend rooster, beweging in voortgangsrichting



Figuur 51: hellend rooster, beweging tegen voortgangsrichting



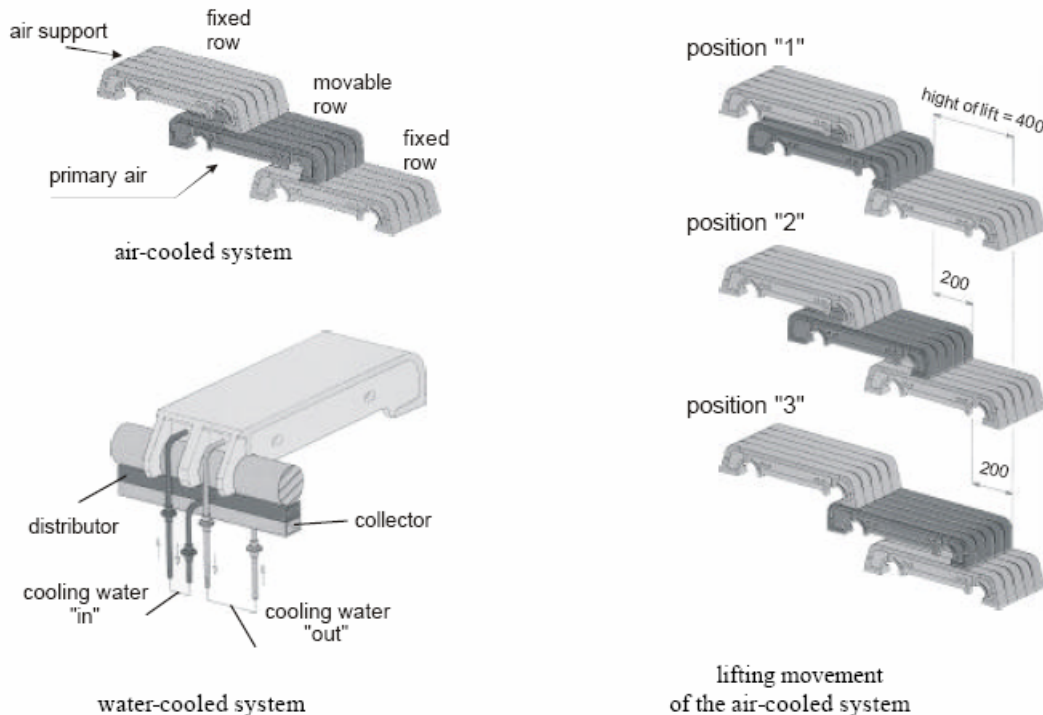
Figuur 52: walsenrooster

2.1.3 Koelingssystemen voor de roosters ⁷⁴

- Luchtgekoelde roosters: luchtgekoelde roosters zijn tot recentelijk de standaard technologie voor roosterovens. Hoewel deze systemen zeer betrouwbaar zijn in de praktijk en de kostprijs vrij voordelig is, werden onder bepaalde omstandigheden volgende minpunten vastgesteld:
 - Veranderingen in de gemiddelde afvalsamenstelling in bepaalde landen/regio's tijdens de laatste jaren hebben geleid tot een hogere gemiddelde verbrandingswaarde van het te verbranden afval. Hierdoor vertonen de luchtgekoelde roosters een snellere slijtage, hetgeen leidt tot verhoogde operationele kosten.
 - Het grootste nadeel van luchtgekoelde roosters is dat de primaire lucht zowel gebruikt wordt als verbrandingslucht als voor de koeling van het rooster. Beide functies kunnen niet ontkoppeld worden.
 - Omdat een deel van de primaire verbrandingslucht gebruikt moet worden als koelmiddel, kan deze niet optimaal gebruikt worden voor het verbrandingsproces.
- Watergekoelde roosters: Om tegemoet te komen aan bovenvermelde minpunten, eigen aan luchtgekoelde roosters, werden de watergekoelde roosters ontwikkeld. Bij het toepassen van watergekoelde roosters, kan de hoeveelheid lucht gereduceerd worden. Dit biedt voordelen voor de reductie van primaire NO-productie. Ook de thermische belasting van het rooster kan stijgen. Bovendien wordt de oventemperatuur gereduceerd door het onttrekken van warmte aan de oven. Een nadeel van watergekoelde rooster is dat het systeem complexer wordt met mogelijke problemen naar beschikbaarheid van het systeem. Het waterkoelsysteem is geïntegreerd in het luchtvoorverwarmingssysteem zodat de warmte gerecupereerd kan worden.

Een voorbeeld van een watergekoeld rooster is de Aquaroll (Von Roll⁷⁵). Om te kunnen werken met watergekoelde roosters, wordt het ganse systeem onder druk gezet worden, zodat temperaturen boven 100 °C behaald kunnen worden zonder dat er zich verdamping voordoet. Het koelwater bereikt de individuele roosterblokken langs onder via een systeem van toevoerleidingen en zorgt voor de afkoeling van het roosteroppervlak. Hierna wordt het water afgeleid naar een warmtewisselaar, waar het

afkoelt. Op deze manier kan de opgenomen warmte gerecupereerd worden en ingezet worden in de energiecycclus van het verbrandingssysteem. Voordelen zijn een lagere operationele kost tengevolge van een tragere slijtage van de roosters. De verbranding van het afval zou wel optimaal kunnen verlopen en de uitbranding van het afval zou completer gebeuren. De Aquaroll watergekoelde roosterovens worden reeds toegepast in de nieuwe roosterovens van het Duitse Nürnberg, die in 2001 werd gebouwd. Ook in Nederland worden roosterovens uitgerust met watergekoelde roosters om afval met een hogere verbrandingswaarde te kunnen verwerken (o.a. AVI Amsterdam).



Figuur 53 : lucht- en watergekoelde rooster systemen

2.1.4 Terugwinning van energie ⁷⁴

a) Electriciteit-stoom-warmte

In traditionele roosterovens werd enkel aan energierecuperatie gedaan in de vorm van elektriciteit.

De verbranding in een roosteroven moet aan de ene kant verlopen met een voldoende O₂-overmaat, omdat bij deze condities een goede verbranding verzekerd is. Deze O₂-overmaat in de rookgassen neemt echter een deel van de energie weg, waardoor een lager energieconversierendement behaald wordt dan in geval van industriële stoomketels. Deze laatste werken gemiddeld bij een O₂-gehalte van 0,5 %. In de Nederlandse studie van TNO ⁷⁴ wordt aangegeven dat het tegen 2005 mogelijk zou moeten zijn om te werken bij 3% O₂. In Vlaanderen is het echter de wetgeving die de verbrandingsvoorwaarden oplegt aan de verbrandingsinstallaties. Ook bepaalde rookgaszuiveringsstappen hebben energie nodig en zorgen voor een verlaging van het energierendement. Een goed voorbeeld is de natte

gaswassing. Tenslotte heeft een afvalverbrandingsinstallatie een hoger stralingswarmteverlies dan een klassieke stoomketel.

Wanneer een combinatie wordt gemaakt van energierecuperatie in de vorm van elektriciteit en in de vorm van warmte (stoom), kan het energieconversierendement op significante wijze verhoogd worden.

b) Stoomproductie

Een klassieke roosteroven produceert stoom aan 400 °C en 44 bar. Een hoger energieconversierendement zou kunnen behaald worden wanneer stoom aan hogere temperatuur en druk zou geproduceerd worden met behulp van de rookgassen. In de Nederlandse studie van TNO ⁷⁴ wordt ervan uitgegaan dat tegen 2005 stoom zal kunnen geproduceerd worden aan 520 °C en 88 bar, waardoor de efficiëntie van de elektriciteitsproductie met 6.3% zou toenemen. Het zou zelfs mogelijk moeten zijn om 540 °C en 100 bar te kunnen halen. Hiervoor is het nodig om de boiler uit te rusten met nieuwe corrosiebestendige materialen. Standaard wordt er hiervoor gebruik gemaakt van keramische materialen zoals Al₂O₃, SiO₂, SiC, ... in verschillende mengelingen, combinaties en bindingen.

Naast chemische bescherming is ook thermische isolatie een belangrijk onderdeel. Door het variëren van de thermische geleidingscoëfficiënt of the dikte van het materiaal kan de warmte overdracht van de oven gecontroleerd worden.

De temperatuur in de over bepaalt de primaire productie van CO, C_xH_y, NO en dioxine/furanen. Langs de andere kant is de verblijftijd in de naverbrandingskamer zeer afhankelijk van de behaalde temperatuur (zie Figuur 54). De materiaalkeuze speelt dus een belangrijke rol in het proces.

rookgastemperatuur [°C]	verblijftijd	
	naverbrandingszone [s]	oven + naverbrandingszone [s]
> 950	0,3	1,4
> 900	1,25	2,35
> 850	2,15	3,25
> 800	3,3	4,4

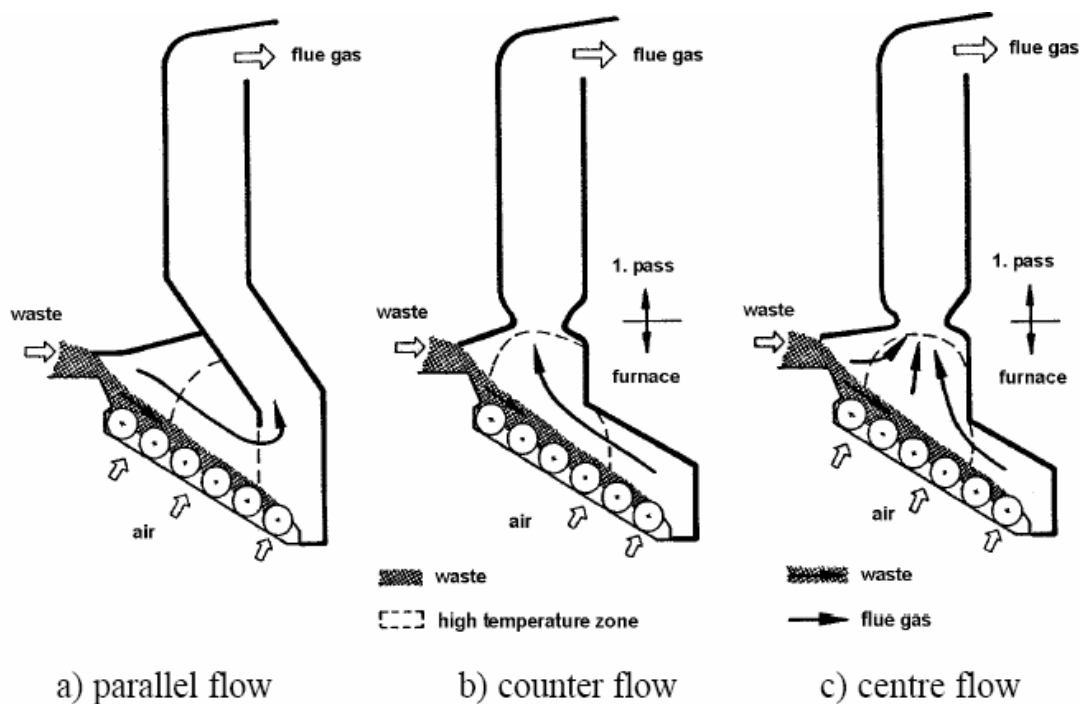
Figuur 54: verblijftijden in naverbrandingszone in functie van de temperatuur

Volgens Indaver is het momenteel nog steeds niet mogelijk om in de praktijk stoom te produceren van 480 °C, omwille van problemen met de oververhitters. Deze zouden gemiddeld om de 6 maanden vervangen moeten worden, terwijl de oververhitters in de klassieke roosteroven gemiddeld eens in de 5 jaren moeten vervangen worden.⁷⁶

2.1.5 Naverbrandingskamer ⁷⁶

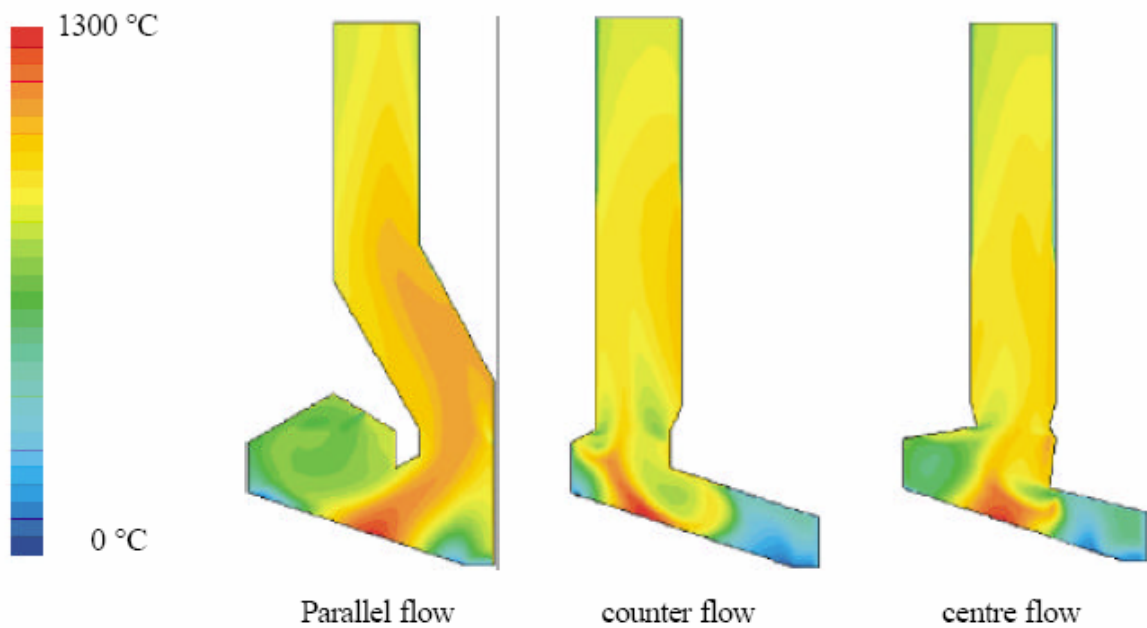
De ingang van de naverbrandingskamer bevindt zich boven het verbrandingsrooster. Deze kan zich positioneren aan het begin, het midden of einde van het rooster.

- Meestroom verbrandingskamer (parallel flow): Voordeel van dit type verbrandingskamer is dat de rookgassen een lange verblijftijd hebben in de verbrandingskamer en dat ze door de zone met maximale temperatuur moeten. Om ontbranding te vergemakkelijken moet de primaire lucht voorverwarmd worden bij de verbranding van afval met lage verbrandingswaarden.
- Tegenstroom verbrandingskamer (counter flow) : Wanneer de ingang zicht in het begin van het rooster bevindt bewegen de rookgassen zich in tegenstroom met de brandende massa. De verbranding van afval met lagere verbrandingswaarden kan beter beheerst worden bij dit type naverbrandingskamer. De hete gassen vergemakkelijken het drogen en de ontbranding van het afval wanneer ze boven het rooster worden teruggevoerd. Er dient te worden voorkomen dat onverbrande gasstromen de installatie verlaten. Als regel geldt dat er meer secundaire verbrandingslucht dient te worden toegevoegd bij dit type naverbrandingskamer.
- Middenstroom verbrandingskamer (centre flow): Dit type installatie is een compromis tussen het meestroom en tegenstroommodel. In dit type installaties kunnen stromen met een brede range van calorische waarde verwerkt worden.



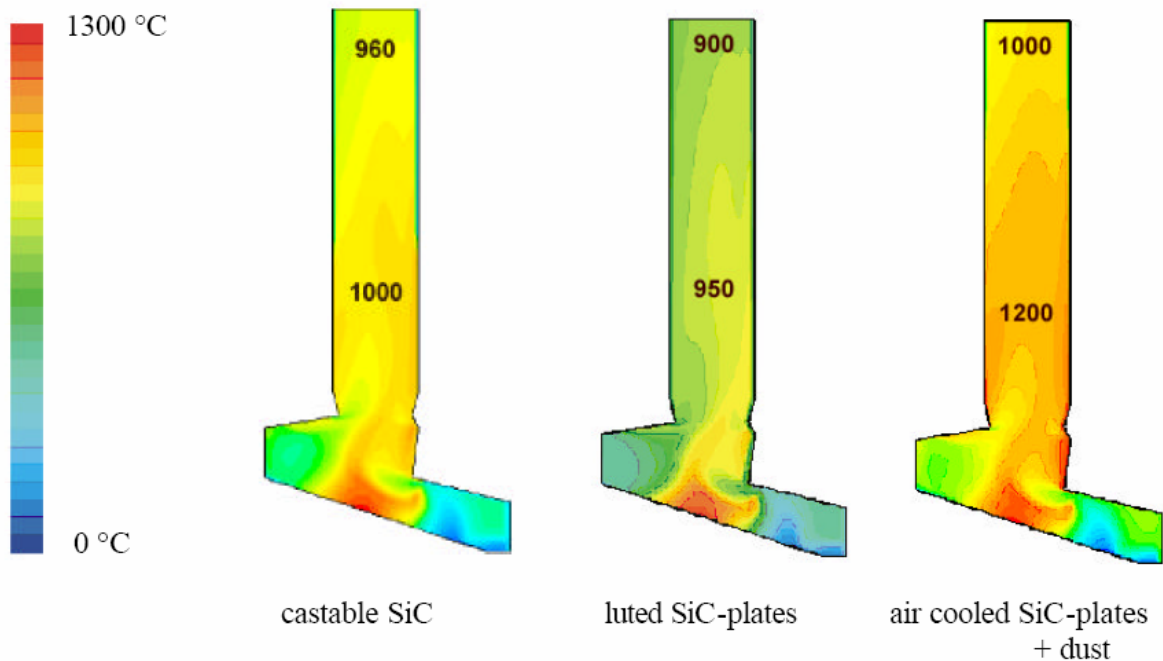
Figuur 55: verschillende typen naverbrandingskamers

In onderstaande figuur (Figuur 56) wordt de verticale temperatuur verdeling voor verschillende typen naverbrandingskamers weergegeven. Deze simulatie is gebaseerd op een wiskundig model dat werd gevalideerd met data van bestaande installaties. [ref] Deze illustratie kan niet geïnterpreteerd worden als zijnde een absoluut resultaat maar eerder om de karakteristieken van de verschillende systemen weer te geven. De zuurstofverdeling in de inlaat en naverbrandingskamer is eveneens functie van het warmtetransferprofiel langsheen het rooster en hierdoor ook functie van de afvalkwaliteit.



Figuur 56: verticale temperatuursverdeling voor de verschillende typen naverbrandingskamers

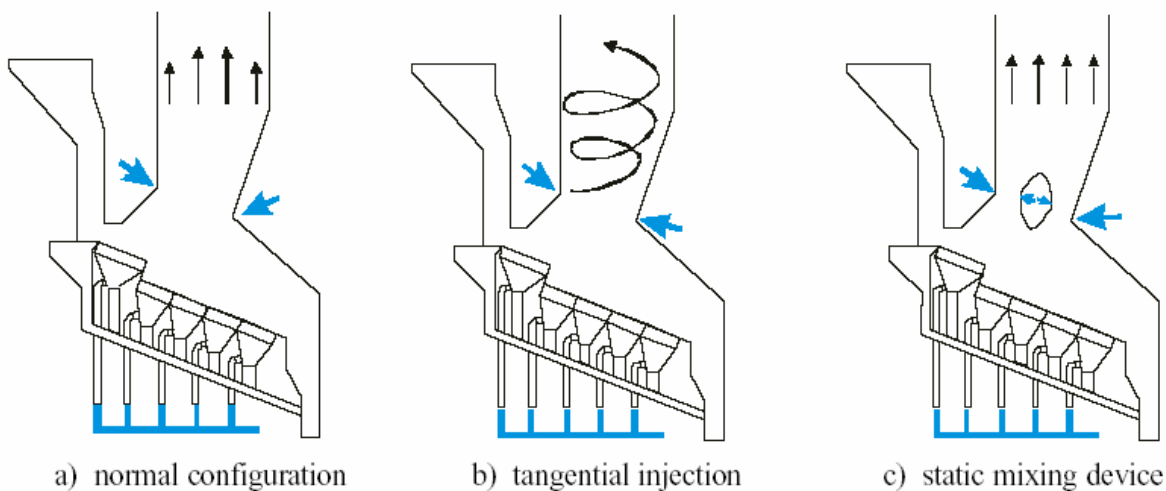
Naast het type naverbrandingskamer heeft ook het type bekleding van de wanden (zie Figuur 57) in de naverbrandingskamer een invloed op de temperatuursverdeling in de rookgassen. Dit is een direct gevolg van de warmtegeleiding capaciteit van het materiaal. Hoe lager de geleidingscoëfficiënt van het materiaal, hoe hoger de temperatuur van de rookgassen in de naverbrandingskamer.



Figuur 57: verticale temperatuursverdeling voor verschillende typen wandbekleding

2.1.6 Secundaire lucht injectie

Door het opsplitsen van de totale hoeveelheid verbrandingslucht (met een overstoichiometrische hoeveelheid van 1,3 tot 1,8) in primaire lucht en secundaire lucht kunnen de verbrandingscondities in de verbrandingsoven zo gecontroleerd worden dat er 'bijna'-stochiometrisch condities ontstaan. De verdeelratio tussen primaire en secundaire lucht bevindt zich tussen 80/20 (oude installaties) en 40/60 (tendens voor nieuwe installaties). Secundaire lucht wordt toegevoegd om volledige verbrandingen verkrijgen van de koolwaterstoffen en koolmonoxide. Bovendien kan de secundaire lucht gebruikt worden als menginstrument voor de rookgassen. Afhankelijk van overige eigenschappen van de oven, kan de plaatsing van de secundaire lucht injectors geoptimaliseerd worden. Secundaire lucht wordt typisch geïnjecteerd in het overgangsgebied tussen de oven en de eerste trek van de ketel. Het aantal injectors, de diameter, afstanden tussen injectors en horizontale en/of verticale helling kunnen worden aangepast. Nieuwe ontwikkeling is het tangentele plaatsen van de injectors.

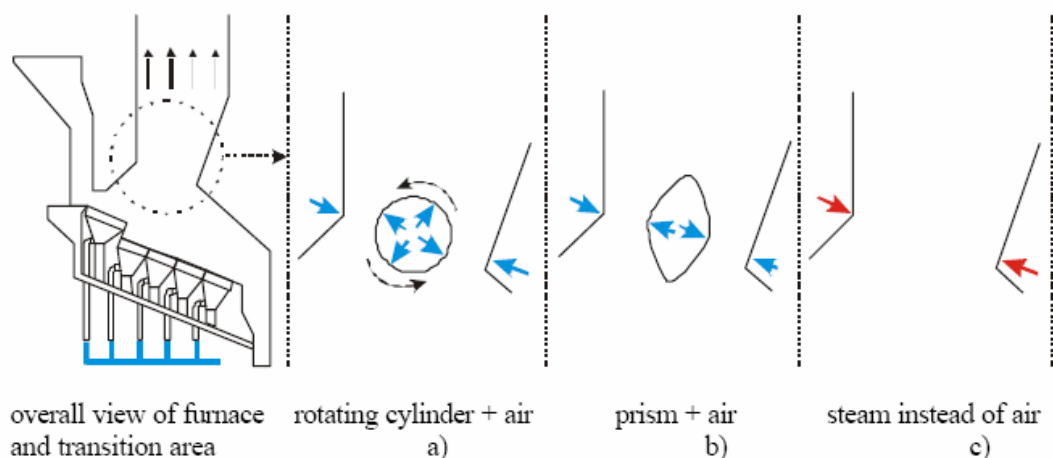


Figuur 58 : verschillende mogelijkheden voor secundaire lucht injectie

Momenteel worden methoden ontwikkeld/gebruikt om de secundaire lucht injectie te verbeteren. Volgende methoden zijn worden momenteel reeds toegepast:

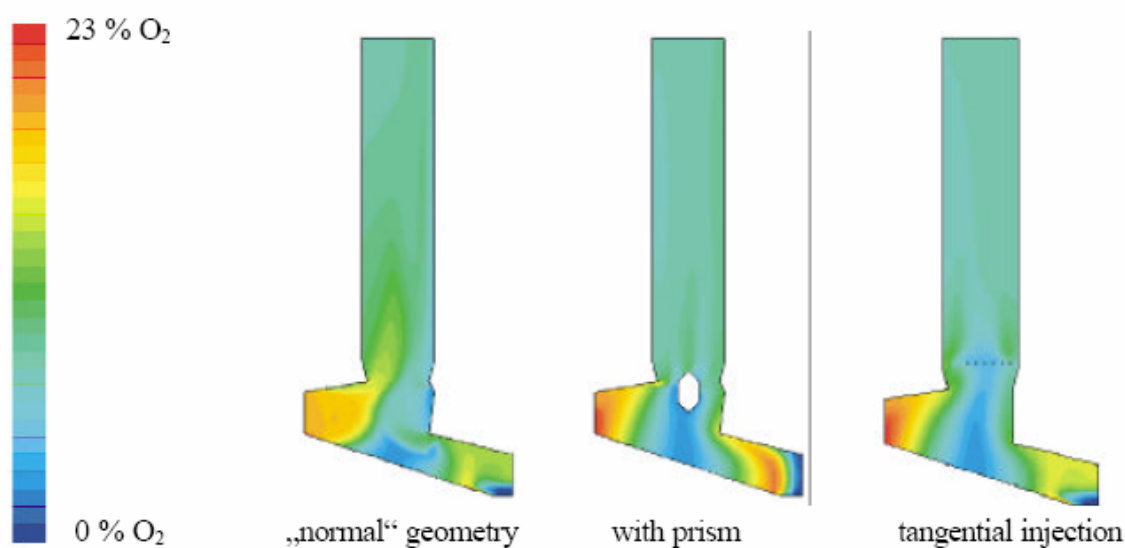
- Roterende cilinder (met bijkomende secundaire lucht injectors)
- Vaste prisma's (met bijkomende secundaire lucht injectors)
- Stoom injectie (in plaats van secundaire lucht injectie)

De roterende cilinder zorgt voor problemen bij de constructie en gebruik. Het prisma wordt gebruikt in een verbrandingsinstallatie voor huishoudelijk af val in Bonn (Duitsland)[ref] en vertoont goede resultaten zoals een betere uitbrand van koolwaterstoffen en CO. De vervuiling gedurende de radiale en convectieve warmteoverdracht in de ketel blijkt lager te zijn. Stoominjectie in de plaats van secundaire lucht injectie verhoogt de menging en hierdoor ook de uitbrand, maar de werkingskost is hoger. Hieruit kunnen we besluiten dat het prisma het meeste potentieel heeft voor grotere installaties met brede overgangen tussen oven en naverbrandingskamer. Figuur 59 geeft een overzicht van de verschillende besproken systemen.



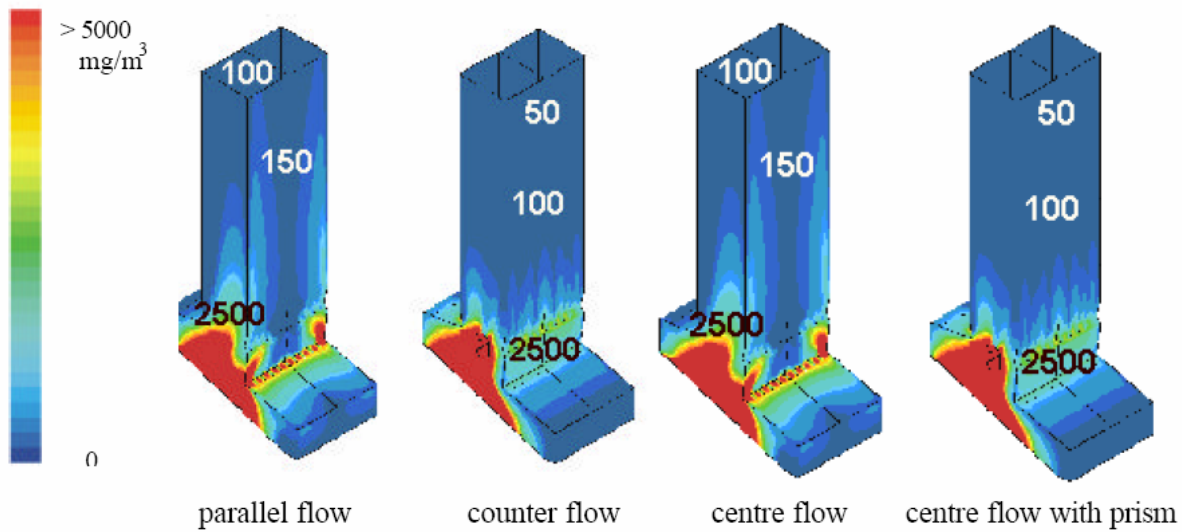
Figuur 59 : Verschillende systemen voor secundaire lucht injectie

Onderstaande figuur geeft de resultaten van de simulatie weer voor verschillende typen van secundaire lucht injectie. Bij het standaard systeem (normal geometry) zien we een slechte verdeling van zuurstof bij de ingang van de naverbrandingskamer. Het prisma werkt als een statisch menginstrument en verhoogt hierdoor de mening. Ook de tangentiële injectie leidt tot een betere menging.



Figuur 60 : verticale zuurstofverdeling voor verschillende luchtinjectiesystemen (middenstroom naverbrandingskamer)

Het type naverbrandingskamer (al dan niet gecombineerd met het type secundaire lucht injectie) heeft eveneens invloed op de verdeling van CO in de rookgassen. Bij de reductie van CO met secundaire lucht injectie is gerelateerd aan het type injectiesysteem dat gebruikt wordt. Over het algemeen kan men stellen dat een snelle reductie bekomen kan worden door het gebruik van een tegenstroom naverbrandingskamer of middenstroom naverbrandingskamer met prisma..



2.1.7 Stand van de techniek

De roosteroven was de voorbije 100 jaar de standaard technologie voor de verbranding van vast afval. Deze techniek wordt wereldwijd gebruikt voor de verbranding van huishoudelijk en niet gevaarlijk bedrijfsafval. De voorbije en komende jaren zijn er verschillende technologische ontwikkelingen die de perforatie op gebied van milieu en energie hebben verbeterd en zullen verbeteren. Aan de andere kant zullen bepaalde ontwikkelingen ook een invloed kunnen hebben op de kosten van de verwerking van afval in een roosteroven.

Binnen Europa wordt de verbrandingscapaciteit van de roosterovens nog sterk uitgebreid als een gevolg van de implementatie van de Europese Richtlijn 1999/31/EG betreffende het storten van afvalstoffen en omwille van het feit dat het een bewezen techniek betreft die reeds een lange ontwikkelingsweg achter de rug heeft.

3 VERGASSING

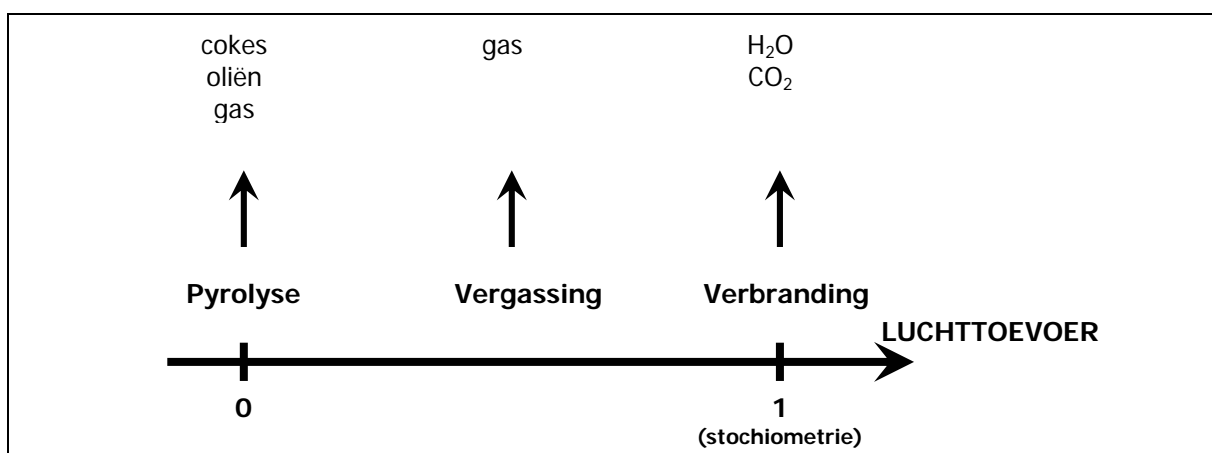
Bij vergassen vindt een onvolledige verbranding (verbranding bij onvoldoende zuurstof) plaats met als doel een brandbaar gas te produceren. Vergassen vindt plaats bij hoge temperatuur en kent naast de zones droging, ontgassing/ontsteking en verbrandings/uitbrandzone ook een reductiezone waar de geoxideerde stoffen worden gereduceerd tot hoofdzakelijk waterstof, kooldioxide, koolmonoxide en methaangas. De vergassing wordt op temperatuur gehouden door de vrijkomende energie bij de gedeeltelijke verbranding.

Het geproduceerde gas kan worden ingezet als grondstof in de chemische industrie, verbrand worden in een gasmotor of -turbine of als bijstookgas direct in een stoomketel. Het voordeel van vergassen is de productie van kleinere gasvolumes in vergelijking met verbranding, waardoor de reiniging eenvoudiger is.

3.1 Techniek

3.1.1 Procesbeschrijving ⁷²

Vergassing is een thermisch proces waarbij het organisch materiaal maximaal wordt omgezet in een gasvormige fase (syngas). Deze omzetting gebeurt door een partiële verbranding/oxidatie van de aanwezige koolstof. Als zodanig kan vergassing, op basis van de luchttoevoer, gesitueerd worden tussen pyrolyse en verbranding.



Figuur 61: Pyrolyse – vergassing – verbranding.

Door de thermische kalking van de afvalstoffen wordt een mengsel van voornamelijk CO, CO₂, H₂, CH₄, N₂, H₂O en kleine hoeveelheden hogere koolwaterstoffen gevormd. De gasfractie kan verbrand worden, met energierecuperatie, of kan als grondstof ingezet worden in de chemische industrie. Afhankelijk van het beoogde gebruik dienen de verontreinigingen (stof en roet/teerachtigen) uit het syngas verwijderd te worden.

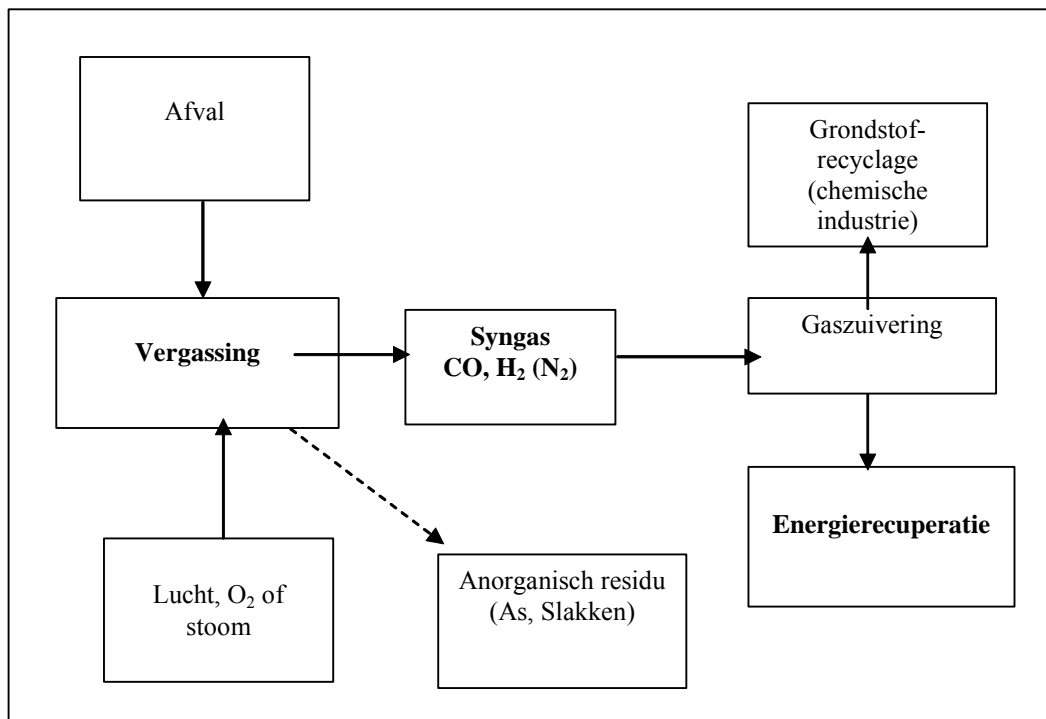
De inbreng van de substochiometrische hoeveelheid zuurstof kan gebeuren onder de vorm van lucht, zuivere zuurstof of stoom. Het gebruik van lucht heeft uiteraard de laagste werkingskosten, maar geeft door de verdunning met de aanwezige stikstof een armere gasfase:

4 – 8 MJ/Nm³ bij vergassing met lucht;
10 – 15 MJ/Nm³ bij vergassing met zuurstof.

Anorganische stoffen blijven als residu achter. In sommige processen worden metalen en inerten op hoge temperatuur van elkaar gescheiden door decantatie.

De temperaturen die voor vergassing gebruikt worden, liggen tussen 750 en 1.400 °C. Om een maximale conversie van het organisch en een minimaal teergehalte in het gevormde syngas te bekomen, wordt de temperatuur in principe zo hoog mogelijk gekozen. Er bestaan echter een aantal factoren die de verwerkingstemperatuur limiteren:

- Het optreden van sintering bij gebruik van afvalstoffen met een hoog asgehalte;
- De maximaal aanvaardbare temperatuur van het syngas, afhankelijk van de samenstelling;
- De warmtebestendigheid van de gebruikte materialen.



Figuur 62: Schematische voorstelling van het vergassingsproces.

a) Varianten

Vergassing kan uitgevoerd worden in verschillende reactortypes⁷⁷:

Vast-bed-reactoren: met verschillende mogelijkheden voor toevoer van het vergassingsmedium:

- In meestroom;
- In tegenstroom;
- In dwarsstroom;

Wervelbedreactoren: hierbij wordt afval in een heet (zand)bed gebracht, dat met behulp van het vergassingsmedium in beweging wordt gehouden. Er worden twee subcategorieën onderscheiden:

- bubbling fluidised bed (BFB);
- circulating fluidised bed (CFB);

Bewegend-bed-reactoren;

Draaitrommelreactoren.

In de praktijk worden de vast-bed- en de wervelbedreactoren het meest gebruikt voor vergassing van vaste stoffen, respectievelijk voor eerder kleinschalige en grootschalige toepassingen. In een vast-bed-reactor kunnen een 5-tal zones onderscheiden worden: droogzone, ontgassingszone, vergassingszone, verbrandingszone en aszone. Een wervelbedreactor heeft door de turbulente en veel homogener karakter.

In een aantal processen wordt gebruikt gemaakt van een combinatie van pyrolyse en vergassing.

Vergassing is oorspronkelijk ontwikkeld voor de productie van stadsgas uit steenkool. In de 2de wereldoorlog werden kleinschalige houtvergassers gebouwd om het gebrek aan benzine op te vangen. De verdere ontwikkeling van vergassing werd weer opgestart naar aanleiding van de oliecrisis in 1973. Hierbij werd vooral gedacht aan de vergassing van biomassa en steenkool. Geleidelijk aan is de interesse als verwerkingstechniek voor afval gegroeid.

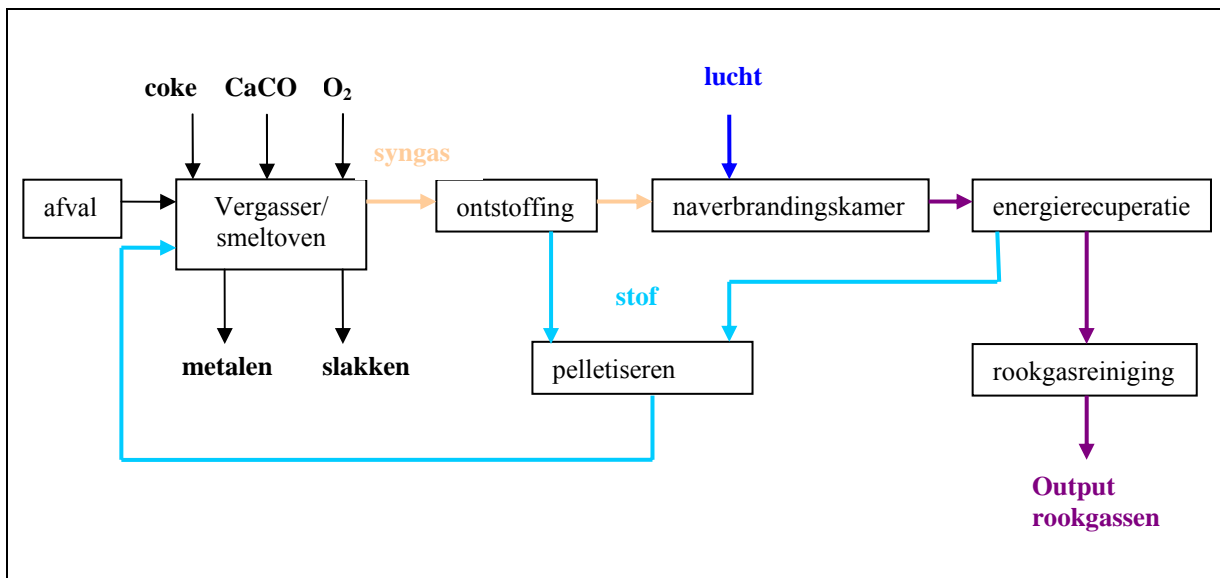
Er kan opgemerkt worden dat in realiteit een aantal bestaande installaties niet zonder praktische problemen functioneert en dat de voorbereiding en bouw van een aantal nieuwe projecten ook de nodige moeilijkheden kent. Zo is een installatie van Thermoselect in Verbania in 1999 gesloten wegens het niet behalen van de emissiegrenswaarden. De toekomst van het project van ARBRE in het Verenigd Koninkrijk is onzeker, vermits Schelde in vereffening is.

3.2 Nippon Steel ⁷⁷

3.2.1 Procesbeschrijving

In dit proces wordt vastbedvergasning gecombineerd met verbranding en smelten. Al het afval dient te worden verkleind. Het afval wordt in de vergasser gebracht samen met cokes en kalksteen.

Het afval passeert drie zones in de oven. In de eerste zone wordt het afval gedroogd bij temperaturen tussen 200 en 300 °C. In de volgende zone verhoogt de temperatuur van 300 °C tot 1.000 °C in afwezigheid van zuurstof, en worden de organische componenten thermisch ontbonden tot CH₄, CO, H₂ en NH₃. In de derde zone worden de reactieproducten verbrand en de residu's gesmolten. De cokes die samen met het afval in de installatie worden gebracht reageren in de verbrandingszone met vergassingsproducten in aanwezigheid van met zuurstof verrijkte lucht. Deze lucht wordt in dit deel van de oven geïnjecteerd, met een hoge temperatuur tot gevolg. De anorganische materialen en de aanwezige kalksteen smelten bij deze temperatuur. De kalksteen regelt de pH van het gesmolten materiaal. Het gesmolten materiaal (ongeveer 1.500 °C) wordt afgetapt, gegranuleerd en magnetisch gescheiden in ferro en slakken.



Figuur 63: Nippon steel.

Het geproduceerde synthesegas wordt verbrand in een naverbrandingskamer, na verwijdering van stof. De rookgassen bereiken een temperatuur van 800-900 °C. De warmte van deze rookgassen wordt gebruikt voor de productie van stoom.

Het verwijderde stof (boiler en verbrandingskamer) wordt gepelletiseerd en samen met het afval in de vergasser gebracht.

3.2.2 Stand van de techniek

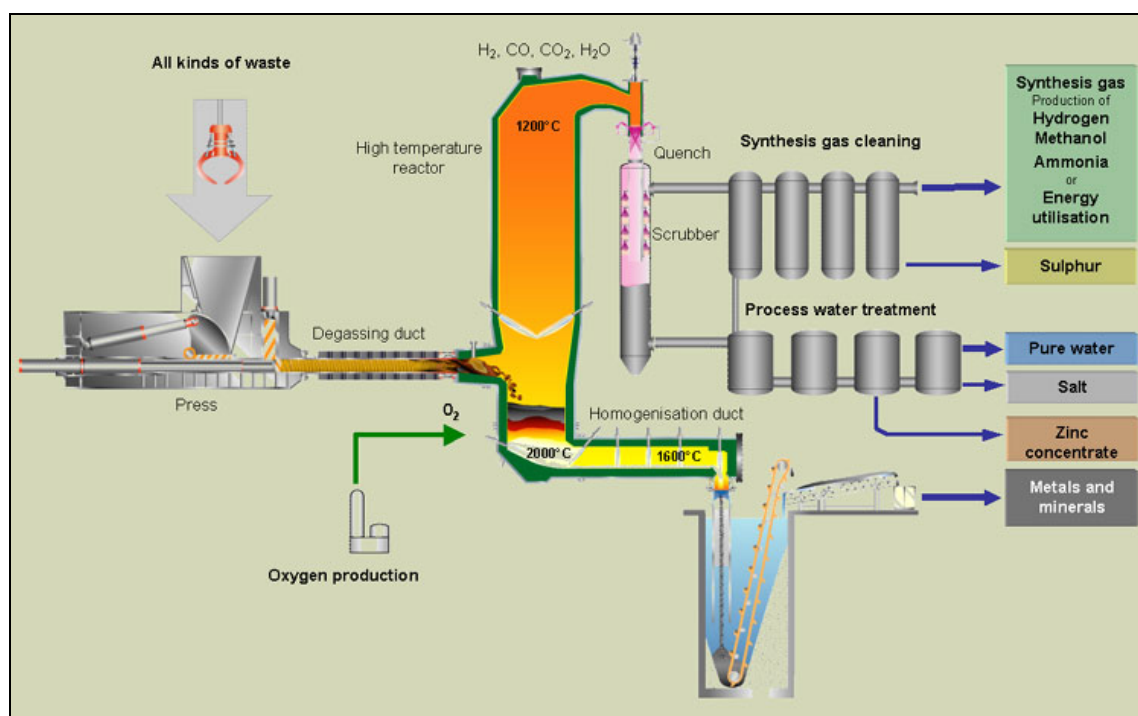
Het Nippon Steel Waste Melting proces wordt sinds 1980 op commerciële schaal succesvol toegepast op huishoudelijk afval (135.000 ton/jaar) in Osaka, Japan.

Tussen 1996 en 2002 werden 10 nieuwe installaties gebouwd in Japan, voor de verwerking van huishoudelijk afval. In drie installaties wordt het huishoudelijk afval gemengd met RWZI-slib. Voor Europa werden geen referenties teruggevonden.

3.3 Thermoselect ⁷⁸

3.3.1 Procesbeschrijving

Het Thermoselect proces combineert een vastbedvergassing en inertisering van het residu. Dit proces werd ontwikkeld om vaste afvalstoffen te verwerken en een maximale recuperatie van materialen te bekomen. Tegelijkertijd wordt de energie aanwezig in het materiaal gebruikt, en wordt de impact op het milieu geminimaliseerd.



Figuur 64: Vastbedreactor.

Het afval wordt gecompacteerd door een hydraulische pers en wordt in het indirect verwarmde ontgassingskanaal gedrukt. Door de sterke compactie wordt het afval verdicht waardoor een betere warmteoverdracht kan plaatsvinden. De wandtemperatuur van het ontgassingskanaal bedraagt 600 °C. Het afval wordt gedroogd en ontgast en heeft een verblijftijd van ongeveer twee uur in het ontgassingskanaal. De indirecte verwarmt gebeurt door een circuit met thermische olie die wordt verhit door de hete rookgassen afkomstig van de motoren waar het syngas wordt verbrand. De temperatuur in het ontgassingskanaal loopt op van 100 – 200 °C aan de ingang, tot > 800 ° aan het overgangspunt tussen het ontgassingskanaal en de vergassingsreactor. De verblijftijd van twee uur is nodig om het afval om te zetten tot cokes en syngas.

De cokes en het syngas worden in de vergassingsreactor gebracht. Het syngas heeft een verblijftijd in de reactor van ongeveer 2 – 4 seconden bij een temperatuur van 1.200 °C. Deze temperatuur verzekert de afbraak van aanwezige organische componenten. Er wordt zuurstof met een druk van 1 bar in de reactor gebracht. Door de hoge temperaturen in de reactor worden de aanwezige cokes omgezet tot syngas. De anorganische componenten van de input (metalen en minerale bestanddelen) in gesmolten vorm worden op een temperatuur van 1600 – 2000 °C gehouden in een atmosfeer van zuivere zuurstof waardoor volledige

oxidatie optreed van organische componenten. Bijkomende gasbrandstoffen worden toegevoegd om te verzekeren dat de slakken in gesmolten toestand blijven in de reactor. Door afschrikken in een waterbad vormen zich afzonderlijk een gesmolten metaallegering ($d = 7 \text{ g/cm}^3$) en een gesmolten mineraalfraction ($d = 2,5 \text{ g/cm}^3$). Deze verschillende fracties kunnen magnetisch gescheiden worden en afgevoerd voor recyclage.

Het synthesesgas wordt via shock-cooling afgekoeld van $1.200 \text{ }^\circ\text{C}$ tot $70 - 80 \text{ }^\circ\text{C}$ door toevoer van water volgens een gas/water volumeratio van $1/25$. In de quench precipiteren fijne minerale stofdeeltjes en koolstofpartikels. Deze worden teruggevoerd naar het thermisch systeem. Verdere zuivering gebeurt in een tweestaps natte wassing (zuur + basisch) en er wordt gebruik gemaakt van een actieve koolfilter. Ontzwaveling gebeurt in een sulferox zuiveringsstap. Waterstofsulfide wordt geoxideerd met een Fe-III-complex wat leidt tot de vorming van waterstof en elementair zwavel, dat afgescheiden wordt van de wasoplossing.

Het synthesesgas wordt verder gekoeld waardoor resterende waterdamp wordt gecondenseerd. Wegens de lage temperatuur ($10 \text{ }^\circ\text{C}$) condenseren ook resterende zuurdeeltjes. Het syngas wordt vervolgens terug opgewarmd voor actief kool adsorptie. Het gezuiverde gas kan aangewend worden voor energieproductie of productie van chemische basisgrondstoffen.

Het proceswater wordt verzameld in een gemeenschappelijke proceswaterzuivering. In drie stappen worden metaalzouten afgescheiden. De restproducten worden enerzijds teruggevoerd naar de afvalinput en anderzijds als zinkconcentraat gewonnen. Vervolgens wordt door vacuümverdamping zout uitgekristalliseerd met voldoende zuiverheid voor industrieel gebruik.

3.3.2 Stand van de techniek

Het Thermoselect-proces werd eind jaren '80 ontwikkeld. In 1991 werd een grootschalige pilootinstallatie gebouwd. In 1991/1992 werd in Fondotoce (Italië) een installatie gebouwd meteen capaciteit van 30.000 ton/jaar . Deze installatie werd opgestart in maart 1992. De installatie werd verschillende jaren uitgbaad op semi-commerciële basis, en werd gesloten in 1998.

De eerste volledig commerciële installatie werd gebouwd in Karlsruhe, Duitsland. De installatie heeft een capaciteit van 225.000 ton/jaar (drie lijnen, 720 ton/dag), voor afval met een calorische waarde van 12 GJ/ton . In de installatie wordt restafval verwerkt. De installatie werd opgestart in januari 1999. Na de opstart waren er problemen met het behalen van de opgelegde emissiegrenswaarden waardoor de installatie tijdelijk weer gesloten werd. Momenteel werkt de installatie vol-continu. Halverwege 2003 werkte de installatie nog niet op volle capaciteit.⁷⁹ In een meer recent artikel wordt geen voorbehoud meer gemaakt omtrent de invulling van de capaciteit⁸⁰.

In Ansbach, Duitsland is men momenteel bezig met de aanbouw van een nieuwe installatie met een capaciteit van 75.000 ton/jaar . In 2004 zou de installatie operationeel moeten zijn.

In Chiba, Japan is een Thermoselect installatie operationeel sinds september 1999. De installatie heeft een capaciteit van 100.000 ton/jaar (twee lijnen, 300 ton/dag). Volgens Ongeveer 80 % van het synthese gas van deze installatie wordt gebruikt in de nabijgelegen staalindustrie. Op de thermoselect-site wordt een 1,5 MW gasmotor gebruikt voor de opwekking van elektriciteit voor de installatie. Momenteel wordt in een samenwerking met Toshiba een 200 kW brandstofcel getest voor syngas. In de installatie wordt huishoudelijk, commercieel en industrieel afval verwerkt.

Sinds april 2000 beschikt Thermoselect over een vergunning van de Japanse overheid voor het algemeen gebruik van de techniek in Japan.

Sinds januari 2003 is in Mutsu, Japan een Thermoselect installatie operationeel met een capaciteit van 45.000 (twee lijnen, 140 ton/dag). In de installatie wordt huishoudelijk afval verwerkt. Een energieproductie-eenheid werd geïntegreerd in de installatie.

In 2004 worden 5 thermoselect installaties gebouwd in Japan. Het betreft installaties met verschillende capaciteiten. De installaties worden gebouwd voor de verwerking van huishoudelijk en/of industrieel afval. Het geproduceerde syngas wordt afhankelijk van de installatie ingezet in een geïntegreerde energieproductie-eenheid (stoomturbine en/of gasmotor) of in nabijgelegen staalproductie.

Volgende tabel geeft een overzicht van de bestaande en geplande installaties

Tabel 24: overzicht verschillende geplande en bestaande thermoselect installaties

	Fondotoce, Italie	Mutsu, Japan	Karlsruhe, Duitsland	Chiba, Japan	Nagasaki, Japan	Kurashiki, Japan	Yorii, Japan	Tokushima, Japan	Izumi, Japan
capaciteit	1 lijn, 96 ton/dag	2 lijnen, 140 ton/dag	3 lijnen, 720 ton/dag	2 lijnen, 300 ton/dag	3 lijnen, 300 ton/dag	3 lijnen, 555 ton/dag	2 lijnen, 450 ton/dag	2 lijnen, 120 ton/dag	1 lijn, 95 ton/dag
ingebruikname	1992-1998	januari 2003	commercieel sinds januari 2002	september 1999	onder constructie	onder constructie	onder constructie	onder constructie	onder constructie
input	huishoudelijk en industrieel afval	huishoudelijk afval	huishoudelijk afval	industriële afval	huishoudelijk afval	huishoudelijk en industrieel afval	industriële afval	huishoudelijk afval	industriële afval
syngasgebruik	gasmotor	gasmotor	stoomturbine en afstandverwarming	staalindustrie	gas motor	staalindustrie	boiler/stoomturbine en gasmotor	gasmotor	boiler/stoomturbine

4 PYROLYSE

Bij pyrolyse wordt afval bij 550 °C, bij atmosferische of hogere druk, in afwezigheid van zuurstof ontleed. Hierbij ontstaan gasvormige en/of olieachtige producten en een vaste reststroom rijk aan actieve kool.

De pyrolyse installatie kan al dan niet gekoppeld zijn aan een vergasser/smeltinstallatie. De aanwezigheid van een vergasser/smeltinstallatie heeft als voordeel dat relatief vervuilde afvalstromen met een hoog asgehalte verwerkt kunnen worden. De vervuilde asfractie wordt geïmmobiliseerd in een gesmolten product en aan het geproduceerde gas kan een meerwaarde gegeven worden door het toe te passen als synthesegas. Het pyrolysegas wordt hierbij gekraakt in de vergassingskamer tot H₂ en CO. De vaste reststroom kan verbrand worden in de smeltinstallatie. Een deel van het synthesegas kan gebruikt worden in de pyrolyse reactor.

4.1 Techniek

4.1.1 Procesbeschrijving

Het pyrolyseproces kan in volgende processtappen worden opgedeeld:

Toevoer van het afval: na verkleining;

Warmtetoever: de overdracht van warmte kan op verschillende manieren gebeuren:

- partiële verbranding (met een ondermaat lucht) van het toegevoerde afval;
- directe verwarming door toevoer van inerte gassen met een hoge temperatuur;
- indirecte verwarming door warmtetoever via verwarmingspijpen of de wanden van de installatie.

Ontleding: de organische verbindingen in de input ontbinden door de energietoevoer in componenten met lagere molecuulmassa;

Scheiding ontledingsproducten: bij verhoogde temperatuur bestaan de ontledingsproducten uit vaste stoffen (cokes) en gassen. De gasfase kan door koeling gescheiden worden in een condenseerbare fractie (oliën, water) en een niet condenseerbare fractie (gas). De scheidingsprocessen kunnen vervangen of aangevuld worden door verdere thermische verwerking, zoals bijvoorbeeld kraken.

4.1.2 Varianten ⁷²

Diverse pyrolysetechnieken zijn beschikbaar, voor batchgewijze of continue verwerking.

a) Enkelvoudig of geïntegreerd proces

Bij een enkelvoudig pyrolyseproces worden de cokes off-site gevaloriseerd. De gassen worden op de locatie gebruikt, bijvoorbeeld voor verwarming van de pyrolyse reactor en/of elektriciteitsproductie. In een geïntegreerde installatie worden ook de cokes op de locatie verwerkt (door middel van recuperatie, vergassing of verbranding).

b) Verbliftijd en warmtetoever

Door in te spelen op de verbliftijd en de warmtetoever, kan de opbrengst van sommige fracties bevorderd worden. Bij trage pyrolyse worden vooral cokes gevormd, bij hoge warmtetoever en korte verbliftijden stijgt de opbrengst aan oliën en gasen ⁷⁷.

Tabel 25: Verbliftijd en warmtetoever pyrolyse.

Technologie	Verbliftijd	Verwerkingsnelheid	Temperatuur [°C]	Eindproduct
Carbonisatie	uren – dagen	zeer laag	300 – 500	<i>cokes</i>
Hoge druk carbonisatie	15 min. – 2 uur	medium	450	<i>cokes</i>
Normale pyrolyse	uren	laag	400 – 600	<i>cokes, vloeistoffen, gas</i>
	5 – 30 min.	medium	700 – 900	<i>cokes, gas</i>
Vacuüm pyrolyse	0 – 30 sec.	medium	350 – 450	<i>vloeistoffen</i>
Flash pyrolyse	0,1 – 2 sec.	hoog	400 – 650	<i>vloeistoffen</i>
	< 1 sec.	hoog	650 – 900	<i>vloeistoffen, gas</i>

Een aanzienlijk aantal leveranciers bieden pyrolysereactoren aan, met verwerkingscapaciteiten die typisch tussen 1 en 6 ton/uur liggen. Hogere capaciteiten worden bereikt door meerdere reactoren in parallel te plaatsen. Een aantal leveranciers kan een ruime praktijkervaring voorleggen.

Niet iedere variant is echter reeds langdurig en op voldoende grote schaal uitgetest. Opschaling is voor een aantal processen moeilijk gebleken. Met name de warmteoverdracht is een kritische procesparameter.

c) Reactortype en warmtetoever

Voor conventionele pyrolyse zijn een 4-tal technieken beschikbaar op pilotschaal of commerciële schaal ⁸¹:

Draaitrommeloven met indirecte verwarming:

- o.a. Technip (Pyropleq), Babcock/Noell/Steinmüller, Thide Environment (Eddith), PKA;

Statische oven met bewegend bed en indirecte verwarming:

- o.a. Traidec, Pyrovac (Pyrocycling), Alcyon (Biothermic);

Statische oven met vast bed en directe verwarming:

- o.a. Nexus Technologies (Softer);

Draaitrommeloven met directe verwarming en geïntegreerde vergassing:

- o.a. Basse-Sambre E.R.I. (Serpac).

In Vlaanderen zijn er momenteel geen toepassingen van pyrolyse voor de verwerking van afvalfracties bekend.

4.2 Technip Pyropleq proces⁷⁷

4.2.1 Procesbeschrijving

Deze techniek is gebaseerd op de pyrolyse techniek die werd ontwikkeld door PLEQ, een ontwerper en producent van draaitrommelovens en drogers in voormalig Oost-Duitsland. Huishoudelijk, industrieel en verkleind grof afval wordt opgeslagen in afvalbunkers. Met behulp van een kraan wordt het afval in shredders gebracht waar het afval wordt verkleind tot een grootte van minder dan 200 mm. Via een transportsysteem en vultrechter wordt het afval in de pyrolysetrommel gebracht.

Aan de buitenkant van de trommel worden temperaturen bereikt van 550 °C, wat resulteert in temperaturen tussen 450 – 470 °C in de trommel waaraan het afval wordt blootgesteld. In het voorste gedeelte van de reactor zorgen schoepen voor een maximum contact tussen het afval en de wand van de trommel.

De snelheid van de pyrolyse reactor en de verblijftijd van het afval kan variëren tussen 30 minuten tot 2 uur. Meestal wordt een verblijftijd van 1 uur gebruikt voor de carbonisatie van vast afval om een cokes fractie vrij van organische bestanddelen te vormen. In het voorste gedeelte (ong 1/3de) van de reactor wordt het afval gedroogd. Het overige gedeelte wordt gebruikt om het afval op te warmen en vervluchtigen van de vluchtige organische componenten.

Er wordt ongebluste kalk toegevoegd in de reactor om HCl, HF en SO₂ uit het syngas te absorberen. Hierdoor is het syngas dat wordt geproduceerd relatief proper en kan verbrand worden met minimale reiniging om aan de vereiste emissiegrenswaarden te voldoen.

De cokes worden verwijderd uit de reactor via een quench. Metalen worden verwijderd met behulp van een overbandmagneet, en afgevoerd voor recyclage.

Het geproduceerde syngas wordt door warme gas cyclonen waaruit om elke vier uur het verzamelde fijn stof wordt verwijderd door injectie van 1 kg zand per ton afval. Per uur wordt door de cyclonen ongeveer 80 tot 100 kg fijn zand verwijderd. Dit fijn stof wordt samen met het cokes-residu gestort.

Na de stofverwijdering wordt het syngas in een verbrandingskamer gevoed waar het wordt verbrand bij ongeveer 1200 °C. Een deel van de rookgassen wordt hergebruikt om de pyrolysetrommel te verwarmen. Deze rookgasstroom, afgekoeld tot 600 – 650 °C wordt gemengd met rookgassen uit de verbrandingskamer en worden afgevoerd naar de boiler. In de boiler wordt oververhitte stoom geproduceerd van 400 °C en 24 bar. Met deze stoom wordt elektriciteit geproduceerd.

De temperatuur van de rookgassen na de boiler bedraagt ongeveer 250 °C. Ze worden verder afgekoeld door de injectie van lucht, en worden gereinigd door een mouwenfilter. Voor de mouwenfilter wordt een mengsel van natriumbicarbonaat en actieve kool wordt geïnjecteerd om pollutanten, voornamelijk kwik, te verwijderen.

De mouwen van de mouwenfilter worden periodiek gereinigd door luchtpulsen. Het verwijderde stof wordt afgevoerd om te storten op een categorie 1 stortplaats.

Een deel van de rookgassen welke terug komen van de mouwenfilter worden naar de verbrandingskamer gevoerd om NO_x-emissies te reduceren.

4.2.2 Stand van de techniek

In Burgau in Duitsland is een pyropleq-installatie operationeel sinds 1987. Deze installatie is ontworpen om jaarlijks volgende stromen te verwerken:

- 20.000 ton huishoudelijk afval,
- 3.000 ton vast industrieel/commercieel afval
- 4.000 ton grof afval
- 5.000 ton RWZI-slib.

De installatie heeft 2 verwerkingslijnen van elk 3 ton/uur. De pyrolysereactoren zijn 20 meter lang en hebben een diameter van 2,2 m. Opschaling naar grotere capaciteiten is mogelijk. De installatie van Burgau is 7.200 uur/jaar operationeel. Deze installatie is reeds meer dan 10 jaar operationeel op commerciële schaal en heeft verschillende typen afvalstromen verwerkt (MSW, industriële vaste stoffen, geactiveerd slib, ...).

De installatie in Dortmund, met een capaciteit van 100.000 ton/jaar, heeft twee verwerkingslijnen met een capaciteit van 6,65 ton/uur is operationeel sinds de herfst van 2001. De installatie is 7.500 uur/jaar operationeel. Welke stromen precies verwerkt werden, en wat hierin het aandeel was van huishoudelijk restafval, moet verder worden nagegaan.

4.3 Thide – EDDITH proces^{3, 78}

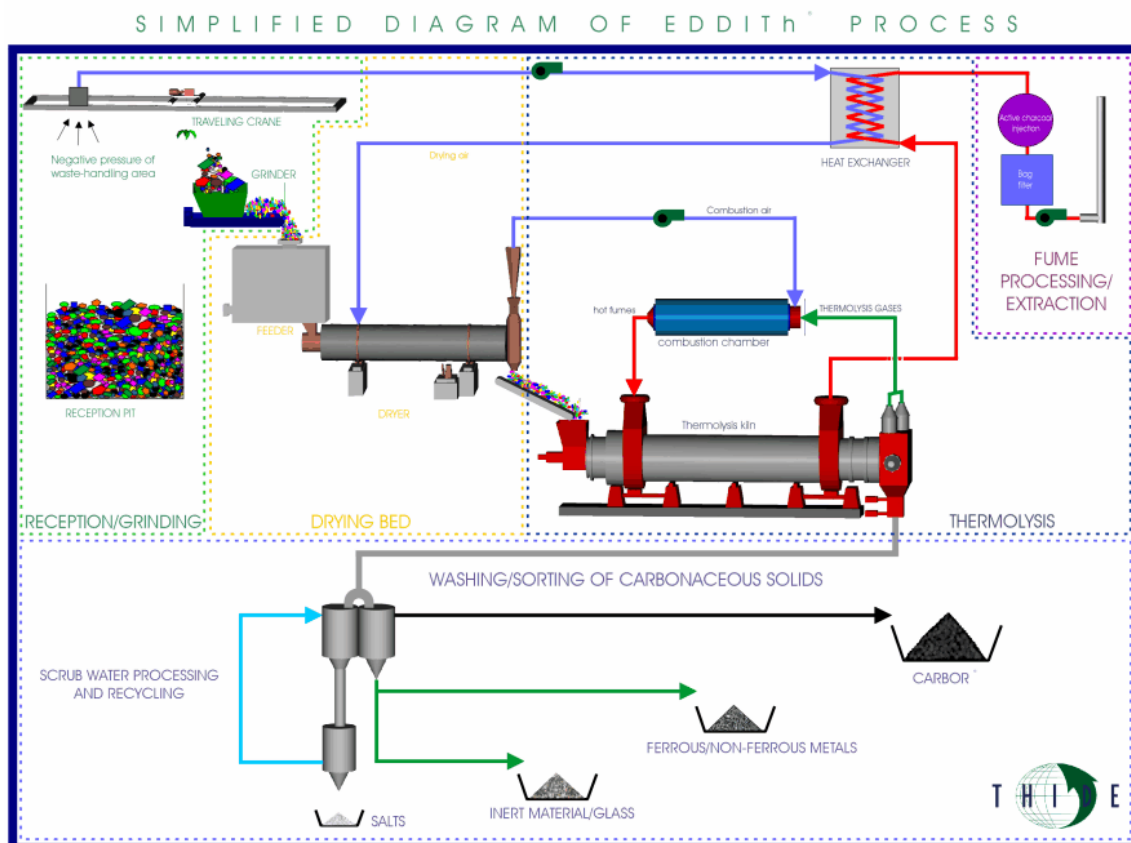
4.3.1 Procesbeschrijving

Na het verkleinen en drogen van het afval worden de metalen verwijderd. Daarna wordt het afval in de pyrolysereactor gebracht welke werkzaam is bij een temperatuur tussen 400 en 600 °C bij atmosferische druk. Het vaste afval verblijft ongeveer 30 minuten in de reactor. Er wordt cokes fractie (Carbor) en een mengsel van syngas en teer geproduceerd. Het geproduceerde syngas wordt op een temperatuur van 400 °C gehouden, en wordt verbrand in de naverbrandingskamer. De warmte van de rookgassen wordt gebruikt in de pyrolysereactor en om het afval en Carbor te drogen.

De vaste cokes fractie wordt gewassen. De metalen en inerten worden verwijderd. De Carbor wordt opgeslagen en kan gebruikt worden als brandstof, on-site of off-site in bijvoorbeeld cementovens of elektriciteitscentrales.

Bij de temperatuur waarop de reactor wordt bedreven zal enkel kwik de installatie verlaten als gas. De overige zware metalen komen voornamelijk terecht in de Carbor. De rookgassen worden gekoeld en gezuiverd via actiefkoolinjectie en filtratie op een doekenfilter.

Door de afwezigheid van zuurstof in de pyrolyse reactor en de lage temperaturen worden nagenoeg geen NO_x gevormd. Gedurende de verbranding van het syngas worden evenwel NO_x gevormd. Ook bij de verbranding van de Carbor kunnen NO_x-emissies vrijkomen.



Figuur 65: Eddith proces.

4.3.2 Stand van de techniek^{82, 83}

Thide is eigenaar en uitbater van een pilootinstallatie in Vernouillet, Frankrijk. De installatie heeft een capaciteit van 500 kg/uur.

In Nakaminato, Japan is een installatie van 10.000 ton/jaar werkzaam sinds april 1999. Het verwerkte huishoudelijk afval heeft volgende karakteristieken : vochtgehalte van 30 à 55%, OVW : 8,37 MJ/kg. De geproduceerde carbor wordt gebruikt als randstof in de on-site verglazingsreactor.

Nog in Japan in Itoigawa is een installatie met een capaciteit van 25.000 ton/jaar (2*1,6 t/h) operationeel sinds mei 2002. Deze installatie verwerkt eveneens huishoudelijk afval.

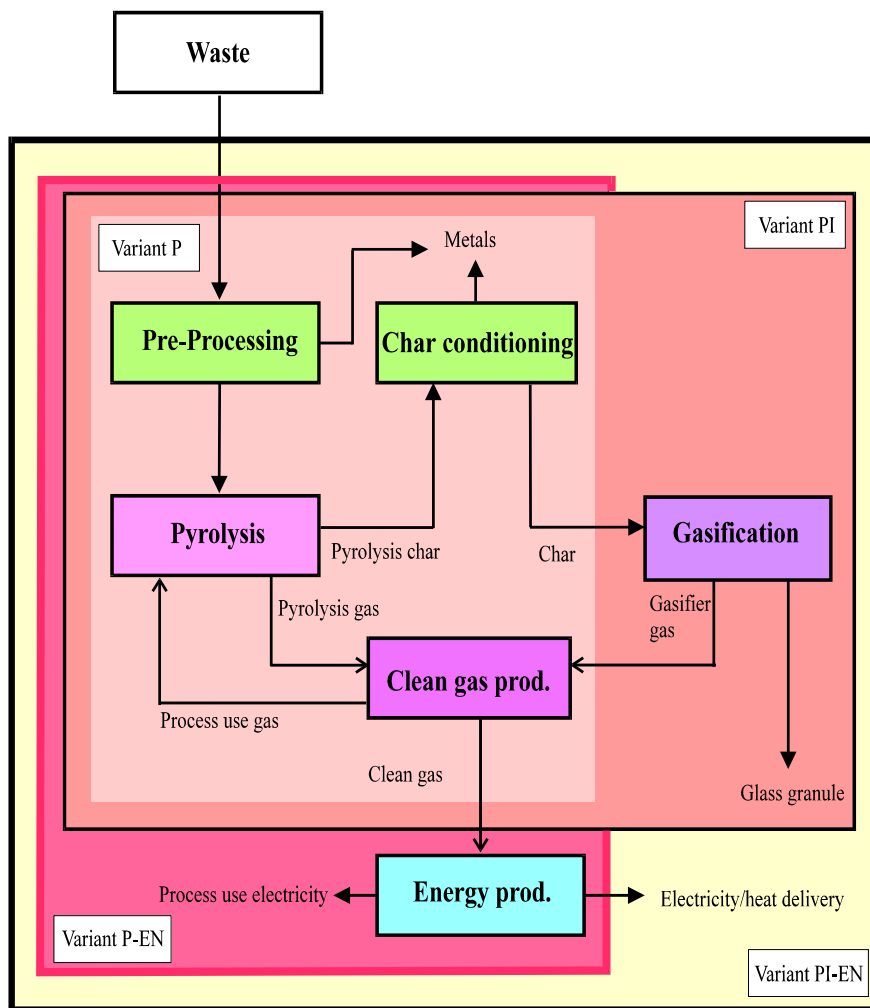
Een derde installatie in Japan in Izumo, met een capaciteit van 70.000 ton/jaar is actief sinds mei 2003. Ook deze installatie verwerkt huishoudelijk afval.

In Arras, Frankrijk is een installatie in werking sinds midden 2004. Deze installatie heeft een capaciteit van 50.000 ton/jaar (2*3,3 ton/h). Deze installatie verwerkt huishoudelijk- en

industriële afval en slib. De installatie werd ontworpen om afval met een onderste verbrandingswaarde tussen 7,95 en 8,79 MJ/kg te verwerken, met een flexibiliteit van 60 tot 110% van de nominale waarde.

4.4 PKA³

Op het PKA-procede bestaan een viertal varianten. Het betreft zowel alleenstaande systemen als geïntegreerde systemen. De samenstelling van de installatie wordt aangegeven door een lettercode : P = pyrolyse; I = inertisering; EN = energierecuperatie. In onderstaande figuur worden de verschillende varianten schematisch voorgesteld.



Figuur 66: Vier varianten PKA-procede.

4.4.1 Procesbeschrijving

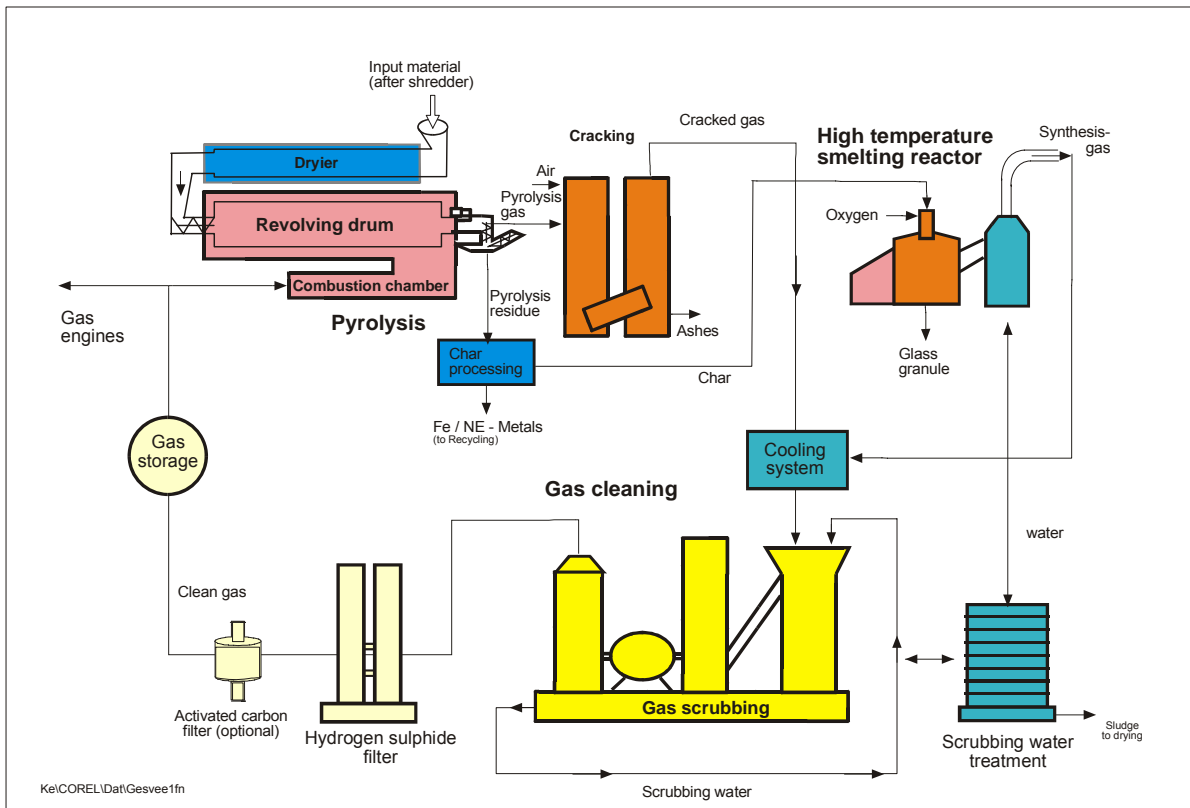
Het PKA-proces combineert pyrolyse met een gas-kraker en een optionele verglazingreactor voor de residu's.

Het ruwe materiaal wordt verkleind. Grof huisvuil wordt manueel uitgesorteerd. Uit dit verkleinde materiaal worden de metalen verwijderd. De resterende fractie wordt nogmaals verkleind. Indien nodig wordt het afval gedroogd tot een drogestof gehalte van 85 %. Dit is niet strikt noodzakelijk maar wordt aangeraden door PKA om de thermische efficiëntie van de installatie te verhogen. Het drogen kan gebeuren in een draaitrommel welke verwarmd wordt met stoom. De stoom kan geproduceerd met de restwarmte van de pyrolyse reactor.

Het gedroogde afval wordt met behulp van een schroef in de pyrolyse trommel gebracht. Deze trommel wordt indirect verwarmt met hete gassen van de verbrandingskamer welke gedurende de opstart gebruik maakt van propaan gas of aardgas, en vervolgens met gereinigd pyrolyse gas. Het pyrolyse proces gebeurt in afwezigheid van zuurstof bij een temperatuur van 500 tot 550 °C, gedurende 45 tot 60 minuten.

Tijdens de pyrolyse vervluchtigen de organische componenten en vormen het pyrolyse gas. Dit gas wordt verwijderd uit de pyrolysetrommel en afgevoerd naar de kraker. In deze kraker worden de complexe organische componenten in het gas gedurende 2 seconden bij een temperatuur van > 1000 °C gekraakt tot eenvoudiger verbindingen. Water dat aanwezig is in het gas vormt samen met koolstof aanwezig in de reactor CO en H₂. Daarenboven fungeert de gaskraker als onstoffingsinstallatie. Het gedeeltelijk gereinigde syngas verlaat de reactor met een temperatuur van 900 tot 1000 °C.

Het syngas passeert vervolgens door een boiler en een mouwenfilter. Het wordt afgekoeld en worden met behulp van een natte gaswassing de zure anorganische verbindingen verwijderd. Daarna volgt een sequentie van droge filters om organische verbindingen, kwik en H₂S te verwijderen. Het gereinigde syngas heeft een calorische waarde van 4 à 4,5 MJ/Nm³.



Figuur 67: Proces PKA.

De pyrolysecokes worden uit de reactor verwijderd via een waterbad met schroef. Het water zorgt behalve voor afdichting van de reactor ook voor activering van het charoppervlak. Wanneer activering niet nodig is, kan droge afvoer voorzien worden.

Om de pyrolysecokes te kunnen verwerken in de vergasser moet de waterinhoud minder dan 10 % bedragen, dienen deze gemalen te worden (korrelgrootte maximum 1 mm) en worden de ferro en non-ferro metalen verwijderd. De cokes worden voor deze toepassing best op de droge manier verwijderd uit de reactor.

Bij de PI-varianten worden cokes zijdelings in de reactor gebracht. Met behulp van zuurstof (> 93 % O₂) wordt de aanwezige koolstof omgezet in gas in een 'cycloon-oven'. De vrijgestelde warmte zorgt voor het smelten van de asfractie. De temperatuur in de reactor loopt op tot 1.500 °C. De vloeibare slak wordt afgevoerd via een sifon en afgeschrikt in water. Het geproduceerde gas verlaat de oven met een temperatuur van ongeveer 1.400 °C en bevat ongeveer 55 vol % CO, en heeft een calorische waarde van ongeveer 9 MJ/Nm³. Het gas moet ontstof worden en gereinigd van waterstofsulfide. Deze reiniging gebeurt in dezelfde installatie die gebruikt wordt voor het pyrolysegas.

Het inerte restproduct dat ontstaat is een glasgranulaat met een typische korrelgrootte van 1 mm. In dit granulaat zijn de aanwezige zware metalen en andere pollutanten stevig ingekapseld zodat ze niet uitloggen.

Bij de EN-varianten wordt met het geproduceerde gas zo veel mogelijk elektriciteit geproduceerd in gasmotoren. Deze motoren kunnen aanwezig zijn op de site, maar het gas kan eveneens geleverd worden aan off-site energie-centrales.

4.4.2 Stand van de techniek

In Freiberg (Duitsland) staat een pilootinstallatie met een capaciteit van 0,5 ton/uur (4.000 ton/jaar). In deze installatie werden verschillende vaste afvalstromen naar wens verwerkt, waaronder huishoudelijk restafval, industrieel afval, ASR en RWZI-slib.

De eerste commerciële installatie van PKA werd opgestart in 1998. Deze installatie in Aalen-Goldshöfen, Duitsland heeft een capaciteit van 25.000 ton/jaar en verwerkt een combinatie van huishoudelijk en commercieel afval en RWZI-slib.

Een tweede installatie in Freiberg, Duitsland met een capaciteit van 28.000 ton/jaar werd eind 1999 opgestart. In deze installatie wordt aluminium gerecupereerd uit industrieel afval.

4.5 Traidec^{78, 3}

4.5.1 Procesbeschrijving

Het afval wordt gedroogd tot 90 % DS en eventueel verkleind. Het afval mag een maximale afmeting hebben van 20 cm om de werking van het transportsysteem in de pyrolyse reactor niet te verstoren.

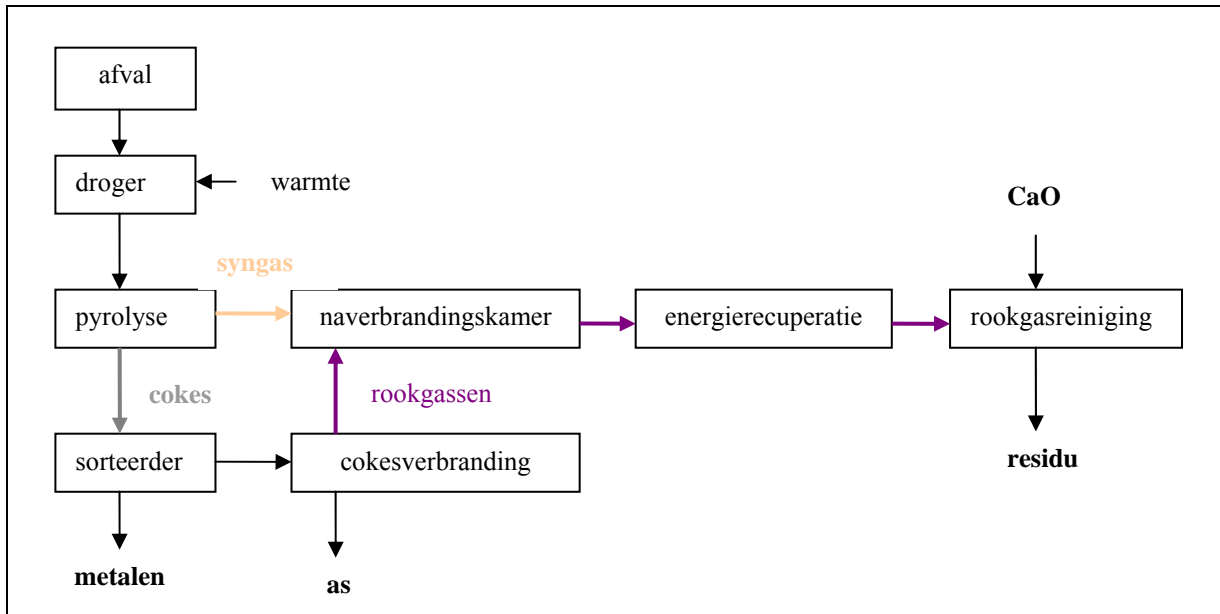
In de pyrolyse reactor bevindt zich een transportband waarmee het afval door de reactor wordt getransporteerd. De transportband is opgedeeld in 20 compartimenten elk met opstaande platen, welke het afval horizontaal door de reactor duwen. In elk compartiment zijn elektrische verwarmingselementen aanwezig om de nodige warmte te leveren om de organische inhoud van het afval te vergassen. De verwarmingselementen kunnen gestuurd worden zodat de energie-input in de reactor optimaal verloopt. De reactor wordt bedreven op 500 °C en 100 mbar vacuüm, zonder zuurstof. Het afval verblijft ongeveer 30 minuten in de reactor. Het afval wordt in de reactor gevoerd via een luchtdicht semi-bach vulsysteem. De resterende char wordt indirect gekoeld met water in een dubbelwandige schroefkoeler alvorens ze worden verwijderd uit de reactor.

Het geproduceerde syngas verlaat de reactor bovenaan en wordt afgevoerd via verwarmde buizen naar de naverbrandingskamer. Hier wordt het verbrand bij 850 °C (verblijftijd 2 seconden). De temperatuur wordt gecontroleerd door het toevoegen van brandstof (propan) en lucht.

Metalen en inerten worden afgescheiden van de cokes waarna deze worden vernalen en verbrand. De rookgassen worden afgevoerd naar de naverbrandingskamer, waar ze 2 seconden bij 850 °C worden met een overmaat aan zuurstof. De warmte van alle geproduceerde rookgassen wordt gerecupereerd in een stoomketel (40 bar, 400 °C). Een gedeelte van de stoom kan gebruikt worden om het afval te drogen. De overige stoom kan

afgevoerd worden naar derden of gebruikt worden om met behulp van een turbine stoom te produceren.

De rookgassen worden vervolgens gereinigd door droge kalkinjectie.



Figuur 68: Traidec.

4.5.2 Stand van de techniek

Sinds de herfst van 1999 heeft Traidec een werkende referentieinstallatie op industriële schaal (1,5 ton/uur) in Sainte Foy, Frankrijk. Er werd een installatie ontwikkeld voor de verwerking van verkleinde afval banden (600 kg/uur), welke werd verkocht aan een klant in Mexico. Deze installatie werd uitvoerig getest met verschillende afvalstromen waaronder huishoudelijk restafval.

4.6 Nexus Softer Proces^{77, 78}

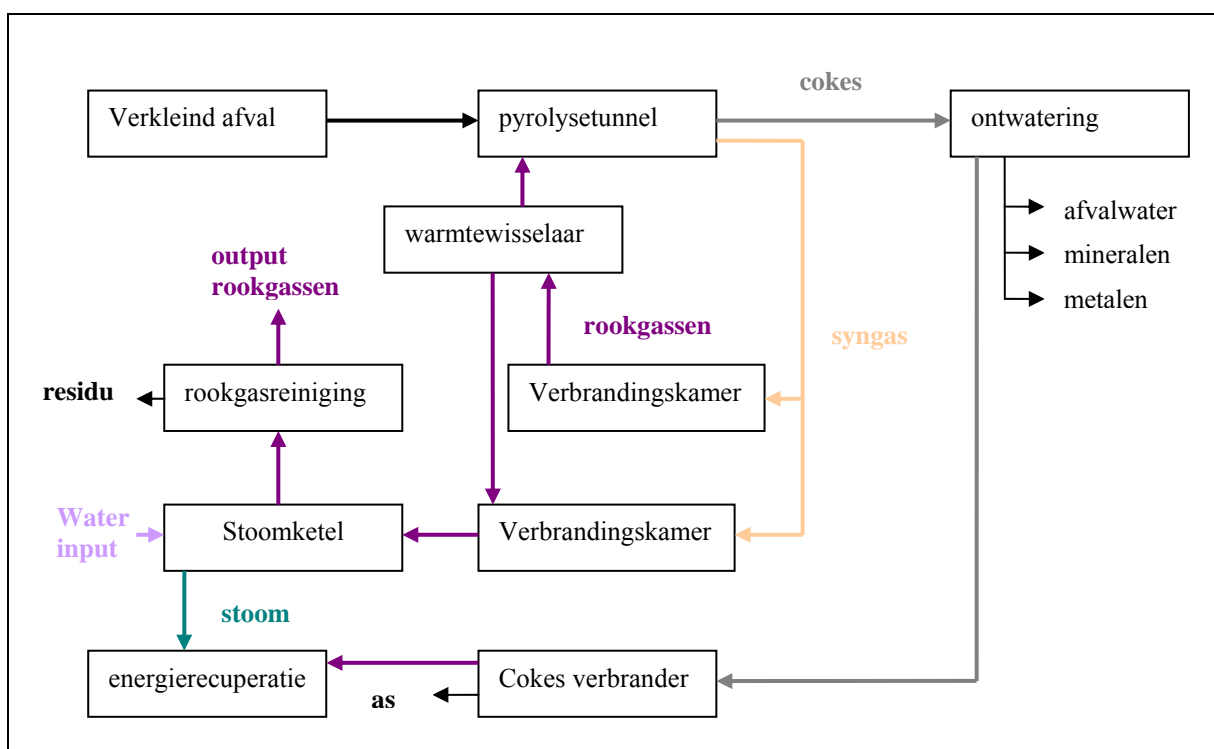
4.6.1 Procesbeschrijving

Na ontvangst wordt het afval, indien nodig, grof geshredderd en in containers gebracht. De containers worden in een luchtsluis gebracht. Deze luchtsluis is een onafhankelijke mobile eenheid die over rails beweegt tussen het container vulstation, de oven in- en uitgang en het container losstation. De luchtsluis isoleert de container van buitenlucht, verwijdert zuurstof en voorkomt dat zuurstof in de pyrolyse zone wordt gebracht samen met de container.

De containers worden in de pyrolysetunnel gebracht. De duur van het proces is afhankelijk van het type afval dat verwerk. Voor vochtig huishoudelijk restafval bedraagt de verblijftijd ongeveer 8 uur. In de tunnel wordt het afval blootgesteld aan hoge temperaturen, in afwezigheid van zuurstof. Hierdoor worden organische componenten vervluchtigd en

worden er cokes en syngas geproduceerd. Het afval wordt verwarmd door injectering van de hete rookgassen afkomstig van de syngasverbranding (650 °C) in de containers.

Na het verlaten van de oven worden de containers afgekoeld en worden cokes en inertien in een waterbad gebracht. Deze vaste stoffen worden uit het waterbad verwijderd en ontwaterd. De cokes worden afgescheiden van de inertien (metalen, glas ed.). De cokes kunnen zowel on-site als off-site gevaloriseerd worden. Wanneer dit on-site gebeurt worden de geproduceerde rookgassen gebruikt om stoom te produceren in de stoomketel.



Figuur 69: Nexus Softer proces.

Het syngas dat wordt geproduceerd tijdens de pyrolyse worden uit de tunnelafgescheiden. Een deel van het syngas wordt verbrand in de verbrandingskamer waarvan de rookgassen gebruikt worden om het afval te verwarmen in de pyrolysetunnel. Deze verbrandingskamer werkt met stochiometrische luchthoeveelheden om te verzekeren dat er slechts minimale hoeveelheden O_2 worden afgevoerd naar de pyrolysekamer. De resterende hoeveelheid rookgassen worden afgevoerd naar een tweede verbrandingskamer welke bedreven wordt met een overmaat aan zuurstof om een goede verbranding van het syngas te verzekeren. De resterende hoeveelheid syngas wordt eveneens afgevoerd naar deze tweede verbrandingskamer. De hitte van deze rookgassen wordt gebruikt voor de productie van stoom in een stoomketel.

4.6.2 Stand van de techniek

Er werden drie pilootinstallatie succesvol gerealiseerd in Saint Chamas (1991), Venelles (1992) en Châteaurenard (1994). Deze laatste is een grootschaligere demonstratie-installatie met een capaciteit van 0,5 ton/uur. In deze installatie werden verschillende stromen met succes verwerkt waaronder huishoudelijk afval, autobanden en ASR. De uitbating van deze installaties werd gestopt in 1999.

Het proces werd nog niet continu bedreven op commerciële schaal.

Er werd een installatie gepland in Digny, Frankrijk met een capaciteit van 30.000 ton/jaar. De bouw is gestart in 2000. De installatie zou opgestart worden in 2001, deze opstart heeft echter nooit plaatsgevonden wegens financiële moeilijkheden van Nexus Technologies. In 2001 werd een faillissementsaanvraag ingediend.

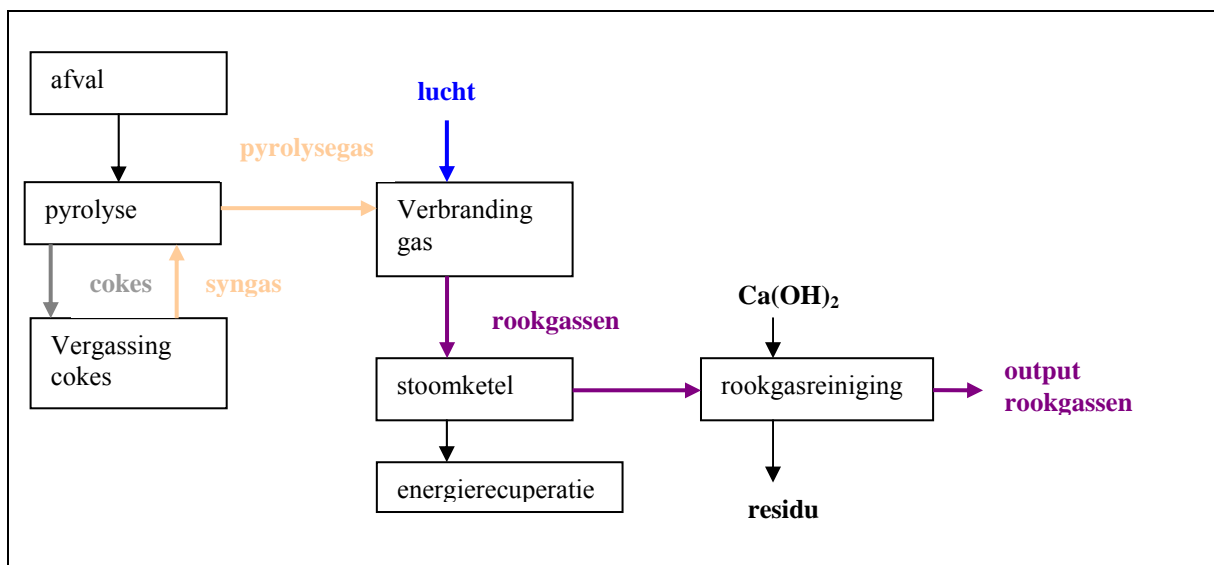
De financiële moeilijkheden van Nexus Technologies hebben tot gevolg gehad dat ADME expertise heeft opgebouwd betreffende de technologie. Dit heeft er toe geleid dat kon worden aangetoond dat de meerkost van de installatie in Digny verantwoord kon worden door verbetering van de techniek.

Op basis van deze resultaten en op basis van de wil van ADME om het project te blijven uitbaten als een valabele alternatieve en economisch mogelijk techniek, heeft ADME de discussies bevorderd en deelgenomen aan bijeenkomsten van de verschillende partners die betrokken zijn bij het project in Digny (constructeur, uitbater, gemeenschap) om de uitbating van de installatie te kunnen verder zetten. De mogelijkheid voor ADME om het project zelfstandig verder te zetten werd bestudeerd maar financieel onmogelijk geacht.

4.7 Basse-Sambre ERI : Serpac Pyroflam ⁷⁸

4.7.1 Procesbeschrijving

De reactor bestaat uit twee licht hellende kamers die roteren rond een gemeenschappelijke horizontale as. De pyrolyse reactor wordt zuurstofvrij bedreven op een temperatuur tussen 600 en 700 °C. De organische bestanddelen worden omgezet in cokes en syngas. Door de draaiende beweging van de reactor worden de gevormde cokes getransporteerd naar de vergassing reactor. Het ontwerp van de reactor verzekert dat het vaste afval voldoende lang in de pyrolysezone verblijft om alle organische bestanddelen om te zetten tot cokes en syngas. Substoichiometrische hoeveelheden lucht worden geïnjecteerd in de cokes vergassings reactor. De cokes worden vergast bij een temperatuur van 800 °C. De temperatuur van de gassen van de vergassing van de cokes is voldoende hoog om de pyrolyse reactor op de benodigde temperatuur te houden zonder toevoeging van bijkomende brandstof. De assen verlaten de cokes vergassingszone en worden na het recupereren van de metalen verwijderd.



Figuur 70: Serpac Pyroflam.

Het geproduceerde syngas afkomstig van de cokes wordt gemengd met het syngas van de pyrolyse aangezien het in tegenstroom door de pyrolysetrommel passeert. Het gemengde syngas wordt naar een naverbrandingskamer geleid waar het wordt verbrand bij een temperatuur van 1.100 – 1.200 °C. Het gas heeft er een verblijftijd van 2 seconden in de aanwezigheid van 6 % O₂. De warmte van de rookgassen wordt gerecupereerd in een stoomketel. De geproduceerde stoom kan gebruikt worden als processtoom of voor de productie van elektriciteit. De rookgassen worden gereinigd in een droge rookgasreiniging met injectie van ongebluste kalk of natriumbicarbonaat als sorptiemiddel en een doekfilter.

4.7.2 Stand van de techniek

In 1996 werd in Boedapest een installatie gebouwd voor de verwerking van 1 ton/uur gemengd afval dat ontstaat in de luchthaven. De installatie produceert warm water voor de verwarming van de luchthavengebouwen. De installatie heeft een effectieve capaciteit van 800 kg/uur voor afval met een calorische waarde van 16,7 MJ/kg.

In Bar-sur-Aube, Frankrijk werd een project niet gerealiseerd na aanpassing van het lokale afvalplan.

4.8 Compact power^{77, 84}

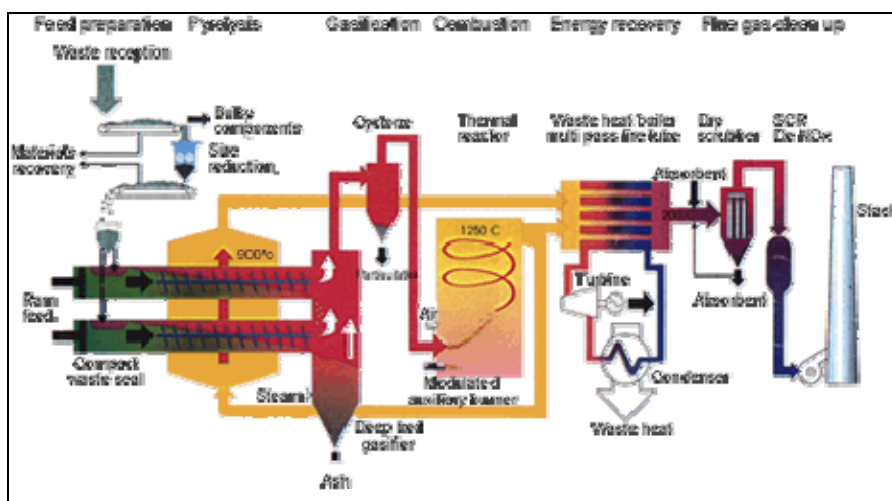
4.8.1 Procesbeschrijving

Het Compact Power proces bestaat uit een combinatie van drie processen nl. pyrolyse, vergassing en hoge temperatuur oxidatie. De verschillende processen worden gescheiden gehouden. Dit zou de procescontrole moeten vergemakkelijken, de syngasproductie optimaliseren, en emissies minimaliseren. Het afval dient te worden verkleind tot 75 mm en metalen worden verwijderd. Het afval wordt gevoed in een systeem van pijpen die indirect worden verwarmd. Het afval wordt gepyrolyseerd bij een temperatuur van 400 – 800°C in

afwezigheid van zuurstof gedurende ongeveer 30 minuten. De organische bestanddelen worden omgevormd tot een pyrolysegas en cokes.

Aanwezige inertien worden samen met de cokes afgevoerd naar een vastbedvergasser. Aan de vergassingsreactor wordt lucht en stoom toegevoegd. De cokes reageren met de stoom op hoge temperatuur en er wordt H_2 , CO en CO_2 gevormd (syngas). Er wordt geopteerd voor een vastbedvergasser om deeltjesoverdracht te minimaliseren. De vergassing duurt ongeveer 1 uur.

Het pyrolyse- en syngas worden afgevoerd naar een thermische oxidatie reactor die op een constante temperatuur van $1.250\text{ }^\circ\text{C}$ wordt gehouden. Het gas heeft een verblijftijd in de reactor van minimaal 2 seconden. Er wordt voldoende lucht toegevoegd om te verzekeren dat aanwezige koolwaterstoffen volledig worden geoxideerd.



Figuur 71: Compact power.

De rookgassen worden gebruikt om de pyrolyseractor te voorzien van de benodigde warmte. Hierna worden deze afgevoerd, samen met de resterende rookgassen naar een stoomketel. Hier wordt de warmte van de gassen gerecupereerd. Afhankelijk van de omstandigheden kan geopteerd worden voor de productie van stoom of elektriciteit. De gassen koelen af tot een temperatuur onder $250\text{ }^\circ\text{C}$.

De installatie voldoet aan de eigen warmte behoefte, ook indien er afval wordt verwerkt met een lage calorische waarde. Er wordt evenwel een hulpbrandstof gebruikt om te verzekeren dat de temperatuur in thermische oxidator gehandhaafd wordt en dat de vereiste hoeveelheid stoom en elektriciteit wordt geproduceerd.

Na de stoomketel worden de rookgassen gereinigd. De temperatuur van de gassen bedraagt ongeveer $200\text{ }^\circ\text{C}$. De zuren worden verwijderd in een droge gaswassing door injectie van $NaHCO_3$, NO_x met behulp van een SCR.

4.8.2 Stand van de techniek

In Finham (Coventry), Engeland werd in 1994 door Compact power een pilootinstallatie gebouwd met een capaciteit van 3.000 ton/jaar. Tussen 1995 en 1997 werden proeven gedaan op verschillen afvalstromen zoals ontwaterd RWZI-slib, huishoudelijk afval, ziekenhuisafval, afvalbanden, afval van plantaardigeolierafinage en slik. Volgens compact power kon de installatie deze stromen naar behoren verwerken.

In 1998 begonnen de voorbereidingen voor de bouw voor de eerste commerciële installatie voor de verwerking van huishoudelijk afval in Avonmouth in Bristol. De bouw van deze installatie begon in 2000 en werd opgeleverd in april 2001. In september 2001 werden bijkomende vergunningen aangevraagd om een bredere range aan afvalstromen te mogen verwerken. De installatie werkt vol-continu sinds januari 2002. De installatie heeft een capaciteit van 8.000 ton/jaar voor afval met een calorische waarde van ongeveer 12 MJ/kg.

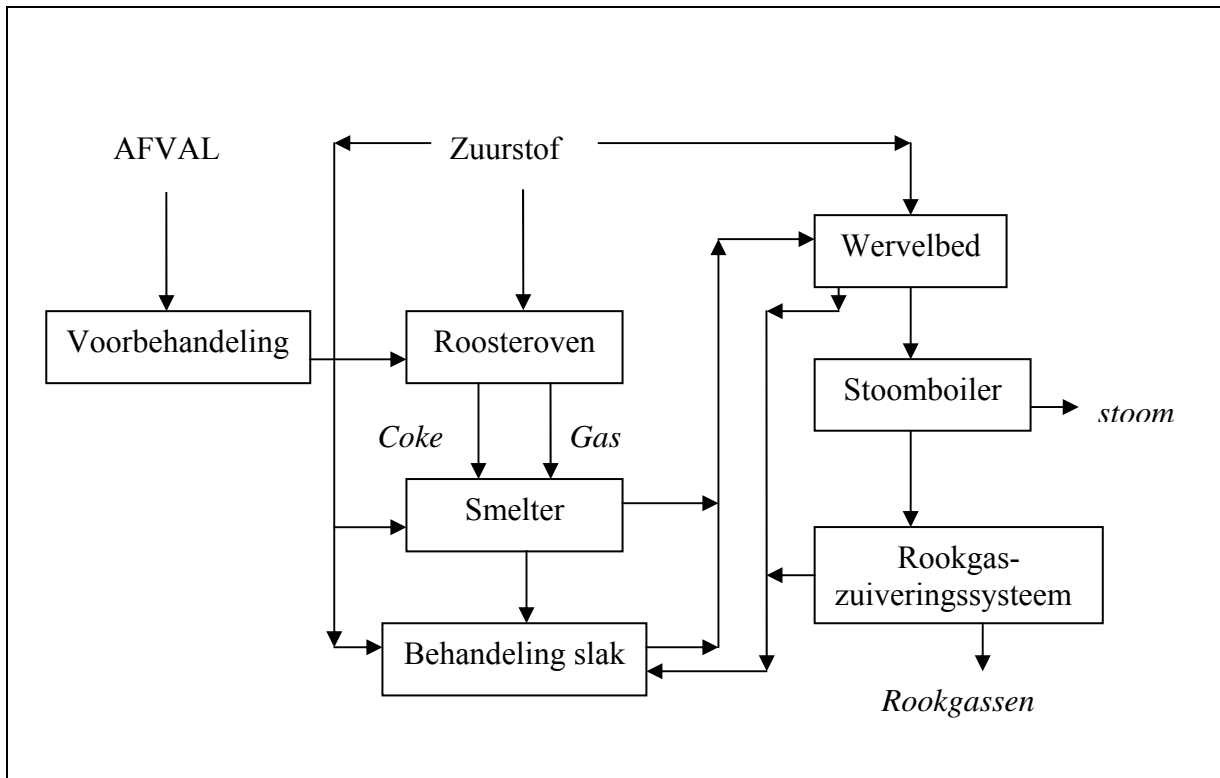
De bouw van een nieuwe installatie in Exeter voor de verwerking van huishoudelijk afval wordt gepland. De installatie zou een capaciteit van 30.000 ton/jaar hebben. Tegen eind 2005 zou de installatie operationeel moeten zijn⁸⁵.

4.9 Von Roll RCP^{77, 86, 87}

Het RCP (Recycled clean Product) proces is een combinatie van drie processen nl. pyrolyse, smelten en wervelbedverbranding. Het proces is ontworpen om geen procesemissies te hebben.

Het proces maakt gebruik van een Von Roll roosteroven als pyrolysekamer. In deze kamer wordt huishoudelijk afval verwarmd en omgezet in pyrolysegas en pyrolyse cokes. De energie nodig voor dit proces is afkomstig van gedeeltelijke verbranding van het pyrolysegas met zuurstof. Het afval wordt gepyrolyseerd bij een bedtemperatuur van 500 °C en het syngas heeft een temperatuur van 900 °C wanneer het de pyrolysekamer verlaat.

De pyrolyse cokes en het overblijvende pyrolysegas, stroomt in een smeltoven waar de temperaturen gehaald worden van 1.400 °C door de injectie van zuurstof. Deze temperaturen zijn nodig voor het smelten van alle materialen. De zuurstof wordt tangentieel in de smeltoven ingespoten waardoor er turbulentie ontstaat. Door de turbulentie is er een goede vermenging van het te smelten materiaal zodat het volledig geoxideerd kan worden. Het gebruik van zuurstof reduceert ook het volume gas dat gevormd wordt.



Figuur 72: Von Roll RCP.

De smeltoven en slakbehandelingsreactor is bekend als het HSR proces (High Temperature Smelt Redox Process). Met dit proces worden zware metalen geconcentreerd en gescheiden van de gesmolten slakken. De koper-ijzer legering die onderaan de slakken gevormd wordt, kan verder gebruikt worden in de metaalindustrie. De vluchtige metalen (Zn, Cd, Pb) worden verdampt. De slakken worden verder gepelletiseerd en kunnen gebruikt worden in de cementindustrie. Warmteverliezen van de HSR-reactor worden gecompenseerd door een brandstof/zuurstof-brander. Het procesgas dat vrijkomt bij de behandeling van de slakken wordt gemengd met het syngas van de smeltoven en verbrand in een circulerend wervelbed. De vluchtige metalen worden opnieuw geoxideerd, gecondenseerd en afgeleid naar het zuiveringssysteem.

De hete rookgassen van de smeltoven en de HSR reactor worden verbrand in een circulerend wervelbed bij een temperatuur goed beneden de 1.000 °C. Er wordt opnieuw zuurstof toegevoegd om zeker te zijn dat al het organisch materiaal geoxideerd wordt. De rookgassen en het zand worden gescheiden in een hete cycloon en de gassen passeren dan door een conventionele stoomboiler, waar ze aangewend worden om stoom te genereren voor de productie van elektriciteit of warmte.

4.9.1 Stand van de techniek

Een RCP pilotplant van 16 MW staat in Bremerhaven, Duitsland. De klant is hier de lokale overheid. De RCP lijn werkt parallel met drie conventionele verbrandingslijnen. Het RCP proces produceert een aanzienlijk kleiner volume aan rookgassen die behandeld worden door de bestaande rookgassystemen. De capaciteit bedraagt 6 ton/uur en er kan

20 ton stoom/uur geproduceerd geproduceerd. Sinds 1997 worden er testen uitgevoerd en tot nu toe werd er 60 % van de verwerkingscapaciteit benut.

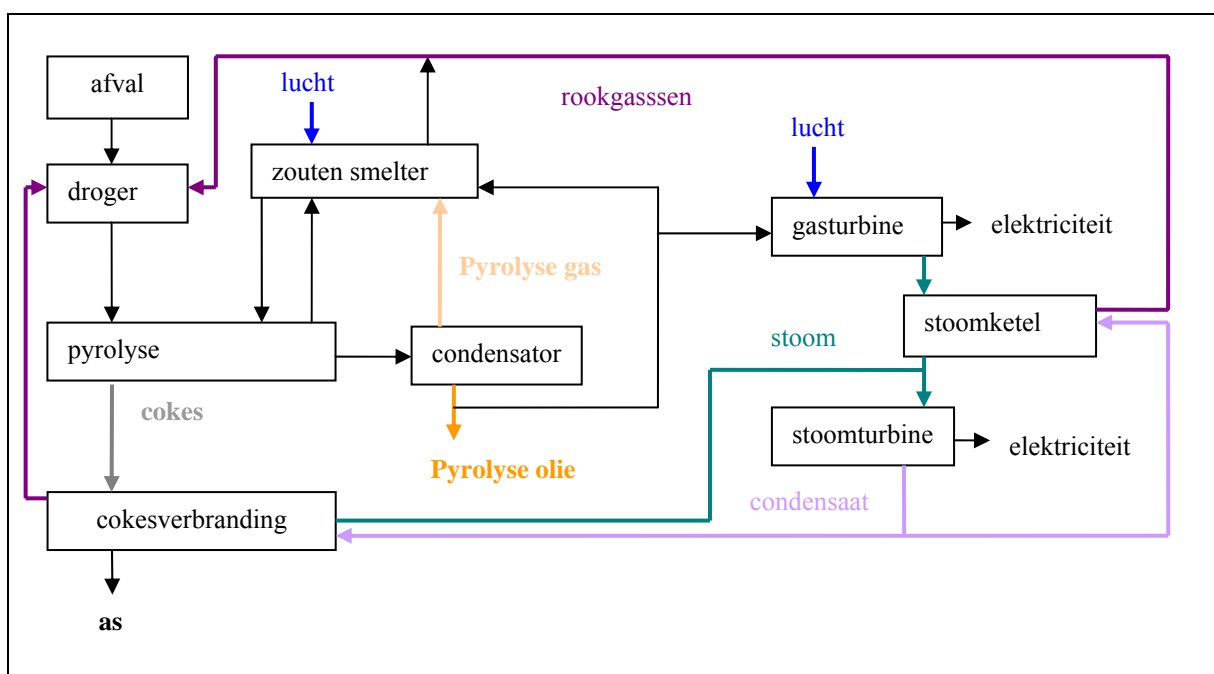
4.10 Pyrovac⁷⁷

Pyrovac is een voorbeeld van een pyrolyse techniek voor de thermische verwerking van afval. Voor deze techniek werd echter geen praktijkvoorbeeld gevonden waarbij huishoudelijk afval verwerkt werd, maar de techniek is er wel geschikt voor.

4.10.1 Procesbeschrijving

Het pyrovac-proces is een vacuüm pyrolyse systeem. De techniek zou een brede range aan afvalstromen kunnen verwerken (industriële en huishoudelijk afval, biomassa, RWZI-slib, ASR, afvalbanden, medisch afval en petroleum residu's).

Het afval dient te worden verkleind en eventueel gedroogd alvorens het in de reactor wordt gebracht. Het afval wordt in de reactor getransporteerd over horizontale platen welke verwarmd worden door gesmolten zouten (een mengsel van kaliumnitraat, natriumnitriet en natriumnitraat). De temperatuur van de platen bedraagt 500 °C. Om de zouten op temperatuur te houden, wordt gebruik gemaakt van een brander welke gevoed wordt met het niet condenseerbare gas dat gevormd wordt in het proces. Indien nodig kan bijkomend fossiele brandstof toegevoegd worden. Als back-up voor het behouden van de temperatuur in de pyrolyse reactor wordt een elektrische inductie brander gebruikt.



Figuur 73: Pyrovac.

De reactor, welke werkt bij een temperatuur van 500 °C en een druk van 0,15 bar, werd ontworpen om met een hoge efficiëntie geforceerde warmte uit te wisselen met de pyrolyserende materialen. Het systeem maakt gebruik van een commercieel verwarmingssysteem om de zouten te smelten.

Bij de verwarming vergast de organische inhoud van het materiaal. Het geproduceerde gas wordt uit de reactor verwijderd met behulp van een vacuümpomp. De gassen worden afgevoerd naar twee 'packed towers' waar de oliefracties gerecupereerd worden. De niet condenseerbare gassen worden gebruikt in de brander waarmee de gesmolten zouten worden opgewarmd. Het vaste residu (cokes) uit de reactor wordt afgekoeld tijdens het verlaten van de reactor.

Het oorspronkelijk idee van de ontwerpers van het pyrovac systeem was om een pyrolyse olie te produceren welke gebruikt zou kunnen worden, na verschillende verwerkingsstappen, in de chemische industrie. Er zou potentieel zijn om geproduceerde componenten te gebruiken in harsen, solventen, farmaceutische producten, geur en smaakstoffen.

Pyrovac heeft ondervonden dat de markt vaak energierecuperatie prefereert boven feedstockrecycling. Hierdoor hebben ze zich meer gericht op systemen welke energie produceren dan op systemen waarmee producten worden ontwikkeld uit de pyrolyseolie. Pyrovac promoot momenteel deze variant op de techniek als het Integrated pyrolysis combined cycle (IPCC) system. In dit systeem wordt het pyrolyseproces gecombineerd met een STEG (Stoom en Gas turbine).

4.10.2 Stand van de techniek

De eerste installatie op commerciële schaal werd gebouwd in Jonquière in Quebec, Canada in 1998. Het is een demonstratie installatie op grote schaal met een capaciteit van 3,5 ton/uur. De reactor werd gebouwd om grote hoeveelheden pyrolyse olie en cokes te produceren. Deze reactor was het eerste ontwikkelingsstadium voor een grotere installatie (150 kton/jaar) die gepland wordt voor de pyrochem-Seguenay plant welke schorsresidu's verwerkt tot pyrolyseolie en cokes. De geproduceerde olies kunnen gebruikt worden om fenolformaldehyde harsen te produceren. De char zou verkocht kunnen worden als 'feedstock' voor lokale metaal en mineraal verwerkende industrie.

Een ander project dat gepland is in Nederland is om 123.000 ton/jaar hout en houtafval te verwerken. De geproduceerde bio-olie en charcoal zullen verwerkt worden in de Hemweg kolencentrale (uitgebaat door UNA).

In het Verenigd Koninkrijk wordt in Carlisle een installatie gepland. Deze installatie zou residu's van bosbouw verwerken bio-olie en cokes. De geproduceerde brandstoffen zouden gebruikt worden om 20 MWe te produceren in Carlisle. De resterende hoeveelheden brandstoffen worden afgevoerd naar kleinschalige installaties voor lokale productie van warmte en elektriciteit.

Hoewel de geplande installaties steeds biomassa verwerken, kan volgens de constructeurs elke vaste afvalstof verwerkt worden welke een organische fractie bevatten. Van verwerking van huishoudelijk restafval werden echter geen concrete referenties teruggevonden.

4.11 SWERF

SWERFTM (Solid Waste Energy and Recycling Facility) is een geïntegreerd afvalverwerkingssysteem dat het huishoudelijk restafval voorbehandelt, recycleerbare fracties afscheid, en de thermisch valoriseerbare fractie vergast (zie Deel 3, § 5.3.2).

Het enige grootschalige project (in Australië) kampt met technische problemen bij vergassing van de pyrolyse-cokes. Geplande investeringen in Groot-Brittannië komen daardoor mogelijk op de helling te staan.