

Methode voor de bepaling van de prijs voor korteomloophout uit fyto-remediatie

drs. Tom Kuppens, prof. dr. Theo Thewys

Universiteit Hasselt, Centrum voor Milieukunde, onderzoeksgroep Milieu-economie

1 Inleiding

De landbouwgronden in de Kempen werden tussen het einde van de 19^{de} eeuw en het midden van de jaren 70 van de 20^{ste} eeuw door de aanwezigheid van de metaalverwerkende industrie matig vervuild met zware metalen. Deze matige vervuiling van de landbouwgronden brengt heel wat risico's met zich mee voor de landbouwers. Het Federale Voedselagentschap verbood in het verleden reeds de verkoop van bepaalde producten (o.a. schorseneren, runderen). Een duurzaam bodembeheer via fyto-remediatie (= bodemsanering met planten) dringt zich daarom op. In deze paper wordt gekozen voor korteomloophout als fyto-remediërend gewas, omdat het in vergelijking met andere gewassen een hoog extractiepotentieel heeft voor zware metalen. Doordat de traditionele inkomstgenererende gewassen (vb. voedermaïs voor melkvee) vervangen worden door metaalaccumulerende planten tijdens fyto-remediatie, lijdt de landbouwer een aanzienlijk inkomensverlies. Om dit te compenseren, worden er technieken gezocht die het korteomloophout kunnen omzetten in economisch waardevolle producten zoals energie of hoogwaardige chemicaliën.

De mate waarin het inkomensverlies gecompenseerd wordt, hangt af van de hoeveelheid korteomloophout die de landbouwer verkoopt en de prijs waartegen hij het verkocht krijgt. Deze prijs en hoeveelheid worden bepaald door het samenspel van vraag en aanbod. Het aanbod wordt onder andere bepaald door het landbouwareaal dat vervuild is met zware metalen, door het aantal landbouwers dat bereid is om over te schakelen op de teelt van korteomloophout en door de productiekosten voor de teelt van korteomloophout. De vraag wordt onder andere bepaald door de prijs die investeerders bereid zijn te betalen om korteomloophout uit fyto-remediatie te gebruiken als grondstof in hun productieproces.

Deze paper focust op de ontwikkeling van een methodologie om deze maximumprijs die de investeerders bereid zijn te betalen voor korteomloophout te bepalen. Bij wijze van voorbeeld wordt deze methode ontwikkeld en toegepast op drie thermische conversietechnieken (verbranding, vergassing en pyrolyse) voor de omzetting van korteomloophout in elektriciteit. De methode is gebaseerd op een economisch kosten-batenmodel dat de netto contante waarde berekent van de kasstromen gegenereerd door een investering in verbranding, vergassing of pyrolyse van korteomloophout. De prijs die een investeerder maximaal bereid is te betalen voor een bepaalde hoeveelheid korteomloophout wordt gedefinieerd als de prijs waarvoor geldt dat de kans op een positieve netto contante waarde van de kasstromen minstens 95 % is. Daarvoor

worden er een aantal onzekerheden geïdentificeerd in het economisch model en wordt via Monte-Carlo-simulaties onderzocht wat de impact is van deze onzekerheden op de hoogte van de netto contante waarde van de kasstromen. De meest geschikte (rendabele) conversietechniek is dan deze met de hoogste netto contante waarde, of m.a.w. deze met de hoogste maximumprijs.

Uit de resultaten blijkt dat pyrolyse voor kleine hoeveelheden korteomloophout de meest geschikte conversietechniek is, terwijl voor grotere hoeveelheden de voorkeur uitgaat naar vergassing.

2 Methodologie en assumpties

Eerst wordt er voor elk van de drie thermische conversietechnieken een economisch kosten-batenmodel ontwikkeld. Vervolgens worden de meest onzekere variabelen in het model geïdentificeerd, om tot slot de maximumprijs te berekenen die een mogelijke investeerder zou kunnen betalen onder de voorwaarde dat de kans op een positieve netto contante waarde gegenereerd door de kasstromen minstens 95 % is.

2.1 Economisch kosten-batenmodel

Het economisch kosten-batenmodel berekent met behulp van Excel de **netto contante waarde** van de **kasstromen** die gegenereerd worden door een investering in verbranding, vergassing of pyrolyse van korteomloophout voor de productie van elektriciteit. De gehanteerde discontovoet is vastgelegd op 9 %, onafhankelijk van de financieringsstructuur van de investering/onderneming. Het huidige model bevat enkel **private kosten en baten** die het gevolg zijn van een investering in hernieuwbare energie uit korteomloophout, omdat het de bedoeling is van deze paper de maximumprijs te berekenen die een privé-investeerder zou kunnen betalen voor korteomloophout. We willen immers eerst nagaan of en onder welke voorwaarden er in de huidige omstandigheden een markt kan bestaan voor korteomloophout uit fyto-remediatie, dus zonder subsidies van de overheid ter aanmoediging van fyto-remediatie.

Later zal dit kosten-batenmodel aangevuld worden met de milieukosten en –baten die fyto-remediatie en de opwekking van hernieuwbare energie uit fyto-remedierende gewassen met zich meebrengen. Deze kunnen immers doorslaggevend zijn voor de keuze van een bepaalde technologie voor de omzetting van deze gewassen in economisch waardevolle producten vanuit maatschappelijk oogpunt. De keuze kan verschillen wanneer het probleem vanuit milieueconomisch standpunt dan wel vanuit de private kosten en baten wordt benaderd.

In dit onderzoek beperken we ons bij wijze van voorbeeld tot de productie van één en hetzelfde economisch waardevol goed, namelijk groene elektriciteit, via verbranding, vergassing of pyrolyse van het korteomloophout. Dit model kan later uitgebreid worden met andere conversietechnieken waarvan verwacht wordt dat ze kostenvoordelen hebben, zoals bijvoorbeeld co-verbranding,

mobile pyrolyse of co-pyrolyse. Het model kan echter ook uitgebreid worden naar de productie van andere goederen, zoals de gelijktijdige productie van groene elektriciteit en dito warmte via warmtekrachtkoppeling, of de productie van hoogwaardige chemicaliën (zoals liquid smoke, crotonzuur, levoglucosan, enzovoort). Het einddoel is na te gaan welke afzetmogelijkheden van korteomloophout economisch het meest rendabel zijn.

Om te berekenen welke afzetmogelijkheden rendabel zijn, moet men eerst weten welke afzetmogelijkheden er bestaan. De inventarisatie van de diverse afzetmogelijkheden is gebaseerd op een literatuurstudie van zowel de economische als technologische vakliteratuur. Het betreft dus een multidisciplinair onderzoek waarbij een inzicht in onder andere biologie, chemie, milieueconomie en recht een belangrijke rol spelen (niet toevallig de pijlers van het Centrum voor Milieukunde).

Vervolgens worden de kasstromen gesimuleerd die gedurende de levensduur (20 jaar voor elk van de drie technieken) van de investering tot stand zullen komen. Er moet met andere woorden een schatting gemaakt worden van inkomsten, uitgaven en de initiële investeringsuitgave. Deze schattingen zijn op de eerste plaats gebaseerd op aannames uit een vergelijkend literatuuronderzoek, waar mogelijk geverifieerd door praktijkvoorbeelden en contacten met experts (dit laatste heeft zeker al plaatsgevonden in het geval van pyrolyse).

De oefening die in deze paper gemaakt wordt is gerelateerd aan het fyto-remediatieprobleem in Balen, Lommel en Overpelt, waar in het verleden telkens één zinkfabriek gelokaliseerd was. De zinkfabriek in Lommel is intussen gesloten. De zinkfabriek in Balen (huidige Nyrstar, die niet meer vervuילend is) ligt op de grens met de stad Lommel. Aangezien de wind in deze regio overwegend uit het zuidwesten komt, zijn vooral Lommel en Overpelt getroffen door de vervuiling met zware metalen. Het aantal landbouwbedrijven in deze regio ligt naar verwachting tussen de 150 en de 200 (Streekplatform Noord-Limburg, 2000). Eén landbouwbedrijf heeft een gemiddelde oppervlakte van 36 ha, wat betekent dat er in Lommel en Overpelt maximaal 7 200 ha of 72 km² beschikbaar zal zijn voor energieteelten. Korteomloophout heeft doorgaans een biomassaopbrengst van 10 ton droge stof per hectare, maar uit experimenten op het proefterrein gelegen op de Balendijk te Lommel, blijkt dat de biomassaopbrengst voor korteomloophout op zanderige, met zware metalen vervuilde bodems slechts 8 ton droge stof per hectare per jaar bedraagt. Indien alle landbouwers zouden overschakelen op de teelt van korteomloophout, is er dus maximaal 57 600 ton droge stof per jaar beschikbaar in Lommel en Overpelt. Omdat er in Vlaanderen nagenoeg geen ervaring is met de teelt van korteomloophout, wordt er verwacht dat er slechts weinig landbouwers bereid zijn om over te schakelen op de teelt van korteomloophout. De maximumprijzen zijn daarom berekend voor een interval van 0 tot 57 600 ton droge stof beschikbare biomassa.

2.1.1 Initiële investeringsuitgave

Voor verbranding en vergassing werd de initiële investeringsuitgave berekend aan de hand van formules gevonden in Caputo et al. (2005). De totale investeringskost is er uitgedrukt in functie van het elektrisch vermogen en uitgesplitst voor elk onderdeel van de verbrandings-, respectievelijk vergassingsinstallatie. De investeringsuitgave voor de verbrandings- en vergassingsreactor, de motor en de boilers voor de elektriciteitsopwekking, de opslag en voorbehandeling van de biomassa en de rookgasbehandeling worden er gedetailleerd weergegeven. Deze uitrustingskost wordt opgehoogd met een percentage van in totaal 87 % om o.a. de kosten voor terreinvoorbereiding, ontwikkeling en opstart te dekken. Tot slot vindt men er ook kostenfuncties terug voor de elektrische bedrading, de leidingen en de bouwkundige werken. Samen vormen deze de totale kapitaalsinvestering of initiële investeringsuitgave, waarvan de exacte formules terug te vinden zijn in Caputo et al. (2005). Andere formules voor de schatting van de investeringsuitgave voor verbranding en vergassing vinden we terug in Bridgwater et al. (2002). Deze zijn niet opgesplitst in alle deelcomponenten, maar betreffen een algemene formule waarbij de hoogte van de investering afhangt van de energie-inhoud van de voorbehandelde biomassa (voor verbranding) of de inputstroom aan biomassa (voor de vergasser). Omdat de formules van Caputo zelf gebaseerd zijn op Bridgwater en recenter zijn, verkozen we in deze studie de formules van Caputo te hanteren.

De investeringsuitgave voor het pyrolysesysteem is een gemiddelde van drie schattingen (Kuppens et al., 2009). Zowel Bridgwater et al. (2002), Brammer (2005) als Siemons (2002) ontwikkelden formules voor de inschatting van de investeringsuitgave voor een pyrolyse reactor, gebaseerd op een regressie van een beperkt aantal datapunten en niet opgesplitst in de diverse deelcomponenten zoals bij Caputo et al. (2005) voor verbranding en vergassing. De drie formules leveren telkens andere schattingen op, vermoedelijk omdat het voor een nog niet-commerciële technologie als pyrolyse moeilijker is om de exacte kosten in te schatten. Daarom voerden we ook zelf een verkennende regressieanalyse uit op dertien datapunten gevonden in (vooral meer recente) literatuur (Venderbosch et al. 2006; Islam en Ani, 2000; Siemons, 2005; Van de Velden et al., 2006; Van de Velden en Baeyens, 2008; Ringer et al. 2006). Gezien de stand van de technologie zijn er erg weinig datapunten beschikbaar, maar de hoogste R^2 (0,957) werd bereikt via een lineaire regressie met de investeringsuitgave als afhankelijke variabele en de inputstroom aan hout in ton droge stof per uur als onafhankelijke variabele (Kuppens et al., 2009). Voor de berekening van het gemiddelde wordt de schatting op basis van Siemons (2002) buiten beschouwing gelaten, omdat deze eerder liquefactie dan wel pyrolyse betreffen. Gezien pyrolyse hoofdzakelijk resulteert in de productie van bio-olie, moet er nog geïnvesteerd worden in een interne (dual fuel) verbrandingsmotor die de bio-olie omzet in elektriciteit. Deze investeringsuitgave is eveneens een functie van het vermogen, waarvan de kostenfunctie kan teruggevonden worden in Bridgwater et al. (2002).

Gezien (delen van) bovenstaande investeringsschattingen afhangen van het elektrisch vermogen van het systeem, moet men eerst dat vermogen kunnen berekenen en het elektrisch rendement

kennen. Het elektrisch rendement stijgt naarmate de schaalgrootte van de installatie stijgt. In het economisch model zijn daarom formules (gebaseerd op Caputo et al., 2005 en Bridgwater et al., 2002) opgenomen die rekening houden met deze relatie tussen schaalgrootte en elektrisch rendement.

2.1.2 Operationele uitgaven

De operationele uitgaven bestaan uit vaste en variabele uitgaven. De vaste uitgaven betreffen uitgaven voor onderhoud, verzekering en overhead en worden gewoonlijk uitgedrukt als een percentage (7 %, zie Islam en Ani, 2000) van de initiële investeringsuitgave. De variabele uitgaven betreffen de uitgaven voor:

- de aankoop van de biomassa aan 40 EUR/ton droge stof (Bridgwater et al., 2002);
- het transport van de biomassa aan 12,42 EUR/ton droge stof (Kuppens et al., 2009);
- de voorbehandeling van de biomassa, zijnde 10 EUR/ton droge stof voor het drogen bij verbranding, vergassing en pyrolyse en bijkomstig 10 EUR/ton droge stof voor het verkleinen bij pyrolyse alleen (Bridgwater et al., 2002);
- de arbeidskost, waarbij het aantal arbeiders per shift afhangt van de grootte van de reactor (Bridgwater et al., 2002), er drie shiften verondersteld worden (Thewys en Kuppens, 2008) en de jaarlijkse uitgave per arbeider werd vastgelegd op 52.000 EUR (Waterbley, A., 2005);
- het verwerken van de bijproducten, zijnde assen bij verbranding en vergassing of een koolrest (*char*) bij pyrolyse, aan 114 EUR/ton (= tarief inclusief heffing voor storten op een stortplaats van categorie II voor niet-gevaarlijke bedrijfsafvalstoffen);
- het verbruik van hulpstoffen zoals dolomiet dat bij vergassing gebruikt wordt om het teer aanwezig in de productgassen te kraken;
- energie- en waterverbruik.

2.1.3 Inkomsten

Inkomsten worden enkel gegenereerd uit het innen van subsidies en de verkoop van de geproduceerde elektriciteit. Er wordt zowel rekening gehouden met (eenmalige) investeringsubsidies (zoals de investeringsaftrek en de ecologiepremie), als exploitatiesubsidies (i.c. groenestroomcertificaten). De investeringsaftrek voor milieuvriendelijke investeringen bedraagt voor bedrijven 15,5 % (aanslagjaar 2010, zie FOD Financien, 2009). De ecologiepremie is gebaseerd op een callsysteem en bedraagt 40 % op de meerkost voor KMO's die investeren in thermische conversie van biomassa. De meerkost is het percentage van de investering dat in aanmerking komt voor de steunberekening en werd door de overheid vastgelegd op 50 %. Een KMO krijgt dus een ecologiepremie van 10 % op de initiële investeringsuitgave. Voor de ecologiepremie is er een maximumgrens bepaald van 1 750 000 EUR. Naast deze eenmalige subsidies int de investeerder jaarlijks ook de opbrengsten uit de verkoop van elektriciteit aan het

net aan 50 EUR/MWh (waarde gekozen op basis van Siemons, 2005; Coenen et al., 2007; Biezma et al., 2006) en uit de verkoop van groenestroomcertificaten aan 110 EUR/MWh (VREG, 2009).

2.2 Identificatie van onzekere variabelen

De netto contante waarde van de kasstromen die door het economisch kosten-batenmodel wordt berekend is erg onzeker. Enerzijds zijn er heel wat variabelen waarvan de waarde per definitie fluctueert. Dat is bijvoorbeeld het geval voor de prijs van de groenestroomcertificaten, die door de vragers en aanbieders op de markt van groenestroomcertificaten wordt bepaald. Anderzijds zijn er enkele variabelen waarvan men vrij zeker is, maar die een zodanig groot aandeel hebben in de totale uitgaven of inkomsten dat een kleine verandering een grote impact kan hebben op de netto contante waarde. Bij de berekening van de maximumprijzen, houden we daarom rekening met deze onzekerheden door ze eerst te identificeren, en vervolgens te laten variëren binnen een bepaald vooropgesteld interval.

De volgende tabel geeft voor elk van de drie conversietechnieken weer wat het aandeel is van de respectievelijke uitgaven en inkomsten ten opzichte van de totale verdisconteerde inkomsten. De respectievelijke aandelen werden als volgt berekend. Eerst wordt voor alle uitgaven- en inkomstenposten het totaalbedrag over 20 jaar berekend, verdisconteerd aan een discontovoet van 9 %. Vervolgens wordt elk totaalbedrag, dus zowel van de inkomsten als van de uitgaven, uitgedrukt als een percentage van de totaal verdisconteerde inkomsten. Dit vergemakkelijkt de vergelijkbaarheid van de hoogte van de diverse inkomsten- en uitgavenposten. De cijfers in de volgende tabel zijn berekend in de veronderstelling dat er 5 760 ton droge stof korteomloophout vrijkomt per jaar, wat overeenkomt met 20 landbouwers die volledig overschakelen op of met 200 landbouwers die 10 % van hun landbouwareaal reserveren voor de teelt van korteomloophout en dat de landbouwers 40 EUR/ton droge stof hout ontvangen. Ter informatie: dit komt overeen met een elektrisch vermogen van respectievelijk 0,59; 0,99 en 0,88 MWe voor de verbrandings-, vergassings- of pyrolyseinstallatie van korteomloophout.

Tabel 1: Aandeel van de totale verdisconteerde uitgaven en inkomsten t.o.v. de totale inkomsten, bij een schaalgrootte van 20 landbouwers (100 %) en een biomassaprijs van 40 EUR/tds.

Kasstroomtype	Verbranding	Vergassing	Pyrolyse
Investeringsuitgave	79	59	39
Vaste uitgaven	50	38	25
Variabele uitgaven	67	56	92
Aankoop biomassa	24	15	22
Transport biomassa	8	5	7
Voorbehandeling	6	4	11
Arbeid	24	21	20
Bijproducten	1	1	12
Energieconsumptie	-	1	6
Hulpstoffen	4	8	14
Totale uitgaven	196	153	155
Investeringsubsidies	20	15	10
Groenestroomcertificaten	55	59	62
Verkoop elektriciteit	25	27	28
Totale inkomsten	100	100	100

Het valt meteen op dat deze schaalgrootte van 20 landbouwers bij een prijs van 40 EUR/tds voor korteomloophout voor geen enkele conversietechniek voldoende groot is om korteomloophout op rendabele wijze om te zetten in elektriciteit. Bovendien is het bestaan van de groenestroomcertificaten uiterst noodzakelijk voor de rendabiliteit van elektriciteitsproductie uit korteomloophout. **De prijs voor de groenestroomcertificaten is daarom één van de variabelen die als 'onzeker' wordt beschouwd. Andere belangrijke variabelen die als 'onzeker' worden beschouwd zijn de verkoopprijs van elektriciteit, de jaarlijkse uitgave ter vergoeding van één arbeider, de prijs voor de verwerking van de bijproducten (gezien het aandeel van deze uitgave bij pyrolyse) en de transportkost voor één ton biomassa.** De aankoopprijs van de biomassa is ook uiterst onzeker, maar het is net de bedoeling de maximale aankoopprijs te berekenen, waardoor deze variabele als 'beslissingsvariabele' wordt aangeduid in paragraaf 2.3. Aan de uitgavenzijde blijkt de investeringshoogte cruciaal, maar deze is een functie van heel wat andere variabelen, waardoor het technisch onmogelijk is de hoogte van de investering mee op te nemen in de onzekerheidsanalyse. We komen op de onzekerheid over de investeringshoogte terug in het besluit.

2.3 Berekening van de maximumprijzen via Monte-Carlo-simulaties

Waarom is het geen voldoende voorwaarde om bij de berekening van de maximumprijs voor korteomloophout de netto contante waarde van de kasstromen louter gelijk te stellen aan nul? Er zijn nu vijf onzekere variabelen geïdentificeerd. Bij de berekening van de maximumprijzen is het belangrijk rekening te houden met deze onzekerheden. Een investering is zinvol als de netto contante waarde minstens nul of dus positief is, maar wanneer er onzekerheden in het spel zijn, is men nooit 100 % zeker over de hoogte van de netto contante waarde van de kasstromen. Bedrijven zullen slechts investeren in een project als de kans dat het een rendabel project is, voldoende hoog is. In deze gevalstudie veronderstellen we dat bedrijven zullen investeren indien de kans op een rendabel project 95 % of meer is.

Met behulp van Monte-Carlo-simulaties in Crystal Ball, wordt met de functie "OptQuest" de optimale aankoopprijs voor korteomloophout (of dus de hierboven gestelde maximumprijs) bepaald. Als doelstelling (*objective*) eisen we dat er 95 % zekerheid (*certainty*) is voor een netto contante waarde van de kasstromen tussen nul en oneindig. Na 1 000 simulaties van telkens 10 000 trekkingen vinden we de overeenkomstige maximumprijs. Daarvoor moet er voor elke onzekere variabele een interval en kansdichtheid worden gekozen. Voor elk van de vijf gekozen variabelen wordt een interval gekozen waarbij de minimale waarde 10 % lager en de maximale waarde 10 % hoger ligt dan de meest waarschijnlijke waarde op basis van de literatuur. Voor bijvoorbeeld de hoogte van de gemiddelde maandprijs voor groenestroomcertificaten tussen 2004 en 2009, is dit interval ruim voldoende. Omdat er in de literatuur meestal geen verdelingen terug te vinden zijn voor de intervallen van bijvoorbeeld de transportkost van de biomassa, veronderstellen we eenvoudigheidshalve dat elke onzekere variabele een driehoekige verdeling kent. Tijdens één simulatie trekt Crystal Ball vervolgens voor elke onzekere variabele een waarde binnen het opgegeven interval, rekening houdend met de driehoekige kansverdeling, en berekent de overeenkomstige netto contante waarde. Dit proces wordt 10 000 keer herhaald, waardoor er een verdeling van netto contante waardes ontstaat. Indien blijkt dat de kans op een netto contante waarde verschilt van 95 %, kiest Crystal Ball tijdens de tweede simulatie een nieuwe waarde voor de aankoopprijs van het korteomloophout (eveneens binnen een vooraf gedefinieerd interval). Na 1 000 van dergelijke simulaties is men zeker dat er – onder de voorgaande assumpties - een correcte maximumprijs voor het korteomloophout werd gevonden door de software. Vaak bleef de maximumprijs zelfs ongewijzigd vanaf een honderdtal simulaties.

3 Resultaten

De resultaten van bovenstaande berekeningen staan in onderstaande tabel. In de eerste kolom wordt het aantal landbouwers vermeld dat volledig overschakelt op de teelt van korteomloophout. In de eerste regel worden dus de maximumprijzen vermeld die door een investeerder in groene elektriciteit betaald kunnen worden voor de grondstof korteomloophout, als 20 landbouwers volledig overschakelen op de teelt van korteomloophout, of m.a.w. als 200 landbouwers slechts 10 % van hun areaal bezetten met korteomloophout.

In de tweede kolom van de tabel staat de schaalgrootte van de elektriciteitsinstallatie vermeld. Deze is uitgedrukt in ton droge stof per jaar (tds/j), omdat het elektrisch vermogen niet voor elke conversietechniek hetzelfde is bij eenzelfde schaalgrootte. Het elektrisch rendement, en bijgevolg het elektrisch vermogen hangt immers zelf af van de schaalgrootte. Bijkomend argument om de schaalgrootte te definiëren op basis van het jaarlijks beschikbare aantal ton hout, is omdat één van de doelstellingen van het ruimere onderzoek is om voor een welbepaalde hoeveelheid korteomloophout te kunnen zeggen welke techniek het meest geschikt is voor elektriciteitsproductie, wat weergegeven wordt in kolom 7. De meest geschikte techniek is deze die een bepaalde hoeveelheid hout kan omzetten in een zo hoog mogelijke netto contante waarde van kasstromen, of omgekeerd, waarvoor de prijs die een investeerder in groene elektriciteit maximaal wil betalen, het hoogst is.

Kijk bijvoorbeeld naar de eerste rij in de tabel. Daaruit blijkt dat een investeerder die kiest voor verbranding van hout zelf betaald wil worden (143,87 EUR/tds) om 5 760 ton hout om te zetten in elektriciteit. Indien hij kiest voor vergassing is de prijs die hij vraagt om één ton droge stof hout om te zetten ongeveer 13 EUR lager, of 130,45 EUR/tds. De prijs die hij vraagt bij elektriciteitsproductie via pyrolyse bedraagt "slechts" 80,53 EUR/tds, wat betekent dat pyrolyse van hout voor de productie van elektriciteit meer rendabel is dan verbranding of vergassing indien de beschikbare hoeveelheid korteomloophout 5 760 ton droge stof per jaar bedraagt. Vandaar de vermelding van pyrolyse in kolom 7.

Vanaf de vierde rij, d.i. waarbij er 80 landbouwers hun areaal willen fytoremediëren met korteomloophout, wordt vergassing de meest interessante conversietechniek voor een investeerder in groene elektriciteit.

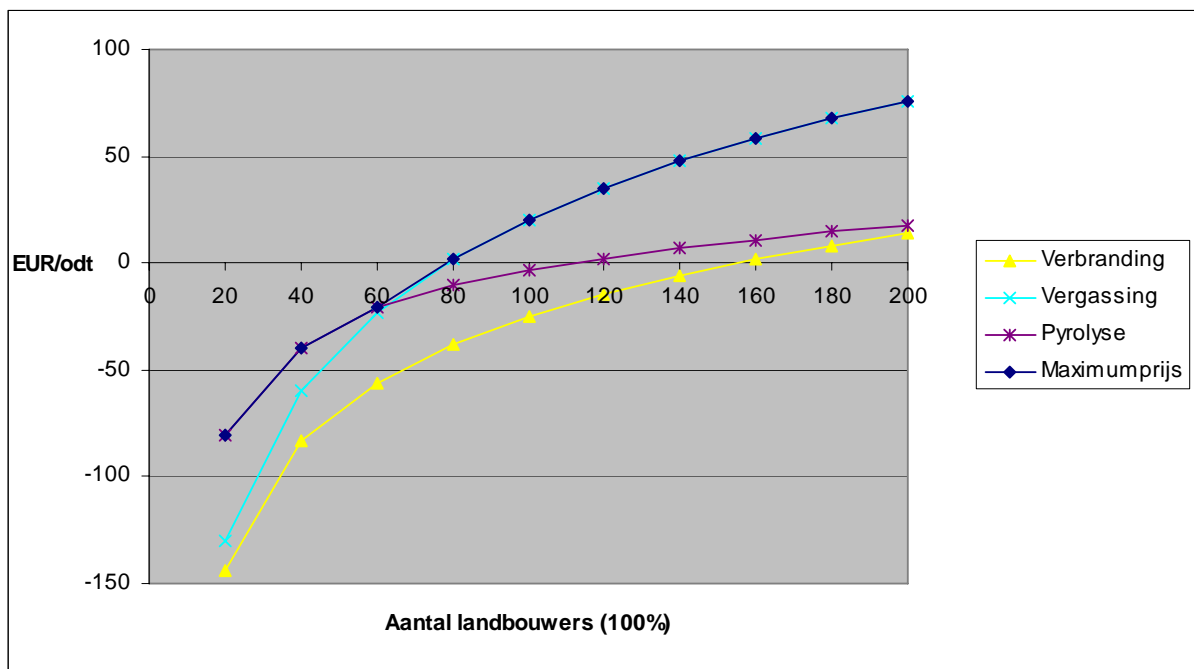
Uit de tabel blijkt ook dat de kostprijs van 40 EUR/tds voor de teelt en het oogsten van het korteomloophout van de landbouwer, kan gedekt worden vanaf het moment dat er 40 320 ton droge stof hout beschikbaar is per jaar of indien er 140 landbouwers hun volledig areaal (of 200 landbouwers 70 % van hun areaal) gaan fytoremediëren met korteomloophout en dit hout wordt omgezet via vergassing.

Tabel 2: Maximumprijzen en technologiekeuze per schaalgrootte

(1) Land- bouwers	(2) Tds/j	(3) Verbranding EUR/tds	(4) Vergassing EUR/tds	(5) Pyrolyse EUR/tds	(6) Max EUR/tds	(7) Conversie- keuze
20	5760	-143,87	-130,45	-80,53	-80,53	pyrolyse
40	11520	-83,52	-60,01	-39,38	-39,38	pyrolyse
60	17280	-56,57	-23,36	-21,09	-21,09	pyrolyse
80	23040	-38,42	1,58	-9,96	1,58	vergassing
100	28800	-24,93	20,31	-3,39	20,31	vergassing
120	34560	-14,26	35,24	2,05	35,24	vergassing
140	40320	-5,48	47,64	6,74	47,64	vergassing
160	46080	1,95	58,24	10,86	58,24	vergassing
180	51840	8,37	67,5	14,56	67,5	vergassing
200	57600	13,99	75,66	17,89	75,66	vergassing

De gegevens uit de tabel worden opnieuw weergegeven in de volgende grafiek. Indien er een markt zou ontstaan voor korteomloophout, wordt de prijs die op de markt maximaal kan betaald worden voor het hout, bepaald door de blauwe curve of **maximumprijscurve**. Bij een schaalgrootte van 20 t.e.m. 60 landbouwers komt deze overeen met de curve die de maximumprijs voor elektriciteitsopwekking via pyrolyse weergeeft. Vanaf een schaalgrootte van 80 landbouwers, wordt de maximumprijscurve bepaald door de maximumprijzen bij vergassing.

Figuur 1: Maximumprijscurve voor korteomloophout uit fyto-remediatie



De *maximumprijscurve* heeft een stijgend verloop, wat aangeeft dat er positieve schaalvoordelen optreden. Het geeft aan dat het interval van de schaalgroottes waarvan in deze paper sprake is (0 tot 57 600 ton droge stof hout per jaar), zodanig klein zijn dat er bij een verhoging van de schaal kostenvoordelen optreden. Een grotere hoeveelheid hout heeft immers meer nut voor een investeerder, aangezien de investering meer rendabel wordt. Vandaar dat een investeerder bereid is meer te betalen voor meer hout.

Tot slot berekenden we voor elk van de drie conversietechnieken (ook via de "OptQuest"-functie) het minimale aantal landbouwers dat bereid moet zijn om zijn landbouwareaal volledig te fytoremediëren, opdat de kostprijs voor de teelt en het oogsten van het hout volledig kan gedekt worden door de investeerder in groene stroom:

- minstens 334 landbouwers moeten overschakelen om verbranding rendabel te maken;
- minstens 128 landbouwers moeten overschakelen om vergassing rendabel te maken;
- minstens 379 landbouwers moeten overschakelen om pyrolyse rendabel te maken.

Omdat er in Lommel en Overpelt naar verwachting slechts 200 landbouwbedrijven zijn, moet er voor verbranding en pyrolyse van korteomloophout gezocht worden naar aanvullende aanvoerbronnen om de technologieën rendabel te maken.

4 Besluit

Indien de landbouwbodems in de Kempen (Lommel en Overpelt) zouden worden gesaneerd met korteomloophout en het korteomloophout slechts drie afzetmogelijkheden (verbranding, vergassing of pyrolyse voor elektriciteitsproductie) kent, wordt de prijs van korteomloophout voor **kleine dimensies** langs de vraagzijde bepaald door de prijs die een investeerder maximaal wil betalen voor **pyrolyse** van het hout. Voor **grote dimensies** wordt de maximumprijs bepaald door het **vergassingsproces**. Binnen de maximale schaalgrootte voor de Kempen, d.w.z. tussen 0 en 200 landbouwers die fytoremediëren, kent de maximumprijscurve een stijgend verloop, omdat er binnen deze schaalgroottes nog positieve schaalvoordelen optreden.

Ondanks het feit dat er rekening werd gehouden met onzekerheden (de maximumprijs komt overeen met 95 % kans op een positieve netto contante waarde), blijft de investeringsuitgave een teer probleem. Deze moet in verder onderzoek grondig bestudeerd worden om de maximumprijzen zo accuraat mogelijk in te schatten en correcte aanbevelingen te geven aan het beleid.

De hierboven berekende maximumprijzen zijn slechts voorlopige indicaties, enerzijds doordat heel wat variabelen onzeker zijn, anderzijds omdat het model nog uitgebreid wordt met andere afzetmogelijkheden voor korteomloophout. Ze zijn dus niet definitief en voorwerp van voortgaand onderzoek. Uiterste voorzichtigheid is daarom geboden bij de interpretatie van deze resultaten en bijvoorbeeld het formuleren van beleidsaanbevelingen. Deze paper geeft wel weer hoe de prijzen berekend kunnen worden en geven een mogelijke grootteorde voor de maximumprijzen en de voorwaarden voor de rendabiliteit van fytoremediatie.

5 Referenties

Biezma, M.V. & San Cristóbal, J.R. (2006) Investment criteria for the selection of cogeneration plants – a state of the art review. *Applied Thermal Engineering* 26: 5-6, 583-588.

Brammer, J.G.; Bridgwater, A.V., Lauer, M. & Jungmeier, G. (2005) Opportunities for bio-oil in European heat and power markets, in: Bridgwater, A.V. (ed.) *Fast Pyrolysis of Biomass: A Handbook Volume 3*. CPL Press, Newbury.

Bridgwater, A.V.; Toft, A.J. & Brammer, J.G. (2002) A techno-economic comparison of power production of biomass fast pyrolysis with gasification and combustion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 6, 181-248.

Caputo, A.C.; Palumbo, M.; Pelagagge, P.M. & Scacchia, F. (2005) Economics of biomass energy utilization in combustion and gasification plants: effects of logistic variables. *Biomass and Bioenergy* 28, 35-51.

Coenen, J. & Schlatmann, S. (2007) Rentabiliteit biomassa WKK, Mogelijkheden tot verbetering. SenterNovem/COGEN Projects.

FOD Financiën (2009) Bericht in verband met de investeringsaftrek. Administratie van de Ondernemings- en Inkomensfiscaliteit, Inkomstenbelastingen; beschikbaar online op: <http://www.servicespatrimoniaux.be/interfaofnl/Investeringsaftrek/Bericht-aj2010.pdf>

Islam, M.N. & Ani, F.N. (2000) Techno-economics of rice husk pyrolysis, conversion with catalytic treatment to produce liquid fuel. *Bioresource Technology* 73, 67.

Kuppens, T.; Cornelissen, T.; Carleer, R.; Yperman, J.; Schreurs, S.; Jans, M. & Thewys, T. (2009) Flash co-pyrolysis of biomass and biopolymer waste streams: a cost-effective conversion technique for short rotation coppice? *Journal of Environmental Management*, under review.

Ringer, M.; Putsche, V. & Scahill, J. (2006) Large-Scale Pyrolysis Oil Production: A Technology Assessment and Economic Analysis. NREL, Golden.

Siemons, R.V. (2002) A development perspective for biomass-fuelled electricity generation technologies – Economic technology assessment in view of sustainability. Universiteit van Amsterdam, Amsterdam.

Siemons, R.V. (2005) Pyrolyse in Groningen. Onderzoek naar de haalbaarheid van een transitiecoalitie. Eindrapport. MARGE Nederland, Enschede.

Streekplatform Noord-Limburg (2000) Streekvisie Noord-Limburg. Van vergrepen grensregio naar een dynamische contactzone. (Hoofdstuk IV: Analyse bedrijfssectoren – deel 1: landbouw), beschikbaar online: <http://www.noordlimburg.be/html/streekvisie.php>

Thewys, T. & Kuppens, T. (2008) Economics of willow pyrolysis after phytoextraction. International Journal of Phytoremediation 10, 561-583.

Van de Velden, M. & Baeyens, J. (2006) Fast Pyrolysis of Biomass in a Circulating Fluidised Bed (CFB). ThermalNet 3, 4-8.

Van de Velden, M.; Baeyens, J. & Boukis, I. (2008) Modeling CFB biomass pyrolysis reactors. Biomass Bioenergy 32:2, 128-139.

Venderbosch, R.H.; Gansekoele, E.; Florijn, D.; Assink, D. & Ng H.Y. (2006) Pyrolysis of palm oil residues in Malaysia. ThermalNet 1, 2-3.

VREG (2009) Aantal verhandelde groenestroomcertificaten en gemiddelde prijs, online beschikbaar op: <http://www.vreg.be/vreg/documenten/Statistieken/54946.pdf>

Waterbley, A. (2005) Kostenbeleid, 2de herziene uitgave, MAKLU, Antwerpen.