

# Vergelijking van verwerkingsscenario's voor restfractie van HHA en niet-specifiek categorie II bedrijfsafval

## *EINDRAPPORT*

K. Vrancken, R. Torfs, A. Van der Linden, P. Vercaemst, P. Geuzens

### MANAGEMENT SAMENVATTING

#### Situering

In voorliggend rapport worden verschillende verwerkingsscenario's voor restfractie van HHA en niet specifiek categorie II bedrijfsafval besproken en vergeleken op vlak van milieu-impact, energie, materiaalrecuperatie, kosten en bedrijfsvoering.

De verwerkingsscenario's omvatten een omzetting van het afval tot warmte en/of elektriciteit. Deze omzetting gebeurt in een integraal of geïntegreerd proces, of door een combinatie van een mechanisch-biologische voorbehandeling gevolgd door een thermische valorisatie van de gevormde restbrandstof (het RDF).

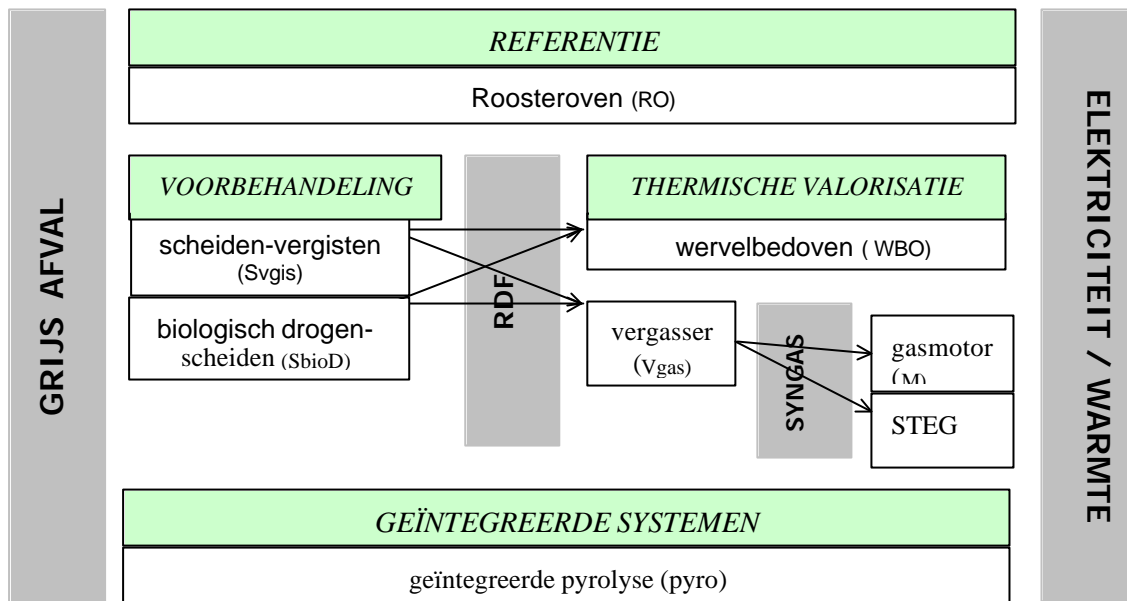
De doelstelling van de studie is een vergelijking te maken tussen verschillende verwerkingsscenario's die op korte termijn (max. 2 jaar) gerealiseerd kunnen worden op de huidige Vlaamse afvalmarkt en binnen de Vlaamse wetgeving.

De studie is opgebouwd in twee fasen. In fase 1 werd er een inventarisatie en technische evaluatie van afvalverwerkingstechnieken gemaakt. Hierin werden de technische mogelijkheden geëvalueerd van de volgende technieken: mechanisch biologische voorbehandeling, alleenstaande pyrolyse, geïntegreerde pyrolyse en thermische valorisatie in verbrandingsinstallaties, in vergassingsinstallaties, in kleinschalige warmtekrachtkoppeling en in industriële processen (cement). De geïnventariseerde technieken worden besproken en de haalbaarheid wordt onderzocht in hoger vermeld kader. Voor de technieken die niet in fase 2 werden opgenomen, wordt deze bespreking gegeven in bijlage.

Op basis van de resultaten van fase 1 werd door het begeleidingscomité een selectie van technieken gemaakt die als representatief voor de huidige markt en extrapoleerbaar naar een ruimer aanbod van leveranciers staan. Volgende verwerkingstechnieken werden geselecteerd:

- Integrale verwerking van het afval in een roosteroven als referentiescenario;
- scheiden-vergisten van het afval;
- biologisch drogen-scheiden van het afval;
- verbranding van het geproduceerde RDF in een extern circulerend wervelbed;
- vergassen van het geproduceerde RDF in een slakkenbadvergasser;
- thermische valorisatie van het geproduceerde gas in een gasmotor;
- thermische valorisatie van het geproduceerde gas in een STEG;
- geïntegreerde pyrolyse van het afval.

In onderstaande figuur worden de verschillende scenario's schematisch weergegeven:



In het referentiescenario wordt uitgegaan van een integrale verwerking van het afval in een roosteroven, met energierecuperatie, rookgasreiniging en bodemasbehandeling. Omdat er in Vlaanderen twee types van DeNO<sub>x</sub> in gebruik zijn, worden beide opgenomen in de studie

Bij het scheiden-vergisten volgt na een voorafschieding van materialen groter dan 40 mm (ferro, non-ferro en RDF) een vergisting. Het RDF is een nat voorafgescheiden mengsel van 1/3 plastic, 1/3 papier, hout en textiel en 1/3 andere materialen. Ferro en non-ferro fracties vinden afzet voor recyclage.

Gedurende de vergisting wordt alle anaëroob afbreekbaar organisch materiaal omgezet in biogas. Het digestaat, overgebleven na de vergisting, wordt verschillende malen gezeefd en gewassen met productie van inerten, zand, vezels en verschillende residu's tot gevolg. De resterende fractie wordt na een bezinkingstank nog door een zeefbandpers gestuurd met de productie van een slibkoek als resultaat.

Biologisch drogen-scheiden is gericht op een maximale productie van hogcalorische brandstof. Na een grove maling en afscheiding van de grove ferro-fractie wordt het afval in composteringsboxen gestort. Het aanwezige organische materiaal en de gecontroleerde beluchting zorgen voor een biologische droging van het afval. Na de droging zorgt een fysisch/ mechanische scheiding voor de afscheiding van de fijne ferro-fractie, non-ferro, inerten en het RDF.

Voor de thermische valorisatie van het RDF kan enerzijds gebruik gemaakt worden van een wervelbedreactor. In een wervelbed wordt het materiaal verbrand in een turbulent zandbed. De grote flexibiliteit en de geschiktheid voor de verwerking van brandstoffen met een hoge calorische waarde maken het circulerend wervelbed het meest geschikt voor de verwerking van RDF uit huishoudelijk afval. In dit type reactor wordt het zand met behulp van een cycloon afgescheiden en teruggevoerd naar het wervelbed.

Anderzijds kan het RDF vergast worden. In een vergasser worden koolstofhoudende brandstoffen onder zuurstofarme omstandigheden omgezet in een synthesegas. Er werd geopteerd voor een slakkenbadvergasser, een systeem dat werd geoptimaliseerd voor de verwerking van huishoudelijk afval.

Het geproduceerde synthesegas wordt met behulp van een gasmotor of STEG omgezet in elektriciteit en warmte.

## **Opbouw**

Na de bespreking van de algemene aanpak in hoofdstuk 1 volgt in hoofdstuk 2 de procesbeschrijving van de geselecteerde afvalverwerkingstechnieken. In de massa- en energiebalansen worden input van hulpstoffen en output van de verschillende fracties weergegeven, evenals in- en output van energiedragers. In hoofdstuk 3 worden de verschillende technieken gecombineerd tot scenario's. Deze verschillende scenario's worden met elkaar vergeleken en geëvalueerd. Achtereenvolgens komen de aspecten milieu en energie, materiaalrecuperatie, economie en bedrijfsvoering aan bod. Er wordt geen gebruik gemaakt van weegfactoren om de onderzochte scenario's te rangschikken. In hoofdstuk 4 worden de besluiten geformuleerd.

In de loop van de studie werden nog enkele aanvullende documenten opgesteld. Deze worden gegeven in bijlage: bijlage 1: Technische beschrijving van afvalverwerkingstechnieken; bijlage 2: Resultaten van de analyse; bijlage 3: De ecoindicator 99 methodiek; bijlage 4: Milieu-impact van transport; bijlage 5: Dioxines.

De evaluatie wordt gebaseerd op gegevens zoals aangeleverd door systeemleveranciers en gedeeltelijk op gegevens uit de literatuur. De gegevens werden gecontroleerd door eigen berekeningen en toetsing aan de praktijk. Voor het opstellen van de massa- en energiebalansen werd uitgegaan van een opgegeven afvalsamenstelling. Het beschouwde afval heeft een stookwaarde van 8.53 MJ/kg, een DS-gehalte van 67.4% en een asgehalte van 26.9 % op DS. Er werd steeds uitgegaan van een installatie voor verwerking van 150.000ton/j van het hoger gedefinieerde afval. Voor evaluatie van de verschillende criteria werd een omrekening naar impact per ton verwerkt afval uitgevoerd.

## **Besluiten**

De verschillende scenario's werden uitgebreid bestudeerd. Voor elk van de 5 aspecten werd een verdere opsplitsing in deelaspecten gemaakt. In Tabel 1 wordt de performantie van de verschillende scenario's gegeven ten opzichte van de roosteroven met SNCR (score 0). Voor elk van de criteria wordt een wenselijk evolutie opgegeven in de tweede kolom (vb. 'minder milieu-impact'). De scenario's worden t.o.v. deze wens geëvalueerd: score '+' indien aan de wens voldaan wordt; score '-' indien niet voldaan wordt. De verschillende criteria worden hieronder besproken.

Tabel 1: evaluatie van de afvalverwerkingsscenario's, score t.o.v. referentiescenario RO-SNCR, '+' = beter dan RO SNCR tov het aangegeven criterium, '-' = minder goed dan RO SNCR tov aangegeven criterium

		RO SNCR	RO SCR	SVgis-WBO	SBioD-WBO	SVgis-Vgas	SBioD-Vgas	Pyro
Milieu	minder milieu-impact direct + hulpstoffen	0	+	+	0	-	-	0
	minder milieu-impact incl. vermeden emissies	0	+	+	0	+	+	-
Energie	meer energierecuperatie	0	0	0	0	+	+	-
Materiaal	minder storten	0	0	-	+	+	+	+
	meer materiaalrecuperatie	0	0	+	0	+	+	+
Economie	goedkoper	0	0	0	0	0	-	-
Proces	betere procesbeheersing	0	0	0	0	-	-	-
	hogere flexibiliteit	0	0	0	0/+	-	-	0

- *milieu-impact : minder milieu-impact*

De *milieu-impact* werd geëvalueerd met behulp van de Eco-indicator 99-methode. De impact wordt bepaald aan de hand van 3 categorieën: schade aan humane gezondheid, verstoring van het ecosysteem en uitputting van natuurlijke rijkdommen. Een globale beoordeling van de milieu-impact is moeilijk omdat vele verschillende parameters een rol spelen. De opgegeven scores gaan enerzijds uit van de directe emissies en emissies veroorzaakt door gebruik van grond- en hulpstoffen, anderzijds worden de scores inclusief vermeden emissies gegeven.

De impact (per ton HHA input) is in deze benadering sterk afhankelijk van de hoeveelheid te verbranden materiaal. In de RO- en pyroscenari'o's wordt de volledige stroom thermisch behandeld, in de andere scenario's wordt na voorafscheiding slechts een deel (het RDF) van de stroom verbrand. Het SBioD systeem is gericht op maximale RDF-productie, met vorming van een stabiel eindproduct. Bij SVgis wordt de hoeveelheid materiaal voor recuperatie gemaximaliseerd. Dit reflecteert zich in hogere impacts van directe en hulpstofgebonden emissies voor de scenario's met SBioD, RO en pyro. Voor de directe en hulpstofgebonden emissies hebben het SVgis-WBO-scenario en het RO-SCR-scenario een lagere milieu-impact dan de andere scenario's.

De restfracties van SVgis (zand, inertien, vezels, residu,..) bevatten nog restkoolstof. Indien wordt aangenomen dat al deze koolstof uiteindelijk tot methaan wordt omgezet, hebben de SVgis-scenario's een veel grotere impact op broeikasgerelateerde gezondheidseffecten dan de andere scenario's. De score in Tabel 1 zou dan overgaan in '0' of '-'. In de basisbenadering wordt ervan uitgegaan dat de koolstof gebonden blijft. In de realiteit zal een gedeeltelijke (doch niet voorspelbare) omzetting in CO<sub>2</sub> en methaan optreden.

Hoewel met SNCR de Europese norm voor NO<sub>x</sub>-emissie ruim kan voldaan worden, heeft het verder beperken van de NO<sub>x</sub>-emissie door katalytische reductie een duidelijk effect op de milieu-impact van de roosteroven. De impact van de RO-SCR wordt dan vergelijkbaar met andere scenario's (met gebruik van een SNCR), die omwille van hun lager rookgasvolume of andere verbrandingstechniek lagere emissies per ton HHA-input realiseren.

Bij SVgis wordt biogas gevormd en door verbranding in elektriciteit omgezet. Zo voorziet de installatie in eigen verbruik. SBioD dient bij alleenstaande werking elektriciteit van het net aan te kopen. Vgas en pyro moeten brandstoffen en zuurstof aankopen. Deze laatste wordt extern in een energie-intensief proces aangemaakt. Beide externe elektriciteitsproducties veroorzaken een hogere milieu-impact. De score van de overeenkomstige scenario's kan verbeterd t.o.v. de roosteroven indien met eigen elektriciteit wordt gewerkt. De energie voor de SBioD kan bijvoorbeeld geleverd worden door een nageschakelde WBO.

Op basis van de energie die geproduceerd wordt kan berekend worden welke emissies (en dus effecten op het milieu) vermeden worden op andere plaatsen. Indien deze vermeden emissies in rekening worden gebracht, verhoogt de milieuproformantie van de vergassingsscenario's met verbranding van het gas in een STEG (Vgas-STEg). Voor Vgas-M is het effect minder groot. Indien de vermeden emissies in rekening worden gebracht, verandert de score van het scenario SVgis-Vgas-STEg naar '+'. Voor SBioD-Vgas-STEg wordt de score '+' indien gerekend wordt met vermeden emissies van een fossiel park. Indien de vermeden emissies op basis van een STEg worden berekend, wordt de score '0'. De relatieve score van de geïntegreerde pyrolyse gaat achteruit in deze benadering, gezien zijn laag energetisch rendement.

#### *Energie : hoger energetisch rendement*

Het **energetisch rendement** van de scenario's wordt geëvalueerd als tweede categorie. In de vergasser kan een beduidend hogere energie-opbrengst dan de andere technieken behaald worden. Dit resulteert in een verhoogd netto rendement voor de scenario's met vergassing, gecombineerd met een gasturbine (ca.25%). De andere gecombineerde scenario's hebben een vergelijkbaar energetisch rendement van ongeveer 20%. De geïntegreerde pyrolyse heeft een laag rendement van 7%. De optimale combinatie van technieken op vlak van energetisch rendement is afhankelijk van de effectieve syngasopbrengst in de praktijk. Onder de huidig opgegeven syngasopbrengst heeft het scenario SBioD-Vgas-STEg het hoogste energetisch rendement.

#### *Materiaal : minder storten – meer materiaalrecuperatie*

De mechanisch-biologische verwerkingstechnieken (SVgis, SBioD) beogen de productie van een hoogcalorische brandstof (RDF) en herbruikbare restfracties. Ook in de andere technieken wordt materiaal voor hergebruik geproduceerd.

De ferrofractie van RO en pyro is thermisch gereinigd en heeft een iets hogere afzetprijs dan deze van SVgis en SBioD. Beide laatste moeten verder gezuiverd worden voor afzet in de staalindustrie. De non-ferro heeft de beste kwaliteit na pyrolyse. Het materiaal is thermisch gereinigd en slechts beperkt of niet geoxideerd. In RO beperkt thermisch verlies, omzetting en versmelting de recupereerbaarheid van de non-ferro. De non-ferro uit SVgis en SBioD is niet geoxideerd, doch vereist verdere afscheiding van onzuiverheden.

Alle technieken produceren een VLAREA-conforme inertfractie. Enkel voor behandeld RO-bodemass is de toepassing in de wegenbouw echter gedemonstreerd op grote schaal. De inertfracties uit mechanisch-biologische systemen kunnen zonder verdere behandeling of opmenging enkel gebruikt worden in aanvullingen en ophogingen. De conformiteit met vereisten

van het Standaardbestek 250 is niet aangetoond. Het SVgis-systeem produceert bovendien een vezelfractie die gebruikt kan worden als turfvervanger.

De hoge-temperatuursprocessen (geïntegreerde pyrolyse, vergassing) produceren een zeer inert glasgranulaat. De technische eigenschappen laten geen gebruik als bouw materiaal toe. Dit materiaal vindt momenteel enkel toepassing als straalgrit, een doorgaans eenmalige vorm van hergebruik.

De geproduceerde hoeveelheid materiaal voor recuperatie is maximaal voor SVgis-Vgas en minimaal voor RO en SBioD-WBO.

Optimalisatie van de verwerkingstechniek ten voordele van materiaalrecuperatie (SVgis), geeft aanleiding tot de productie van te storten restfracties. Indien het systeem gericht is op de productie van brandstof (zoals SBioD) is de geproduceerde hoeveelheid stortresidu minimaal. De roosteroven produceert een relatief hoge hoeveelheid te storten residu. Enkel in het SVgis-WBO-scenario ligt de hoeveelheid hoger. Voor het scenario SBioD-Vgas is de hoeveelheid te storten residu geminimaliseerd.

De te storten restfractie van SVgis omvat slibkoek en residu. De slibkoek kan mee thermisch verwerkt worden met de RDF-fractie. Hierdoor wijzigt de score voor minder storten van '-' naar '+'. Anderzijds verhoogt de hoeveelheid te verwerken RDF (en daalt zijn calorische waarde) en daardoor de milieu-impact. De relatieve score ('+') blijft echter bewaard. Het energetisch rendement van de SVgis-Vgas-STEG-route stijgt in deze benadering boven de 25%.

#### *Economie : goedkopere verwerking*

Gegevens omtrent kostenaspecten werden voornamelijk bekomen bij de systeemleveranciers en, waar nodig, aangevuld met informatie uit literatuur. Om de kwaliteit van de gegevens te optimaliseren, werden de berekeningen getoetst aan gegevens van bestaande installaties. Het is belangrijk aan te geven dat de kosten gebaseerd zijn op simulaties en niet op reële aanbestedingen.

Bij de berekening van de kostprijs werd onderscheid gemaakt tussen investeringsuitgaven en operationele kosten, gecorrigeerd voor opbrengsten. Op deze basis werd een jaarlijkse kost en een kostprijs per ton berekend. Een aantal elementen zoals heffingen, BTW, kapitaalsvergoeding, subsidies e.d. werden niet opgenomen, zodat het resultaat van de berekeningen niet als een marktprijs kan beschouwd worden.

De verwerking in de roosteroven (referentiesituatie) blijkt met een kostprijs van iets minder (bij SNCR) en iets meer dan 3.000 BEF/ton HHA (bij SCR) het goedkoopst. De geïntegreerde pyrolyse vormt het duurste scenario, de kost per ton ligt meer dan 75% hoger. Zowel de investerings- als de operationele kosten zijn hoger en de geschatte opbrengsten liggen een stuk lager.

De berekeningen voor de verschillende scenario's met SVgis en SBioD leveren resultaten op die tussen beide uitersten liggen, weliswaar duidelijk dichter bij de referentiesituatie. Als voorbehandeling is SVgis duurder dan SBioD, maar er dient wel minder RDF verwerkt te worden.

Dit vertaalt zich in de kostprijs van de totale verwerking, vooral bij Vgas-STEg. Bij WBO als eindverwerking is het verschil kleiner.

In vergelijking met RO-SNCR als referentie liggen de scenario's SVgis-WBO, SBioD-WBO en SVgis-Vgas binnen een marge van 20%, het scenario SBioD-Vgas blijkt ca. 40 % duurder. Indien RO-SCR als uitgangspunt wordt genomen, zijn deze marges respectievelijk 15% en 30%.

*Bedrijfsvoering : betere procesbeheersing – hogere flexibiliteit van in- en output*

De roosteroven is de meest gekende en betrouwbare verwerkingswijze voor huishoudelijk afval. Het systeem beschikt bovendien over een grote flexibiliteit om schommelingen in afvalsamenstelling op te vangen.

Scheiden-vergisten, Biologisch Drogen-Scheiden en Wervelbedverbranding zijn technieken die aanvankelijk ontwikkeld werden op andere afvalstoffen dan restafval van HHA. Alle werden recent ook gedemonstreerd op dit restafval (SVgis en SBioD) of RDF (WBO). De ervaring voor langdurende werking is nog beperkt. In vergelijking met de roosteroven, hebben de mechanisch-biologische voorbehandelingssystemen een relatief eenvoudige opbouw en procesvoering.

Bij SVgis worden verschillende restfracties geproduceerd. De performantie van het systeem (en zijn milieu-impact) wordt mede bepaald door de afzet die deze fracties vinden. De flexibiliteit van de SVgis-scenario's wordt dan ook beperkt door de nood aan verschillende afzetkanalen. Voor SBioD stelt deze beperking zich niet. Er wordt een enkelvoudige inertfractie geproduceerd. Het geproduceerd RDF is droog en stabiel. Dit biedt de mogelijkheid van stockage, zonder verlies van brandstofkwaliteit.

WBO, Vgas en pyro-systemen werken optimaal met voorverkleinde brandstoffen. Voor optimale werking dient het afval te worden gehomogeniseerd. De systemen zijn minder geschikt om in te spelen op veranderende brandstofkwaliteit.

In de opzet en bedrijfsvoering van systemen met mechanische voorbehandeling van het afval dient aandacht te worden besteed aan mogelijke risico's voor gezondheid van werknemers en geurhinder. Deze aspecten konden niet gekwantificeerd worden.

De flexibiliteit van Vgas wordt verder beperkt door de nood aan complementaire brandstoffen voor optimale werking. De installatie wordt bij voorkeur niet bedreven voor één monostroom. Het brandstofmengsel moet worden afgestemd op de werking van de reactor.

Geïntegreerde pyrolyse en Vergassing (in slakkenbadvergasser) zijn relatief nieuwe processen, die nog niet in continue werking op restafval van HHA werden gedemonstreerd. De productie van synthese gas leidt tot specifieke (nieuwe) proceskenmerken. Mogelijke knelpunten van deze technieken schuilen in de procesvoering van de reactoren op hogere temperatuur en de aaneenschakeling van de verschillende procesonderdelen. Verdere demonstratie van deze technieken op industriële schaal is nodig om tot een goede procesbeheersing te komen.

- *conclusie*

Verschillende verwerkingsscenario's voor restafval werden geëvalueerd en vergeleken. De roosteroven met energierecuperatie, niet-katalytische DeNO<sub>x</sub>, halfnatte rookgasreiniging, actief-koolinjectie en bodemasbehandeling werd gebruikt als referentie.

De referentie-installatie is een betrouwbaar en performant systeem, dat voldoet aan de geldende milieu-eisen en de nieuwe Europese verbrandingsrichtlijn.

Indien men op korte termijn een uitbreiding van de Vlaamse verwerkingscapaciteit wenst te realiseren, hebben de volgende scenario's een betere performantie dan de referentie-installatie:

- Roosteroven met selectief katalytische reductie van NO<sub>x</sub> (RO-SCR)
- Scheiden-vergisten gevolgd door wervelbedoven. (SVgis-WBO), mits thermische verwerking van de slibkoek
- Biologisch drogen en scheiden gevolgd door wervelbedoven (SBioD-WBO)

De verschillen op vlak van milieuperformantie tussen deze drie systemen zijn relatief klein. In de gecombineerde scenario's wordt een beperking van de directe impacts gecompenseerd door verhoogde impacts uit productie van hulp- en brandstoffen.

Het SVgis-scenario onderscheidt zich door een verhoogde hoeveelheid materiaalrecuperatie. De toepasbaarheid van de stromen dient nog te worden gedemonstreerd. Het SBioD-scenario kenmerkt zich door een optimalisatie van de (RDF-)brandstofkarakteristieken en beperking van het te storten residu.

Op vlak van energie, kostprijs en procesvoering is er geen of zeer weinig onderscheid tussen de drie hoger genoemde scenario's en het referentiescenario.

Geïntegreerde pyrolyse wordt gekenmerkt door een relatief hoge kostprijs, lage energetische opbrengst en beperkt demonstratiestadium. Deze techniek houdt daarom geen verbetering in ten opzichte van het referentiescenario.

Vergassing in combinatie met STEG is een veelbelovend scenario voor thermische verwerking van RDF. De techniek is momenteel echter nog onvoldoende technisch bewezen om vandaag reeds een betrouwbare werking te garanderen.



## EVALUATION OF MSW REST FRACTION AND NON-SPECIFIC CATEGORY II WASTE TREATMENT SCENARIOS

### *Final Report*

**K. Vrancken, R. Torfs, A. Van der Linden, P. Vercaemst, P. Geuzens**

## MANAGEMENT SUMMARY

### Introduction

In this report various treatment scenarios for the rest fraction of MSW and non-specific category-II industrial waste are discussed and compared, concerning environmental impact, energy, materials recycling, costs and operation.

The treatment scenarios involve the processing of the waste into heat and/or electricity. This treatment is performed in an integral or integrated process or by means of a combined mechanical-biological treatment and thermal valorisation of the refuse derived fuel (RDF).

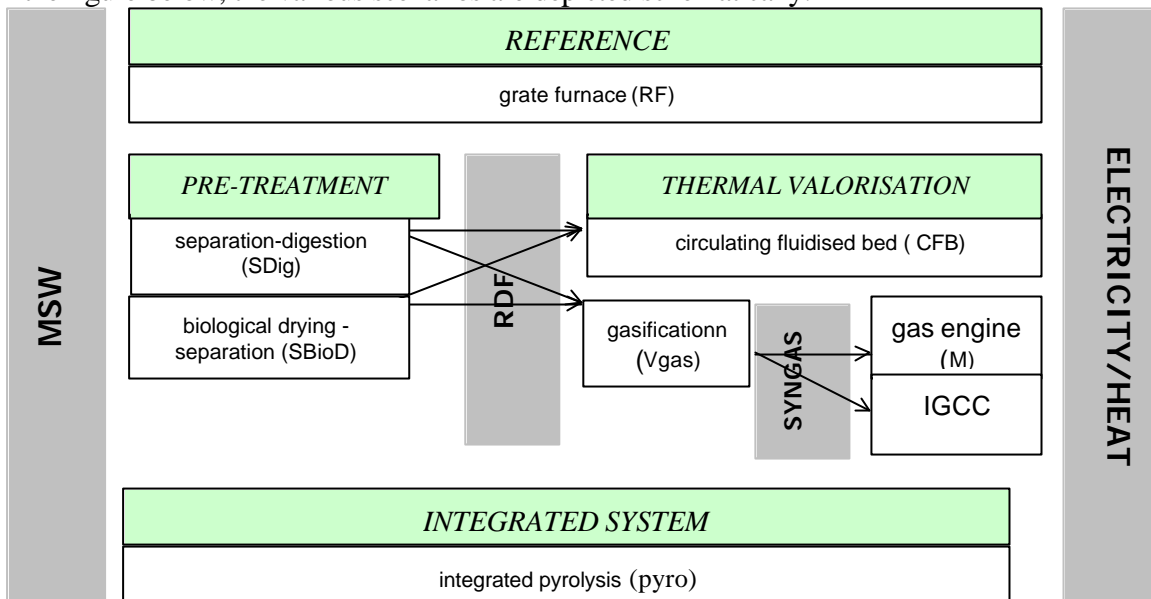
The goal of the study is to make a comparative evaluation of various treatment scenarios that can be implemented in the current Flemish waste market on short term (max. 2 years) and in conformity with the Flemish legal framework.

The study has two phases. In phase one an inventory and technical evaluation was made for waste treatment processes. The technical feasibility was evaluated for the following techniques: mechanical-biological pre-treatment, lone-standing pyrolysis, integrated pyrolysis and thermal valorisation in incineration plants, in gasifiers, in small-scale CHP boilers and in industrial processes (cement). The techniques from the inventory are discussed and their feasibility is studied in view of the above-mentioned outset. For those techniques that were not selected in phase 2, the discussion is given in Annex 1.

The steering committee made a selection based on the results of phase 1. The selected techniques are representative for the current Flemish market and may be extrapolated to a broader range of suppliers. The selected techniques are:

- Integral MSW treatment in a grate incinerator, as a reference scenario (GF)
- Separation and digestion of the MSW (SDig)
- Biological drying and separation of the MSW (SBioD)
- Incineration of the produced RDF in an external circulating fluidised bed (CFB)
- Gasification of the produced RDF in a slagging gasifier (Vgas)
- Thermal valorisation of the syngas in a gas engine (M)
- Thermal valorisation of the syngas in an IGCC (IGCC)
- Integrated pyrolysis of the MSW (pyro)

In the figure below, the various scenarios are depicted schematically:



In the reference scenario the waste is processed integrally in a grate furnace with energy recovery, flue gas cleaning and bottom ash treatment. Two types of DeNO<sub>x</sub>-installation are considered, since both are in use in Flanders.

In the separation-digestion process, digestion is performed on a rest fraction, after separation of material (ferrous, non-ferrous and RDF) with a grading >40mm. The RDF is a wet pre-sorted mix with 1/3 plastics, 1/3 paper, wood and textiles and 1/3 others. Ferrous and non-ferrous fractions find recycling routes.

In the digestion process, all anaerobic compostable organic matter is turned into biogas. The digestate is screened and washed, yielding inerts, sand, fibres and various residues. The end fraction is allowed to settle and processed in a belt-press to give a sludge cake.

Biological drying and separation aims at a maximal production of high-calorific fuel. The waste is processed in closed composting boxes, after size reduction and separation of the coarse ferrous fraction. The presence of organic matter and controlled aeration of the material effectuate a biological drying of the waste. After drying, a physico-mechanical separation yields fine ferrous fraction, non-ferrous, inert and the RDF.

Thermal valorisation of the RDF can be performed in a fluidised bed reactor. The material is incinerated in a turbulent sand bed. An external circulating fluidised bed boiler is the optimal type of fluidised bed for the processing of RDF from municipal solid waste, because of its high flexibility and aptitude to process fuels with high calorific value. In this type of reactor, the bed material is recirculated through an external cyclone.

The RDF may also be gasified. Through gasification, carbon-containing fuels are processed under oxygen-lean conditions into syngas. The slagging gasifier was chosen as representing system, because this reactor has been optimised to treat municipal solid waste.

The produced syngas is processed into electricity and heat through a gas engine or an IGCC.

## **Lay-out**

After the general discussion of the methodology (Chapter 1), the process description for the selected waste treatment techniques is given in Chapter 2. In the mass and energy balances the input of utilities and output of the various reactions are given, together with the in- and output of energy carriers. In chapter 3 the techniques are combined into scenarios. The different scenarios are compared and evaluated. The themes environment and energy, materials recovery, costs and operation are discussed subsequently. There is no specific weighing system to make a further system ranking. Chapter 4 gives the conclusion.

In the course of the study some additional documents have been made. These are given in the annexes: Annex 1: technical description of waste treatment systems; Annex 2: results of the analysis; Annex 3: The Eco-indicator method; Annex 4: environmental impact of transport; Annex 5: Dioxins.

The evaluation was based on data from system suppliers and from literature. Own calculations and practical check-up controlled the data. For set-up of the M&E-balance a defined waste composition was used. This waste has a heat of combustion of 8.53MJ/kg, a DS-content of 67.4% and an ash content of 26.9%DS. The systems were dimensioned to treat 150.000 ton/y of this waste. For evaluation of the different criteria the impacts were calculated per ton of waste input.

## **Conclusions**

The various scenarios have been studied thoroughly. Each of the 5 aspects has been split up in subcriteria. In the performance of each of the scenarios is compared to the grate furnace with SNCR (score 0). The targeted evolution is given in the second column (e.g. 'less environmental impact'). The scenarios are evaluated against this target: score '+' is the target is reached; score '-' if it is not reached. The various criteria are discussed below.

Table 1 : evaluation of waste treatment scenario's, score against reference GF-SNCR, '+' = better than GF-SNCR for the indicated criterion, '-' = worse than GF SNCR for the indicated criterion.

		GF SNCR	GF SCR	SDig-CFB	SBioD-CFB	SDig-Vgas	SBioD-Vgas	Pyro
<b>Environment</b>	less environmental impact direct + auxiliaries	0	+	+	0	-	-	0
	less environmental impact incl. displaced emissions	0	+	+	0	+	+	-
<b>Energy</b>	more recuperation of energy	0	0	0	0	+	+	-
<b>Materials</b>	less dsiposal	0	0	-	+	+	+	+
	more materials recovery	0	0	+	0	+	+	+
<b>Economy</b>	cheaper	0	0	0	0	0	-	-
<b>Process</b>	better process control	0	0	0	0	-	-	-
	higher flexibility	0	0	0	0/+	-	-	0

- *Environmental impact: less environmental impact*

The environmental impact was evaluated using the Eco-indicator 99-method. The impact is defined using 3 categories: damage to human health, disturbance of the ecosystem and exhaustion of natural goods. An overall evaluation of the environmental impact is difficult because various parameters are of importance. The given scores are based on direct emissions and emissions caused by the use of raw and auxiliary materials on the one hand, on the other hand the scores including displaced emissions are given.

The impact (per ton MSW input) is largely dependent on the amount of material for incineration. In the GF- and pyro-scenario, the full waste stream is thermally treated. In the other scenarios only a part of the full stream (the RDF) is incinerated, after a separation step. The SBioD system is designed for maximal RDF production, with formation of a stable end product. In SDig the amount of material for recovery is maximised. This is reflected in higher direct and auxiliary related emissions in the scenarios with SBioD, GF and pyro. For direct and auxiliary-related emissions, the SDig-CFB and GF-SCR-scenario have a lower environmental impact than the other scenarios.

The SDig rest fractions (sand, inerts, fibres, residue...) contain rest carbon. If we presume that all this carbon is turned into methane eventually, the SDig scenarios have a much larger impact in the category of greenhouse-related health effects compared to the other scenarios. The score in Table 1 would turn into '0' or '-'. In the basic analysis we presume that all carbon remains bound. In reality a partial (but not predictable) conversion into CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> will occur.

With SNCR the European limit for NO<sub>x</sub>-emission can be reached. Nevertheless, a further reduction of the NO<sub>x</sub>-emission has a clear effect on the environmental impact of the grate furnace. The impact of GF-SCR is comparable to that of the other scenarios (using SNCR). The latter have a lower emission per ton of waste input because of a lower flue gas volume or a different type of incineration.

SDig produces biogas that can be processed into electricity through combustion. Thus the plant has its own energy supply. SBioD needs to buy electricity from the net. Vgas and pyro need to buy fuels and oxygen. The latter are produced in an external energy-consuming process. Both external electricity productions cause a higher environmental impact. The score of these scenarios can be optimised compared to the GF if own electricity is used. The energy for SBioD can be taken from a coupled CFB.

On basis of the produced energy, the displaced emissions (and thus effect on the environment) in other places can be calculated. If the displaced emissions are accounted for, the environmental performance of the gasification scenarios with combustion of the gas in an IGCC (Vgas-IGCC) increases. For Vgas-M the effect is less. The score of SDig-Vgas-IGCC changes to '+'. For SBioD-Vgas-IGCC, the score is '+' if displaced emissions from a fossil sources is accounted for. If displaced emissions are based on IGCC, the score is '0'. The relative score of the integrated pyrolysis goes down, because of its low energetic efficiency.

- *Energy: higher energetic efficiency*

The energetic efficiency of the scenarios is evaluated as a second criterion. The gasification reaches a clearly higher energy-gain than the other techniques. This results in a higher net efficiency for the scenarios with gasification, combined with a gas turbine (ca. 25%). The other combined scenarios have a comparable energetic efficiency of about 20%. The integrated pyrolysis has a low efficiency of 7%. The optimal combination of techniques concerning the energetic efficiency is dependent on the real-life syngasproduction. Based on the currently given syngasproduction, SBioD-Vgas-IGCC has got the highest efficiency.

- *Materials: less disposal - more recovery*

The mechanical-biological treatment systems (SDig, SBioD) aim at producing a high calorific fuel (RDF) and materials for re-use. Also in the other techniques material for re-use is produced.

The ferrous material from GF and pyro is thermally cleaned and has a higher selling price than the one from SDig and SBioD. The latter have to be processed further before application in the steel industry. The non-ferrous material has optimal quality after pyrolysis. The material is thermally cleaned and only slightly or not oxidised. In GF thermal loss, conversion and melting hampers the recovery quality of the non-ferrous material. The non-ferrous fraction from SDig and SBioD is not oxidised, but needs further separation of impurities.

All techniques produce an inert fraction that complies with the Flemish regulation on secondary materials (VLAREA). Practical large-scale application in road construction is only demonstrated for treated GF-bottom ash. The inert fractions of mechanical-biological systems can be used without further treatment only as filler material. Conformity with the criteria of the Standaardbestek 250 (for public works) is not demonstrated. The SDig-system produces a fibre fraction, which can be used as peat substitute.

The high-temperature processes (integrated pyrolysis, gasification) produce a very inert glassy material. The technical properties do not allow re-use as a construction material. The material only finds application as blasting sand, a one-way application.

The amount of recovery material is maximal for SDig-Vgas and minimal for GF and SBioD-CFB.

Optimisation of the treatment towards material recovery (SDig) causes the formation of residues for disposal. If the system aims at fuel production (SBioD) the amount of residue for disposal is minimal. The grate furnace produces a relatively high amount of residue for disposal. Only for the SDig-CFB-scenario, the amount is higher. The residue for disposal is minimal for the SBioD-Vgas scenario.

The residue for disposal from SDig contains sludge cake and residue. The sludge cake can be thermally treated, mixed with the RDF. This results in a change of score for less disposal from '-' to '+'. On the other hand, the amount RDF for incineration increases, while its calorific value decreases. This results in a higher environmental impact. The relative score ('+') however remains unchanged. The energetic efficiency of the SDig-Vgas-IGCC-route reaches a value greater than 25%.

- *Economy: cheaper treatment*

Data concerning costs were collected mainly from the system suppliers and were completed with literature data. For optimal data quality, the calculated values were checked against data from existing facilities. It should be noted, however, that cost data are based on simulations and not on real tenders.

A distinction was made between investment costs and operating costs, corrected for revenues. On this basis a yearly cost and a cost per ton was calculated. Some additional elements like taxes, TVA, capital costs, government support etc. were not considered. The results should therefore not be regarded as a market price.

Treatment in a grate furnace (reference situation) appears to be the cheapest, having a cost of somewhat less (for SNCR) and somewhat more (for SCR) than 75 Euro/ton MSW input. Integrated pyrolysis is the most expensive scenario. The cost is more than 75% higher. Both investment and operating costs are higher and the expected revenues are smaller.

Calculations for the scenarios with SDig and SBioD give results in between both extremes, albeit closer to the reference. For pre-treatment, SDig is more expensive than SBioD, but a smaller amount of RDF needs to be processed. This is reflected in the full cost of the entire treatment, mainly for Vgas-IGCC. If CFB is used as thermal treatment, the difference is smaller.

Compared to GF-SNCR, the scenarios SDig-CFB, SBioD-CFB and SDig-Vgas are within a range of 20%. The SBioD-Vgas is ca.40% more expensive. If GF-SCR is taken as a reference the ranges are resp. 15% and 30%.

- *Operation : better process control and higher flexibility of input and output.*

The grate furnace is the most well known and reliable treatment system for municipal solid waste. The system has a high flexibility to handle changes in waste composition.

SDig, SBioD and CFB are techniques that have been initially developed for other waste types than MSW grey waste. All of them have been demonstrated recently to work on this grey waste (SDig, SBioD) or RDF (CFB) as well. The experience with long-term operation is still small. As compared to the grate furnace, mechanical-biological pre-treatment systems have a relatively simple process build-up and operation.

For SDig various rest fractions are produced. The performance of this system (and its environmental impact) is dependent on the application found for these flows. The flexibility of the SDig system is limited by the need for these application routes. This limit does not apply for the SBioD system. There is only a single inert fraction. The RDF is dry and stable. This gives the opportunity for stocking, without a loss of fuel quality.

CFB; Vgas and pyro systems have optimal operation with fuels that have been size- reduced. Additionally, the material needs to be homogenised. These systems are less appropriate to respond to changes in fuel quality.

In setting up and operation of systems with mechanical pre-treatment, potential risks for workers health and risks of odour must be addressed. These aspects could not be quantified.

The flexibility of the Vgas is further hampered by the need of complementary fuels for optimal operation. The installation should not be operated with a single monostream. The fuel mix needs to be adapted to allow the proper operation of the reactor.

Integrated pyrolysis and gasification (in slagging gasifier) are relatively new processes that have not been demonstrated in continuous operation on MSW rest fraction. The production of synthesis gas leads to specific new process properties. The operation of reactors at elevated temperature and the coupling of the various process compounds cause possible problems with these techniques. A further demonstration of these techniques on industrial scale is needed in order to allow a full and good process control.

▪ *General conclusion*

Treatment scenarios for grey waste were studied and compared. Grate incineration with energy recuperation, non-catalytic DeNOx, semi-wet flue gas cleaning, activated carbon injection and bottom ash treatment served as a reference scenario.

The reference system is a reliable and high-performance system that complies with the current environmental legislation and the new European incineration directive.

For expansion of the Flemish waste treatment capacity on the short term, the following scenarios prove to have a better performance than the reference:

- Grate incineration with selective catalytic reduction of NOx
- Separation and digestion followed by circulating fluidised bed incineration of RDF, including the sludge cake
- Biological drying and separation followed by circulating fluidised bed incineration of RDF

The differences in environmental performance between the above-mentioned systems are relatively small. In the combined scenarios, a reduction of the direct impacts is compensated by higher impacts from production of auxiliary materials and fuels.

The SDig-scenario is characterised by a higher degree of material recovery. The practical application of the produced flows needs to be demonstrated. The SBioD-scenario is characterised by optimised (RDF) fuel characteristics and a maximal reduction of disposal of residues.

Concerning energy, costs and process operation there are no great differences between the 3 above-mentioned scenarios and the reference.

Integrated pyrolysis is characterised by a relatively high cost, low energetic efficiency and a limited demonstration. This technique holds no amelioration compared to the reference.

Gasification in combination with IGCC is a promising scenario for thermal treatment of RDF. Today, this technique is insufficiently demonstrated to guarantee a reliable operation.

