

2011
2012

BEDRIJFSECONOMISCHE WETENSCHAPPEN

*master in de toegepaste economische wetenschappen:
beleidsmanagement*

Masterproef

*Risicoanalyse van fast pyrolyse voor de productie van
bio-olie uit vervuild korteomloop hout*

Promotor :
Prof. dr. Theo THEWYS

Copromotor :
De heer Tom KUPPENS

Stephanie Van den Bempt

*Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van master in de toegepaste
economische wetenschappen , afstudeerrichting beleidsmanagement*

2011
2012

BEDRIJFSECONOMISCHE WETENSCHAPPEN

*master in de toegepaste economische wetenschappen:
beleidsmanagement*

Masterproef

*Risicoanalyse van fast pyrolyse voor de productie van
bio-olie uit vervuild korteomloophout*

Promotor :
Prof. dr. Theo THEWYS

Copromotor :
De heer Tom KUPPENS

Stephanie Van den Bempt

*Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van master in de toegepaste
economische wetenschappen , afstudeerrichting beleidsmanagement*

Woord Vooraf

Deze masterproef kadert in de masteropleiding Toegepaste Economische Wetenschappen, afstudeerrichting Beleidsmanagement. Ik koos voor het onderwerp: de risicoanalyse van fast pyrolyse voor de productie van bio-olie uit vervuild kortedoolphout. De beslissing voor dit onderwerp maakte ik omdat dit actueel thema mij aansprak. Bovendien wordt rond dit thema veel onderzoek gedaan op verschillende Vlaamse universiteiten. Bij de Universiteit Hasselt wordt het onderzoek geleid door Prof. Thewys. Doctorandus Tom Kuppens leverde reeds een grote bijdrage. Zij werden mijn (co-)promotoren.

Door het maken van een risicoanalyse kon ik de theorie in de praktijk omzetten. In het eerste semester van beleidsmanagement wordt namelijk het vak Cost Benefit Analysis gegeven, gedoceerd door Prof. Thewys. De impact die een overheid heeft met betrekking tot het subsidiëren van nieuwe technologieën, werd verduidelijkt, door de vergelijking van mijn analyse en het Empro-project in Nederland.

Graag wil ik mijn promotor, Prof. Thewys en mijn copromotor, Dhr. Kuppens bedanken voor de hulp die ze aan mij gegeven hebben. Dhr. Kuppens wil ik bedanken voor het aanreiken van belangrijke bronnen en het verbeteren van mijn tussentijdse masterproef. Verder dank ik de Vice-Decaan Onderwijs, Mevr. Delvaux voor de interesse in mijn masterproef.

Ook wil ik Patrick Reumerman van BTGWorld bedanken voor het geven van informatie en beantwoorden van vragen met de betrekking tot het Empro-project. Voor de subsidiering van de pyrolysecentrale heb ik beroep gedaan op de website <http://www.agentschapondernemen.be>. Graag wil ik de Vlaamse overheid bedanken voor het maken van deze duidelijke website.

Ten slotte zou ik graag mijn ouders, zussen, vrienden en mijn partner in het bijzonder willen bedanken voor de steun en het nalezen van mijn masterproef.

Samenvatting

Bodemvervuiling in de Noorderkempen zorgt voor een mogelijk inkomensverlies bij landbouwers. Wanneer de cadmiumnormen in voedingswaren, bijvoorbeeld wortelen of koeienlever, overschreden zijn, mogen deze niet meer verkocht worden. De bodem saneren is noodzakelijk om het inkomensverlies een halt toe te roepen. De bodem kan op verschillende manieren gesaneerd worden. Het afgraven van grond en fyto-remediatie (meer bepaald fyto-extractie) zijn twee manieren. Het afgraven van vervuilde grond is zeer duur (Witters et al., 2009). Omdat dit zo duur is, wordt de mogelijkheid van fyto-extractie onderzocht.

Bij fyto-extractie worden planten gebruikt die in staat zijn om zware metalen op te nemen uit de bodem (Vangronsveld et al., 2009). Vervolgens worden deze planten geoogst met de bedoeling om deze te verkopen (Thewys, Kuppens, 2008). Deze planten, zoals kortoomloophout, energiemais en koolzaad worden als biomassa verkocht. In deze masterproef wordt enkel kortoomloophout, meer bepaald wilg en populier, onderzocht.

Kortoomloophout wordt via pyrolyse omgezet in bio-olie, biogas en char. Wanneer de biomassa via vergassing wordt omgezet, resulteert dit in biogas en via verbranding in warmte. Bio-olie en biogas kunnen gebruikt worden als biobrandstof of om elektriciteit/warmte op te wekken. Char kan als brandstof gebruikt worden.

Deze masterproef focust op fast pyrolyse. Dit is het verhitten van de biomassa gedurende enkele seconden tot ongeveer 500 graden Celsius om de bio-olie opbrengst te maximaliseren. Het is belangrijk dat de dampen snel afgekoeld worden om bio-olie te creëren en dat de char snel verwijderd wordt. Bovendien geldt voor *fluid bed* reactoren dat de houtsnippers een diameter van maximaal drie millimeter mogen hebben (Bridgwater, 2011). Bij een verblijftijd van 1,2 seconde en een temperatuur van 500 graden Celsius wordt de hoogste bio-olie opbrengst (65%-68%) bekomen.

De centrale onderzoeksvraag is 'Wat is de economische haalbaarheid van een investering om fast pyrolyse toe te passen voor de productie van bio-olie uit vervuild kortoomloophout?'. Economisch risico is verschillend van economische onzekerheid. Bij risico worden waarschijnlijkheidsverdelingen objectief aan de inputvariabelen toegewezen en bij onzekerheid gebeurt deze toewijzing op een subjectieve manier (Aven, Nilsen EF en Nilsen T., 2004).

Om de centrale onderzoeksvraag beter te kunnen beantwoorden, wordt deze opgesplitst in vijf deelvragen:

1. Onder welke omstandigheden is de netto contante waarde positief? En wat is de interne opbrengstvoet van de investering?

Kosten-batenanalyse (KBA) is een beoordelingsmethode die de waarde van het project kwantificeert in monetaire termen. De KBA berekent de netto contante waarde (NCW) voor elk beleidsalternatief, dit is de sociale baten min de sociale kosten (Boardman, 2011). In deze masterproef worden enkel de private baten en private kosten beschouwd. Deze analyse wordt aanzien als een *ex ante* KBA omdat in Vlaanderen slechts enkele proefprojecten lopen omtrent het

oogsten van korteomloophout. Het produceren van bio-olie via biomassa heeft in Vlaanderen nog geen groot gevolg gekend.

De NCW is gelijk aan de verdisconteerde nettokasstroom min de initiële investering. De nettokasstroom zijn gelijk aan de opbrengsten min de uitgaven. De gekozen verdisconteringsvoet is 8% en de levensduur 21 jaar. De NCW voor belastingen bedraagt -2.431.312,97 euro. De NCW na belastingen bedraagt -2.379.153,09 euro. Dit is minder negatief dan de NCW voor belastingen omdat de verhoogde interestaftrek hoger is dan de totale belastingen. De interne opbrengstvoet bedraagt slechts 1,8%.

2. Welke factoren/variabelen van de netto contante waarde zijn onzeker? Binnen welk interval varieert elke onzekere factor?

Deze vraag gaat in op het analyseren van risico. Een risicoanalyse bestaat uit volgende stappen: het definiëren van een geschikt model, het bepalen van waarschijnlijkheidsverdelingen voor de inputs van de onzekere variabelen in het model, het betrekken van de eventuele relaties tussen onzekere variabelen en het analyseren van de resultaten van het model.

Stap één is reeds uitgewerkt in deelvraag één, kosten-batenanalyse. Stap twee is drieledig: eerst moeten de onzekere factoren gevonden worden, dan krijgt elke factor een minimum- en een maximumwaarde. Ten slotte wordt een waarschijnlijkheidsverdeling voor de inputvariabelen opgesteld. De waarschijnlijkheidsverdeling is telkens een driehoeks- of piramideverdeling: de basiswaarde komt het meest voor, de extremen het minst.

Met behulp van sensitiviteitsanalyse kan worden nagegaan welke inputfactoren een grote invloed uitoefenen en een waarschijnlijkheidsverdeling nodig hebben. Partiële sensitiviteitsanalyse wordt uitgevoerd door het laten variëren van één factor en het effect hiervan op de NCW na te gaan. De sensitiviteits- en scenario-analyse zijn tussenstappen om te komen tot Monte Carlo simulaties. Bij Monte Carlo simulaties worden onzekere variabelen simultaan gesimuleerd. Een variabele kan onzeker zijn omdat in de literatuur verschillende waarden worden gevonden voor dezelfde factor of/en de marktwerking speelt wanneer de investering in praktijk wordt gebracht.

De onzekere variabelen zijn: de verkoopprijs van de bio-olie, de investeringskost, de inputprijs, de arbeidskost, het aantal hectare korteomloophout dat per jaar geoogst wordt, het aantal ton droge stof per hectare en het opbrengstpercentage in gewicht van de bio-olie. Door het variëren van de opbrengstpercentages van bio-olie verandert het opbrengstpercentage van char. Deze verhouding is lineair. De ecologiepremie wordt meegenomen als onzekere variabele bij het optimistisch en pessimistisch scenario omdat de toekenning en het bedrag onzeker zijn. Bij de Monte Carlo simulaties wordt verondersteld dat de ecologiepremie toegekend wordt voor het maximale bedrag. Voor onzekere variabelen worden een minimum- en maximumwaarde bepaald door beroep te doen op de literatuur.

3. Wat is het optimistisch en het pessimistisch scenario van de investering?

Scenario-analyse is een techniek waarbij een lijst wordt opgesteld met de mogelijke economische scenario's (Bodie, Kane, Marcus, 2001). In deze masterproef zijn drie scenario's gemodelleerd: optimistisch, *base case* en pessimistisch. De NCW van het optimistisch scenario bedraagt 19.011.586,12 euro. De NCW van het pessimistisch scenario bedraagt -13.395.178 euro. Het *base case* scenario blijft, zoals gevonden in de eerste deelvraag, -2.379.153,09 euro.

Het is erg onwaarschijnlijk dat alle optimistische waarden of alle pessimistische waarden zich op eenzelfde moment manifesteren, maar deze twee scenario's geven weer hoeveel de netto contante waarde maximaal kan variëren.

4. Wat is de waarschijnlijkheidsverdeling van de netto contante waarde?

Bij het bepalen van waarschijnlijkheidsverdelingen bij de outputs wordt in deze masterproef gebruik gemaakt van Monte Carlo simulaties. Alle onzekere factoren variëren binnen hun grenzen. De NCW wordt 1.500 keer gesimuleerd. De NCW heeft een kans van 4,89% om positief te zijn. De grote variatie op de verkoopprijs van de bio-olie verklaart de meeste variantie van de NCW. Een tweede belangrijke factor is het opbrengstpercentage van de bio-olie. De andere onzekere factoren verklaren weinig variantie in de NCW. Wanneer de verkoopprijs van de bio-olie constant blijft, verklaart de variatie van het aantal hectare biomassa geoogst per jaar veel variantie van de NCW. Deze drie factoren zijn zeer belangrijk en bij de laatste deelvraag wordt uitgelegd hoe de risico's van deze factoren kunnen gereduceerd worden.

5. Welke maatregelen kunnen genomen worden om risico's te reduceren?

De risico-reductie is vooral geconcentreerd rond de drie factoren die de meeste variantie van de NCW verklaren: de verkoopprijs van bio-olie, het opbrengstpercentage van bio-olie en het aantal ha oogst per jaar. Om 95% kans te hebben op een positieve NCW, moet de verkoopprijs minstens 435 euro bedragen, *ceteris paribus* (c.p.). De marktwerking moet uitwijzen of dit haalbaar is. Het is niet haalbaar om enkel de opbrengstpercentage van bio-olie te verhogen. De beste bio-olie opbrengst, 70-75%, kan behaald worden via een ablatieve reactor. Het aantal hectare oogst per jaar moet minstens 4.175 bedragen, c.p., om 95% kans te hebben op een positieve NCW. Het is zeer belangrijk dat er in de Noorderkempen uitgebreid onderzoek wordt uitgevoerd naar de bereidheid van landbouwers om over te schakelen op de teelt van korteomloophout.

Deze masterproef concludeert dat deze investering onder de aangegeven basisomstandigheden niet rendabel is. Mogelijk bieden andere methoden zoals vergassing of verbranding hogere NCW's. De investering in een pyrolyse-centrale en WKK-centrale waardoor de elektriciteit en warmte verkocht wordt in plaats van de bio-olie, is wel positief (Voets et al., 2011). Een andere optie is om chemicaliën uit bio-olie te halen en deze te verkopen in combinatie met opwekken van elektriciteit/warmte. Mogelijk kan deze optie een hogere NCW opleveren.

Inhoudsopgave

Woord Vooraf	I
Samenvatting	III
Lijst van tabellen	X
Lijst van figuren	XI
Hoofdstuk 1: Probleemstelling.....	1
1.1 Praktijkprobleem.....	1
1.1.1 Bodemsanering	2
1.1.2 Korteomloophout	3
1.1.3 Verbranding, vergassing en pyrolyse	5
1.2 Centrale onderzoeksvraag	6
Hoofdstuk 2 : Van korteomloophout tot bio-olie	9
2.1 Teelt en verwerking van korteomloophout	9
2.1.1 Terreinvoorbereidende werken	9
2.1.2 Aanplanting en beheer van korteomloophout	9
2.1.3 Oogst.....	9
2.1.4 Ontstronken.....	9
2.2 Verwerking van biomassa tot bio-olie.....	10
2.2.1 Ontvangst en opslag	10
2.2.2 Drogen van hout.....	10
2.2.3 Vermalen van hout.....	10
2.2.4 Reactor	11
2.2.5 Char- en asverwijdering	12
2.2.6 Verblijftijd van de dampen	13
2.2.7 Opslag van bio-olie	13
2.3 Principes van fast pyrolyse.....	13
2.4 Optimale omstandigheden voor fast pyrolyse	14
2.4.1 Temperatuur.....	14
2.4.2 Verblijftijd.....	15
2.4.3 Biomassa	16
2.5 Samenstelling bio-olie	18
2.6 Gebruik bio-olie	20
Hoofdstuk 3: Methodologisch kader.....	21
3.1 Risico.....	21
3.1.1 Definitie	21
3.1.2 Domeinen	21
3.1.3 Soorten	23
3.1.4 Risico-aversie, risico-neutraal, risico-zoekend	24

3.2 Risicoanalyse.....	24
3.2.1 Definitie	24
3.2.2 Sensitiviteitsanalyse.....	25
3.2.3 Scenario-analyse	26
3.2.4 Monte Carlo simulaties	26
3.2.5 Andere methoden	28
3.3 Kosten-Batenanalyse.....	29
3.3.1 Inleiding	29
3.3.2 Netto Contante Waarde-methode	29
3.3.3 Kosten-Effectiviteitsanalyse.....	30
Hoofdstuk 4: Kosten-Batenanalyse toegepast	33
4.1 Basisgegevens.....	33
4.1.1 Initiële investering	33
4.1.2 Uitgaven.....	35
4.1.3 Opbrengsten	37
4.2 Netto Contante Waarde	39
Hoofdstuk 5: Risicoanalyse toegepast	43
5.1 Eén factor sensitiviteitsanalyse	43
5.1.1 Verkoopprijs bio-olie	43
5.1.2 Investeringskost.....	43
5.1.3 Vaste productie overheadkosten	44
5.1.4 Inputkosten	45
5.1.5 Transportkosten	45
5.1.6 Kosten van vermalen.....	45
5.1.7 Waterkosten	46
5.1.8 Arbeidskosten	46
5.1.9 Stortkosten char.....	47
5.1.10 Aantal hectare kortecomloophout per jaar.....	47
5.1.11 Oogst kortecomloophout	48
5.2 Optima base case variabelen	49
5.2 Keuze onzekere variabelen	50
5.2.1 Kosten	50
5.2.2 Opbrengsten	52
5.2.3 Overige gegevens	52
5.3 Minimum- en maximumwaarden	52
5.3.1 Investeringskost.....	52
5.3.2 Inputkosten	53
5.3.3 Totale arbeidskosten	53
5.3.4 Verkoopprijs pyrolyse-olie.....	54
5.3.5 Ecologiepremie	54
5.3.6 Aantal ha kortecomloophout per jaar	54
5.3.7 Aantal tds kortecomloophout per jaar	54

5.3.8 Opbrengstpercentages bio-olie en char	55
5.4 Scenario-analyse	56
5.5 Monte Carlo simulaties	58
5.5 Risico-reductie	64
5.5.1 Verkoopprijs bio-olie	64
5.5.2 Opbrengstpercentage bio-olie	64
5.5.3 Aantal ha oogst per jaar	65
5.5.4 Inputkost.....	66
Hoofdstuk 6: Conclusies en aanbevelingen	67
Lijst van de geraadpleegde werken	71
Bijlage 1	77

Lijst van tabellen

Tabel 1: Fyto-extractie van verschillende planten op proefveld Lommel	3
Tabel 2: Energiekosten voor de groei van wilg en de netto energie besparingen na omzetting van wilg met als gevolg netto CO ₂ besparingen.....	4
Tabel 3: Opname van zware metalen (in mg) bij wilg (Salix) en populier (Populus) per kg ds.....	4
Tabel 4: Opbrengstpercentages uit fast pyrolyse onder verscheidene temperaturen	15
Tabel 5: Aanwezigheid van zware metalen in bio-olie afkomstig van fast pyrolyse van Salix Fragilis (uitgedrukt in mg per kg bio-olie)	15
Tabel 6: Opbrengstpercentages van bio-olie bij verschillende houtsoorten bij 450°C.....	17
Tabel 7: Opname van zware metalen (in mg) bij wilg en populier (per kg droge stof)	17
Tabel 8: Vergelijking van bio-olie met dieselolie en stookolie	19
Tabel 9: Aantal hectare vervuilde landbouwgrond in Balen, Mol-Wezel, Mol-Rauw, Lommel en Overpelt.....	34
Tabel 10: Subsidiebonus ecologiepremie.....	38
Tabel 11: <i>Base case</i> variabelen	39
Tabel 12: Berekening NCW	42
Tabel 13: Eén factor analyse verkoopprijs bio-olie.....	43
Tabel 14: Eén factor analyse investeringskost	44
Tabel 15: Eén factor analyse vaste productie <i>overheadkosten</i>	44
Tabel 16: Eén factor analyse inputkosten.....	45
Tabel 17: Eén factor analyse transportkosten	45
Tabel 18: Eén factor analyse versnipperkosten	46
Tabel 19: Eén factor analyse waterkosten	46
Tabel 20: Eén factor analyse arbeidskosten.....	47
Tabel 21: Eén factor analyse storkosten char	47
Tabel 22: Eén factor analyse aantal hectare biomassa per jaar	48
Tabel 23: Eén factor analyse oogst biomassa tds per hectare	48
Tabel 24: Optima <i>base case</i> variabelen.....	49
Tabel 25: Arbeidskostenindex vanaf 2002 tot en met 2011	54
Tabel 26: Opbrengstpercentages bio-olie en char uitgedrukt in gewicht	55
Tabel 27: Parameters optimistisch en pessimistisch scenario	57
Tabel 28: Factoren van NCW met hun bijhorende waarden.....	59

Lijst van figuren

Figuur 1: Thermische conversie van biomassa	5
Figuur 2: Fast pyrolysesysteem	10
Figuur 3: Werking ablatieve reactor	11
Figuur 4: Werking <i>rotating cone fluid bed</i> reactor.....	12
Figuur 5: Grafiek opbrengstpercentage bio-olie bij verschillende temperaturen	14
Figuur 6: Grafiek opbrengstpercentages bij verblijftijden van 1,2; 1,9; 3,8 en 7,7 seconden	16
Figuur 7: Grafiek bio-olie opbrengsten van verschillende houtsoorten	18
Figuur 8: <i>Cost-effectiveness plane</i>	31
Figuur 9: <i>Print screen base case scenario</i>	40
Figuur 10: <i>Print screen</i> doelzoeken	49
Figuur 11: Taartdiagram kosten uitgedrukt in percentages	51
Figuur 12: Opbrengstpercentages bio-olie en char	56
Figuur 13: Parameters van Oplosser	57
Figuur 14: Oplosser-resultaten	58
Figuur 15: Grafiek Monte Carlo simulaties	60
Figuur 16: Senitiviteitsgrafiek Monte-Carlo simulaties na belastingen.....	61
Figuur 17: Sensitiviteitsgrafiek zonder verkoopprijs.....	62

Hoofdstuk 1: Probleemstelling

1.1 Praktijkprobleem

Onderzoek in 2006 toonde normoverschrijdingen aan voor cadmium in de nieren en lever van runderen afkomstig uit de Kempen. Daarom werden deze organen verwijderd en vernietigd (EVMI, 2006). Hierdoor kwam er een verbod op het uitvoeren van levende runderen ouder dan 18 maanden uit bepaalde Kempense gemeenten. Niet alleen de nieren van runderen overschrijden de cadmiumnorm ook wortelen en schorseneren hebben in het verleden al een te hoog cadmiumgehalte gehad waardoor deze moesten vernietigd worden. Dit betekent een aanzienlijk inkomensverlies voor de landbouwer die zijn groenten of organen van runderen nu niet meer kan verkopen (BeNeKempen, 2008).

Het teveel aan cadmium in planten en runderen is te wijten aan cadmium-vervuiling van de bodem. Deze bodemvervuiling is ontstaan door zinkfabrieken. Vanaf het einde van de negentiende eeuw tot midden jaren 70 pasten zinkfabrieken in Vlaanderen (Balen, Dilsen-Stokkem, Lommel en Overpelt) en in Nederland (Budel-Dorplein) thermische raffinage toe om zink uit zinkerts te winnen. Door dit productieproces kwamen er echter zware metalen vrij zoals cadmium, koper, lood en arseen. Aangezien milieunormen in die tijd zo goed als onbestaande waren, verspreidden deze metalen zich over een groot oppervlakte via de rook uit de schoorstenen van de fabrieken en lozingen in beken en rivieren (BeNeKempen, 2008).

De huidige milieunormen zorgen er wel voor dat cadmium zich niet meer op deze manier verspreidt aangezien cadmium schadelijk is voor de gezondheid. Wanneer een persoon aan langdurige cadmiuminname blootgesteld wordt, kunnen gezondheidsproblemen optreden. Eenmaal een persoon cadmium opgenomen heeft wordt het metaal slechts langzaam uitgescheiden. Cadmium kan onder andere de nierwerking verstoren en de beenderen minder stevig maken. Wetenschappelijke studies tonen een verband aan tussen inademen van cadmium en longkanker (Zorg en Gezondheid). Wegens de gezondheid en een mogelijk inkomensverlies voor de landbouwer, moet cadmium verwijderd worden uit de grond.

Deze masterproef concentreert zich op de landbouwgronden rond de zinkfabrieken in Overpelt, Balen en Lommel. In 1888 en 1889 werden de eerste zinkfabrieken in Overpelt en Balen (Wezel) opgericht. Deze zinkfabrieken zijn nog steeds operationeel onder het gezag van Nyrstar. De milieunormen zijn gelukkig veel strenger geworden waardoor de fabrieken nu niet meer vervuילend zijn (Kuppens, Thewys, z.d. en Nyrstar, 2012). De zinkfabriek in Balen (Wezel) grenst aan Lommel en Mol-Wezel. In Lommel (Maatheide) werd in 1904 een zinkfabriek geopend. Deze fabriek is intussen gesloten. De zinkfabriek grenst aan het gebied Mol-Rauw. De vervuilde landbouwgronden in de gebieden Overpelt, Balen, Lommel, Mol-Wezel en Mol-Rauw worden in deze masterproef behandeld.

1.1.1 Bodemsanering

Er bestaan verscheidene opties om de bodem te saneren. De eerste optie is het afgraven van de grond. Hierbij wordt de bouwvoor, dit is de bovenste laag van de landbouwgrond, verwijderd om zoveel mogelijk organische stof en daarin vastgelegde nutriënten af te voeren. Afgraven is niet aangewezen wanneer de af te graven bodemlaag te dik is, of binnen een redelijke afstand geen bestemming voor de af te graven grond te vinden is. De aanwezigheid van een waardevolle zaadbank of bufferende bodembestanddelen kunnen aanleiding zijn om af te zien van afgraven (Chardon, 2008). Bovendien is het afgraven van grond zeer duur. Witters et al. (2009) berekenden de kostprijs op 730.000 euro per hectare. In dit geval is de netto contante waarde gelijk aan de kostprijs aangezien het afgraven gebeurt in jaar 0 en bijgevolg niet verdisconteerd moet worden.

Een tweede optie is in situ extractie. Hierbij wordt de toplaag gespoeld met verdund zoutzuur. Het met cadmium vervuilde grondwater wordt dan via *drains* onttrokken. In de Soestduinen (Nederland) is dit proces al met succes toegepast. Er zijn wel enkele voorwaarden waaraan de grond moet voldoen om deze methode te kunnen toepassen zoals een lage buffercapaciteit en doorlaatbaarheid van de bodem. Deze tweede optie wordt weinig toegepast omdat alle randvoorwaarden vaak niet zijn voldaan, de methoden relatief gecompliceerd zijn en dat de kosten hoog kunnen zijn in vergelijking met alternatieve methodes (Soilpedia, 2011).

Een derde optie voor bodemsanering is fyto-remediatie. Fyto-remediatie is het gebruik van planten (met inbegrip van bomen) voor het vastleggen, verwijderen, omzetten en/of afbreken van schadelijke contaminanten uit bodems of water (Centrum voor milieukunde Universiteit Hasselt). Het gebruiken van deze techniek kan tot 90% goedkoper zijn in vergelijking met het afgraven van de grond (Mueller, Goswami, 2001).

Fyto-extractie is een vorm van fyto-remediatie. Bij fyto-extractie worden planten gebruikt die in staat zijn om de zware metalen op te nemen uit de bodem en nadien worden deze planten geoogst om ze te verkopen (Vangronsveld et al., 2009). Hierdoor kan het verlies aan inkomensverlies van de landbouwer tijdens de sanering, vermindert worden. De oogst van planten zoals koolzaad, energiemais en kortetoomloophout kan verkocht worden om bio-olie, biogas en char te produceren.

Het nadeel van fyto-remediatie is de saneringsduur. Per landbouwgrond (LBG) wordt bepaald hoeveel cadmium in de bovenste laag (50cm diep voor wilg en populier of 25 cm diep voor overige planten) aanwezig is. Vervolgens wordt nagegaan hoeveel cadmium door deze planten via het water werd opgenomen, ook wel gekend als de bioconcentratiefactor (BCF). Daarna wordt berekend hoeveel biomassa geoogst wordt per hectare per jaar en hoeveel cadmium er uit de grond gehaald is. Zo wordt ten slotte de saneringsduur van de bouwgrond berekend op basis van een lineaire relatie (Vangronsveld et al., 2009). Onderstaande tabel geeft de resultaten weer van een proefproject in Lommel. Uit deze tabel kan worden afgelezen dat respectievelijk tabak, wilg en populier het meeste cadmium per jaar uit de grond kunnen halen.

Tabel 1: Fyto-extractie van verschillende planten op proefveld Lommel

Plantensoort	Cd (mg Cd/kg bodem)	BCF	Biomassa (ton/ha)	Cd verwijderd (kg/ha,jaar)	Saneringsduur (jaar)
Maïs	3	0,6	20	0,06	188
Raap	6	1,2	8	0,05	234
Zonnebloem	12	2,4	10	0,1	117
Tabak	24	4,8	8	0,19	58
Populiertakken	11	2,2	8	0,09	255
Populierbladeren	28	5,6	2,4	0,07	
Populier				0,16	144
Wilgtakken	24	4,8	8	0,19	117
Wligbladeren	60	12	2,4	0,14	
Wilg				0,34	67

Bron: Vangronsveld et al. (2009) *Phytoremediation of contaminated soils and groundwater: lessons from the field*. Environ Sci Pollut Res, 16,765–794.

De saneringsduur voor tabak is het laagste, nl. 58 jaar, gevolgd door wilg met 67 jaar. In deze masterproef wordt enkel korteomloophout bekeken.

1.1.2 Korteomloophout

Een voordeel van korteomloophout is het mogelijke CO₂ neutrale karakter. Men spreekt van een mogelijke CO₂ neutrale brandstof omdat de CO₂ die wordt uitgestoten door het verbranden van hout gelijk is aan de hoeveelheid CO₂ die wordt geabsorbeerd door de boom tijdens zijn groei (Provinciaal centrum voor landbouw en milieu, 2011).

Witters et al. (2009) berekenden het CO₂ karakter van het planten en (co)verbranden van wilg om elektriciteit en warmte op te wekken via een warmtekrachtkoppelingcentrale. De directe emissies zijn afkomstig van het gebruik van fossiele brandstof in motoren en machines. De indirecte emissies zijn afkomstig van energie nodig voor het bemesten, de onkruidbestrijding en het oogsten van het korteomloophout.

Tabel 2: Energiekosten voor de groei van wilg en de netto energie besparingen na omzetting van wilg met als gevolg netto CO₂ emissie besparingen (uitgedrukt per ha per jaar)

	Energie (GJ per ha per jaar)
Energiekosten	
Groei wilg	8,4
Transport naar	0,5 ^a
Verbrandingsinstallatie	
Indirecte energie	2,6
Totale fossiele energie verbruikt	11,5
Energieniveau na (co)verbranding	108 ^b
Netto elektriciteit	37
Netto warmte	50
Totaal netto energie	87 ^c
- totaal fossiele energie verbruikt	-11,5
Netto gewonnen energie	75,5
Netto CO ₂ besparingen	8 ton ^d

a: 30km transportafstand, b: 6tds per ha per jaar, c: thermische en elektrische efficiëntie van respectievelijk 50% en 37% en eigen gebruik van respectievelijk 4% en 3%, d: 413g CO₂ per kWh_{el}, 333g CO₂ per kWh_{th}, 267g CO₂ per kWh_{diesel} Bron: Witters, N., et al. (2009) *Short rotation coppice of willow for phytoremediation of a metal-contaminated agricultural area: a sustainability assessment*. BioEnergie Research, 2, p. 147.

Volgens dit onderzoek bespaart het hele proces acht ton CO₂ per hectare per jaar. Dit onderzoek neemt echter de veronderstelling aan dat zes ton droge stof (tds) per hectare per jaar kan geoogst worden. In tabel één echter wordt gewerkt met acht tds per ha per jaar (Vangronsveld et al., 2009). Deze waarde wordt als basiswaarde beschouwt. Deze onzekerheid over deze waarde wordt in hoofdstuk vijf behandeld.

De opgenomen hoeveelheid cadmium door wilg en populier is verder onderzocht door Stals et al. (2010a). Zij vinden net als in het onderzoek van Vangronsveld et al. (2009) dat wilg meer cadmium kan opnemen dan populier. Wilg scoort beter bij de opname van zink en lood.

Tabel 3: Opname van zware metalen (in mg) bij wilg (salix) en populier (populus) per kg ds

	<i>Salix fragilis</i> takken	<i>Salix fragilis</i> bladeren	<i>Salix jorunn</i> takken	<i>Populus grimminge</i> takken
Cadmium	40,9	80,0	15,8	10,6
Zink	822	4630	522	349
Lood	26,3	14,4	15,9	17,7

Bron: Stals, M., et al. (2010a) *Flash pyrolysis of heavy metal contaminated hardwoods from phytoremediation: Characterisation of biomass, pyrolysis oil and char/ash fraction*. Journal of analytical and applied pyrolysis, 89, p.25.

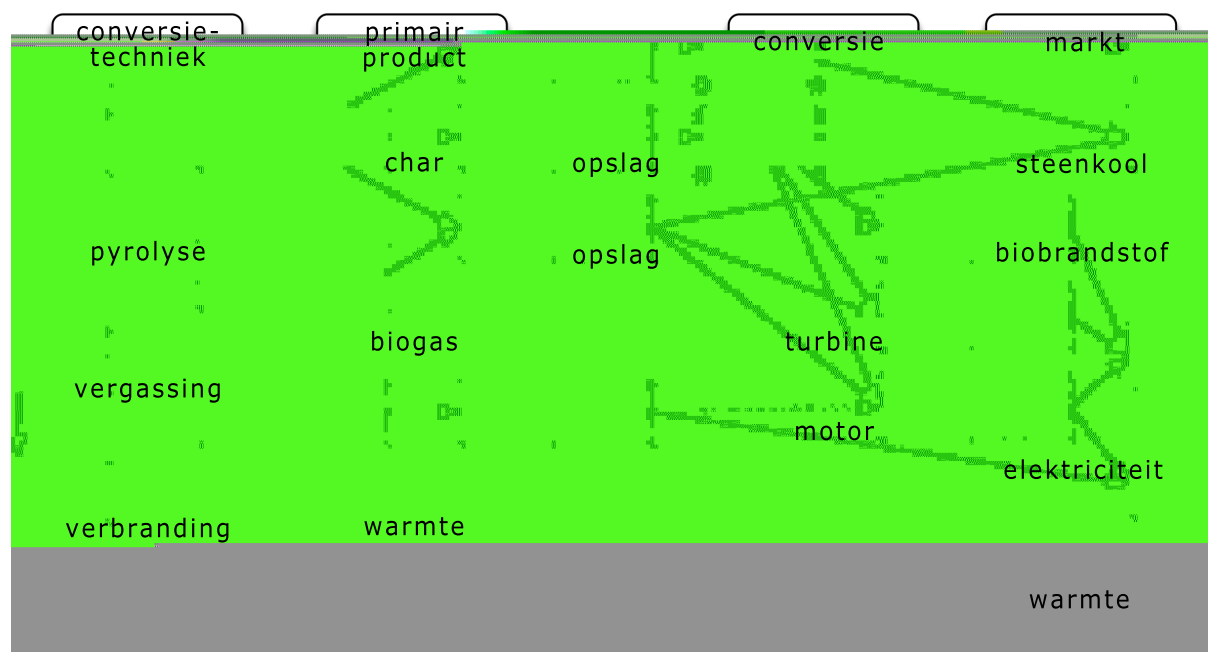
Een bijkomend voordeel is dat de landbouwer nog steeds aanspraak heeft op toeslagrechten wanneer hij overschakelt op de teelt van kortetermijnhout. Een toeslagrecht is een eenheid die recht geeft op een bepaald steunbedrag per hectare grond (Provinciaal Centrum voor landbouw en milieu, 2011). Vanaf 2009 werden de braaktoeslagrechten (375 euro/ha) afgeschaft en de gewone toeslagrechten geactiveerd. Volgens Witters et al. (2009) die onderzoek deden in Lommel bedragen de gewone toeslagrechten gemiddeld 450 euro per hectare.

1.1.3 Verbranding, vergassing en pyrolyse

Verbranding, vergassing en pyrolyse zijn drie technieken om kortetermijnhout om te zetten in energie. Zonder deze technieken zou het niet mogelijk zijn om biomassa om te zetten naar bijvoorbeeld elektriciteit of warmte. De succesvolle omzetting naar bijvoorbeeld biobrandstof bepaalt de waarde van de biomassa. Deze technieken zijn van cruciaal belang om inkomsten te verschaffen aan de landbouwer via de opbrengst van de biomassa.

Bij verbranding ontstaat er warmte die kan worden gebruikt voor verwarming of omgezet worden in elektriciteit. Bij vergassing ontstaat er een gas dat kan gebruikt worden als bio-gas, elektriciteit en verwarming. Bij pyrolyse ontstaat er char, pyrolyse-olie en gas dat op alle bovenstaande manieren kan gebruikt worden. In deze masterproef wordt de term bio-olie gebruikt in plaats van pyrolyse-olie. Van de char kunnen charkolen gemaakt worden. De onderstaande figuur verduidelijkt dit proces (Bridgwater, 2011).

Figuur 1 : Thermische conversie van biomassa



Bron: Bridgwater, (2011). *Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading*. Biomass and Bioenergy, Elsevier, p.2.

In deze masterproef wordt enkel ingegaan op pyrolyse omdat uit onderzoek is gebleken dat pyrolyse de meest aantrekkelijke conversietechniek is bij lage vermogens (Voets, Bloemen, 2009). Bovendien worden bij pyrolyse de zware metalen opgenomen in de charkolen waardoor deze niet verdampen en niet zullen terechtkomen in de omgeving. Dit zou wel kunnen gebeuren indien men gebruikt maakt van vergassings- of verbrandingstechnieken (Mohan et al, 2007).

Fast pyrolyse is een proces waarbij de biomassa snel verhit wordt in afwezigheid van lucht. De lange koolstofketens van de biomassa worden gekraakt in kortere koolstofketens wat resulteert in een donkerbruine vloeistof. In tegenstelling tot gewone pyrolyse is fast pyrolyse een geavanceerder proces dat beter kan gecontroleerd worden om een hogere opbrengst van de vloeistof te geven (Bridgwater, 2000).

De landbouwers zijn momenteel nog onzeker over het feit of fyto-remediatie via korteomloophout voor hun rendabel zal zijn (BeNeKempfen, 2008). Daarom is er verder onderzoek nodig om na te gaan onder welke omstandigheden de conversie van de gewassen rendabel is.

Eerder werd al aangetoond dat er verschillende omstandigheden bestaan met betrekking tot de oogst van het korteomloophout. De oogst zal veel lager liggen indien de omloophout zich op natte grond bevindt (Provinciaal centrum voor landbouw en milieu, 2011). Aangezien het weer op lange termijn niet te voorspellen valt, is er een grote onzekerheid over de ton droge stof die men jaarlijks zal kunnen oogsten.

Het voortbestaan van toeslagrechten, is onzeker. De braaktoeslagrechten werden al afgeschaft en dus is in de toekomst mogelijk dat de gewone toeslagrechten worden afgeschaft of dat het bedrag wijzigt.

Dit zijn slechts twee voorbeelden van de vele onzekerheden die er bestaan. Alle relevante onzekerheden zullen uitvoerig besproken worden in deze masterproef met behulp van een risicoanalyse.

Risicoanalyse is het kwantificeren, kwalitatief of kwantitatief, van de waarschijnlijke en mogelijke impact van risico's. Anderen noemen dit risicobeoordeling wat betekent dat risicoanalyse het hele proces is van het identificeren van risico's, de beoordeling van kwantitatieve en kwalitatieve risico's tot en met de genomen beslissingen en de communicatie naar de *stakeholders* (Vose, 2003).

1.2 Centrale onderzoeksvraag

Uit bovenstaande probleemstelling volgt dan de centrale onderzoeksvraag.

Wat is het economisch risico van een investering om fast pyrolyse toe te passen voor de productie van bio-olie uit vervuild korte omloophout?

Om dit te onderzoeken voeren we een kosten-batenanalyse en een risicoanalyse uit. Risicoanalyse is het geheel van activiteiten die als doel hebben het systematisch en permanent identificeren van de economische risicofactoren, en het vaststellen en evalueren van het risico met het oog op het bepalen van de kritische succesfactoren. Een risicoanalyse kan bestaan uit een sensitiviteitsanalyse, scenarioanalyse en Monte Carlo simulaties. Andere mogelijkheden worden besproken in het

hoofdstuk van de risicoanalyse. Verder zal worden nagegaan welke maatregelen er genomen kunnen worden om risico's te reduceren.

Deze centrale onderzoeksvraag leidt tot volgende deelvragen.

A: Onder welke omstandigheden is de netto contante waarde positief? En wat is de terugverdientijd van de investering? (kosten-batenanalyse)

Kosten-batenanalyse is een beoordelingsmethode die de waarde van het project kwantificeert in monetaire termen. De kosten-batenanalyse berekent de netto contante waarde voor elk beleidsalternatief, dit is de sociale baten min de sociale kosten (Boardman, 2011).

Met behulp van de netto contante waarde is het mogelijk om een risicoanalyse uit te werken.

B: Welke factoren/variabelen van de netto contante waarde zijn onzeker? Binnen welk interval varieert elke onzekere factor? (sensitiviteitsanalyse)

Bij het uitvoeren van een sensitiviteitsanalyse gaat men na wat het effect is op de netto contante waarde (NCW) bij het wijzigen van één parameter. De meest gebruikelijke vorm bestaat is dat voor een project met een positieve NCW wordt nagegaan met hoeveel een bepaalde parameter mag wijzigen, ceteris paribus (c.p.), voordat de NCW van het project negatief wordt. De gevoeligheid voor wijzigingen van de parameters wordt nagegaan (Mercken, 2004).

Een sensitiviteitsanalyse kan bestaan uit kwantitatieve variantie-gebaseerde methoden of andere vormen van globale gevoeligheid met regionale eigenschappen. Voorbeelden van de kwantitatieve variantie-gebaseerde methoden zijn één factoranalyse (zie verder) en meervoudige factoranalyse. Bij andere vormen van globale gevoeligheid met regionale eigenschappen gaat men bijvoorbeeld na welke factoren de lichtinterceptie en de koolstofopname bij bomen kunnen beïnvloeden. De hoeveelheid lichtinterceptie en koolstofopname is afhankelijk van de plantingsplaats van de bomen, wat een regionale eigenschap is. Men gaat niet nagaan hoeveel een factor kan variëren wel vergelijkt de factoren met elkaar (Campolongo, Cariboni, Saltelli, 2007).

Tot de eenvoudigste klasse van de sensitiviteitsanalyse behoort de één factoranalyse. Bij deze analyse varieert slechts één factor van de netto contante waarde om zo de variatie van die bepaalde factor te meten. In tegenstelling tot de één factor techniek vereisen globale methoden een groot aantal model evaluaties (Campolongo, Cariboni, Saltelli, 2007).

C: Wat is het optimistisch en het pessimistisch scenario van de investering? (scenario-analyse)

Naast een sensitiviteitsanalyse op basis van het basisscenario loont het de moeite om oog te hebben voor het gelijktijdig veranderen van de parameterwaarden. Dit doen we door naast het basisscenario, een optimistisch en pessimistisch scenario uit te werken (Mercken, 2004).

D: Wat is de waarschijnlijkheidsverdeling van de netto contante waarde? (Monte Carlo simulaties)

Indien een project elementen bevat die door het toeval worden beïnvloed, kan een Monte Carlo simulatie worden toegepast. Voor een investeringsproject betekent dit dat parameters een waarschijnlijkheidsgraad hebben. In werkelijkheid zal een ongekende combinatie van die parameterwaarden het uiteindelijke resultaat bepalen (Mercken, 2004).

Bij deze techniek gebeurt een kansverdeling van elk element in de steekproef van het model om zo te komen tot honderden of zelfs duizenden scenario's. Elke waarschijnlijkheidsverdeling kan op een grafiek getekend worden. De verdeling van de waarden berekend voor het model reflecteren de waarschijnlijkheid van de mogelijke waarden (Vose, 2003).

E: Welke maatregelen kunnen genomen worden om risico's te reduceren?

Enkele risico's werden reeds vermeld in de probleemstelling. Tijdens het uitvoeren van de kosten-baten en risicoanalyse zullen nog meer risico's aan het licht komen. In dit deel wordt dan nagegaan hoe men de gevonden risico's kan reduceren.

De gebruikte technieken voor het oplossen van deze deelvragen worden verder besproken in hoofdstuk drie.

Hoofdstuk 2 : Van korteomloophout tot bio-olie

2.1 Teelt en verwerking van korteomloophout

Op de site van het Provinciaal centrum voor landbouw en milieu (2011) wordt de teelt en verwerking van korteomloophout duidelijk beschreven. Onderstaande tekst is een samenvatting van deze informatie.

2.1.1 Terreinvoorbereidende werken

Alvorens het korteomloophout geplant kan worden, moet er tijdens de herfst tot 30 cm diep geploegd worden. Dit zorgt ervoor dat onkruidzaden diep in de bodem worden geduwd en hierdoor wordt de groei van onkruid onderdrukt. In het voorjaar kan dan het frezen (dit is fijnmalen van grond en aardkluiten) plaatsvinden alsook het effenen van het terrein. Bemesting of bekalking gebeurt vooraf, zodat de optimale zuurtegraad kan worden bereikt (tussen 5,5 en 7 pH).

2.1.2 Aanplanting en beheer van korteomloophout

De meest gangbare manier van planten is het aanplanten van korte stekken van wilgen- of populierenklonen in dubbele rijen en met een tussenruimte van anderhalve meter. Gedurende het eerste jaar van de aanplanting moet er aan onkruidbestrijding gedaan worden. Bemesting is echter in het eerste groeiseizoen niet nodig, aangezien de stekken nog niet genoeg wortels hebben en ze de nutriënten van de mest dan nog niet kunnen opnemen. Na een of meerdere oogsten is aanvullende bemesting wel aan te raden. Verder wordt er best voor een houtsoort gekozen die resistent is tegen ziektes en plagen zoals wilg of populier.

2.1.3 Oogst

De oogst gebeurt in principe tijdens de winter volgens een cyclus waarbij elke drie jaar geoogst wordt. De oogst kan in principe op verschillende manieren gebeuren. In Vlaanderen is er slechts een oogstmachine beschikbaar, een maïshakselaar met speciale oogstkop. Tijdens de oogst wordt telkens een dubbele rij geoogst. De boomstekken van maximaal 15 cm diameter worden afgesneden en ter plekke verhakseld. Bij grote aaneengeschaalde percelen kan twee hectare per uur geoogst worden. De snippers hebben een diameter tussen 10 en 45 mm. De oogst gebeurt soms handmatig met behulp van een kettingzaag.

2.1.4 Ontstronken

Een aanplanting kan slechts zes à zeven keer geoogst worden. Hierna kan men een nieuwe aanplanting met korteomloophout aanleggen of men kan de reguliere landbouw terug opstarten. Dit betekent dat de stronken uit de grond moeten verwijderd worden door middel van een zware bosfrees. Eventueel kan men na de laatste oogst de teruggroei behandelen met een herbicide, onkruidverdelger dat gebruikt wordt om groei van bomen te verminderen.

2.2 Verwerking van biomassa tot bio-olie

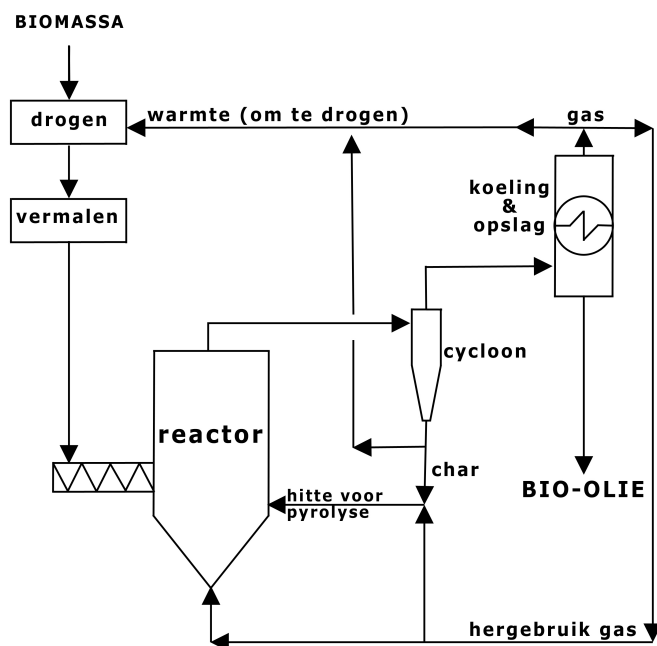
2.2.1 Ontvangst en opslag

Nadat het hout geoogst wordt, moet dit vervoerd worden naar de pyrolyse centrale. Daar moet de oogst eventueel nog verwerkt en/of opgeslagen worden. Voor kleine pyrolyse centrales met een lage capaciteit van ongeveer drie ton per uur grondstof kan het voldoende zijn om de grondstof te lossen bij een opslagbunker en met behulp van een front-end tractor de grondstof naar het begin van de centrale te brengen. Wanneer de centrale een hogere capaciteit heeft, zijn er ingewikkeldere systemen voor de ontvangst, opslag en verwerking van het hout noodzakelijk. Deze systemen zijn analoog met deze gebruikt bij papierfabrieken, bijvoorbeeld een weegbrug, transportbanden en grotere opslagplaatsen waar het hout droog blijft (Bridgwater, Peacocke, 2000).

2.2.2 Drogen van hout

Het drogen van het hout is noodzakelijk aangezien anders de bio-olie een te hoog gehalte aan water zal hebben. Meestal wordt er gebruik gemaakt van warmte die uit het pyrolyseproces ontstaat zoals het drogen van de biomassa met behulp van het pyrolyse gas en/of de hete lucht afkomstig van de kolen, zie figuur 2 (Bridgwater, Peacocke, 2000).

Figuur 2: Fast pyrolysesysteem



Bron : Bridgwater, A.V., Peacocke, G.V.C., *Fast Pyrolysis Processes for Biomass*. (2000) Renewable and sustainable energy reviews, 4, p.4.

2.2.3 Vermalen van hout

De houtsnippers moeten zeer klein zijn om een hoge opbrengst aan bio-olie via een snelle verhitting te bekomen. In figuur 2 is dit weergegeven met het balkje waarin staat vermalen. De grootte van de houtsnippers is afhankelijk van de soort reactor die gebruikt wordt. Bij het gebruik van een *fluidbed* reactor hebben de houtsnippers een afmeting van minder dan twee millimeter en

bij circulerende *fluidbed* reactoren mogen de houtsnippers maximaal zes millimeter bedragen. Bij ablatieve reactoren echter kunnen hele houtsnippers gebruikt worden. Hoe kleiner de houtsnippers moeten gemaakt worden hoe duurder. De verschillende reactoren komen in de volgende paragraaf aan bod (Bridgwater, Peacocke, 2000).

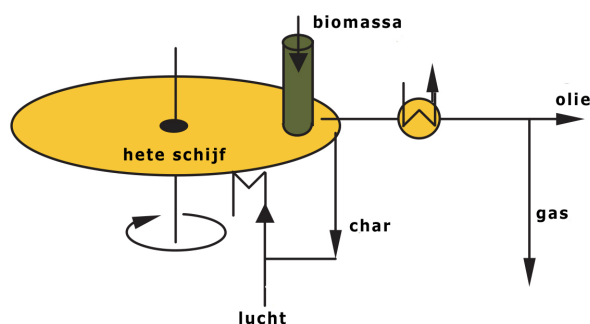
2.2.4 Reactor

Een groot aanbod aan reactoren werd reeds onderzocht. De reactoren verschillen onderling sterk en ook op de manier waarop ze voldoen aan de noden van de fast pyrolyse. De beste methode is echter nog niet gevonden en de meeste reactoren hebben een opbrengst tussen 65 en 75 percent bio-olie (gebaseerd op droge ton) (Bridgwater, Peacocke, 2000). Enkele vormen van reactoren worden hieronder verduidelijkt. De principes van fast pyrolyse worden in punt 2.3 meer toegelicht.

2.2.4.1 Ablatieve reactor

Het principe van ablatieve reactoren wordt weergegeven in figuur 3. De oppervlakte, verhit door pyrolyse-gas en rook afkomstig van de kolen, draait rond en de biomassa wordt op de hete oppervlakte gedrukt (Venderbosch, Prins, 2010). Dit proces kan vergeleken worden met het smelten van boter in de pan waarbij je de boter sneller kan laten smelten door de boter op de pan te drukken en over het hete oppervlakte te laten bewegen (Bridgwater, 2011).

Figuur 3: Werking ablatieve reactor



Bron: Venderbosch, R.H., Prins, W. *Fast pyrolysis technology development*. (2010) Bioproducts Biofuels and Biorefining, 4, p. 188.

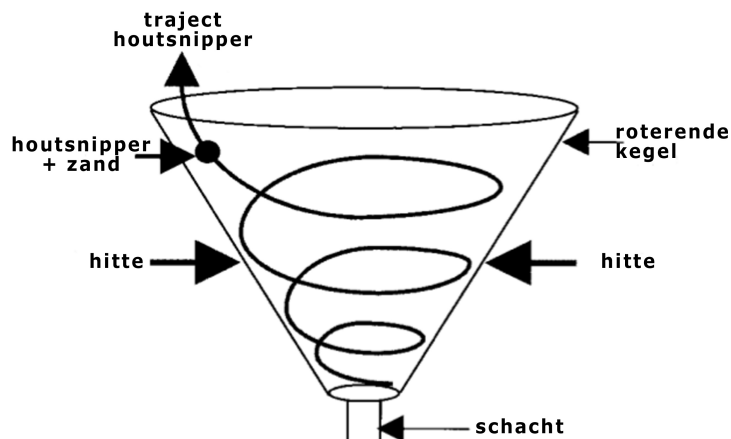
De warmte wordt overgedragen van de reactorschijf naar het 'smeltende' hout. De gesmolten laag verdampt dan. De snelheid van deze reactie wordt sterk beïnvloed door de druk van het hout op het verwarmde oppervlak en de temperatuur van het oppervlak. Het verwarmd oppervlak mag maximum 600 graden Celsius bedragen. Een voordeel van ablatieve reactoren is dat het houtsnippers relatief groot mogen zijn. Een nadeel is dat de reactor mechanisch wordt aangedreven wat het proces complexer maakt (Bridgwater, 2011).

2.2.4.2 Rotating cone fluid bed reactor

Bij *rotating cone fluid beds* wordt de biomassa in de reactor geschroefd waar het in contact komt met inerte deeltjes, meestal zand. Dan gebeurt de snelle pyrolyse waarna de char en het zand uit de reactor verwijderd worden en naar de verbrandingskamer worden vervoerd. Het voordeel van

dit systeem ten opzichte van ablatieve reactoren is de hitte die wordt opgewekt door de char komende van de gebruikte biomassa (Venderbosch, Prins, 2010). Een nadeel van deze technologie is echter dat het voeder maximaal twee a drie millimeter groot mag zijn. Anders kan de hoge biomassatemperatuur niet bereikt worden (Bridgwater, 2011).

Figuur 4: Werking *rotating cone fluid bed* reactor



Bron : Bridgwater, A.V., Peacocke, G.V.C., *Fast Pyrolysis Processes for Biomass*. (2000) Renewable and sustainable energy reviews, 4, p.54 .

2.2.4.3 Bubbling fluid bed reactor

Net zoals de circulerende *fluid beds* wordt de biomassa gemengd met zand. Hierdoor moet, net zoals bij *rotating cone* reactoren de grondstof zeer fijn zijn (Bridgwater, 2011). Om korte verblijftijden, dit is de tijd dat de biomassa zich in de reactor bevindt, te kunnen verwezenlijken wordt er gebruik gemaakt van een ondiep *bed* en/of een hoge snelheid van de gasstroom. Hierdoor komt er slechts een minimum aan *char* in de bio-olie terecht, veel minder dan bij circulerende *fluid bed* reactoren (Scott et al., 1999).

2.2.5 Char- en asverwijdering

Een gedeelte van de char wordt onvermijdelijk mee overgebracht naar de cyclonen. Het fijne char wordt dan opgeslagen in de bio-olie en kan dan enkel verwijderd worden via filtratie van de vloeistof door het gebruik van een patroonfilter of draaiende filter. Bijna alle as wordt opgeslagen in de char. Wanneer er succesvol char wordt verwijderd, worden de assen mee verwijderd. Het verwijderen van de char is echter moeilijk en niet noodzakelijk voor alle toepassingen.

Char draagt bij tot het secundair breken van de molecuulketens tijdens de verdampingsfase daarom is een snelle en complete char verwijdering aan te raden. Zelfs wanneer de char deel uitmaakt van gekoelde vloeistof zorgt het het voor instabiliteitsproblemen van de bio-olie (Bridgwater, Peacocke, 2000).

2.2.6 Verblijftijd van de dampen

De verblijftijd en temperatuur gedurende de vorming van pyrolysedampen en hun koeling beïnvloeden de samenstelling en kwaliteit van de vloeistof. Hoge temperaturen zorgen voor het continu breken van de molecuulketens. Hoe langer de dampen blootgesteld zijn aan een hoge temperatuur, hoe meer de molecuulketens gebroken worden. Het secundair breken van de molecuulketens zorgt voor instabiliteit van de bio-olie (Bridgwater, Peacocke, 2000).

2.2.7 Opslag van bio-olie

De vorming van de bio-olie vindt plaats bij koeling van aerosol die in contact komt met koud water. Aerosol is een mengsel van stofdeeltjes of vloeistofdruppels van 0,2 tot 200 micrometer groot in een gas, zoals bijvoorbeeld mist. Dit maakt het verzamelen van de vloeistofdeeltjes moeilijk in het fast pyrolyseproces. Contact met gekoeld water zorgt voor de verzameling van vloeistoffen, indien de temperatuur moet zorgvuldig geregeld worden om blokkages van de toenemende condensatie van de lange koolwaterstofketens te vermijden. De opslag van korte koolwaterstofketens is belangrijk om de stabiliteit van de vloeistof te verhogen (Bridgwater, Peacocke, 2000).

2.3 Principes van fast pyrolyse

Bij fast pyrolyse wordt de biomassa zeer snel verhit. Hierdoor verkrijgt men voornamelijk damp, aerosol, gas en char. Na koeling en condensatie wordt een donkerbruine homogene vloeistof gevormd die een verwarmingswaarde heeft van ongeveer de helft van dieselolie. Via fast pyrolyse wordt een hoge opbrengst aan bio-olie en lage opbrengst aan char verkregen. De kenmerken van het fast pyrolyseproces zijn:

- een gecontroleerde pyrolyse reactietemperatuur van rond de 500 graden Celsius om de opbrengst van de bio-olie te maximaliseren
- een korte verblijftijd van de warme dampen van minder dan twee seconden (hierdoor worden secundaire reacties geminimaliseerd)
- de twee bovenstaande voorwaarden vereisen dat de biomassasnipperers maximum drie millimeter groot mogen zijn voor *fluid bed* reactoren
- snelle verwijdering van char (minimaliseren van het breken van dampen)
- snelle koeling van de dampen om bio-olie te creëren (Bridgwater, 2011).

Bio-olie wordt verkregen met opbrengsten tot 75 massa% (van de droge ton biomassa) samen met bijproducten char en gas die kunnen gebruikt worden in het proces om hitte op te wekken zodat er geen afvalstromen zijn, behalve dan rookgas en assen. Hoe hoog de bio-olie opbrengst is, hangt af van het biomassa type, temperatuur, verblijftijd, de snelheid van de charverwijdering en de hoeveelheid as die de biomassa bevat. De temperatuur, verblijftijd en soort biomassa worden verder onderzocht (Bridgwater, 2011).

Het fast pyrolyseproces omvat het drogen van de biomassa tot er minder dan tien percent water overblijft zodat het water in de bio-olie geminimaliseerd wordt. Hierna wordt de biomassa versnipperd totdat er zeer kleine deeltjes overblijven om een snelle reactie te garanderen. Dan vindt de fast pyrolyse zelf plaats. Ten slotte wordt de char snel en efficiënt verwijderd en wordt de bio-olie snel afgekoeld en opgeslagen (Bridgwater, 2011).

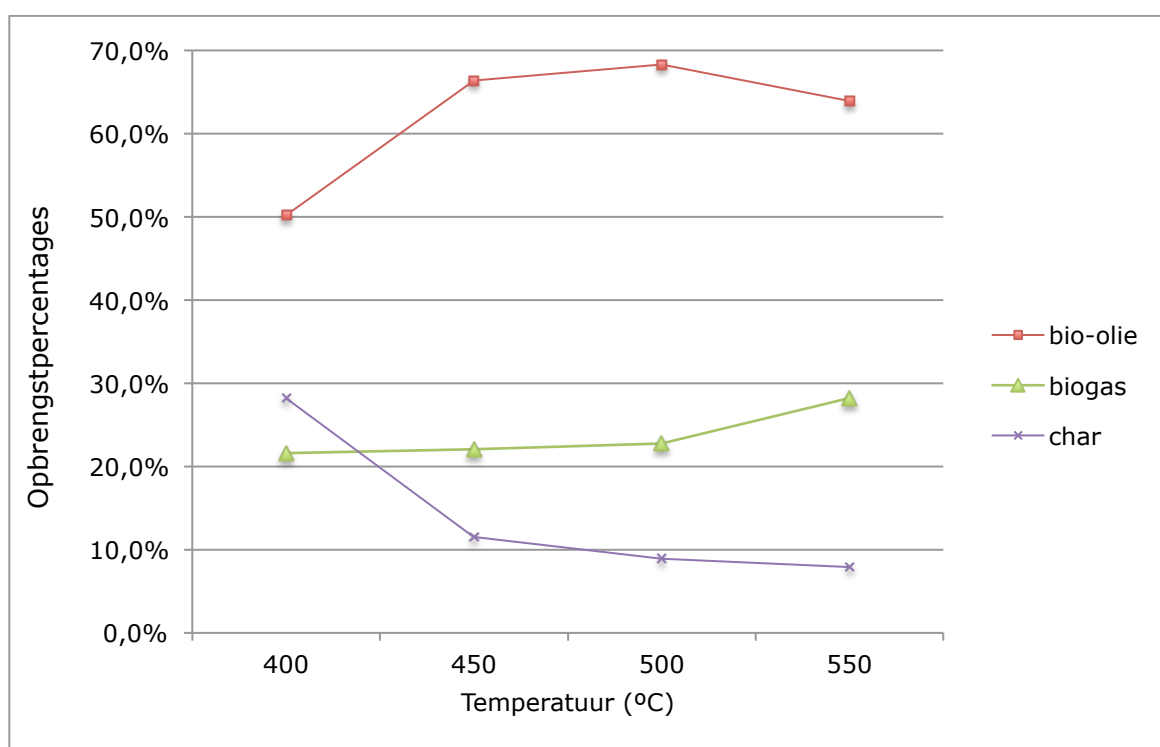
2.4 Optimale omstandigheden voor fast pyrolyse

Hierboven werd reeds toegelicht dat fast pyrolyse aan een aantal kenmerken moet voldoen om de opbrengst van bio-olie te maximaliseren. Er is reeds veel onderzoek gedaan naar de parameters van deze voorwaarden.

2.4.1 Temperatuur

Kwang Ho Kim et al. (2011) onderzochten de optimale temperatuur van fast pyrolyse in een *fluidized bed reactor* gebruikmakend van Amerikaanse populier. De verblijftijd bedroeg 1,2 seconden en het hout werd gedroogd tot een watergehalte van 8%. De fast pyrolyse vond plaats bij 400, 450, 500 en 550 graden Celsius.

Figuur 5: Grafiek opbrengstpercentage bio-olie bij verschillende temperaturen



Bron: Kim, K.H., et al. (2011) *Investigation of physicochemical properties of biooils produced from yellow poplar wood (Liriodendron tulipifera) at various temperatures and residence times*. Journal of analytical and applied pyrolysis, 92, p.4.

De grafiek laat duidelijk zien dat de opbrengst van de bio-olie stijgt tot 500 graden Celsius. De opbrengst bedraagt 68,5%. Wanneer de temperatuur hoger wordt dan 500 graden Celsius daalt de opbrengst terug. Dit kan verklaard worden door de te felle verhitting van de biomassa waardoor de molecuulketens voor een tweede maal gebroken worden en de bio-olie opbrengst daalt en er meer gas ontstaat. Het char-percentages daalt met het stijgen van de temperatuur. De optimale reactietemperatuur is 500 graden Celsius.

Stals et al. (2010a) deden onderzoek naar de invloed van temperatuur op bio-olie. De oogst van het korteomloophout gebeurde op een proefveld in Balen (België). De intervalgrootte van de temperaturen in dit onderzoek is groter namelijk 623, 723 en 823 Kelvin of respectievelijk 350,

450 en 550 graden Celsius, zie onderstaande tabel. Hierdoor wordt de optimale reactietemperatuur van 500 graden Celsius volgens het onderzoek van Kwang Ho Kim et al. niet onderzocht. 450 graden Celsius is in dit geval de meest geschikte temperatuur.

Tabel 4: Opbrengstpercentages uit fast pyrolyse onder verscheidene temperaturen

Gebruikte biomassa	Temperatuur (K)	Opbrengst bio-olie (%)	Opbrengst char (%)	Opbrengst gas (%)
hout	623	40	36	24
	723	52	23	25
	823	43	12	45

Stals, M., et al. (2010a) *Flash pyrolysis of heavy metal contaminated hardwoods from phytoremediation: Characterisation of biomass, pyrolysis oil and char/ash fraction*. Journal of analytical and applied pyrolysis, 89, p.25.

Deze studie ging nog na of de aanwezigheid van zware metalen in bio-olie verschilt bij pyrolyse op basis van verschillende temperaturen, zie tabel 4. Het gebruiken van een hetegas filter doet in het algemeen de waarde van de zware metalen dalen in de pyrolyse olie. De temperatuur van 450 graden Celsius blijkt de meest geschikte aangezien hogere temperaturen een te hoge concentratie van zware metalen in de pyrolyse olie veroorzaken.

Tabel 5: Aanwezigheid van zware metalen in bio-olie afkomstig van fast pyrolyse van *Salix fragilis* (uitgedrukt in mg per kg bio-olie)

Metaal	Temperatuur zonder hetegas filter			Temperatuur met hetegas filter		
	623 K	723K	823K	623K	723K	823K
Cadmium	0,39	0,9	16,1	0,1	1,3	4,3
Zink	4,7	4,2	10,7	4,6	2,0	4,1
Lood	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,8

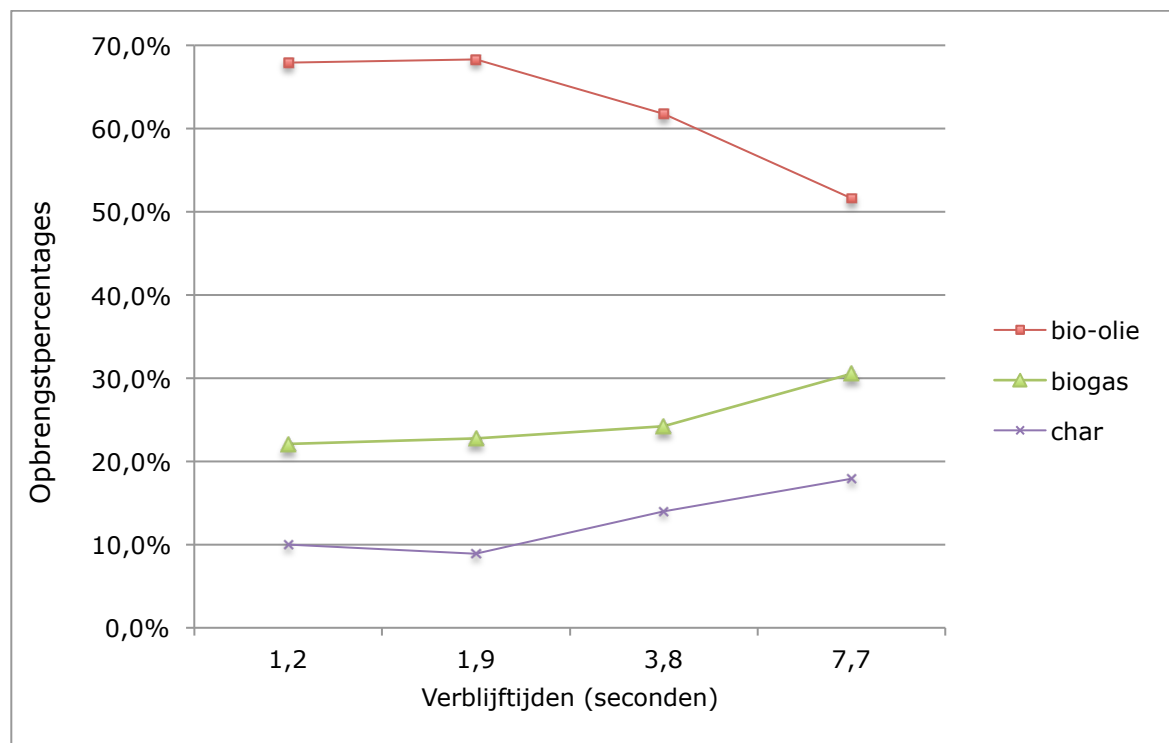
Bron: Stals, M., et al. (2010a) *Flash pyrolysis of heavy metal contaminated hardwoods from phytoremediation: Characterisation of biomass, pyrolysis oil and char/ash fraction*. Journal of analytical and applied pyrolysis, 89, p.26.

Het onderzoek van Stals et al. (2010) is echter gebeurt in een labosetting en niet met behulp van een pyrolysecentrale daarom is het meer aangewezen om met de resultaten uit het onderzoek van Kwang Ho Kim verder te werken.

2.4.2 Verblijftijd

Kwang Ho Kim et al. (2011) onderzochten naast de optimale temperatuur ook de optimale verblijftijd. Ze gebruikten hiervoor dezelfde reactor en biomassa als in hun onderzoek naar de optimale temperatuur. Voor het testen van de verschillende verblijftijden; 7,7 , 3,8 , 1,9 en 1,2 seconden werd steeds een temperatuur van 500 graden Celsius aangehouden omdat er reeds aangetoond werd dat deze temperatuur optimaal is.

Figuur 6: Grafiek opbrengstpercentages bij verblijftijden van 1,2 ; 1,9 ; 3,8 en 7,7 seconden



Bron: Kim, K.H., et al. (2011) *Investigation of physicochemical properties of biooils produced from yellow poplar wood (Liriodendron tulipifera) at various temperatures and residence times*. Journal of analytical and applied pyrolysis, 92, p.5.

Bij 1,2 en 1,9 seconden is er nauwelijks verschil in opbrengst van bio-olie. Bij een verblijftijd van 3,8 seconden is er al een duidelijk daling van de opbrengst van 68,5 naar 61,8%. De opbrengst van de bio-olie daalt nog feller bij een verblijftijd van 7,7 seconden. Het percentage van char en niet-condenseerbare gassen verhoogt naarmate de verblijftijden langer worden. Dit kan verklaard worden doordat bij een langere verblijftijd, en een tragere doorstroming van het gas, het vloeibaar maken van de biomassa niet volledig bereikt wordt in de reactor. In deze studie bedroeg de optimale verblijftijd 1,9 seconden.

Alle werken van Bridgwater vermelden een verblijftijd van maximum twee seconden om een optimaal resultaat te bekomen. Venderbosch en Prins (2010) hebben het over een maximale verblijftijd van enkele seconden.

2.4.3 Biomassa

Bij de probleemstelling werd aangehaald dat elke houtsoort een verschillende oogst van biomassa (uitgedrukt in tds per hectare) oplevert afhankelijk van de bodem- en weersomstandigheden. Nu wordt ingegaan op het gegeven dat de biomassa van één soort kortoomloophout een verschillend opbrengstpercentage van bio-olie oplevert dan een andere soort kortoomloophout. Een tweede belangrijk element is dat de zware metalen worden opgenomen door het kortoomloophout.

Het onderzoek van Stals et al. (2010) gebruikt drie verschillende houtsoorten, vervuild met zware metalen *salix fragilis* (kraakwilg), *salix Jorunn* (een kruising van de katwilgen) en *populus*

grimminge (kruising tussen populierensoorten) die om de drie jaar werden geoogst in Balen (België). De fast pyrolyse werd uitgevoerd zonder hetegas filter met een temperatuur van 450 graden Celsius.

Tabel 6: Opbrengstpercentages van bio-olie bij verschillende houtsoorten bij 450°C

	<i>Salix fragilis</i>	<i>Salix jorunn</i>	<i>Populus grimminge</i>
Opbrengst (%)			
Bio-olie	52	45	42
Char	23	22	31
Gas	25	33	27
Energie terugwinning (%)			
Bio-olie	39	34	35

Bron: Stals, M., et al. (2010a) *Flash pyrolysis of heavy metal contaminated hardwoods from phytoremediation: Characterisation of biomass, pyrolysis oil and char/ash fraction*. Journal of analytical and applied pyrolysis, 89, p.25.

De *Salix Fragilis* heeft de hoogste waarde aan pyrolyse olie met de hoogste energie terugwinningsopbrengst. Zoals al aangehaald in hoofdstuk één is de opname van zware metalen een belangrijke factor bij de keuze van de soort korteomloophout. De onderstaande tabel wordt opnieuw aangehaald om te verduidelijken dat wilg, meer bepaald *Salix Fragilis*, de hoogste concentratie heeft van zware metalen en daarom als beste soort gekozen wordt.

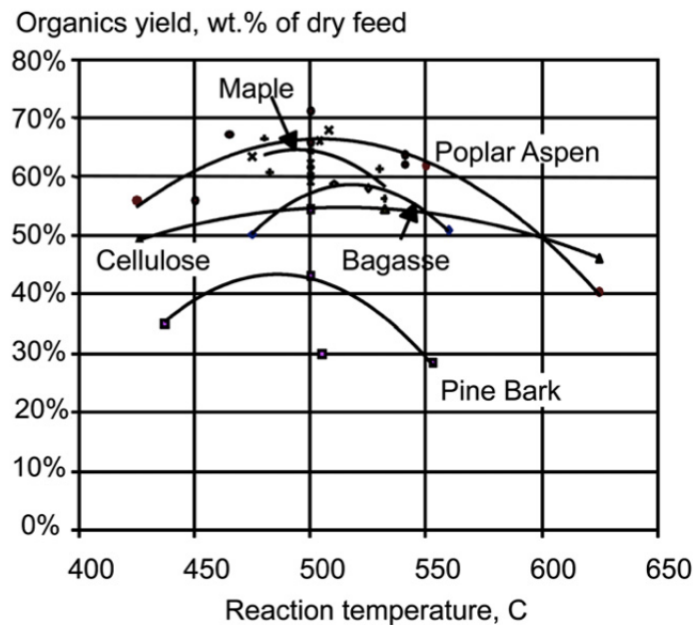
Tabel 7: Opname van zware metalen (in mg) bij wilg en populier (per kg droge stof)

	<i>Salix fragilis</i> takken	<i>Salix fragilis</i> bladeren	<i>Salix jorunn</i> takken	<i>Populus grimminge</i> takken
Cadmium	40,9	80,0	15,8	10,6
Zink	822	4630	522	349
Lood	26,3	14,4	15,9	17,7

Bron: Stals, M., et al. (2010a) *Flash pyrolysis of heavy metal contaminated hardwoods from phytoremediation: Characterisation of biomass, pyrolysis oil and char/ash fraction*. Journal of analytical and applied pyrolysis, 89, p.25.

Bridgwater (2011) heeft onderzoek verricht naar de impact van verschillende houtsoorten op de opbrengst van pyrolyse olie. Amerikaanse populier, esdoorn, suikerriet snippers, cellulose en dennenschors werden onderzocht. De Amerikaanse populier had de grootste opbrengst bij temperaturen van 425 tot 600 graden Celsius, zie figuur zeven. Het beste resultaat werd verkregen bij een temperatuur van 500 graden Celsius. Verder doorston esdoorn de testen goed. De hoogste opbrengt van bio-olie werd verkregen bij een temperatuur van 500 graden. Het gebruik van dennenschors resulteerde echter in de laagste opbrengst die gemiddeld 40 wt.% bedroeg.

Figuur 7: Grafiek bio-olie opbrengsten van verschillende houtsoorten



Bron: Bridgwater, A.V. *Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading*. (2011) Biomass and Bioenergy. p. 23.

Dit artikel onderzocht echter niet hoe goed deze soorten in staat zijn om zware metalen op te nemen. Het artikel van Kwang Ho Kim et al onderzocht noch verschillende soorten noch de opname van zware metalen. Echter het opbrengstpercentage van de bio-olie van Stals et al. (2010a) is te laag om als basiswaarde te gebruiken daarom wordt er toch gekozen voor de opbrengstpercentages uit het artikel van Bridgwater (2011) en wordt 65% als basiswaarde aangenomen.

2.5 Samenstelling bio-olie

Pyrolyse-olie of bio-olie heeft een andere samenstelling dan dieselolie of stookolie. De dichtheid van bio-olie is hoger dan dieselolie en stookolie. De energie dichtheid of verwarmingswaarde van bio-olie is echter laag, 17,5 MegaJoule/kg (MJ/kg) ten op zichte van 40,7 MJ/kg voor stookolie. Dit betekent dat 2,5kg bio-olie nodig is voor dezelfde energie input van 1kg fossiele brandstof. De verwarmingswaarde omgezet naar volume is dit 20,5 MJ/l voor bio-olie en 33,5 MJ/l voor stookolie. Dit betekent dat de bio-olie ongeveer 42% van de energie van dieselolie heeft op basis van gewicht maar 61% op basis van volume (Bridgwater, 2011 en Bridgwater, Peacocke, 2000).

Viscositeit is de vloeibaarheid of stroperigheid van een vloeistof. Viscositeit wordt uitgedrukt in centipoise (cP). Eén centipoise is ongeveer de vloeibaarheid van water. Water is het meest vloeibaar en daarom het vergelijkingspunt. De hoeveelheid water aanwezig in bio-olie, de gebruikte biomassa, de bewaring en de leeftijd van de bio-olie bepalen de viscositeit (Bridgwater, Peacocke, 2000). Het toevoegen van water kan de viscositeit verlagen (Bridgwater, 2011). Hoe ouder de bio-olie, hoe hoger de viscositeit. De blootstelling van bio-olie aan zuurstof en ultra-violet licht zorgt voor een hogere viscositeit (Bridgwater, Peacocke, 2000). De viscositeit van bio-olie bij 50 graden

Celsius is gelijk aan 13, terwijl dit bij dieselolie slechts 2,5 is, zie onderstaande tabel (Bridgwater, Toft, Brammer, 2002).

De verandering in viscositeit, de viscositeitindex (VI) is een maatstaf voor de stabiliteit.

$$VI = \frac{(\mu_{t2} - \mu_{t1})}{\mu_{t1}}$$

waarbij:

μ_{t1} = hoeveelheid centipoise op tijdstip 1, μ_{t2} = hoeveelheid centipoise op tijdstip 2

Hoe lager de viscositeitindex, des te stabiel is de vloeistof (Chiaramonti et al., 2003a). Dieselolie en stookolie zijn stabiel dan bio-olie. Dit kan een effect hebben bij de prijsbepaling van bio-olie.

Tabel 8: Vergelijking van bio-olie met dieselolie en stookolie

		Bio-olie	Dieselolie	Zware stookolie
Dichtheid	kg/m ³ bij 15°C	1220	854	963
Samenstelling	%C	48,5	86,3	86,1
	%H	6,4	12,8	11,8
	%O	42,5	-	-
	%S	-	0,9	2,1
	%N	-	-	-
Viscositeit	cP bij 50°C	13	2,5	351
Assen van char	wt. %	0,13	<0,01	0,03
Water	wt. %	20,5	0,1	0,1
LVV	MJ/kg	17,5	42,9	40,7
Zuurtegraad	pH	3	-	-

Bron : Bridgwater, A.V., Toft, A.J., Brammer, J.G. (2002) *A techno-economic comparison of power production by biomass fast pyrolysis with gasification and combustion*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 6, p. 186.

De aanwezigheid van assen in de bio-olie komt doordat de cycloon niet in staat is om al de char te verwijderen. Het percentage van de char in gewicht bedraagt meestal één 1 massa% (Bridgwater, Peacocke, 2000). In het onderzoek van Bridgwater, Brammer en Toft (2002) bedraagt het percentage aan char 0,13 massa%, zie bovenstaande tabel. Het verschil in deze twee waarden is te verklaren doordat men de assen tijdens het pyrolyseproces nog verder kan verwijderen met behulp van warme lucht filtratie en vloeistoffiltratie.

Bij warme lucht filtratie worden de kolen gefilterd na de cycloon én voor de opslag van de bio-olie. Hierdoor kan de opbrengst van de bio-olie verminderen omdat de verblijftijd van de biomassa groter is. Daarom wordt er meer gewerkt met vloeistoffiltratie. Dit betekent dat de bio-olie achteraf gefilterd wordt met behulp van bijvoorbeeld centrifuges (Bridgwater, Peacocke, 2000). Een centrifuge is een toestel dat gebruik maakt van een draaiende beweging om met behulp van de middelpuntvliedende kracht en onderlinge verschillen in dichtheid, de mogelijkheid biedt om stoffen te zuiveren, te scheiden of te drogen. Zo droogt bijvoorbeeld de centrifuge in een wasmachine de

kledingstukken. Een alternatieve strategie is om de bio-olie te mengen met dieselolie, zie Hoofdstuk twee punt zes.

Het percentage water uitgedrukt in gewicht dat de bio-olie bevat varieert van 15 massa% tot 45 massa%. Dit hangt af van de hoeveelheid water in de gebruikte biomassa en het water dat geproduceerd werd tijdens de pyrolyse reactie (Bridgwater, 2011). In bovenstaande tabel wordt een watergehalte van 20 wt.% aangegeven (Bridgwater, Brammer, Toft, 2002). Er staat een limiet op de mate waarin water kan toegevoegd worden aan bio-olie. Bio-olie kan niet opgelost worden in water. Water verlaagt de verwarmingswaarde van de bio-olie, wat betekent dat meer van de vloeistof nodig is voor het zelfde gebruik. Door het toevoegen van water verlaagt de viscositeit en verhoogt de stabiliteit. Deze effecten zorgen voor een complexe relatie van het toevoegen van water aan bio-olie (Bridgwater, 2011).

De afbraakproducten van cellulose zijn onder andere organische zuren zoals mierenzuur en azijnzuur. Deze zuren geven de bio-olie een lage pH-waarde van 3, zie bovenstaande tabel. Deze zuren kunnen zacht staal aantasten en daarom is het aangewezen om de bio-olie in roestvrijstaal of andere materialen die niet worden aangetast door zuren te bewaren (Bridgwater, Peacocke, 2000).

2.6 Gebruik bio-olie

Bio-olie kan worden gebruikt als grondstof voor het opwekken van elektriciteit en warmte via een turbine, motor of boiler of als grondstof om chemicaliën uit te halen. Om de ruwe bio-olie echter direct te kunnen gebruiken, moeten er significante aanpassingen gebeuren aan de motor. Zo heeft bijvoorbeeld de motor een tweeledig injectiesysteem nodig in plaats van een enkel injectiesysteem. In plaats van de technologie aan te passen, is het mogelijk om de bio-olie te veranderen. Het maken van emulsies met dieselolie kan tegen een lage kost op een grote schaal gebeuren en dan hebben de dieselmotoren nog slechts een kleine aanpassing meer nodig (Chiaromonti et al., 2003a).

Een gerelateerde techniek is het *co-firing*, hier wordt de bio-olie gebruikt in combinatie met conventionele brandstoffen zoals steenkool en gas. Bridgwater (2011) vermeldt ook dat er bij deze techniek schaalvoordelen zijn. Bovendien verlaagt het de problemen met betrekking tot product kwaliteit.

Een derde optie is om uit bio-olie chemicaliën te extraheren. De meeste chemicaliën worden onttrokken aan petroleum. Slechts 5% van de totale olieproductie wordt gebruikt om chemicaliën te maken maar deze zijn veel waard. In de makt van bio-olie is het mogelijk om chemicaliën te produceren. De biomassa op zich is heterogener dan petroleum en de biomassa omzetten tot biobrandstof is niet erg kosteneffectief. Eerst vindt de fast pyrolyse van de biomassa plaats, hierna wordt de vloeistof/bio-olie vergast. Na de vergassing is er nog de synthese en de verfijning van de chemicaliën. Bovendien kan naast het maken van chemicaliën nog steeds biodrandstof en elektriciteit geproduceerd worden (Bridgwater, 2012).

Hoofdstuk 3: Methodologisch kader

3.1 Risico

3.1.1 Definitie

De definitie van risico kent twee aspecten.

Het eerste aspect is dat risico onzekerheid inhoudt, alsook de resultaten van deze onzekerheid. Risico verwijst naar het ontbreken van voorspelbaarheid van structuur, resultaten of gevolgen bij een beslissing of planning. Risico is hierdoor gerelateerd aan concepten van kans zoals waarschijnlijkheid (citaat van Hertz, 1984).

Het tweede aspect is dat risico de graad van onzekerheid is over de toekomstige verwachte waarde of het toekomstig rendement (citaat van Bodie, Kane, Marcus, 2001).

Sommige auteurs scheiden risico van onzekerheid omdat volgens hen bij risico de waarschijnlijkheidsverdelingen objectief aan de variabelen worden toegewezen en bij onzekerheid de waarschijnlijkheidsverdelingen subjectief moeten worden toegewezen (Aven, Nilsen EF en Nilsen T., 2004).

Waarschijnlijkheid of probabiliteit is een maatstaf van onzekerheid die gebruik maakt van een gegeven standaard zoals het nemen van een bal uit een urne (Aven, Nilsen EF en Nilsen T., 2004) of het gooien met een dobbelsteen. (Wanneer er vijf ballen, twee witte en drie zwarte ballen in een urne zitten is de kans op het trekken van een witte bal bij één poging gelijk aan $2/5$. De waarschijnlijkheid dat een witte bal getrokken wordt bij één poging is $2/5$.)

Rendement is het winstaandeel van een investering. Het kan zowel absoluut als in percentages worden uitgedrukt en is belangrijk omdat het een aanduiding is van hoe snel een investering geld opbrengt. Hoe hoger het risico, hoe hoger het rendement moet zijn. Het gemiddeld rendement en het verwacht rendement zijn beide van belang. Het gemiddeld rendement wordt berekend op basis van historische data. Het verwacht rendement is een schatting op basis van de toekomst (Gitman, Joehnk, Smart, 2011).

Risico kan gereduceerd worden via diversificatie en overdragen van risico. Diversificatie is het idee dat het niet goed is om alle eieren in dezelfde mand te leggen. Het overdragen van risico betekent het verzekeren van risico bij verzekeringsagenten of verzekeringsmakelaars (Focardi, Fabozzi, 2004).

3.1.2 Domeinen

Risico is van toepassing op verschillende domeinen zoals bijvoorbeeld gezondheidszorg, terrorisme, financieel management, investeringsprojecten en projectontwikkeling (bv. de ontwikkeling van *fast pyrolyse*). In alle deze domeinen heeft risico een andere betekenis of legt risico een andere nadruk op de hierboven geziene concepten.

Risico in de gezondheidszorg heeft enerzijds betrekking op de onzekerheid van de werking van behandelingen en heeft anderzijds betrekking op het beperkte budget wat betekent dat dit budget zo efficiënt mogelijk besteed moet worden.

Onderzoek naar de werking van geneesmiddelen kan jaren in beslag nemen. Daarom is het onderzoek in drie stappen verdeeld. Eerst wordt bewezen of een geneesmiddel werkzaam is. Dit betekent dat bij klinische studies de werking van het geneesmiddel beter moet zijn dan de werking van een placebo. De tweede stap is de doeltreffendheid of effectiviteit van een geneesmiddel, dit wil zeggen dat het geneesmiddel effectief is in echte situaties (geen labosetting). De derde stap is het bewijs van doelmatigheid of efficiëntie van geneesmiddelen. Aangezien er een beperkt budget is voor de gezondheidszorg moet bewezen worden dat het geld dat besteed wordt, goed besteed is. Wanneer het geld anders besteed wordt, is er minder gezondheidswinst te verkrijgen. Deze stap is het moeilijkste om aan te tonen. Om na te gaan of een geneesmiddel effectief is, wordt gebruik gemaakt van kosten-effectiviteitsanalyse, zie volgend hoofdstuk (Annemans, 2010).

Hoe risico uitgedrukt wordt in het domein van terrorisme is gemakkelijker uit te leggen aan de hand van een voorbeeld. Levine (2012) beschrijft in zijn artikel een eenvoudig voorbeeld met behulp van een discrete verdeling. Het gaat over het risico dat een terroristische leider een aanval zal plegen met een behulp van een zeker chemisch wapen. Denk maar aan de aanval op de Russische spion Aleksander Litvinenko die met polonium vergiftigd werd. Er wordt een nutsfunctie beschreven voor het voordoen van een aanval en een nutsfunctie voor niets doen. Aan de nutsfunctie zijn kansen verbonden en zo kan men de kans op een terroristische aanval berekenen.

Bij financieel management draait het reduceren van risico rond het optimaliseren van het aandelen- en obligatieportfolio. Een deel van het risico wordt al gereduceerd via het aannemen van een portfolio wat we hierboven als risicodiversificatie omschreven. Het risico kan nog verder gereduceerd worden via het analyseren en optimaliseren van het portfolio. Om de *trade-off* tussen risico en rendement te kunnen analyseren en het portfoliorisico te meten moet de doelstelling van de investering duidelijk zijn. De doelstelling is dat de investeerder zijn nut van welvaart wil maximaliseren binnen een bepaalde periode. De investeerder is risico-avers, zie verder. Hij wil zijn welvaart op het einde van de periode maximaliseren door een eenheidskost te betalen voor het portfolio p , gebruikmakend van n beschikbare aandelen en obligaties met een willekeurige rendementsvector, r . Dit kan geschreven worden als:

$$\text{MAX } E [U(1 + p'r)]$$

waarbij $U(\dots)$ de nutsfunctie van de investeerder voorstelt, het accent ' staat voor de eerste afgeleide van p en $E[\dots]$ staat voor de verwachte waarde. De nutsfunctie wordt verondersteld stijgende en concaaf te zijn wat overeenkomt met de risico-aversie van de investeerder (Connor, Goldberg, Korajczyk, 2010). Zo ziet een optimalisatieprobleem bij financieel management eruit.

Bij de ontwikkeling van applicaties of systemen zoals het bouwen van een pyrolyse-reactor wordt risico bekeken als een fysieke eenheid die geanalyseerd en geschat wordt. Bijvoorbeeld wat is de kans dat de pyrolyse-reactor moet worden stilgelegd door een fout bij de aanvoer van de biomassa. Het risico is het moeten stilleggen van de pyrolyse-centrale. Terwijl risico bij bedrijfsmanagement

eerder een uitdrukking is van een maatstaf van onzekerheid, zoals al gezien in bij de definitie van risico (Aven, Nilsen EF en Nilsen T., 2004).

3.1.3 Soorten

Er kunnen verschillende indelingen gemaakt worden omtrent de soorten risico's.

Een eerste onderscheid moet gemaakt worden tussen risico's bij investeringsmanagement en risico's bij het bank- en financiewezen. Bij investeringsmanagement worden waarschijnlijkheidsverdelingen bepaald met als doel om het rendement te berekenen en wordt een optimale *trade-off* tussen risico's en rendement gedetermineerd. In het bankwezen ligt de nadruk op het managen van risico's van winstgevende bankverrichtingen (Focardi, Fabozzi, 2004).

De bronnen van risico zijn volgens Gitman, Joehnk en Smart (2011): bedrijfsrisico, financieel risico, koopkrachtrisico, interestvoetrisico, liquiditeitsrisico, fiscaal risico, risico van een plotse gebeurtenis en marktrisico. Interestvoetrisico en liquiditeitsrisico komen enkel voor in de bank- en financieomgeving.

Bedrijfsrisico is de graad van onzekerheid die geassocieerd wordt met de terugbetaalbaarheid van het kapitaal, de interestaflossingen en dividenden aan de schuldeisers (citaat van Gitman, Joehnk en Smart, 2011).

Er wordt ook wel gesproken van strategisch bedrijfsrisico. Daarmee worden de overlevingscapaciteiten van een bedrijf binnen zijn industrie en de overlevingscapaciteiten van de industrie zelf bedoeld (Boyadijan, Warren, 1992).

Financieel risico heeft betrekking op de kaspositie van het bedrijf. Is de investering in staat om genoeg omzet te creëren zodat het bedrijf de rekeningen kan betalen. Wanneer een onderneming veel schulden heeft aangegaan, is het financieel risico groter. Financiering met vreemd vermogen verplicht het bedrijf om op vaste tijdstippen interest- en kapitaalaflossingen te betalen wat de onzekerheid vergroot (Gitman, Joehnk, Smart, 2011).

Koopkrachtrisico is de kans dat inflatie of deflatie, het rendement van de investering nadelig beïnvloedt. Zo heeft inflatie tot gevolg dat de algemene koopkracht vermindert (Gitman, Joehnk, Smart, 2011).

De kans dat de regering nadelige veranderingen aanbrengt in de belastingswet is beter bekend als het fiscaal risico (Gitman, Joehnk, Smart, 2011). In deze masterproef is het onzeker of de regering de beloofde subsidies voor groene energie in de toekomst nog gaan subsidiëren.

Risico van een plotse gebeurtenis, ook wel uniek risico of bedrijfsspecifiek risico genoemd, is risico dat niet systematisch voorvalt. In het bankwezen wordt dit ook wel diversifieerbaar risico genoemd omdat dit risico kan gereduceerd worden door een investering in een portfolio van bedrijven (Bodie, Kane, Marcus, 2001). Een voorbeeld van dit soort risico is wanneer de houtoogst wordt vernield door een storm waardoor er minder pyrolyse-olie dan verwacht geproduceerd kan worden.

Marktrisico is het tegenovergestelde van uniek risico en wordt ook wel systematisch risico of niet-diversifieerbaar risico genoemd (Bodie, Kane, Marcus, 2001). Het omvat het eerder vermelde koopkrachtrisico en fiscaal risico.

Ten slotte wordt soms ook nog operationeel risico onderscheiden. *Operationeel risico is het geheel van ontoereikende systemen, falen van management, fraude of menselijk falen (citaat van Connor, Goldberg, Korajczyk, 2010).*

3.1.4 Risico-aversie, risico-neutraal, risico-zoekend

Een laatste punt in dit hoofdstuk gaat over de veronderstelling dat de investeerder risico-avers of risico-schuw is. Andere opties zijn dat een persoon risico-neutraal of *risk-seeking*/risico-zoekend is. Een persoon met risico neutrale voorkeuren is indifferent tussen verschillende loterijbriefjes die hetzelfde verwachte rendement hebben. Een persoon is risico avers wanneer hij liever het zekere bedrag kiest in plaats van op de loterij te spelen. En risico-zoekend persoon speelt op de loterij (Boardman et al., 2011).

Andere voorbeelden van risico-aversie zijn het afsluiten van een verzekering en veel meer betalen voor een klein verschil in veiligheid van bijvoorbeeld auto's. Voorbeelden van risico-zoeker zijn rokers, druggebruikers en dakwerkers (als zij niet in functie van hun risico betaald worden).

In het volgende deel wordt eerst de kosten-batenanalyse toegelicht vooraleer over te gaan naar de risicoanalyse.

3.2 Risicoanalyse

3.2.1 Definitie

De eerste methode om risico te meten is door middel van de variantie van de verdeling of de standaardafwijking. De variantie van een verdeling geeft een indicatie over het feit of de verdeling geconcentreerd is rond enkele waarden of verspreid is over een groot interval van waarden. Als de standaardafwijking groot is, betekent dit dat er een grote waarschijnlijkheid bestaat dat de variabele een waarde aanneemt die significant verschilt van het gemiddelde. Een hoge standaarddeviatie komt daarom overeen met een hoog risico (Focardi, Fabozzi, 2004).

De variantie is gelijk aan de som van het kwadraat van de werkelijke waarde van resultaat (t) min de verwachte waarde van resultaat op het totaal aantal resultaten min één. De standaardafwijking, s is de vierkantswortel van de variantie.

$$s = \sqrt{\frac{\sum (waarde\ voor\ resultaat\ t - verwachte\ of\ gemiddelde\ waarde\ voor\ resultaat\ t)^2}{totaal\ aantal\ resultaten - 1}}$$

In het boek Fundamentals of Investing (Gitman, Joehnk, Smart, 2011) wordt een voorbeeld gegeven met betrekking tot het gebruik van een standaardafwijking. Het vraagstuk gaat over het feit of een persoon moet investeren in aandelen die veel fluctueren en een hoge gemiddelde rendementswaarde of aandelen die weinig fluctueren met een lage gemiddelde rendementswaarde. De aandelen die veel fluctueren hebben een hogere standaardafwijking dan de aandelen die minder fluctueren.

Hertz (1984) onderscheidt drie stappen bij het bepalen van risico: het identificeren van risico, het inschatten van risico en het beoordelen van risico. Om het risico te kunnen identificeren is het nodig dat het vraagstuk goed wordt gedefinieerd en gestructureerd. Bij het opstellen van een kosten-batenanalyse komen de verschillende delen van het vraagstuk of investering aan het licht en worden de risico's geïdentificeerd.

Het resultaat van een kosten-baten analyse is meestal de netto contante waarde. De NCW is een voorbeeld voor het absoluut meten van rendement. Ook de tijdswaarde van geld wordt door deze formule in rekening gebracht. Als de NCW gelijk is aan nul, is het rendement gelijk aan de verdisconteringsvoet. Is de NCW groter dan nul, dan is het rendement hoger dan de discontovoet. Is de NCW kleiner dan nul, dan wordt een rendement kleiner dan de discontovoet verdiend. Een investeerder zal enkel investeren wanneer zijn rendement gelijk is aan of groter is dan de discontovoet (Gitman, Joehnk, Smart, 2011).

Bij de tweede stap, het inschatten van risico's, wordt er onder andere gebruik gemaakt van een beslissingsboom om het vraagstuk te kunnen structureren. Een beslissingsboom is handig wanneer er verschillende opeenvolgende stappen zijn die verschillende kansen hebben. Zo kunnen de voorwaardelijke kansen berekend worden. De waarschijnlijkheidsverdeling van de inputvariabelen wordt in deze stap bepaald met behulp van sensitiviteits- en scenario-analyses (Hertz, 1984).

Vose (1996) splitst het maken van een risicoanalyse op in gelijkaardige stappen namelijk het definiëren van een geschikt model, het bepalen van waarschijnlijkheidsverdelingen voor de inputs van alle onzekere variabelen in het model, het betrekken van de eventuele relaties tussen de onzekere variabelen en het analyseren van de resultaten van het model.

Bij het bepalen van waarschijnlijkheidsverdelingen bij de outputs kunnen twee verschillende methoden worden gebruikt: een analytische aanpak of een Monte Carlo-type simulatie. Bij een analytische aanpak worden individuele prognoses gecombineerd en gebruikmakend van een waarschijnlijkheidstheorie worden de gemiddelde en de variantie van de onderzochte variabele berekend. Bijvoorbeeld voor het voorspellen van de koers van een aandeel kan geanalyseerd worden met de analytische techniek. De Monte Carlo simulatie wordt verder nog behandeld.

3.2.2 Sensitiviteitsanalyse

Voor het uitvoeren van een sensitiviteitsanalyse wordt er uitgegaan van een deterministisch model. Dit is een model dat één schatting van elke relevante variabele gebruikt om zo de uitkomst van het model te bepalen. Sensitiviteitsanalyse wordt dan op dit model toegepast om na te gaan met hoeveel de uitkomst, bijvoorbeeld de netto contante waarde, kan variëren (Vose, 1996).

Sensitiviteitsanalyse is nuttig omdat nagegaan wordt welke inputvariabelen een waarschijnlijkheidsverdeling nodig hebben. Het is namelijk niet nodig dat alle inputvariabelen een bepaalde waarschijnlijkheidsverdeling hebben, want sommige waarden liggen met zekerheid vast zoals interestaflossingen. Andere inputwaarden hebben een te klein effect bij veranderingen van deze waarde op de gehele outputwaarde (Hertz, 1984).

Nadat er bepaald is welke inputvariabele een waarschijnlijkheidsverdeling moeten krijgen, kan er een scenario-analyse worden uitgevoerd.

3.2.3 Scenario-analyse

Scenario-analyse is een techniek waarbij een lijst wordt opgesteld met de mogelijke economische scenario's (Bodie, Kane, Marcus, 2001). Meestal bevatten scenario-analyse drie scenario's: optimistisch, gemiddeld en pessimistisch scenario. Een analist specificeert voor het geheel van scenario's de mogelijke waarden van de inputvariabelen als een discrete set van willekeurige gebeurtenissen. De analist bepaalt dan verder de relatie tussen de inputvariabelen en zo kan de netto contante waarde berekend worden voor elke gebeurtenis (Connor, Goldberg, Korajczyk, 2010).

Een nadeel van de scenario-analyse is dat deze geen informatie verschaft met betrekking tot het meer of minder voorkomen van het pessimistisch resultaat ten opzichte van het optimistisch resultaat of de echte waarschijnlijkheid van het gemiddelde resultaat (Hertz, 1984). Een tweede nadeel is dat er slechts gewerkt wordt met drie waarden per inputvariabele hoewel deze variabele ook andere waarden kan aannemen (Vose, 1996). Een betere analyse kan verkregen worden met behulp van Monte Carlo simulaties.

3.2.4 Monte Carlo simulaties

Bij deze techniek worden willekeurige steekproeven getrokken van elke waarschijnlijkheidsverdeling in het model om zo honderden tot zelfs duizenden scenario's te modeleren. De Monte Carlo simulatie dankt zijn naam aan de codenaam van een Amerikaans atoomproject gedurende de Tweede Wereldoorlog en niet aan het bekende casino (Vose, 1996).

Monte Carlo simulatie maakt gebruik van de inverse functie van de cumulatieve verdelingsfunctie om de kansen te berekenen. De cumulatieve verdelingsfunctie $F(X)$ geeft de waarschijnlijkheid P weer dat de variabele X kleiner of gelijk is aan x ; $F(X) = P(X \leq x)$. $F(X)$ is een waarde van nul tot één. De vergelijking kan in de andere richting gezet worden: 'wat is de waarde van $F(X)$ bij een gegeven x ?'. De inverse functie $G(F(X))$ wordt geschreven als $G(F(X)) = x$. Deze inverse functie wordt gebruikt om willekeurige steekproeven te trekken van elke verdeling in het model. Om een willekeurige steekproef uit een waarschijnlijkheidsverdeling te trekken, wordt er een willekeurig cijfer gekozen genaamd r tussen nul en één. Dit cijfer wordt gebruikt in de vergelijking om de waarde van de verdeling te bepalen: $G(r) = x$. Het willekeurig cijfer wordt verkregen door de uniforme verdeling tussen nul en één, zodat er een gelijke kans is op een waarde x binnen het percentiel (Vose, 1996).

Nadelen of bronnen van schattingsfouten bij Monte Carlo simulaties zijn:

- fouten werden gemaakt bij de invoering van de vergelijkingen;
- inschattingsfouten werden gemaakt bij het schatten van de parameters;
- wet van de grote aantallen werd geschonden door het nemen van een te kleine steekproef.

De originele wet van de grote aantallen zegt dat in het herhaaldelijk uitvoeren van kansexperimenten de relatieve frequentie van een gebeurtenis naar een limiet convergeert. Bijvoorbeeld na 100 keer werpen met een zuivere dobbelsteen blijkt de kans op een waarde 6 dicht bij $1/6$ te liggen. Eén zesde is de werkelijke kans dat de gebeurtenis zich voordoet en kan afgeleid worden uit het herhaaldelijk gooien met een dobbelsteen. In het geval van Monte Carlo simulaties betekent dit wanneer er een te kleine steekproef genomen wordt, de werkelijke kansen niet via de Monte Carlo simulaties kunnen gevonden worden omdat de wet van de grote aantallen geschonden wordt. Er bestaat nog een sterke en een zwakke uitdrukking van de wet van de grote aantallen (Connor, Goldberg, Korajczyk, 2010).

Het uitvoeren van een Monte Carlo simulaties biedt vele voordelen:

- De correlaties en onderlinge afhankelijkheid van variabelen worden weergegeven in het model;
- Het wiskundig niveau dat nodig is om Monte Carlo simulaties uit te voeren is redelijk;
- Een computerprogramma berekent de verschillende scenario's zoals RiskMetrics;
- Software is beschikbaar en toegankelijk zoals @RISK of Cristal Ball Monte Carlo software in combinatie met Excel;
- Er kan preciezer gewerkt worden door meer scenario's toe te laten;
- Monte Carlo simulaties zijn in de academische wereld erkend als een geldige techniek;
- Er kunnen snel veranderingen worden aangebracht in het model (Vose, 1996).

Vooraleer er Monte Carlo simulaties kunnen worden uitgevoerd moet er bepaald worden welke variabelen onzeker zijn. Dit gebeurt door de bovenstaande sensitiviteitsanalyse. Dan moet er bij de onzekere variabelen een minimum- en een maximumwaarde gekozen worden. Als er een doordachte keuze is gemaakt van de *base case* variabelen, is een deel van het werk voor de keuze van de limieten reeds uitgevoerd. Het is belangrijk dat de analist zijn redenen voor de keuze van de minimum- en maximumwaarden vermeldt. Ten slotte moet er een waarschijnlijkheidsverdeling worden aangeduid voor elke onzekere variabele. Dit kan een normale, een uniforme of een trapsgewijze verdeling zijn (Savvides, 1994).

Er wordt een onderscheid gemaakt tussen symmetrische verdelingen (vb. normale) en asymmetrische (vb. trapsgewijze) verdelingen. Symmetrische verdeling zijn aan te raden in situaties waarbij het uiteindelijke waarde van de variabele bepaald wordt door gelijke tegenstrijdige krachten bij zowel de minimumwaarde als de maximumwaarde. De prijs van een product die bepaald wordt door de competitieve marktwerking is hier een voorbeeld van. De trapsgewijze verdeling is nuttig wanneer er heel veel data over de waarde beschikbaar zijn. Het is bijzonder geschikt in situaties waarbij een extreme waarde het meest waarschijnlijke resultaat is binnen een bepaald bereik van waarden (Savvides, 1994).

3.2.5 Andere methoden

Het verschil tussen technologisch risico en economisch risico is reeds aangehaald. Nu wordt verduidelijkt dat er verschillende technieken bestaan voor het onderzoeken van technologisch risico enerzijds en economisch risico anderzijds.

Het geven van een kort voorbeeld van technologisch risico helpt het verschil met economisch risico te verduidelijken. Van Groenendaal en Kleijnen (1997) werken met het voorbeeld van een gastransmissiesysteem. De technologische veiligheid van dit systeem kan worden aangeduid als de kans dat een explosie tijdens de werking van het systeem zich voordoet en moet kleiner zijn dan α . In symbolen wordt dit $P(\text{explosie}) \leq \alpha$ met $0 < \alpha < 1$. Vanuit deze vereisten worden technische vereisten voor materiaal en kwaliteit van het ontwerp van de gasleidingen en beschermingsmaatregelen op verschillende vlakken in het systeem bepaald. Het technologisch risico van het gehele systeem bestaat uit een groot aantal kleine risico's die onafhankelijk van elkaar zijn.

Het totale technologische risico van het gastransmissiesysteem kan beschreven worden als de som van n aparte elementen. Voor elk element wordt een indicatorfunctie bepaald die aangeeft welk segment goed ($x_i=1$) of slecht ($x_i=0$) werkt. De kans dat het element correct werkt is $P(x_i=1) \geq 1 - \alpha_i$. Het technologisch risico voor elke deel, x_i van het systeem is afhankelijk van veel factoren. Deze factoren zijn wel van elkaar afhankelijk (Groenendaal, Kleijnen, 1997). Om het technologisch risico te onderzoeken wordt experimenteel ontwerp gebruikt.

Experimenteel ontwerp zijn statistische designs voor experimenteel onderzoek. Het effect van meerdere onafhankelijke variabelen (factors) op metrisch geschaalde afhankelijke variabelen wordt onderzocht. De onafhankelijke variabelen bevatten verschillende niveau's of *levels*. Een experimenteel ontwerp met 2 factoren en 2 *levels* wordt een 2×2 ontwerp genoemd. Het aantal factoren kan toenemen en uiteraard kan het aantal niveau's toenemen. De analyse van een experimenteel ontwerp kan gebeuren met de behulp van SPSS, meer bepaald de functie *N-way ANOVA* (Streukens, 2011).

Groenendaal en Kleijnen (1997) gebruikten het experimenteel ontwerp om economisch risico te onderzoeken. Volgens hen is Monte Carlo simulaties niet de beste manier omdat minimum en maximumwaarden op voorhand worden bepaald door de analist en er heel wat onzekerheid bestaat betreffende de accuraatheid en het voorkomen van deze minimum- en maximumwaarden. Het nadeel echter aan de techniek die Groenendaal en Kleijnen gebruiken is dat zij slechts 24 verschillende situaties hebben in plaats van 1500 bij Monte Carlo. Daarom wordt er in deze masterproef voor Monte Carlo simulaties gekozen. Het net besproken nadeel van Monte Carlo blijft bestaan aangezien alle veronderstellingen duidelijk in deze masterproef beschreven worden, kan worden nagegaan of dit volgens andere analisten correct is of niet.

3.3 Kosten-Batenanalyse

3.3.1 Inleiding

Kosten-batenanalyse (KBA) is een evaluatiemethode waarbij men de verdisconteerde baten en kosten van een investering uitgedrukt in geld catalogeert. De verdisconteerde kosten worden afgetrokken van de baten om zo de nettobaten te bekomen. Deze nettobaten worden dan vergeleken met het alternatief *status quo*. Het *status quo* is de situatie wanneer men de investering niet heeft uitgevoerd. Kosten-batenanalyse probeert om alle kosten en baten. Dit zijn de kosten en baten met betrekking tot de maatschappij te integreren in de analyse. Daarom spreekt men over sociale kosten-batenanalyse (Boardman, 2011).

Er zijn drie soorten kosten-batenanalyses *ex ante* KBA, *in medias res* KBA en *ex post* KBA. *Ex ante* KBA wordt uitgevoerd wanneer een project wordt voorgelegd aan het beleid vooraleer het project gestart of geïmplementeerd wordt. *Ex post* KBA wordt uitgevoerd op het einde van een project. Op dat moment zijn alle kosten verzonken kosten dit wil zeggen dat de beslissingen om de kosten te besteden aan het project al gemaakt zijn. De waarde van een *ex post* analyse is dat deze bijdraagt tot de leereffecten van de beleidsvoerders en academici. *In medias res* analyse worden uitgevoerd in de loop van het project. Deze analyses kunnen het project rechtstreeks beïnvloeden. Na het uitvoeren van een *in medias res* analyse kan er beslist worden om het project stop te zetten (Boardman, 2011). Deze analyse wordt aanzien als een *ex ante* KBA omdat er in Vlaanderen slechts een enkele proefprojecten lopen omtrent het oogsten van kortoomloophout en het produceren van bio-olie via biomassa in Vlaanderen nog geen groot gevolg heeft gekend.

3.3.2 Netto Contante Waarde-methode

Een belangrijke maatstaf om een investeringsproject te evalueren is de netto contante waarde (NCW). Wanneer de NCW groter of gelijk is aan nul, wil dit zeggen dat het project uitgevoerd kan worden. De parameters van de NCW zijn de meest waarschijnlijke waarden ofwel de waarden uit het basisscenario genoemd. Informatie over de robuustheid van het basisscenario is nodig om beleidsmakers te steunen in hun waardering van het projectsrisico. Daarvoor wordt gebruik gemaakt van risicoanalyse, zie hoofdstuk 4 (Groenendaal, 1998).

De NCW is de huidige waarde van de toekomstige kasstromen, die het resultaat zijn van een investering gebruikmakend van een vooraf gedefinieerde verdisconteringsvoet.

De NCW-formule is (Mercken, 2004):

$$NCW = \sum_{n=1}^t \frac{CF_n}{(1+i)^n} - I_0$$

waarbij :

t = de levensduur van de investering, in dit geval 21 jaar (zie verder), elk jaar wordt aangeduid door n, CF_n = de kasstroom in jaar n, I_0 = de uitgaven die betrekking hebben op de initiële investering in jaar 0, i = de discontovoet

De NCW wordt berekend door de initiële investering af te trekken van de som van de verdisconteerde kasstromen (Kuppens et al., 2010).

Omdat geld dat vandaag beschikbaar is op verschillende manieren geïnvesteerd kan worden, is één euro vandaag meer waard dan één euro morgen. Daarom worden de toekomstige kasstromen verdisconteerd aan een vooraf bepaalde discontovoet. Door het verdisconteren van de kasstromen houdt men rekening met de tijdsvoorkeur van het geld. De hoogte van de discontovoet wordt bepaald door de marktinterestvoet en de risicopremie (Kuppens et al., 2010). Hoe meer risico's de investering inhoudt, des te hoger de discontovoet.

De kasstroom in één jaar is het verschil tussen de inkomsten en de uitgaven nadat de winstbelasting betaald werd. De winstbelasting bedraagt in België 33% (Art. 215 Wetboek van Inkomstenbelastingen). Dit bedrag wordt vermenigvuldigd met 1,03. De winstbelasting bedraagt 33.99% (Mercken, 2004). Deze belasting moet enkel betaald worden bij winst. Bij verlies moet er geen belasting betaald worden. De afschrijvingen moeten ook in rekening gebracht worden. Een afschrijving is een kost op de resultatenrekening dat dient om te de kost van de initiële investering te spreiden over de levensduur van de investering, in dit geval de pyrolyse reactor. Het zorgt voor een verlaging van de winstbelasting (Kuppens et al., 2010).

De formule voor de kasstroom in jaar n is

$$CF_n = (1-t) \times (O-U) + (t \times D)$$

waarbij:

t = percentage winstbelasting, U = uitgaven, O = opbrengsten en D = afschrijving.

Nadat de kasstroom per jaar berekend is, kan de NCW berekend worden. Dit wordt zowel voor de input- als outputmarkt berekend.

3.3.3 Kosten-Effectiviteitsanalyse

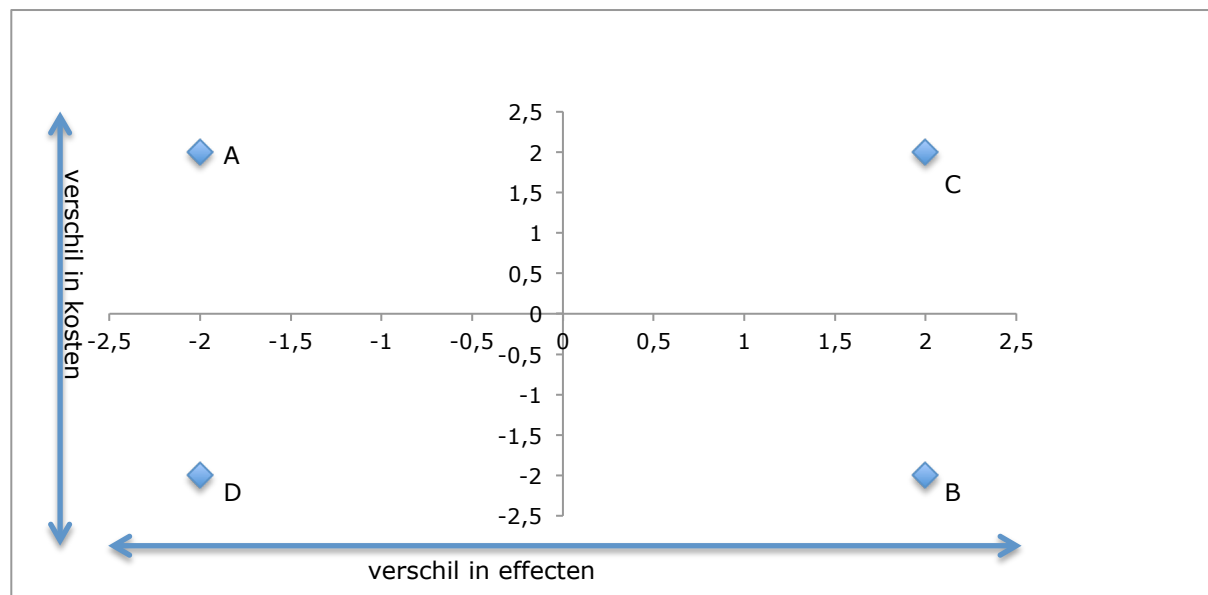
Een alternatief voor de kosten-batenanalyse is de kosten-effectiviteitsanalyse. De kosten-effectiviteitsanalyse wordt gebruikt wanneer men de baten niet wil of kan uitdrukken in monetaire termen. Ook wordt het gebruikt wanneer de sociale baten van elk alternatief niet in monetaire termen uit te drukken zijn maar men deze baten wel wil verwerken in de analyse. Kosten-Effectiviteitsanalyse vergelijkt alternatieven in termen van de ratio van hun kosten ten opzichte van één effectiviteitsmaatstaf (Boardman et al., 2011).

De kosten-effectiviteitsanalyse bestaat uit drie stappen:

1. de berekening van het verschil in kosten tussen het nieuwe alternatief en het huidige ($K_n - K_h$);
2. de berekening van het verschil in effectiviteit tussen het nieuw en het huidige alternatief ($E_n - E_h$);
3. de berekening van de incrementele kosten-effectiviteitsratio ($IKER = (K_n - K_h) / (E_n - E_h)$).

In de gezondheidszorg wordt vaak beroep gedaan op kosten-effectiviteitsanalyse omdat één extra eenheid gezondheid zeer moeilijk uit te drukken is in monetaire termen. Daarom maken ze gebruik van een *cost-effectiveness plane* of grafiek (zie onder) met twee dimensies om verschillende alternatieven te vergelijken. Op de y-as worden de kosten voor de behandeling weergegeven en op de x-as de gezondheidseffecten. De rechterkant van de x-as betekent meer gezondheid (Annemans, 2010 en Drummond et al., 2005).

Figuur 8: *Cost-effectiveness plane*



Bron: eigen verwerking uit Annemans, 2010 en Drummond et al., 2005

De huidige behandeling bevindt zich op het nulpunt van de twee assen. Als de IKER bijvoorbeeld B is in kwadrant II zal steeds de nieuwe behandeling boven de huidige behandeling gekozen worden omdat de nieuwe behandeling meer gezondheid oplevert en goedkoper is. Wanneer de IKER A is op de bovenstaande figuur in kwadrant IV, dan zal de huidige behandeling altijd worden verkozen boven de nieuwe behandeling omdat de nieuwe behandeling duurder is en minder gezondheid oplevert. In dit geval hoeft men zelfs geen gebruik te maken van de IKER. Indien de IKER in kwadrant I ligt, moet er wel gebruik van gemaakt worden om een beslissing te nemen aangezien de nieuwe behandeling beter is, maar ook duurder. In dat geval moet de maximaal maatschappelijke betalingsbereidheid per extra eenheid gezondheid vastgelegd worden. Wanneer de IKER in kwadrant III ligt, moet worden nagegaan of men bereid is om eenheden gezondheidszorg af te staan voor een lagere kostprijs (Annemans, 2010 en Drummond et al., 2005).

Dit was een kort voorbeeld van hoe de kosten-effectiviteitsanalyse gebruikt wordt om duidelijk te maken dat dit een optie is. In deze masterproef wordt er echter voor gekozen om de baat in monetaire termen uit te drukken omdat zo een betere vergelijking mogelijk is tussen de verschillende opties en over verschillende domeinen. Meerdere effecten kunnen in rekening gebracht worden. Bij de kosteneffectiviteitsanalyse zoals in het voorbeeld hierboven kan enkel vergeleken worden binnen de gezondheidszorg en binnen het effect dat onderzocht werd.

Hoofdstuk 4: Kosten-Batenanalyse toegepast

4.1 Basisgegevens

De waarde van de basisgegevens wordt gemeten aan de hand van totale bereidheid tot betalen. De totale bereidheid tot betalen is de som van de waarden die verschillende consumenten hechten aan het goed. In efficiënte markten kan de totale bereidheid tot betalen afgelezen worden van de totale marktvraagcurve (Boardman, 2011).

De outputmarkt is in dit geval de bio-olie markt. Biomassa zoals kortomloophout wordt gebruikt om om te zetten in char, gas en bio-olie via fast pyrolyse. Deze bio-olie wordt dan verder verkocht als bron van hernieuwbare energie. Eerst worden alle basisgegevens die gebruikt worden in NCW-berekening verduidelijkt.

4.1.1 Initiële investering

De initiële investering bestaat uit een fast pyrolysecentrale of kortweg pyrolysecentrale. De investeringskost die in deze masterproef gebruikt wordt, is afkomstig van de investeringskost van het Empyro-project. Het Empyro-project begint in mei 2012 met de bouw van een pyrolysecentrale in Hengelo (Nederland) en de productie van bio-olie start eind 2013. Empyro staat voor Energy and materials from pyrolysis. Zij worden financieel gesteund door onder andere de Europese Unie en de Biomass Technology Group (BTG).

De pyrolysecentrale zal een rotating cone reactor hebben met een capaciteit van 5 tds/u. De biomassa wordt gedroogd in de pyrolysecentrale met behulp van de gegenereerde stoom. De centrale zal in zijn geheel zelfvoorzienend zijn op het gebied van energie.

De investeringskost bestaat voor het Empyro-project uit vier delen (zie bijlage 1): de kost voor de pyrolysecentrale zelf, de kost voor de opslag en voorbehandeling van biomassa en de kost voor het zelf voorzien van energie en de rookgasreiniging en de kost voor onvoorziene omstandigheden plus de ingenieurskost. De kost voor onvoorziene omstandigheden plus de ingenieurskost wordt in deze masterproef niet mee opgenomen omdat het de bedoeling is om via de risicoanalyse de mogelijk hogere kost te berekenen. De grootte van de pyrolysecentrale is afhankelijk van de capaciteit en daarom moet eerst een waarde gezet worden op de hoeveelheid beschikbare biomassa.

De vervuilde landbouwgronden rond drie zinkfabrieken worden bekeken, zie hoofdstuk één. De totale landbouwoppervlakte bedraagt 9.162,97 ha.

Tabel 9: Aantal hectare vervuilde landbouwgrond in Balen, Mol-Wezel, Mol-Rauw, Lommel en Overpelt

Plaats	Oppervlakte landbouw (ha)
Balen	2.624,04
Mol-Wezel en Mol-Rauw	692,28
Lommel	4.593,27
Overpelt	1.253,2
Totaal	9.162,79

Bron: Streekplatform Noord-Limburg (2000), Streekpact Kempen (2006), Gemeentelijk Ruimtelijk Structuurplan Overpelt (2006)

Een minimumwaarde voor de teelt van kortoomloophout is 650ha. Dit is het minimale areaal dat vervuild is met cadmium dat binnen 42 jaar met wilg gesaneerd kan worden. Een maximumwaarde voor de teelt van kortoomloophout is volgens Dhr. Kuppens (2012) 3.000 ha per jaar. Als basiswaarde wordt dan in deze masterproef 1500 ha gebruikt.

Zoals eerder aangegeven resulteert de teelt van 1 ha kortoomloophout in 8 ton droge stof volgens Vangronsveld (2009). Dit maakt dat er jaarlijks 12.000 tds kortoomloophout beschikbaar is om te verwerken. De capaciteit is dan nog afhankelijk van hoeveel uur de pyrolysecentrale per jaar in werking is. 7000 Uur per jaar wordt genomen als waarde omdat de overige uren gebruikt zullen worden voor het onderhoud van de centrale. Deze waarde wordt gebruikt in de artikels van Kuppens et al. (2010) en Voets et al. (2011). Dit maakt dat de capaciteit 1,7143 tds/u bedraagt. Dit is verschillend van de capaciteit die gebruikt wordt bij het Empyro-project.

Daarom wordt de regel van Perry gebruikt om de investeringskost om te zetten. Deze regel is ook bekend als de zes-tiende factor. De nieuwe investeringskost is gelijk aan de oude investeringskost maal de capaciteit van de nieuwe investering op de capaciteit van de oude investering en deze breuk wordt tot de macht 0,6 verheven.

$$I_n = r^{0,6} * I_0$$

Waarbij:

r = de verhouding van de nieuwe op de oude capaciteit; I_0 = de initiële/oude investeringskost

De exponentiële relatie van de kosten kan nauwkeuriger toegepast worden door bovenstaande vergelijking te generaliseren. Bijvoorbeeld in een mechanisch systeem voor vaste stoffen gebruikmakend van transportbanden, pletwalsen en draaiovens, varieert de exponent tussen 0,7 en 0,9. Voor deze investeringskost wordt als basisgegeven een exponent van 0,7 gebruikt.

De totale investeringskost is gelijk aan $7.500.000 * (1,7143/5)^{0,7} + 1.200.000 * (1,7143/5)^{0,7} + 3.600.000 * (1,7143/5)^{0,7} = 5.814.124,84$ euro.

Kuppens et al. (2010) maakten zelf een formule voor de berekening van de investeringskost op basis van eerdere gegevens.

$$I_0 = (1,906 + 0,598 \Phi_{\text{houtsnippers}}) * 10^6$$

Waarbij $\Phi_{\text{houtsnippers}}$ = hoeveelheid ton droge houtsnippers die per uur in de pyrolyse-reactor gaan

In deze masterproef is $\Phi_{\text{houtsnippers}} = 1,7143$ wat maakt dat de totale investeringskost gelijk is aan 2.931.151,4 euro. Deze investeringskost bevat nog niet de kost voor het zelfvoorzien in energie en het is onduidelijk of deze de kost voor rookgasreiniging bevat. De pyrolyscentrale wordt verondersteld een levensduur te hebben van 21 jaar.

4.1.2 Uitgaven

De uitgaven bestaan uit jaarlijkse interestaflossingen onder de veronderstelling dat de investering gefinancierd werd met behulp van een lening en operationele kosten die vast of variabel kunnen zijn (Kuppens et al., 2010). De lening voor de investeringskost wordt aangegaan aan een reële interestvoet van 3,5% (overleg Kuppens (2012)).

De vaste operationele kosten worden ook wel de productie-*overhead*kosten genoemd. Productie-*overhead*kosten zijn alle indirecte productiekosten zoals arbeidskosten en materiaalkosten voor onderhoud van de centrale, de belasting van het onroerend goed op de centrale, eventuele huur van de centrale, afschrijvingen, verzekeringskosten, ... (Horngren et al., 2006). De afschrijvingen van de centrale worden in dit geval apart opgenomen in de berekening van de kasstroom. De indirecte arbeid wordt samengenomen met de directe arbeid en als variabele kosten beschouwd. De onderhoudskosten, verzekeringskosten en overige *overhead*kosten bedragen volgens Islam en Ani (2000) respectievelijk 3%, 2% en 2% van de initiële investering (Kuppens et al., 2010). Er wordt 3% (waarvan 2% onderhoudskosten en 1% verzekeringskosten) van de initiële investering genomen als productie-*overhead*kosten. Overige *overhead*kosten worden niet geteld aangezien de waterkosten en de arbeidskosten voor onderhoud apart opgenomen worden en er geen huur bestaat voor de centrale.

Er zijn drie redenen waarom slechts 3% genomen wordt als vaste productie *overhead*kosten. De opportuniteitskost van het stilleggen van de pyrolyse-centrale hoeft niet meer in rekening worden gebracht. Dit komt omdat de veronderstelling is dat de pyrolyse centrale slechts 7000u in werking is, de overige uren dienen dus om onderhoud uit te voeren. De tweede reden is dat in de praktijk niet in elk jaar grote onderhoudskosten zullen zijn en een reserve zal aangelegd worden. Soms zal dus minder dan 3% van de investeringskost besteed worden aan onderhoud. De derde reden is hoe ouder de centrale, hoe meer onderhoud zal gebeuren. De levensduur van de centrale is geschat op 21 jaar, nadien zullen geen grote kosten meer moeten plaats vinden. De kerncentrales zijn na de normale levensduur nog in werking gehouden waardoor er grote onderhoudskosten moesten gebeuren.

Zes verschillende variabele kosten moeten in rekening gebracht worden: inputkosten, versnipperkosten voor de biomassa, transportkost, waterkosten, arbeidskosten en kosten voor verwerking van char (Voets et al., 2011).

De inputkosten van het kortoomloophout bedragen 45€/tds (Kuppens, 2012). Aangezien de pyrolyse-centrale een *rotating cone* reactor heeft, moet het kortoomloophout versnipperd worden tot een diameter van 2 à 6 mm (Bridgwater, Peacocke, 2002), zie hoofdstuk 2. Dit betekent een bijkomende kost van ongeveer 10€/tds (Koppejan, de Boer-Meuleman, 2005 uit Kuppens et al., 2010).

De houtsnippers bevatten veel water en moeten gedroogd worden van een percentage water van 30 à 60wt.% tot een percentage van 10 à 15wt.%. De warme rook die ontstaat uit het pyrolyseproces zal gebruikt worden om de biomassa te drogen via bijvoorbeeld een droogmolen (Project Empyro, zie bijlage 1). Dit betekent dat er geen aparte kosten zijn voor het drogen van de biomassa. De temperatuur voor het drogen van de biomassa bedraagt liefst minder dan 100 graden Celsius. Bij een hogere temperatuur is er een uitstoot van schadelijke stoffen (Fargenäs, Brammer et al., 2010).

Vooraleer de houtsnippers kunnen gedroogd worden, moeten deze getransporteerd worden naar de pyrolysefabriek. Deze centrale wordt geplaatst in het centrum van het gebied Balen, Mol-Rauw, Mol-Wezel, Lommel en Overpelt zoals beschreven bij punt 3.3 inputmarkt. In jaar 1 zal 1.500 ha van het totale vervuilde gebied in de Kempen (zijnde Balen, Mol-Wezel, Mol-Rauw, Lommel en Overpelt) gebruikt worden voor de teelt van kortoomloophout. Van het totaal vervuilde landbouwgebied zal 16,37% van de landbouwgronden overschakelen op de teelt van kortoomloophout.

Het totale gebied van Balen, Mol-Rauw, Mol-Wezel en Overpelt wordt beschouwd als de oppervlakte van een cirkel. De enkele afstand die een vrachtwagen aflegt, is gelijk aan 2/3 van de straal. Er wordt niet de helft van de straal genomen omdat er een grotere oppervlakte ligt in de buitenste helft van de cirkel, waardoor meer landbouwbedrijven zich in de buitenste helft van de cirkel bevinden en de afstand groter wordt. De enkele afstand bedraagt dan 5,769 km. De afstand dat een transportwagen dan moet afleggen is gemiddeld 11,538 km.

De transportkost in 2010 was gelijk aan 0,43 euro per ton droge stof per km. Deze transportkost is berekend op een dieselprijs van 0,915 euro per liter (Kuppens et al., 2010). Op 17 februari 2012 bedroeg de maximumprijs van dieselolie 1,55 euro per liter (De Tijd, 2012). Dit is echter de prijs van een moment. De gemiddelde brandstofprijs van diesel was in 2010 1,202 euro per liter en in 2011 1,441 euro per liter. Met de laatste gemiddelde prijs wordt doorgewerkt. De dieselprijs stijgt met een percentage van ongeveer 57,49 %, dus stijgt de transportkost met 57,49 % met als resultaat 0,68 per tds per km.

De transportkost, $P_{\text{transport}}$ per ton droge stof bedraagt dan 7,85 euro per tds. Dit is redelijk laag wanneer dit vergeleken wordt met de transportkost gevonden in andere studies: 12,42 €/tds (Kuppens et al. 2010), 8 €/tds (Sintzoff et al., 2010), 8,8 €/tds (Spinelli et al., 2009), 13,2 €/tds (Mitchell et al., 1999), 13,84 €/tds (Valentine et al., 2008) (bronnen komende uit Kuppens et al., 2010). Dit kan verklaard worden door het feit dat in deze masterproef wordt een kleinere regio onder de loep genomen en de arbeid die afkomstig is van het transport al geteld is bij de totale arbeidskost.

De pyrolysecentrale verbruikt gemiddeld $18,5 \text{ m}^3$ water voor de verwerking van één ton biomassa. De prijs van water is 1,5 euro per m^3 . Dit betekent dat het verbruik van water 27,75 euro per ton biomassa kost (Voets et al., 2011).

De arbeidskost bestaat uit functie 1: toezicht op de werking van de pyrolysecentrale, functie 2: controle dat de biomassa op de transportband komt en het vervoer en opslag van biomassa, functie 3: kwaliteitscontrole van de bio-olie en uitvoering van onderhoudswerken en functie 4: inkoop van biomassa, verkoop van bio-olie en administratie. Zoals aangehaald bij de investeringskost is de pyrolyse-centrale gedurende 7000u per jaar in werking. Arbeider met functie 1 moet dus gedurende deze 7.000u op de centrale zijn. Arbeider met functie 2 werkt ook gedurende 7.000u deels op het terrein zelf deels als vrachtchauffeur onderweg. Zij werken in drie shiften van acht uur gedurende zeven dagen. Het is gebruikelijk om in Vlaanderen een shift te hebben van acht uur en 38u per week te werken als arbeider. Dit maakt afgerond op twee cijfers na de komma 3,54 voltijds equivalenten (v.e.). De totale arbeidskost voor functie 1 per v.e. is 48.018 euro per jaar. Deze waarde is de gemiddelde arbeidskost voor een arbeider in de industrie (Statbel, 2004). Voor functie 2 (vervoer en opslag) bedraagt de kost 52.872 euro. Voor de bediende met functie 4 volstaat 1 voltijds equivalent. De brutoloonkost voor een bediende in de verkoop, inkoop en administratie bedraagt 47.544 euro per jaar. Voor functie 4 volstaat een halftijdse equivalent aangezien de bio-olie steekproef gewijs wordt gecontroleerd en de centrale slechts 1760u gesloten is. Tijdens de sluiting van de centrale moet de arbeider niet steeds werken aangezien er tijd nodig is om onderdelen te laten maken en leveren. De totale arbeidskost voor arbeider 3 bedraagt zes keer de maandelijkse kost van 4.479 euro, dit is 26.874 euro. De totale jaarlijkse arbeidskost, A_k bedraagt 431.568,6 euro.

Tenslotte is er nog de kost voor de verwerking van de *char*. Zoals eerder aangehaald bevinden de schadelijke stoffen zoals cadmium en zink zich na het pyrolyseproces in de *char*. Dit betekent dat de *char* niet zomaar verbrand kan worden aangezien de schadelijke stoffen dan terug vrijkomen. Kuppens en Thewys (z.d.) berekenden de kostprijs voor het verwerken van de *char* op 114€/ton. Het is belangrijk om het percentage aan *char* zo laag mogelijk te houden aangezien dit een grote kost betekent. Het percentage *char* volgens Bridgwater (2011) is 15%. Dit maakt een jaarlijkse kost van 205.200 euro.

4.1.3 Opbrengsten

Het Empyro-project gaat uit van de veronderstelling dat de bio-olie kan verkocht worden aan 300 euro per ton.

Eerder werd al beslist dat het opbrengstpercentage van bio-olie uit de biomassa 65% is. Voor de basiswaarden wordt er met deze veronderstellingen verder gewerkt. Dit betekent dat van 12.000 tds korteomloophout jaarlijks 7.800 ton bio-olie kan geproduceerd worden. Dit betekent een jaarlijkse omzet van 2.340.000 euro, die dan moet verdisconteerd worden.

Er bestaan twee investeringssubsidies voor het omzetten van biomassa tot bio-olie via fast pyrolyse: de ecologiepremie en verhoogde investeringsaftrek.

Voor aanvragen vanaf 1 februari 2012 geldt er een nieuwe ecologiepremie voor het Vlaams Gewest, de ecologiepremie plus. Slechts een limitatief aantal technologieën kunnen beroep doen op de ecologiepremie plus waaronder productie van warmte op basis van de pyrolyse van biomassa. Voor deze technologie geldt dat 80% van het investeringsbedrag in aanmerking komt voor de steunberekening. Verder wordt de hoogte van de premie bepaald door de Ecoklasse en de grootte van de onderneming. De Ecoklasse is in dit geval C wat maakt dat de subsidie 10% bedraagt voor KMO's en 5% voor grote ondernemingen. Daarboven kunnen nog extra subsidies worden uitbetaald indien het bedrijf over een milieucertificaat en/of een milieumanagementsysteem en/of een eerstelijns energie-efficiëntie scan beschikt. De percentages van de extra subsidies worden samengevat in onderstaande tabel. Het is niet geheel duidelijk of in dit geval beroep mag gedaan worden op de ecologiepremie aangezien er wel warmte wordt geproduceerd maar niet wordt verkocht. De veronderstelling is dat er beroep kan gedaan worden op de ecologiepremie.

Tabel 10: Subsidiebonus ecologiepremie

	Subsidiebonus	
	kmo	go
Eerstelijns milieu-/energie-/eco-efficiëntiescan	3 %	-
Milieucertificaat	5 %	-
Milieumanagementsysteem: ISO 14001/ EN 16001/ EMAS	10 %	5 %

Bron: Agentschap Ondernemen (2012a) *Hoeveel bedraagt de ecologiepremie?* Opgevraagd op 18 februari 2012, via <http://agentschapondernemen.be/artikel/hoeveel-bedraagt-de-ecologiepremie>

De subsidie kan maximaal 1 miljoen euro bedragen over een periode van drie jaar. De uitbetaling van de ecologiepremie is afhankelijk van de uitvoering van de investeringen (Agentschap Ondernemen, 2012a).

De tweede investeringssubsidies is de verhoogde investeringsaftrek.

Dit is een fiscaal voordeel waarbij men een bepaald percentage van de aanschaffings- of beleggingswaarde van de investeringen uitgevoerd tijdens het belastbaar tijdperk, mag aftrekken van de belastbare winst. Voor energiebesparende investeringen in vaste activa in België geldt een investeringsaftrek van 13,5 % (citaat uit Agentschap Ondernemen, 2012b).

Deze verhoogde investeringsaftrek wordt in rekening gebracht in jaar nul in de veronderstelling dat het gehele bedrijf in dat jaar winst maakt.

Onderstaande tabel geeft alle variabelen die gebruikt worden in de NCW-berekening weer.

Tabel 11: *Base case* variabelen

Variabele	Waarde
Winstbelasting	33,99%
Totale jaarlijkse kost van arbeid, uitgedrukt in euro	€ 431.568,6
Aankoopprijs van het korteomloophout	45 €/tds
Transportprijs van het korteomloophout	7,85 €/tds
Kostprijs voor het vermalen van het korteomloophout	10 €/tds
Kostprijs verwerking char per ton	114 €/ton
Kostprijs voor water per tds	27,75 €/tds
Verkoopprijs van bio-olie per ton	300 €/ton
Verdisconteringsvoet	8%
Totale levensduur van de investering	21 jaar
Rente die moet betaald worden op de lening	3,5%
Aantal werkingsuren van de pyrolyse-centrale	7000 uur
Percentage in gewicht van de biomassa dat via pyrolyse wordt omgezet in bio-olie	65%
Percentage in gewicht van de biomassa dat via pyrolyse wordt omgezet in char	15%
Percentage in gewicht van de biomassa dat via pyrolyse wordt omgezet in gas	20%
Jaarlijkse opbrengst van KOH na droging	8 tds/ha
Oppervlakte, d.i. het aantal hectare dat beplant is met korteomloophout	1500 ha
Vaste productie-overhead kosten, uitgedrukt in percentage van totale investering	3%

4.2 Netto Contante Waarde

De levensduur van de investering bedraagt 21 jaar. De kasstromen lopen met andere woorden van jaar nul tot en met jaar 21. De verdisconteringsvoet bedraagt 8%. 8% werd gekozen omdat dit strookt met de literatuur die er gevonden werd. Voets et al. (2011) vermeldt een 6,67% na belastingen. Kuppens et al. (2010) vermelden een verdisconteringsvoet van 9%.

Alle bovenstaande gegevens werden in Excel ingegeven, zie onderstaande figuur.

Figuur 9: Print screen base case scenario

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	JAAR	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2												
3	Investeringskost	5.814.124,84 €										
4												
5	Opbrengsten											
6	verkoop pyrolyse-olie	0,00 €	2.340.000,00 €	2.340.000,00 €	2.340.000,00 €	2.340.000,00 €	2.340.000,00 €	2.340.000,00 €	2.340.000,00 €	2.340.000,00 €	2.340.000,00 €	2.340.000,00 €
7	Ecologiepremie	0,00 €	155.043,33 €	155.043,33 €	155.043,33 €							
8												
9	Kosten											
10	interestbetalingen	0,00 €	203.494,37 €	196.771,61 €	189.813,55 €	182.611,97 €	175.159,32 €	167.443,80 €	159.459,27 €	151.195,28 €	142.642,06 €	133.789,47 €
11	inputkosten	0,00 €	540.000,00 €	540.000,00 €	540.000,00 €	540.000,00 €	540.000,00 €	540.000,00 €	540.000,00 €	540.000,00 €	540.000,00 €	540.000,00 €
12	kosten van versnipperen koh		120.000,00 €	120.000,00 €	120.000,00 €	120.000,00 €	120.000,00 €	120.000,00 €	120.000,00 €	120.000,00 €	120.000,00 €	120.000,00 €
13	transportkosten	0,00 €	94.200,00 €	94.200,00 €	94.200,00 €	94.200,00 €	94.200,00 €	94.200,00 €	94.200,00 €	94.200,00 €	94.200,00 €	94.200,00 €
14	arbeidskosten	0,00 €	431.568,60 €	431.568,60 €	431.568,60 €	431.568,60 €	431.568,60 €	431.568,60 €	431.568,60 €	431.568,60 €	431.568,60 €	431.568,60 €
15	waterkosten	0,00 €	333.000,00 €	333.000,00 €	333.000,00 €	333.000,00 €	333.000,00 €	333.000,00 €	333.000,00 €	333.000,00 €	333.000,00 €	333.000,00 €
16	stortkosten char		205.200,00 €	205.200,00 €	205.200,00 €	205.200,00 €	205.200,00 €	205.200,00 €	205.200,00 €	205.200,00 €	205.200,00 €	205.200,00 €
17	vaste productie-kosten		174.423,75 €	174.423,75 €	174.423,75 €	174.423,75 €	174.423,75 €	174.423,75 €	174.423,75 €	174.423,75 €	174.423,75 €	174.423,75 €
18	Opbrengsten - Kosten	-5.814.124,84 €	393.156,61 €	399.879,37 €	406.837,43 €	258.995,69 €	266.449,33 €	274.163,85 €	282.148,38 €	290.412,37 €	298.965,60 €	307.818,19 €
19												
20	NCW voor belastingen	-2.431.312,97 €										
21												
22	belastingen	0,00 €	39.528,17 €	41.813,24 €	44.178,28 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	1.796,47 €	4.605,40 €	7.512,64 €	10.521,64 €
23	afschrijvingen	0,00 €	276.863,09 €	276.863,09 €	276.863,09 €	276.863,09 €	276.863,09 €	276.863,09 €	276.863,09 €	276.863,09 €	276.863,09 €	276.863,09 €
24	interestaftrek		266.789,84 €									
25	winst na belasting	-5.547.335,00 €	353.628,44 €	358.066,14 €	362.659,15 €	258.995,69 €	266.449,33 €	274.163,85 €	280.351,91 €	285.806,97 €	291.452,95 €	297.296,55 €
26												
27												
28	NCW na belastingen	-2.379.153,09 €										

	A	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1	JAAR	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
4												
5	Opbrengsten											
6	verkoop pyrolyse-olie	2.340.000,00 €	2.340.000,00 €	2.340.000,00 €	2.340.000,00 €	2.340.000,00 €	2.340.000,00 €	2.340.000,00 €	2.340.000,00 €	2.340.000,00 €	2.340.000,00 €	2.340.000,00 €
7	Ecologiepremie											
8												
9	Kosten											
10	interestbetalingen	124.627,04 €	115.143,92 €	105.328,89 €	95.170,34 €	84.656,24 €	73.774,15 €	62.511,18 €	50.854,01 €	38.788,84 €	26.301,39 €	13.376,87 €
11	inputkosten	540.000,00 €	540.000,00 €	540.000,00 €	540.000,00 €	540.000,00 €	540.000,00 €	540.000,00 €	540.000,00 €	540.000,00 €	540.000,00 €	540.000,00 €
12	kosten van versnipperen koh	120.000,00 €	120.000,00 €	120.000,00 €	120.000,00 €	120.000,00 €	120.000,00 €	120.000,00 €	120.000,00 €	120.000,00 €	120.000,00 €	120.000,00 €
13	transportkosten	94.200,00 €	94.200,00 €	94.200,00 €	94.200,00 €	94.200,00 €	94.200,00 €	94.200,00 €	94.200,00 €	94.200,00 €	94.200,00 €	94.200,00 €
14	arbeidskosten	431.568,60 €	431.568,60 €	431.568,60 €	431.568,60 €	431.568,60 €	431.568,60 €	431.568,60 €	431.568,60 €	431.568,60 €	431.568,60 €	431.568,60 €
15	waterkosten	333.000,00 €	333.000,00 €	333.000,00 €	333.000,00 €	333.000,00 €	333.000,00 €	333.000,00 €	333.000,00 €	333.000,00 €	333.000,00 €	333.000,00 €
16	stortkosten char	205.200,00 €	205.200,00 €	205.200,00 €	205.200,00 €	205.200,00 €	205.200,00 €	205.200,00 €	205.200,00 €	205.200,00 €	205.200,00 €	205.200,00 €
17	vaste productie-kosten	174.423,75 €	174.423,75 €	174.423,75 €	174.423,75 €	174.423,75 €	174.423,75 €	174.423,75 €	174.423,75 €	174.423,75 €	174.423,75 €	174.423,75 €
18	Opbrengsten - Kosten	316.980,62 €	326.463,74 €	336.278,76 €	346.437,31 €	356.951,41 €	367.833,51 €	379.096,47 €	390.753,64 €	402.818,82 €	415.306,27 €	428.230,78 €
19												
20	NCW voor belastingen											
21												
22	belastingen	13.635,95 €	16.859,26 €	20.195,39 €	23.648,28 €	27.222,02 €	30.920,85 €	34.749,13 €	38.711,40 €	42.812,35 €	47.056,84 €	51.449,88 €
23	afschrijvingen	276.863,09 €	276.863,09 €	276.863,09 €	276.863,09 €	276.863,09 €	276.863,09 €	276.863,09 €	276.863,09 €	276.863,09 €	276.863,09 €	276.863,09 €
24	interestaftrek											
25	winst na belasting	303.344,67 €	309.604,48 €	316.083,37 €	322.789,03 €	329.729,39 €	336.912,66 €	344.347,35 €	352.042,24 €	360.006,46 €	368.249,43 €	376.780,90 €
26												
27												
28	NCW na belastingen											

De NCW voor belastingen bedraagt -2.431.312,97 euro. De NCW na belastingen bedraagt - 2.379.153,09 euro. De NCW na belastingen is hoger dan de NCW voor belastingen omdat de investeringsaftrek hoger is dan de totale belastingen. In onderstaande tabel is het aandeel van elke kost en opbrengst in de NCW terug te vinden.

Tabel 12 : Berekening NCW

Kasstroom	Verdisconteerde som (€)	percentage
Opbrengsten		
Verkoop bio-olie	23.439.319,38	98,32
Ecologiepremie	399.561,70	1,68
Totaal opbrengsten	23.838.881,08	100
Uitgaven		
Investering	5.814.124,84	22,13
Interestbetalingen	1.440.246,78	5,48
Vaste productie <i>overhead</i> kosten	1.747.168,32	6,65
Inputkosten	5.409.073,70	20,59
Transportkosten	943.582,86	3,59
Kosten van vermalen	1.202.016,38	4,58
Waterkosten	3.335.595,45	12,7
Arbeidskosten	4.322.937,71	16,46
Stortkosten char	2.055.448,01	7,82
Totaal uitgaven	26.270.194,05	100
NCW (voor belastingen)	- 2.431.312,97	
Belastingen (-)	214.629,95	
Verhoogde investeringsaftrek (+)	266.789,84	
NCW na belastingen	- 2.379.153,09	

Deze waarden worden verder in detail bekeken in het volgende hoofdstuk.

Hoofdstuk 5: Risicoanalyse toegepast

5.1 Eén factor sensitiviteitsanalyse

Het resultaat van de kosten-batenanalyse is een negatieve netto contante waarde. In dit hoofdstuk is het de bedoeling om een NCW na belastingen gelijk aan nul of zelfs positief te bekomen door het wijzigen van slechts één factor tegelijkertijd.

De impact van de ecologiepremie wordt hier niet nagegaan. Aangezien het bedrag van de ecologiepremie vastligt en dus niet zal kunnen dalen of stijgen, is het niet nuttig om de impact van de daling of stijging op de NCW na te gaan. Wel moet onderzocht worden wat het effect is van het toekennen van een ecologiepremie. Dit wordt onderzocht bij de Monte Carlo simulaties.

5.1.1 Verkoopprijs bio-olie

Als basiswaarde voor de verkoopprijs gebruiken we 300 euro per ton. Als we deze waarde laten stijgen en dalen, wat gebeurt er dan met de NCW?

Tabel 13: Eén factor analyse verkoopprijs bio-olie

Verkoopprijs bio-olie	NCW na belastingen (€)	% NCW
+30%	2.269.986,44	-95%
+20%	722.756,97	-88%
+10%	-824.472,51	35%
300	-2.379.153,09	100%
-10%	-4.508.455,07	190%
-20%	-6.852.387,01	288%
-30%	-9.196.318,95	386%

Bij een stijging van 20% van de verkoopprijs wordt de NCW al positief en bedraagt deze al meer dan 700.000 euro. Bij een lichte daling van 10% bedraagt het tekort al meer dan 4,5 miljoen euro. Dit betekent dat een schommeling in de verkoopprijs van bio-olie een grote impact heeft op de NCW.

5.1.2 Investeringskost

De basiswaarde van de investeringskost bedraagt 5.814.124,84 euro. Deze waarde laten we fluctueren en de impact op de NCW na belastingen wordt onderzocht. Door het laten variëren van de investeringskost, verandert de investeringsaftrek, de ecologiepremie, de afschrijvingen, de interestbetalingen en de vaste productiekosten. Dit komt omdat deze waarden uitgedrukt worden in een percentage van de investeringskost. Hoe lager de investeringskost, hoe lager de investeringsaftrek en de ecologiepremie. Dit betekent minder kosten en minder opbrengsten. Hoe lager de investeringskost, hoe lager de jaarlijkse afschrijvingen en hoe minder belastingsaftrek. Hoe lager de investeringskost, hoe lager de interestbetalingen en hoe lager de vaste productiekosten.

Tabel 14: Eén factor analyse investeringskost

Investeringskost	NCW na belastingen (€)	% NCW
+30%	-4.665.887,81	196%
+20%	-3.863.081,44	162%
+10%	-3.101.047,12	130%
5.814.124,84	-2.379.153,09	100%
-10%	-1.727.206,17	72%
-20%	-1.082.710,35	46%
-30%	-438.214,53	18%

Hoe lager de investeringskost, hoe hoger de NCW na belastingen. De verandering van de NCW is groot want bij een daling van de investeringskost met 10%, stijgt de netto contante waarde met 28%.

5.1.3 Vaste productie *overheadkosten*

De vaste productie *overheadkosten* bedragen 3% van de investeringskost per jaar. Wat gebeurt er met de NCW als deze kosten 7%, 6%, 5%, 4% en 2% bedragen? De vaste productiekosten worden niet met percentages verandert omdat in het onderzoek van Kuppens et al. (2010) met 7% vaste productiekosten wordt gewerkt en zo kan worden nagegaan welke impact dit heeft op de NCW.

Tabel 15: Eén factor analyse vaste productie *overheadkosten*

Vaste productie <i>overheadkosten</i>	NCW na belastingen (€)	% NCW
7% (+133%)	-4.494.080,90	188%
6% (+100%)	-3.911.691,46	164%
5% (+67%)	-3.339.709,14	140%
4% (+33%)	-2.836.877,39	119%
3%	-2.379.153,09	100%
2% (-33%)	-1.987.266,71	84%

Wanneer de vaste productiekosten 7% bedragen dan daalt de NCW met 88%. Was de *base case* variabele van de vaste productiekosten 7% geweest dan werden de kosten enorm overschat en voor een deel dubbel geteld. Ook is uit de tabel af te leiden dat wanneer de vaste productiekosten met 33% veranderen, de NCW slechts met ongeveer 17,5% verandert.

5.1.4 Inputkosten

De inputkosten van de biomassa bedragen 45 euro per tds. Opnieuw laten we deze waarde variëren om te kijken naar het effect op de NCW na belastingen.

Tabel 16: Eén factor analyse inputkosten

Inputkosten	NCW na belastingen (€)	% NCW
+30%	-3.787.245,25	159%
+20%	-3.266.316,73	137%
+10%	-2.802.514,76	118%
45	-2.379.153,09	100%
-10%	-2.014.649,02	85%
-20%	-1.657.596,07	70%
-30%	-1.300.543,11	55%

Uit de tabel kan afgeleid worden dat enkel het dalen van de inputkosten de nettocontantewaarde niet op nul kan brengen tenzij door een zeer extreme daling van meer dan 65% in de inputkost wat niet realistisch is.

5.1.5 Transportkosten

De transportkosten bedragen 7,85 per tds. In onderstaande tabel kan de één factor analyse onderzocht worden.

Tabel 17: Eén factor analyse transportkosten

Transportkosten	NCW na belastingen (€)	% NCW
+30%	-2.593.966,68	109%
+20%	-2.520.485,36	106%
+10%	-2.448.809,33	103%
7,85	-2.379.153,09	100%
-10%	-2.311.756,43	97%
-20%	-2.247.130,17	94%
-30%	-2.184.844,27	92%

Deze tabel toont duidelijk aan dat de transportkosten een lage invloed uit oefenen op de NCW na belastingen. Door alleen de transportkosten te veranderen zal de NCW na belastingen niet positief worden.

5.1.6 Kosten van vermalen

De kosten van vermalen oefenen net zoals de transportkosten een zeer lage invloed uit op de NCW na belastingen en daarom zijn enkel de wijzigingen van deze kosten niet voldoende om de NCW positief te maken. Deze conclusie wordt gestaafd met onderstaande tabel. Wanneer de versnipperkosten wijzigen met 10%, wijzigt de NCW slechts met drie à vier percent.

Tabel 18: Eén factor analyse versnipperkosten

Versnipperkosten	NCW na belastingen (€)	% NCW
+30%	-2.655.593,12	112%
+20%	-2.560.485,41	108%
+10%	-2.468.174,24	104%
10	-2.379.153,09	100%
-10%	-2.293.822,77	96%
-20%	-2.213.011,78	93%
-30%	-2.133.666,68	90%

5.1.7 Waterkosten

De waterkosten bedragen 27,75 €/tds. Dezelfde fluctuering wordt voor deze factor gebruikt.

Tabel 19: Eén factor analyse waterkosten

Waterkosten	NCW na belastingen (€)	% NCW
+30%	-3.194.954,47	134%
+20%	-2.907.963,05	122%
+10%	-2.633.947,50	111%
27,75	-2.379.153,09	100%
-10%	-2.151.519,32	90%
-20%	-1.931.336,67	81%
-30%	-1.711.154,01	72%

Als de waterkosten dalen dan stijgt de NCW evenredig. Met andere woorden door de verandering van de waterkosten met 10%, verandert de NCW na belastingen ook met ongeveer 10%. Hier is het besluit dat een daling van de waterkosten alleen niet voldoende is om de NCW na belastingen gelijk aan nul of positief te maken.

5.1.8 Arbeidskosten

De arbeidskosten bedragen 431.568,6 euro. Van de totale uitgaven over 21 jaar maakt deze kost 16,46% uit. Het is al op voorhand duidelijk dat deze kost een belangrijke invloed gaat hebben op de NCW.

Tabel 20: Eén factor analyse arbeidskosten

Arbeidskosten	NCW na belastingen (€)	% NCW
+30%	-3.463.673,26	146%
+20%	-3.076.608,61	129%
+10%	-2.713.411,96	114%
431.568,6	-2.379.153,09	100%
-10%	-2.086.344,86	88%
-20%	-1.800.987,74	76%
-30%	-1.515.630,62	64%

Wanneer de arbeidskosten stijgen met 10% dan daalt de NCW met 14%. Wanneer de arbeidskosten dalen met 10% dan stijgt de NCW na belastingen met slechts 12%. Dit is te wijten aan het feit dat de belastingen op dit moment groter worden dan de investeringsaftrek en de NCW na belastingen hierdoor minder fel stijgt. De impact van de arbeidskosten op de NCW is significant.

5.1.9 Stortkosten char

De stortkosten bedragen 114 €/ton en de bijdrage in totale kosten is 7,82%.

Tabel 21: Eén factor analyse stortkosten char

Stortkosten char	NCW na belastingen (€)	% NCW
+30%	-2.865.512,99	120%
+20%	-2.696.132,73	113%
+10%	-2.533.403,59	106%
114	-2.379.153,09	100%
-10%	-2.236.021,86	94%
-20%	-2.100.341,73	88%
-30%	-1.964.661,61	83%

Wanneer de stortkosten met 10% stijgen, daalt de NCW met 6%. Wanneer de stortkosten met 10% dalen, stijgt de NCW ook met 6%. De stortkosten op zich dus zonder wijzigingen van andere variabelen hebben een kleine impact op de NCW.

5.1.10 Aantal hectare korteomloophout per jaar

Als basiswaarde werd 1500 ha per jaar genomen. Wanneer de basiswaarde verandert, wijzigt ook het aantal ton droge stof dat per uur in de pyrolyse-reactor gaat en hierdoor wijzigt de investeringskost wat dan weer de ecologiepremie, investeringsaftrek, afschrijvingen en vaste productiekosten beïnvloedt. Door het wijzigen van deze ene factor worden andere variabelen gewijzigd.

Tabel 22: Eén factor analyse aantal hectare biomassa per jaar

# ha biomassa per jaar	NCW na belastingen (€)	% NCW
+30%	-1.592.964,95	67%
+20%	-1.863.669,18	78%
+10%	-2.123.676,53	89%
1500	-2.379.153,09	100%
-10%	-2.693.600,79	113%
-20%	-3.058.483,46	129%
-30%	-3.470.993,43	146%

Bij een stijging van het aantal ha met 10%, stijgt de NCW met 11%. Hoe meer ha kortoomloophout per jaar, hoe hoger de NCW. Het aantal ha kortoomloophout heeft een impact op de NCW omdat de NCW met meer dan 10% stijgt bij een stijging van 10% van het aantal ha.

5.1.11 Oogst kortoomloophout

De basiswaarde voor het aantal tds per ha kortoomloophout is 8 tds. Wanneer dit getal verandert, veranderen andere variabelen, namelijk dezelfde als bij het aantal ha kortoomloophout per jaar.

Tabel 23: Eén factor analyse oogst biomassa

tds biomassa per ha	NCW na belastingen (€)	% NCW
+30%	-1.592.964,95	67%
+20%	-1.863.669,18	78%
+10%	-2.123.676,53	89%
8	-2.379.153,09	100%
-10%	-2.693.600,79	113%
-20%	-3.058.483,46	129%
-30%	-3.470.993,43	146%

Deze tabel volgt de fluctuatie van het aantal ha kortoomloophout per jaar. Dit is normaal aangezien deze factor met dezelfde sprongen varieert en dezelfde factoren beïnvloedt. Ook deze factor heeft een invloed op de NCW.

Nu geweten is welke factoren een significante invloed uitoefenen op de NCW, kan voor elke factor worden nagegaan hoeveel deze moet bedragen opdat de NCW na belastingen gelijk wordt aan nul. Dit wordt onderzocht in volgende paragraaf.

5.2 Optima *base case* variabelen

Om te onderzoeken hoeveel een factor moet bedragen zodat de NCW gelijk is aan nul, kan beroep worden gedaan op de functie Doelzoeken of *goalseek* in Excel. Bijvoorbeeld aan welke verkoopprijs moet de bio-olie minstens verkocht worden om een NCW na bel. van nul, ceteris paribus (c.p.) te verkrijgen? In onderstaande figuur worden de gegevens voor het antwoord op de voorbeeldvraag ingevuld. Vervolgens wordt aangegeven of een oplossing werd gevonden. Na het vinden van de oplossing, kan je op OK drukken en dan past de cel die je wilt laten wijzigen zich aan. Het antwoord op de voorbeeldvraag is € 345,9861 per ton bio-olie.

Figuur 10: *Print screen* doelzoeken

Assumpties (in €)	base case-waarden
kost pyrolyse-centrale	3545198,073
opslag en voorbehandeling van biomassa	567231,6917
generator voor intern energieverbruik en systeem voor schoonmaak ce	1701695,075
totale investeringskost	5814124,84
exponent	0,7
Opbrengsten	
verkoop pyrolyse-olie per ton	300
Ecologiepremie	465129,9872
Kosten	
interestvoet	0,035
inputkosten per ton droge stof	45
transportkosten per tds	7,85
arbeidskosten per jaar	1568,6
versnipperen biomassa	10
vaste productie overheadkosten	3%
waterkosten per tds	27,75
verwerken van char per ton	114 €
na belastingen	
belastingsvoet	0,3399
afschrijvingen (lineair)	276863,0876
verhoogde investeringsaftrek	0,135

Op dezelfde manier werden de antwoorden uit onderstaande tabel verkregen. Er wordt steeds voor één factor nagegaan hoe groot deze factor moet zijn om de NCW na belastingen op nul, en dus aanvaardbaar als investering te krijgen. Bij de investeringskost veranderen wel de andere factoren die aan de investeringskost gekoppeld zijn, dit zijn de afschrijvingen, interestbetalingen, verhoogde investeringsaftrek, ecologiepremie en productie *overheadkosten*.

Tabel 24: Optima *base case* variabelen

Factor	Waarde
Minimum verkoopprijs bio-olie	€ 345,9861
Minimale exponent van investeringskost	1,2
Maximum inputkosten per tds	€ 15,1090
Maximum arbeidskosten per jaar	€ 72.876,9690
Minimum aantal ha per jaar	2.752,6470
Minimum aantal tds/ha	14,6810
Minimum opbrengstpercentage bio-olie	72,22% ^a

QAAAAa: opbrengstpercentage char 7,77%, opbrengstpercentage gas 20%

Het minimumpercentage van 72,22% bio-olie is in de werkelijkheid niet haalbaar aangezien de bio-olie opbrengst rond 70% piekt en daarna terug vermindert.

De verkoopprijs van bio-olie moet minstens € 345,99 per ton bedragen, ceteris paribus, opdat deze investering economisch haalbaar zou zijn. Verder onderzoek en uiteindelijk de marktwerking zal bepalen of deze prijs haalbaar is. De studies die nu reeds werden uitgevoerd, geven aan dat deze minimumprijs te hoog ligt en dat de gemiddelde productieprijs van bio-olie 259,32 €/ton bedraagt (Christis, 2012).

De hoeveelheid ha korteomloophout dat per jaar geoogst wordt moet minimaal 2.752 zijn ceteris paribus. Er moet meer onderzoek gebeuren naar de bereidheid van landbouwers om over te schakelen naar de teelt op korteomloophout om dit cijfer te beoordelen als haalbaar of niet. 650 ha landbouwgrond wordt als realistisch minimumoppervlakte gezien om korteomloophout te telen. Dit cijfer is niet gebaseerd op bereidheid van de landbouwers om over te schakelen. Als maximumoppervlakte wordt 3000 ha per jaar gevonden (Voets en Kuppens, 2012).

Het aantal ton ds korteomloophout per ha zou minimaal 14,68 moet zijn, ceteris paribus, zodat de NCW gelijk is aan nul en de pyrolyse-centrale een goede investering is. Dit is in de Noorderkempen niet haalbaar door onder meer de slechte bodemkwaliteit. Een maximum van het aantal ton korteomloophout per hectare is 12 tds/ha.

De inputkosten mogen maximaal 15,18 €/tds zijn, ceteris paribus. Als de landbouwers slechts 15,18 €/tds krijgen, loont het voor hen niet om over te stappen op de teelt naar korteomloophout. De aankoopprijs per tds biomassa moet hoger liggen en enkel door het wijzigen van deze factor zal de investering niet aantrekkelijk worden.

De arbeidskosten mogen maximaal € 72.876,97 bedragen. In België zijn de minimumlonen vastgelegd en dus zal dit lage bedrag niet gerealiseerd kunnen worden. Het is niet haalbaar om door enkel de verlaging van de arbeidskosten, de NCW positief te maken. Ook de investeringskost verlagen, c.p., heeft geen nut aangezien hier een exponent van minimum 1,2 nodig is. Deze waarde voor de exponent komt in de praktijk niet voor zie onderzoek van Kuppens (2012).

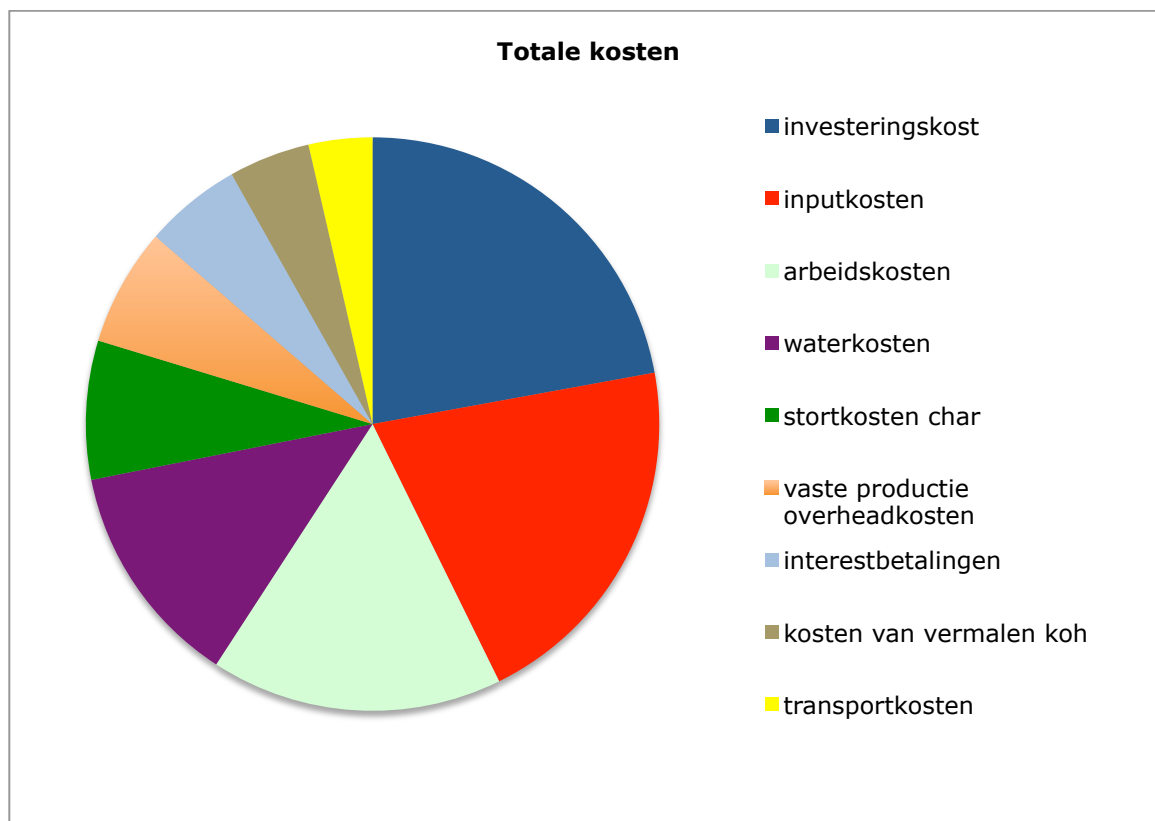
Er wordt dieper op deze waarden ingegaan bij de risico-reductie (5.5).

5.2 Keuze onzekere variabelen

5.2.1 Kosten

Onderstaande figuur dient om een keuze te maken welke variabelen verder onderzocht dienen te worden. Deze grafiek is gebaseerd op de gegevens uit tabel 12: berekening NCW. Op de grafiek zijn de kosten gerangschikt van groot naar klein. Uit deze grafiek blijkt dat de investeringskost, de inputkost en de arbeidskost zeker moeten gekozen worden als onzekere variabelen omdat zij een groot deel van de kosten bepalen.

Figuur 11: Taartdiagram kosten uitgedrukt in percentages



De kost voor het vermahlen van het korteomloophout en de transportkost worden niet gekozen als onzekere variabelen omdat zij beide minder dan 5% uitmaken van de totale kosten. De waterkosten worden niet opgenomen als onzekere variabele. Door het wijzigen van de waterkosten, verandert de NCW met hetzelfde percentage.

De stortkosten voor de char zijn redelijk zeker omdat deze stortkosten de heffing voor storten op een stortplaats van categorie II voor niet-gevaarlijke bedrijfsafvalstoffen omvatten (Thewys, Kuppens, z.d.). Deze heffing blijft ongeveer dezelfde over de jaren. En bij de één factor analyse werd reeds aangehaald dat de stortkosten slechts een kleine impact hebben op de NCW. Daarom worden de stortkosten als zekere variabele aanschouwd.

De interestbetalingen en de vaste productie *overhead*kosten worden niet als zekere variabelen beschouwd omdat ook zij een kleine impact uitoefenen op de NCW. Daarenboven geldt voor de interestvoet dat wanneer deze werd onderhandeld bij de bank, het percentage niet meer kan veranderen bij een vaste interestvoet. De totale interestbetalingen en vaste productie *overhead*kosten veranderen wel omdat de totale investeringswaarde wijzigt maar de assumpties van respectievelijk 3,5% en 3% blijven behouden.

Een bijkomende reden om de inputkost als onzekere variabele te beschouwen is omdat op een aankoop prijs normaal vraag en aanbod speelt. Aangezien dit hele proces nog niet gecommmercialiseerd is, speelt het marktmechanisme niet en maakt dit de aankoop prijs nog onzekerder. Daarom bestaat er in de literatuur een grote onzekerheid over de juiste inputkost,

zie verder bij minimum- en maximumwaarden. Ook bij de investeringskost bestaat onzekerheid in de literatuur over de correcte kost, dit wordt ook verder besproken in het volgende punt over minimum- en maximumwaarden.

5.2.2 Opbrengsten

De opbrengsten bestaan slechts uit twee elementen: de opbrengst uit de verkoop van de bio-olie die 98,41% van de gehele opbrengsten uitmaakt en de ecologiepremie. De verkoopprijs van de bio-olie is onderworpen aan de marktwerking en daarom onzeker. Bovendien zijn vele verschillende verkoopprijzen in de literatuur terug te vinden. Om deze redenen wordt de verkoopprijs van bio-olie opgenomen in de lijst met onzekere variabelen.

De ecologiepremie maakt slechts een klein percentage uit van de opbrengsten. Het is niet duidelijk of deze premie mag worden toegekend daarom kwalificeert de ecologiepremie als een onzekere variabele bij de scenario-analyse.

Ten slotte kan de verhoogde investeringsaftrek als een opbrengst worden beschouwd. Deze aftrek is geen onzekere variabele omdat deze slechts van toepassing is in jaar 0. Hoewel het percentage kan schommelen over de jaren, is er geen risico op het afschaffen van investeringsaftrek omdat het beginsel van rechtszekerheid geldt. Deze investeringsaftrek wordt als een vaststaand gegeven beschouwd.

5.2.3 Overige gegevens

Eerder in de masterproef (hoofdstuk vier bij de basisgegevens van de initiële investering) is al aangehaald dat het aantal ha kortoomloophout dat jaarlijks geoogst wordt onzeker is. Dit blijft dan ook een onzekere variabele waarmee verder gewerkt wordt. Ten tweede werd aangetoond dat het aantal tds kortoomloophout per ha varieert. Dit element wordt meegenomen in de verdere risicoanalyse. Ten slotte is al in verschillende studies zoals die van Kwang Ho Kim et al., Bridgwater en Stals et al. aangetoond dat het opbrengstpercentage van de bio-olie en de char onzeker is. Het opbrengstpercentage van bio-olie kan bijvoorbeeld dalen wat betekent dat het opbrengst-percentage van de char mogelijk stijgt en andersom. Met deze onzekerheid wordt in de verdere analyse rekening gehouden.

5.3 Minimum- en maximumwaarden

5.3.1 Investeringskost

Bij het bepalen van de investeringskost wordt de regel van Perry, $I_n = r^{0,6} * I_0$ gebruikt. De exponent in deze regel is echter onzeker. 0,7 is de gebruikte basiswaarde i . Bij de voorafgaande schatting van de constructie van een gebouw moet deze schatting een bereik hebben van ongeveer 20% (Peters,Timmerhaus,West, 2004). De pessimistische waarde wordt op 0,53 gezet wat overeenkomt met een hogere investeringskost van 19,95%. Als optimistische waarde wordt 0,75 genomen omdat dit dichterbij ligt bij de gevonden investeringskosten van Dh. Kuppens (2012).

De investeringskost, I_0 varieert door het aantal tds/h en door de exponent in de formule van de investeringskost. Via formules wordt bewezen dat er zich schaalvoordelen voordoen onafhankelijk van de exponent b .

$$I_0 = a * \Phi^b$$

Waarbij a = de waarde van de eerste/oude investeringskost en Φ de capaciteit of hoeveelheid korteomloophout per uur.

Stel dat de capaciteit verdubbeld en een nieuwe investeringskost berekend wordt dan is

$$I'_0 = a * (2\Phi)^b = 2^b * a * \Phi^b = 2^b * I_0$$

Stel $b = 0,7$ dan is $I'_0 = 2^{0,7} * I_0 = 1,6245 * I_0$;

stel $b = 0,53$ dan is $I'_0 = 2^{0,53} * I_0 = 1,4439 * I_0$;

stel $b = 0,9$ dan is $I'_0 = 2^{0,9} * I_0 = 1,8661 * I_0$.

Een verdubbeling van de schaal leidt niet tot een verdubbeling van de investeringskost.

5.3.2 Inputkosten

Het basisgegeven van de inputkost bedraagt 45 €/tds (Kuppens, 2012). Anderen bronnen vermelden echter een andere aankoopprijs. Volgens Bridgwater, Toft en Brammer (2002) bedraagt de aankoopprijs van het korteomloophout 40 €/tds. Siemens (2005) verwacht dan weer een kost van 35 €/tds (Kuppens, Thewys, 2008). Voets et al. (2011) gaan uit van een inputprijs van 50 €/tds. Het Empyro-project vermeldt een kostprijs van 80 €/tds. Dit heeft betrekking tot A-hout (niet-vervuild hout). Er is een lineair verband tussen deze inputkosten met als eindpunten van het lijnstuk de optimistische waarde 31,5 €/tds en de pessimistische waarde 58,5 €/tds.

5.3.3 Totale arbeidskosten

Een eerste reden waarom de arbeidskosten onzeker zijn, ligt bij de schommelende arbeidskostenindex. De arbeidskostenindex toont het korte termijn verloop van de arbeidskosten. Dit is de totale kost van arbeid uitgedrukt per uur. Met andere woorden de arbeidskostenindex meet de kostendruk afkomstig van de productiefactor arbeid (Eurostat, 2012a). Onderstaande tabel (Eurostat, 2012b) toont het verloop voor de Europese Unie, België en de buurlanden. Een daling van de index van 3,7 naar 2,8 over een periode van negen jaar, is ongeveer een daling van 25%. Er zijn nog uiterste waarden in 2003 van 1,9 en in 2009 van 3,9. Het is zeer moeilijk om te voorspellen met hoeveel de loonkost index over 21 jaar gaat toenemen of afnemen en wat de totale impact hiervan gaat zijn.

Tabel 25: Arbeidskostenindex vanaf 2002 tot en met 2011

Jaartal	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Land										
EU	3,8	3,6	3,3	2,9	3,3	3,5	4,0	2,5	1,7	2,7
B	3,7	1,9	2,5	2,3	2,4	2,2	3,5	3,9	3,3	2,8
D	2,5	2,8	0,8	0,8	1,6	0,9	2,4	2,1	0,6	3,4
F	3,6	2,8	4,0	4,2	4,0	4,0	3,5	0,9	3,1	3,4
LU	3,4	3,7	2,7	4,1	2,8	3,2	3,1	4,0	2,2	2,9
NL	5,4	4,4	3,5	1,8	2,9	3,3	3,8	2,0	2,0	2,1

Bron: Eurostat (2012b) *Labour costs incurred by business*. Opgevraagd op 18 april 2012, via http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/labour_market/introduction.

Een tweede reden waarom de arbeidskosten onzeker zijn, is de onvoorspelbaarheid van het aantal arbeiders dat nodig is voor deze pyrolyse-centrale operationeel te houden. Gelet op het feit dat slechts weinig pyrolyse-centrales bestaan, laat dit geen goede vergelijking toe. Om deze twee redenen varieert de arbeidskost met 30%.

5.3.4 Verkoopprijs pyrolyse-olie

Pyrolyse-olie kan aangewend worden ter vervanging van stookolie, aardgas, steenkool of pellets. De marktwaarde van bio-olie, berekend in de masterproef van Maarten Christis (2012), bedraagt gemiddeld 172,10 €/ton. Christis berekende ook de productiekost van bio-olie aan de hand van een formule van Bridgwater(2011).

Het 95%-betrouwbaarheidsinterval bedraagt [332,72 EUR/ton; 339,46 EUR/ton]. Dit wil zeggen dat 95% van de op deze manier berekende intervallen de werkelijke waarde van de productiekost van pyrolyseolie zullen bevatten (citaat uit masterproef van Maarten Christis).

De minimumwaarde van de bio-olie is 172,1 €/ton en de maximumwaarde is 336,09 €/ton.

5.3.5 Ecologiepremie

De minimumwaarde van de ecologiepremie is nul, omdat het onzeker is of de ecologiepremie al dan niet toegekend zal worden. De maximumwaarde blijft het basisgegeven aangezien op geen enkele manier een hogere ecologiepremie volgens de wet mogelijk is.

5.3.6 Aantal ha korteomloophout per jaar

Zoals eerder vermeld, is 650ha een minimumwaarde voor het telen van korteomloophout. Dit is het minimale areaal dat vervuild is met cadmium dat binnen 42 jaar met wilg gesaneerd kan worden. De maximumwaarde bedraagt 3000 ha per jaar volgens gesprekken met Dhr. Kuppens (2012).

5.3.7 Aantal tds korteomloophout per jaar

Witters et al. (2009) berekenden het aantal tds per jaar van de oogst van twee wigen (Belgisch en Jorunn) op een proefveld in Lommel. De resultaten waren laag: 4,7 en 5,9 tds/ha. Dit wordt veroorzaakt door de minder goede bodemkwaliteit (droge en zanderige bodem). Als minimumwaarde wordt 5,9 tds/ha afgerond tot 6 tds/ha.

Cidad et al. (2003) vermelden een opbrengst van wilg en populier van 10,8 tds/ha per jaar. Voets et al. (2011) vermelden als basiswaarde 9,6 tds/ha per jaar. Op een proefveld in Beitem (West-Vlaanderen) werd een gemiddelde opbrengst van 16,71 tds/ha bekomen op basis van testen met verschillende wilgensoorten. Dit hoge resultaat is te wijten aan de vochtige zand-leem bodem in West-Vlaanderen. Aangezien deze masterproef gericht is op het gebied in de Noorderkempen is de goede bodemkwaliteit niet representatief. Daarom wordt 30% van deze waarde afgetrokken om een optimistische waarde voor de Noorderkempen te kunnen veronderstellen. Dit komt overeen met 11,697 tds/ha of afgerond 12 tds/ha.

5.3.8 Opbrengstpercentages bio-olie en char

De opbrengstpercentages van bio-olie en char staan met elkaar in verband, elk opbrengstpercentage van bio-olie heeft één bijhorend percentage van char. Onderstaande tabel geeft weer welke waarden in de literatuur beschreven worden.

Tabel 26: Opbrengstpercentages bio-olie en char uitgedrukt in gewicht

Opbrengstpercentage bio-olie	Opbrengstpercentage char	Onderzoek
0,502	0,282	Kwang Ho Kim et al. (2011)
0,516	0,179	Kwang Ho Kim et al. (2011)
0,52	0,23	Stals et al. (2010a)
0,65	0,15	Bridgwater (2011) (basisgegevens)
0,618	0,14	Kwang Ho Kim et al. (2011)
0,64	0,15 ^a	Empyro-project
0,664	0,115	Kwang Ho Kim et al. (2011)
0,639	0,079	Kwang Ho Kim et al. (2011)
0,683	0,089	Kwang Ho Kim et al. (2011)
0,70	0,20	Voets et al. (2011)
0,70	0,15	Thewys en Kuppens (2008)

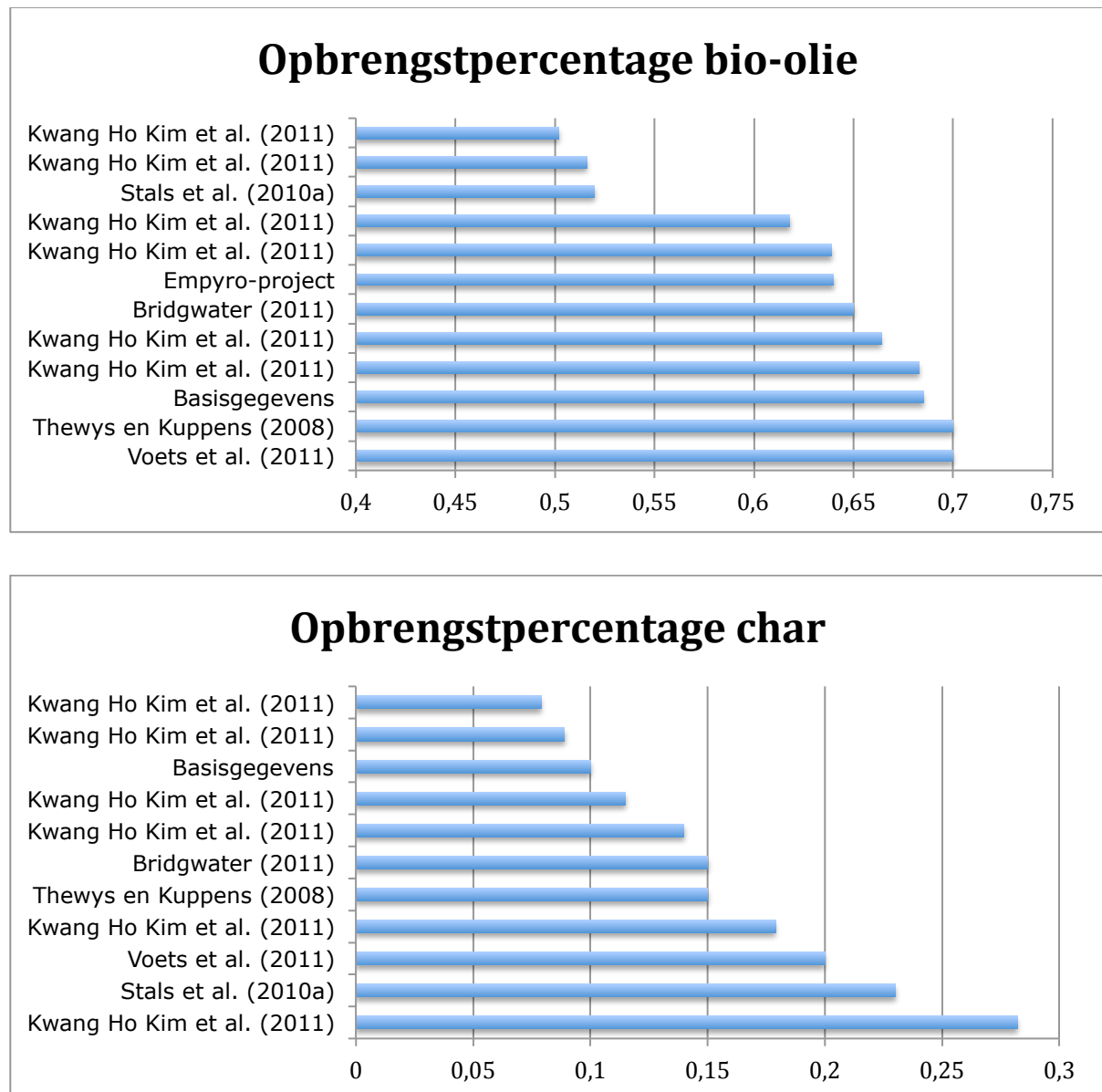
a: op basis van energie en niet van gewicht

Bovenstaande grafiek geeft goed weer wat de minimumwaarde en maximumwaarde is voor het bio-oliepercentage namelijk ongeveer 50% als minimumwaarde en 70% als maximumwaarde. Als basiswaarde werd 65% bio-olie, 15% char en 20% gas verondersteld (Bridgwater, 2011). Ter vereenvoudiging blijft het gaspercentage bij het pessimistisch en optimistisch scenario gelijk aan 20%. De lineaire relatie tussen bio-olie en char wordt verondersteld. De onderzochte studie van Yoder et al. (2011) toont aan dat wanneer de temperatuur stijgt, de charhoeveelheid daalt en de bio-olie stijgt tot op een bepaald punt en daarna terug daalt. Een stijging in temperatuur leidt dus tot een grotere opbrengst van bio-olie ten koste van de opbrengst van char. Deze studie ondersteunt de veronderstelde lineaire relatie.

Als minimumwaarde voor bio-olie wordt 55% genomen wat dicht aansluit bij het onderzoek van Stals et al. (2011). Hierdoor wordt het maximumpercentage aan char 25%. Als maximumpercentage voor bio-olie wordt 70% genomen zoals in het onderzoek van Voets et al.

(2011). Dit komt overeen met een minimumwaarde van 10% voor char, wat gezien onderstaande figuren realistisch is als minimumwaarde.

Figuur 12: Opbrengstpercentage bio-olie en char



5.4 Scenario-analyse

Na het bepalen van de onzekere variabelen met hun bijhorende minimum- en maximumwaarden, kan er een optimistisch en een pessimistisch scenario gegenereerd worden. Dit kan met behulp van de *Solver*- of *Oplosser*-functie in Excel. Deze functie is in staat om de waarde van een bepaalde cel te maximaliseren, minimaliseren of te fixeren op een bepaalde waarde.

Het voordeel van deze functie ten opzichte van de Doelzoekenfunctie is het vermijden van het zelf ingeven van waardes voor de doelcel en het kunnen laten wijzigen van meerdere variabelen. Een ander voordeel is dat na het genereren van het scenario de gebruiker de mogelijkheid heeft om

dit scenario op te slaan en achteraf bewerkingen op het scenario kan aanbrengen. Het nadeel van deze functie is echter dat alle werkgegevens in hetzelfde tabblad moeten staan.

In onderstaande tabel zijn de minimum- en maximumwaarden van de onzekere variabelen geschreven in de vorm van een optimistisch en een pessimistisch scenario.

Tabel 27: Parameters optimistisch en pessimistisch scenario

Onzekere variabele	Optimistisch scenario	Pessimistisch scenario
Exponent investeringskost	0,75	0,53
Inputkosten per tds	31,5	58,5
Arbeidskosten	302.098,02	561.039,18
Verkooppryrollyse-olie per ton	336,09	172,1
Aantal ha per jaar	3000	650
Aantal tds/ha	12	6
Opbrengstpercentage bio-olie	0,7	0,55
Opbrengstpercentage char	0,1	0,25
Ecologiepremie	JA	NEE

Het creëren van een scenario in Oplosser gebeurt op de volgende manier. Wanneer Oplosser geopend wordt, verschijnt onderstaand scherm. Eerst dient de doelfunctie bepaald te worden, dit is de netto contante waarde na belastingen. Deze functie moet maximaal worden door het veranderen van bovenstaande onzekere gegevens of cellen. Vervolgens moeten alle randvoorwaarden waaraan de cellen moeten voldoen ingegeven worden. Dit gebeurt via de knop toevoegen. Als oplossingsmethode wordt GRG Nonlineair gekozen omdat de verbanden tussen de variabelen niet steeds lineair zijn. Ten slotte wordt op de knop Oplossen gedrukt.

Figuur 13: Parameters van Oplosser

Parameters van Oplosser

Doelfunctie bepalen:

Naar: ☒ Max ☐ Min ☐ Waarde van:

Door veranderen van variabelecellen:

Onderworpen aan de randvoorwaarden:

- ☒ \$B\$36 = 12615838,54
- ☐ \$B\$39 = 336,09
- ☐ \$B\$40 = 1009267,083
- ☐ \$B\$44 = 31,5
- ☐ \$B\$47 = 302098,02
- ☐ \$B\$48 = 378475,1562
- ☐ \$B\$51 = 365256
- ☐ \$B\$54 = 600754,2163
- ☐ \$B\$57 = 3000
- ☐ \$B\$58 = 12
- ☐ \$B\$59 = 36000

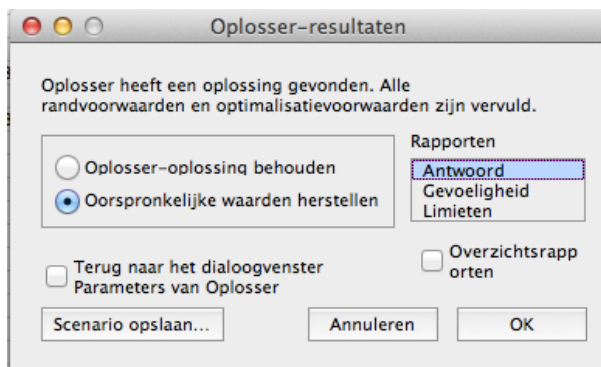
☒ Variabelen waarvoor geen randvoorwaarden gelden, niet-neegatief maken

Selecteer een oplossingsmethode:

Oplossingsmethode
 Selecteer de GRG Nonlinear-engine voor Oplosser-problemen die glad niet-lineair zijn. Selecteer de LP Simplex-engine voor lineaire Oplosser-problemen en selecteer de Evolutionary-engine voor Oplosser-problemen die niet glad zijn.

Dan verschijnt figuur veertien. Er zijn twee mogelijkheden: ofwel heeft Oplosser geen haalbare oplossingen gevonden, ofwel heeft Oplosser een oplossing gevonden. Wanneer er geen haalbare oplossingen gevonden kunnen worden, is er een fout opgetreden bij het ingeven van de randvoorwaarden, het ingeven van de doelfunctie of de keuze van de oplossingsmethode. In het andere geval heeft Oplosser wel een oplossing gevonden. Oorspronkelijke waarden herstellen wordt aangeduid want anders veranderen de kasstromen definitief en zijn de base-case waarden verwijderd. Een antwoordrapport wordt aangevinkt zodat het antwoord van dit scenario in een aparte tab verschijnt en kan bewaard worden.

Figuur 14: Oplosser-resultaten



Omdat de assumpties van de variabelen en de kasstromen al in twee aparte tabbladen zijn ingegeven, is er besloten om niet met Oplosser te werken maar alles handmatig in te geven. Wanneer het optimistisch scenario handmatig wordt ingegeven in Excel, bedraagt de netto contante waarde na belastingen 19.011.586,12 euro. Het pessimistisch scenario bedraagt min 13.395.178 euro.

Het is erg onwaarschijnlijk dat alle optimistische waarden of alle pessimistische waarden zich tegelijk gaan voordoen maar de twee scenario's geven weer hoeveel de netto contante waarde maximaal kan variëren. Alle waarden van de NCW na belastingen die hierna gevonden worden zullen in het interval [min12.877.525,45; 19.011.586,12] liggen.

5.5 Monte Carlo simulaties

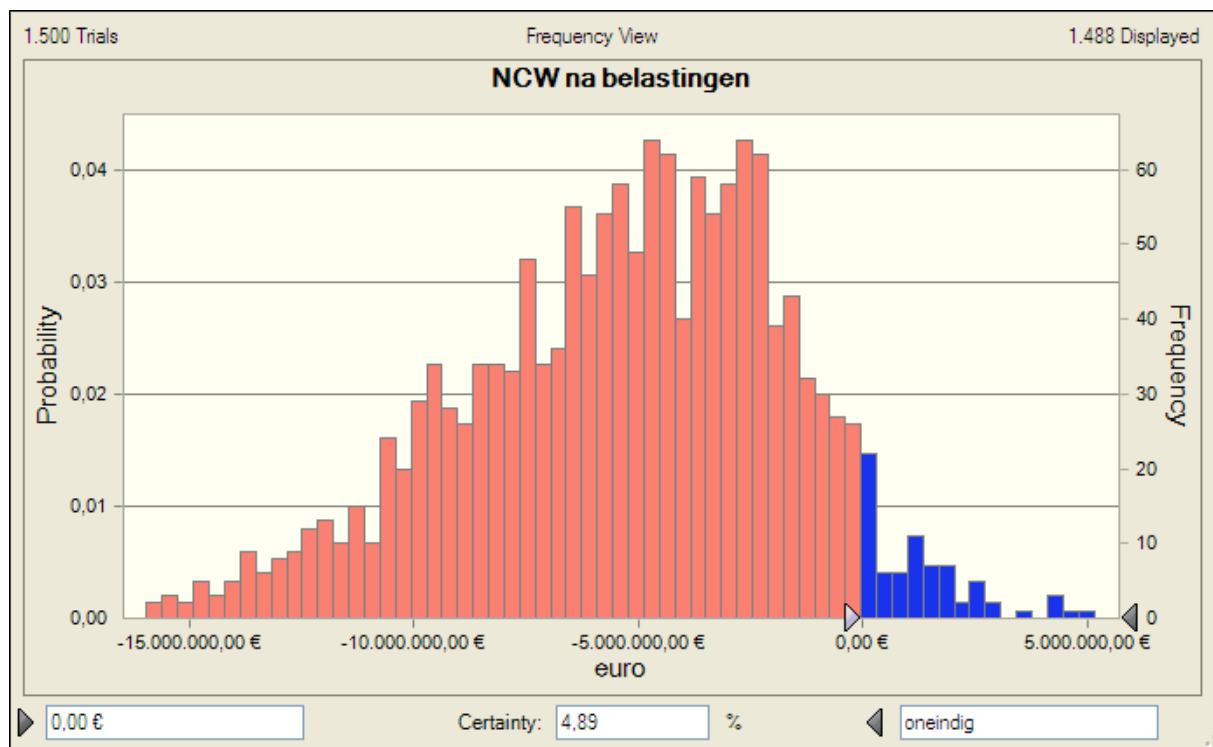
Tussen de optimistische en de pessimistische netto contante waarde na belastingen liggen nog heel wat mogelijke netto contante waarden. De bedoeling is om door middel van Monte Carlo simulaties na te gaan welke omstandigheden zorgen voor een hoge of een lage NCW en wat de meest waarschijnlijke NCW zal zijn op basis van een betrouwbaarheidsinterval met een zekerheid van 95%. Alle onzekere variabelen, behalve de ecologiepremie, worden gesimuleerd op basis van een driehoekige verdeling. Dit betekent dat de basiswaarde de hoogste kans heeft om voor te komen en dat de extreme waarden (de minimum- en maximumwaarde) de laagste kans hebben. Waarbij de ecologiepremie een vaststaand gegeven is. In onderstaande tabel staan alle factoren met hun waarden kort opgesomd. Elk scenario wordt 1500 keer gesimuleerd.

Tabel 28: Factoren van NCW met hun bijhorende waarden

Alle factoren	Minimumwaarde	Basiswaarde	Maximumwaarde
Verkoopprijs bio-olie per ton	172,1	300	336,09
Ecologiepremie		JA	
Exponent investeringskost	0,53	0,70	0,75
Inputkost per tds	31,5	45	58,5
Arbeidskost	302.098,02	431.568,6	561.039,18
Aantal ha per jaar	650	1.500	3.000
Aantal tds/ha	6	8	12
Opbrengstpercentage bio-olie	0,70	0,65	0,55
Opbrengstpercentage char	0,10	0,15	0,25
Verwerkingskost char per ton		114	
Waterkost per tds		27,75	
Versnipperkost per tds		10	
Transportkost per tds		7,85	
Vaste productiekosten, in % van totale investering		3%	
Rente op lening		3,5%	
Verdisconteringsvoet		8%	
Winstbelasting		33,99%	
Verhoogde interestaftrek		13,5%	

Het eerste dat wordt nagegaan, is hoeveel de NCW bedraagt indien alle onzekere factoren tegelijk wijzigen? De NCW na belastingen is in 4,89% positief. De rode balkjes op onderstaande grafiek zijn de simulaties met een negatieve NCW. De blauwe staafjes zijn het aantal simulaties met een positieve NCW. Uit deze verdeling blijkt duidelijk dat de kans op een positieve NCW klein is.

Figuur 15: Grafiek Monte Carlo simulatie NCW na belastingen



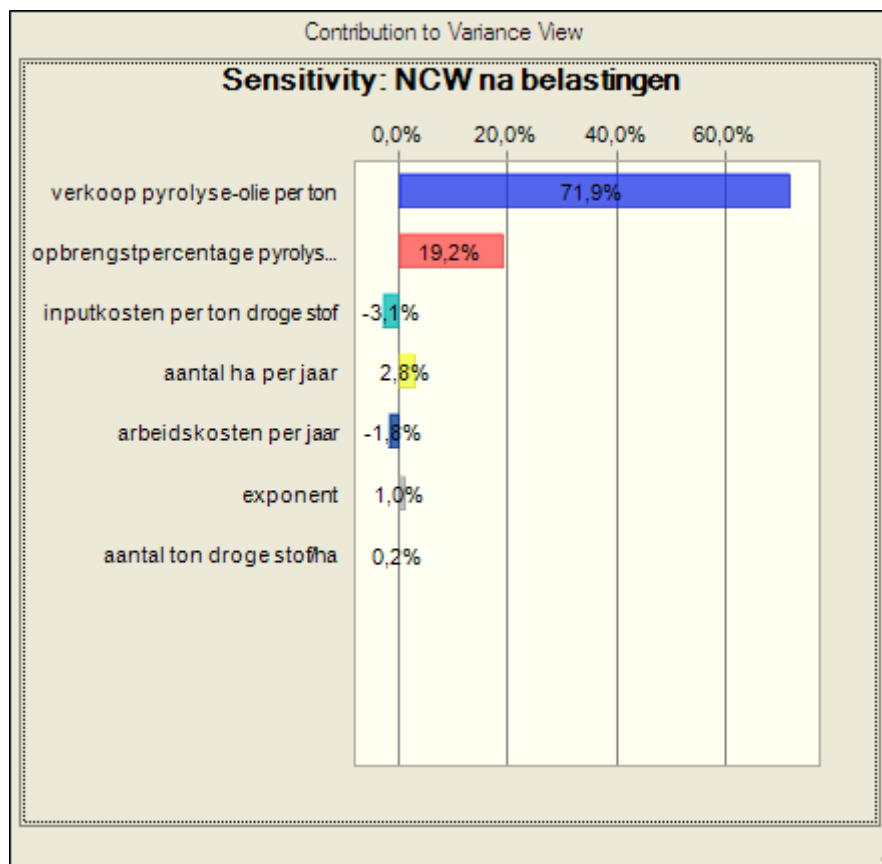
Het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de NCW bedraagt [€ -13.219.498,55; € 726.493,64]. Dit betekent dat 95% van de berekende simulaties een NCW binnen dit interval ligt en dat er 5% kans is dat de werkelijke waarde van de NCW, gebaseerd op deze gegevens, niet in het interval ligt. Het betrouwbaarheidsinterval is zeer breed waardoor het moeilijk is om op basis van het betrouwbaarheidsinterval conclusies te trekken.

Naast het betrouwbaarheidsinterval en het positief percentage van de NCW's is het belangrijk te weten welke variabelen de grootste invloed uitoefenen. Dit kan worden nagegaan met behulp van figuur 16. De verkoopprijs van de bio-olie bepaalt 71,9% van de variantie in de NCW. De relatie is positief, dit betekent dat wanneer de verkoopprijs stijgt ook de NCW stijgt en visa versa. 19,2% van de variantie is afkomstig van de schommelingen in opbrengstpercentages van de bio-olie. Deze relatie is positief.

De overige vijf variabelen hebben een kleine invloed. De variabele kosten, nl. de inputkost en de arbeidskost verklaren respectievelijk 3,1% en 1,8% van de variantie van de NCW. Beide relaties zijn negatief: wanneer de kosten dalen, stijgt de NCW en wanneer de kosten stijgen, daalt de NCW. Het aantal ha oogst per jaar verklaart 2,8% van de variantie van de NCW. Deze relatie is positief, hoe groter de oogst, hoe hoger de NCW. De exponent van de investeringskost bepaalt slechts 1,4% van de variantie van de NCW. Dit is verrassend laag gezien het hoge percentage van de totale kosten en het grote effect bij de één factor analyse.

Ten slotte is er nog de factor aantal ton droge stof biomassa dat per hectare geoogst wordt. Minder dan 1% van de variantie wordt bepaald door deze variabele. De relatie tussen het aantal tds biomassa per hectare en de NCW is positief.

Figuur 16: Sensitiviteitsgrafiek Monte Carlo simulaties na belastingen

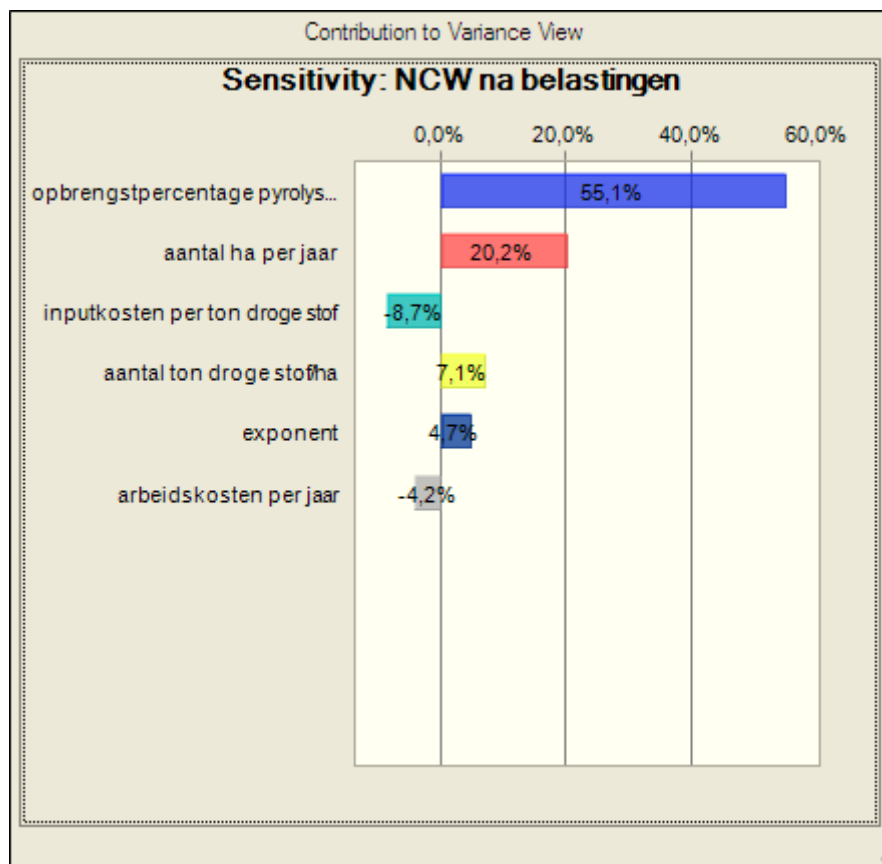


De kans op een positieve NCW bij 2.000 simulaties is 4,45% en bij 1.000 simulaties 4,31%. Bij 10.000 simulaties is de kans op een positieve NCW 4,45%. Dit toont aan dat er slechts kleine verschillen zitten op de kans bij 10.000, 2.000, 1.500 en 1.000 simulaties. Volgende scenario's worden steeds uitgevoerd met 1.500 simulaties.

Al deze gegevens bieden heel wat informatie. Nu wordt nagegaan wat het effect is als slechts enkele variabelen variëren. Blijven de onzekere variabelen die weinig variantie verklaren een kleine impact hebben op de NCW?

Wat gebeurt er met de onzekere variabelen, wanneer de verkoopprijs van de bio-olie niet meer varieert? Met name welke factoren bepalen dan meer variantie? De kans op een positieve NCW na belastingen bedraagt 8,63%. Dit is al meer dan in het eerste geval, maar te weinig om de investering aan te gaan. Het 95-betrouwbaarheidsinterval van de NCW na belastingen bedraagt [€ -6.720.695,17 ; € 1.563.147,44]. Het betrouwbaarheidsinterval is minder groot. Dit is logisch want de factor die de meeste variantie verklaarde, is uit de lijst met onzekere factoren genomen. Voor de stakeholders blijft het betrouwbaarheidsinterval echter te groot. Aan welke factoren ligt dit? Onderstaande figuur geeft weer hoeveel variantie van de NCW per factor verklaard wordt.

Figuur 17: Sensitiviteitsgrafiek zonder verkoopprijs



Opvallend is dat het aantal hectare geoogst per jaar 20,2% van de variantie verklaart. Dit is een groot verschil met de eerder gevonden 2,8% wanneer alle onzekere factoren variëren. De inputkost blijkt dubbel zoveel variantie als de arbeidskost te verklaren. Deze feiten worden verder in detail geanalyseerd.

Wat is het aandeel van de inputkosten ten opzichte van het aandeel van de arbeidskosten, ceteris paribus, met betrekking tot de NCW. Het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de NCW door enkel het laten variëren van de inputkost en de arbeidskost bedraagt [€-3.774.404,96; € -1.242.195,46]. Het enkel veranderen van de inputkosten en arbeidskosten zorgt voor een negatieve NCW. 62,2% van de variantie wordt verklaard door de inputkosten nl. de inkoopprijs van biomassa per tds. 37,6% van de variantie is te wijten aan de arbeidskosten.

Wat gebeurt er als het aantal hectare oogst per jaar wordt meegenomen bij de onzekere variabelen? Het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de NCW is [€ -4.523.718,43; € 446.815,62]. De grenzen van dit interval liggen verder uiteen en nu is het mogelijk om ook een positieve NCW te hebben. 71,4% van de variabiliteit van de NCW is te wijten aan het aantal ha geoogst per jaar. Dit verklaart dan ook waarom de grenzen van het betrouwbaarheidsinterval verder uiteen liggen. De minimum- en maximumwaarde van het aantal ha geoogst per jaar liggen verder uiteen en de spreiding is dus groter. Respectievelijk 18,5% en 10,1% van de variantie is te verklaren door de input- en arbeidskosten. Het aantal ha oogst per jaar verklaart slechts weinig variantie van het

NCW-interval wanneer alle onzekere factoren variëren. Deze factor verklaard echter wel een grote variantie wanneer deze samen met de inputkosten en arbeidskosten varieert.

Gezien deze vreemde bevinding wordt verder gewerkt met het aantal ha oogst per jaar maar deze keer in combinatie met het aantal ton biomassa droge stof dat per ha geoogst kan worden. Het 95%-betrouwbaarheidsinterval bedraagt [€ -3.950.443,38; € 752.071,09]. De NCW kan zowel negatief als positief zijn. De variantie van de NCW wordt voornamelijk bepaald door het aantal ha geoogst per jaar nl. 82,6%. Wanneer een economisch afweging moet worden gemaakt of onderzoek moet gaan naar hoeveel ha per jaar er kan geoogst worden of naar hoeveel tds/ha er kan geoogst worden, dan zou het onderzoek eerst moeten gaan naar hoeveel ha per jaar er geoogst kan worden. Dit heeft opnieuw te maken met de grote spreiding die deze variabele heeft.

Een derde onzekere factor, het opbrengstpercentage bio-olie, wordt toegevoegd om te laten variëren. Dit levert een 95%-betrouwbaarheidsinterval van de NCW van [€ -5.986.817,10; € 1.327.784,44] op. De NCW kan zowel positief als negatief zijn. Het opbrengstpercentage van de bio-olie bepaalt 65,3% van de variantie in de NCW, het aantal ha kortekomloophout geoogst per jaar bepaalt 26,9% en het aantal ton ds per ha slechts 5,6%. Ondanks het feit dat de spreiding tussen minimum- en maximumwaarde van de opbrengstpercentage slechts ongeveer 20% is, wordt de variantie van de NCW in dit geval grotendeels bepaald door de opbrengstpercentage van de bio-olie.

Een vierde onzekere factor, de exponent van de investeringskost, wordt toegevoegd om te laten variëren. Het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de NCW is [€ -6.552.996,44; € 1.052.333,55]. Opnieuw kan de werkelijke NCW zowel positief als negatief uitvallen. De grootste variantie van de NCW nl. 64,1% wordt verklaard door het opbrengstpercentage van de bio-olie. 26,9%, 5,6% en 3,3% van de totale variantie worden bepaald door respectievelijk het aantal ha oogst per jaar, het aantal tds/ha en de exponent van de investeringskost. Hier bepaalt niet meer het aantal ha per jaar de meeste variantie maar wel het opbrengstpercentage van de bio-olie.

Wanneer alle onzekere factoren variëren, wordt de grootste variantie verklaard door de verkoopprijs van de bio-olie. Maar als enkele factoren samen variëren en de verkoopprijs van de bio-olie constant blijft, dan blijken het aantal ha geoogst per jaar en het opbrengstpercentage bio-olie beide een groot deel van de variantie te verklaren. In volgende paragrafen wordt nagegaan wat het effect op de NCW is bij het veranderen van de factor verkoopprijs bio-olie in combinatie met het veranderen van de factor aantal ha geoogst per jaar of het opbrengstpercentage bio-olie.

Eerst worden de factor verkoopprijs bio-olie en de factor aantal ha geoogst per jaar variabel gekozen en de andere onzekere factoren vast. Het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de NCW bedraagt [€ -14.911.629,42; € -167.711,54]. Minstens 95% van de gesimuleerde NCW hebben een negatieve NCW en vallen in dit interval. De werkelijke waarde van de NCW zal op basis van deze simulaties ook in 95% van de gevallen in dit interval liggen. 98,5% van de variantie wordt verklaard door de factor verkoopprijs bio-olie. Dit is vooral te wijten aan de grote spreiding die gegeven werd op deze factor.

Vervolgens worden de factor verkoopprijs bio-olie en de factor opbrengstpercentage bio-olie als variabelen gekozen en zijn de andere onzekere factoren vast. Het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de NCW is [€ -11.436.245,93; € -869.943,86]. Weer is de NCW negatief. De verkoopprijs van de bio-olie verklaart voor 77,7% de variantie van de NCW. De overige variantie wordt bepaald door het opbrengstpercentage van de bio-olie. De resultaten van de variantie stroken met de eerdere bevindingen wanneer alle onzekere factoren variabel zijn.

De conclusies van de bevonden resultaten worden verder beschreven in het laatste hoofdstuk.

5.5 Risico-reductie

Er zijn drie factoren die het grootste deel van de variabiliteit van de NCW na belastingen verklaren: de verkoopprijs van bio-olie, het opbrengstpercentage aan bio-olie en het aantal ha korteomloophout oogst per jaar. Dit is te wijten aan de grootte van het interval die op deze variabelen gezet is. De uiterste grenzen moeten dicht bij elkaar liggen. Verder onderzoek is nodig om de *range* te verkleinen of het gebruik van technieken die garanderen dat de basiswaarden gehaald worden.

5.5.1 Verkoopprijs bio-olie

Bij het Empyro-project werden prijsafspraken gemaakt voor de prijs van de bio-olie namelijk 300 euro per ton. Er moet nagegaan worden of dat het op de markt ook mogelijk is om de bio-olie aan 346 euro (zie Optima *base case* variabelen) te verkopen. Deze prijs ligt echter niet hoog genoeg omdat de andere variabelen onzeker blijven en de investeerders meer zekerheid willen over de positieve NCW. Via de software van Crystal Ball wordt berekend hoeveel de verkoopprijs moet bedragen om met 95% zekerheid te kunnen stellen dat de NCW na belastingen positief is. De verkoopprijs moet dan minstens 435 euro per ton bio-olie bedragen. Verder onderzoek moet uitwijzen of dit haalbaar is of niet.

5.5.2 Opbrengstpercentage bio-olie

Bij de optima van de *base case* variabelen werd duidelijk dat minstens 72,22% van de biomassa in bio-olie moet worden omgezet, c.p.. Om 95% zeker te zijn van een positieve NCW na belastingen, is een opbrengstpercentage van 79% van de bio-olie en bijhorend 1% van de char nodig. Dit is duidelijk onmogelijk. Wel kunnen de investeerders een positieve NCW bekomen door ervoor te zorgen dat de bio-olie opbrengst ongeveer de basiswaarde zal aannemen en door aanpassing van andere variabelen een positieve NCW bekomen.

Welke technieken garanderen een bio-olie opbrengst van ongeveer 65% (in gewicht uitgedrukt) en een char opbrengst van ongeveer 15%? De literatuurstudie toont duidelijk aan dat bij gebruik van een *fluid bed* reactor, bij een temperatuur van 500 graden Celsius en een verblijftijd van 1,2 seconden, de fast pyrolyse van Amerikaanse populier deze en zelfs hogere opbrengsten kan garanderen. De *rotating cone* reactor haalt bio-olie opbrengstpercentages tussen de 60 en 70% (Bridgwater, 2012). De beste resultaten worden verkregen met het gebruik van ablatieve reactoren. De universiteit van Aston behaalde met hun ablatieve reactor 70-75% bio-olie opbrengst (Bridgwater, 2012). Het gebruik van deze technologie is beschermd door een patent.

De uitvinders zijn A.V. Bridgwater, G. Vernon, C. Peacocke, N.M. Robinson. Dit betekent dat anderen geen ablatieve reactor kunnen bouwen zonder dat er contractuele afspraken gemaakt zijn met de uitvinders..

5.5.3 Aantal ha oogst per jaar

Het minimum aantal ha oogst per jaar moet minstens 2.753 zijn, ceteris paribus. Om 95% zekerheid te hebben op een NCW groter of gelijk aan nul, moet het aantal ha oogst per jaar minimaal 4.175, c.p., bedragen. Zoals eerder aangegeven is de bereidheid tot overschakelen op het telen van korteomloophout bij landbouwers in de Noorderkempen nog niet bevraagd.

In Zweden is wel reeds een studie uitgevoerd om de bereidheid tot overschakelen na te gaan. Paulrud en Laitila (2010) voerden twee keuze experimenten uit. Het eerste keuze experiment gaat na hoe groot de impact is van verschillende elementen van een energiegewas. Bijvoorbeeld kunnen de reeds aanwezige machines gebruikt worden voor de teelt van energiegewassen of niet en bestaat er voor de teelt van het energiegewas een subsidie.

In het tweede keuze experiment wordt aan de landbouwer gevraagd op hoeveel hectare land hij bereid is om een energiegewas te telen wanneer dit energiegewas een bepaald netto inkomen oplevert. Het netto inkomen is gelijk aan de verkoopprijs van de bio-olie min de kost om de biomassa te cultiveren.

De twee keuze experimenten werden in de vorm van vragenlijsten naar 2.000 landbouwers verspreid over vier regio's gemild. 50% van deze landbouwers heeft deze vragenlijsten ingevuld. De vragenlijsten werden in 2007 ingevuld, wat maakt dat mogelijk niet alle bevindingen meer *up to date* zijn.

Uit het eerste keuze experiment kwamen volgende resultaten. De landbouwers telen liever onder contract dan hun oogst zelf op de markt te verkopen. Indien ze nieuwe machines moeten aanschaffen, vragen landbouwers een hogere prijs voor de energiegewassen. Een landbouwer kan minder vragen voor zijn energiegewas indien hij beroep kan doen op een subsidie. Hoe langer de rotatieperiode, hoe meer geld de landbouwer wil krijgen. Hoe hoger het energiegewas groeit, hoe meer geld de landbouwer voor de teelt vragen. Hoe ouder de landbouwer, hoe meer hij voor de hoogte van het gewas gecompenseerd wil worden.

Uit het tweede keuze experiment kwamen volgende resultaten. Hoe hoger het inkomen van een energiegewas, hoe meer land gebruikt wordt om energiegewassen op te telen en hoe hoger het nut van het energiegewas. De leeftijd van de landbouwer en de grootte van het landbouwbedrijf hebben een negatief effect op het aandeel van hectare dat gebruikt wordt om energiegewassen op te telen. Dit betekent hoe ouder de landbouwer, hoe kleiner het aandeel energiegewassen en hoe jonger de landbouwer, hoe groter het aandeel energiegewassen.

Deze resultaten kunnen echter niet voor de Noorderkempen gelden. Het is noodzakelijk dat een gelijkaardige studie wordt opgestart om bereidheid tot overschakelen op de teelt van energiegewassen in de Noorderkempen te analyseren. In het artikel van Witters et al. (2009) werd de bereidheid van de landbouwer in rekening genomen bij de uitvoering van de

sensitiviteitsanalyse op de NCW maar er staat nergens vermeldt hoe het onderzoek naar de bereidheid gebeurde.

5.5.4 Inputkost

In vorige paragraaf werd de vraag wat de landbouwer als netto inkomen zou willen, behandeld. Hier gaat het over wat de investeerder de landbouwer kan betalen voor één ton ds kortoomloophout en of dit voldoende is voor de landbouwer. De inputkost voor één tds kortoomloophout mag maximaal 15,1 euro bedragen, c.p.. Omdat nog andere factoren onzeker zijn, wenst de investeerder een inputkost dat hem een 95% kans geeft op een positieve NCW. Dan mag de inputkost maximaal 9,75 euro per tds bedragen.

Kuppens en Thewys (z.d.) berekenden de maximumprijzen die de investeerder voor de biomassa kan betalen. De investeerder verkocht geen bio-olie maar elektriciteit en warmte. Zowel pyrolyse als vergassing en verbranding werden bekeken. Vanaf 720 ha tot 2.880 ha is pyrolyse de beste conversietechniek maar de prijs die voor de biomassa kan worden betaald is negatief. Vanaf 2.880 is vergassing de beste conversietechniek, maar kan slechts een prijs van 1,58 euro per tds betaald worden. Wanneer kortoomloophout op 3.600 ha wordt geteeld kan via vergassing een prijs van 20,31 euro per tds betaald worden. Maar aangezien het maximaal areaal waarop kortoomloophout wordt geteeld door Voets en Kuppens (2012) op 3000 ha wordt ingeschat, is deze prijs dus niet haalbaar.

Hoofdstuk 6: Conclusies en aanbevelingen

Het antwoord op de vraag of het loont om te investeren in een fast pyrolyse centrale voor de productie van bio-olie uit vervuild korteomloophout is niet eenduidig. Het basisscenario geeft een negatieve NCW van € -2.379.153,09. Met andere woorden is het antwoord op basis van deze gegevens dat met beter niet investeert in een fast pyrolyse centrale. Dit is het antwoord op deelvraag één. De interne opbrengstvoet bedraagt slechts 1,89%. Het nadeel van kosten-batenanalyse is dat het slechts gaat om puntschattingen.

De tweede deelvraag werd beantwoord met behulp van één factor analyses. Deze analyses maakten duidelijk dat niet elke variabele een even grote invloed uitoefent op de NCW. Wanneer de transportkosten en de storkosten van char met 10% wijzigen dan verandert de NCW slechts met respectievelijk 3% en 6%. Deze twee factoren en de kosten voor het vermalen van de biomassa oefenen slechts een kleine invloed uit op de NCW. Bij een verandering van 10% van de waterkosten, wijzigt de NCW ook met ongeveer 10%. De waterkosten zijn van matig belang voor het wijzigen van de NCW. Wanneer de verkoopprijs van de bio-olie, de investeringskost, de inputkost, de arbeidskost, het aantal ha geoogst per jaar of het aantal ton biomassa ds per ha met 10% veranderen dan wijzigt de NCW met meer dan 10%. Deze factoren zijn dus belangrijker voor het veranderen van de NCW.

De verkoopprijs van bio-olie moet minstens € 345,99 per ton bedragen, ceteris paribus, opdat deze investering economisch haalbaar zou zijn. Verder onderzoek en uiteindelijk de marktwerking zal bepalen of deze prijs haalbaar is. De studies die nu reeds werden uitgevoerd, tonen aan dat deze minimumprijs te hoog is en dat de gemiddelde productieprijs van bio-olie 259,32 €/ton bedraagt (Christis, 2012).

De hoeveelheid ha korteomloophout dat per jaar geoogst wordt moet minimaal 2.752 zijn ceteris paribus. Er moet verder onderzoek gebeuren naar de bereidheid van landbouwers om over te schakelen naar de teelt op korteomloophout om te beoordelen of dit cijfer al dan niet haalbaar is. 650 Ha landbouwgrond wordt als realistisch minimumoppervlakte gezien om korteomloophout te telen maar dit cijfer is niet gebaseerd op bereidheid van de landbouwers om over te schakelen. Als maximumoppervlakte wordt 3000 ha per jaar gevonden (Voets en Kuppens, 2012). Als minimum voor de basiswaarde is 2.752 ha/jaar dus niet realistisch.

Het aantal ton ds korteomloophout per ha zou minimaal 14,68 moet zijn, ceteris paribus, zodat de NCW gelijk is aan nul en de pyrolyse-centrale een goede investering is. Dit is in de Noorderkempen niet haalbaar omdat de bodemkwaliteit ongunstig is. In de Noorderkempen is het aantal ton korteomloophout per hectare namelijk beperkt tot ongeveer 12 tds/ha.

De inputkosten mogen maximaal 15,18 €/tds zijn, ceteris paribus en de arbeidskosten maximaal € 72.876,97. Dit is niet haalbaar. Door enkel de inputkosten of de arbeidskosten te verlagen, zal de investering niet rendabel worden. Ook de investeringskost verlagen, c.p., heeft geen nut aangezien hier een exponent van minimum 1,2 nodig is en dit volgens het onderzoek van Kuppens (2012) niet haalbaar is.

Als onzekere variabelen werden beschouwd:

- exponent van de investeringskost;
- inputkosten;
- arbeidskosten;
- verkoopprijs bio-olie;
- ecologiepremie;
- aantal ha geoogst per jaar;
- aantal tds opbrengst per ha;
- opbrengstpercentage bio-olie.

Aan deze variabelen werden minimum- en maximumwaarden gekoppeld. Voor de ecologiepremie geldt het wel of niet toekennen van deze premie aangezien hier onzekerheid over bestaat. Door het opbrengstpercentage van de bio-olie te laten variëren, varieert ook het opbrengstpercentage van char en dit volgens een lineaire relaties met een constante gasopbrengst van 20%. Na het vastleggen van de de minimum- en maximumwaarden werden het optimistisch en pessimistisch scenario gegenereerd. Dit is de derde deelvraag.

Wanneer enkel gekeken wordt naar het pessimistisch scenario is het zeker af te raden om deze investering uit te voeren. En wanneer enkel rekening gehouden wordt met het optimistisch scenario, zou deze investering wel de moeite waard zijn. Zoals eerder aangehaald is het niet realistisch dat ofwel alle pessimistische waarden ofwel alle optimistische waarden zich tegelijk voordoen. Het geeft wel de uiterste grenzen aan waartussen de reële NCW zal liggen.

De vierde deelvraag leidde tot het uitvoeren van Monte Carlo simulaties. Deze simulaties dienen om een beter inzicht te krijgen van de werkelijk NCW. De kans op een NCW na belastingen die groter of gelijk is aan nul, bedraagt 4,89%. Welke factoren zorgen voor deze lage kans op een positieve NCW?

De grootste variantie, 71,9%, van het NCW-interval wordt verklaard door de verkoopprijs van bio-olie. De minimum- en maximumwaarde van de verkoopprijs van bio-olie liggen ver uiteen wat ook zijn weerslag heeft op de NCW's. 19,2% van de variantie wordt verklaard door de factor opbrengstpercentage bio-olie. Verder onderzoek is noodzakelijk om de werkelijke waarde goed te kunnen benaderen. Het aantal hectare dat per jaar geoogst wordt, verklaart in combinatie met de verkoopprijs weinig variantie van het NCW-interval. Wanneer deze factor gesimuleerd wordt met andere onzekere variabelen zonder de verkoopprijs, dan verklaart deze wel veel variantie van het NCW-interval. Daarom is deze variabele zeer belangrijk bij verder onderzoek naar de mogelijke haalbaarheid van deze investering.

Na het maken van de analyses liet het Vlaams Agentschap voor ondernemen weten dat er geen beroep kan gedaan worden op de ecologiepremie op basis van de technologie: productie van warmte op basis van de pyrolyse van biomassa. Minstens 80% van de energie-inhoud van de pyrolyseproducten dient als energie aangewend te worden. De reden waarom de productie van bio-olie niet gesubsidieerd wordt via de ecologiepremie, is omdat er een verlaging van het

accijnstarief voor biobrandstoffen wordt toegepast. Er kan echter wel een ecologiepremie aangevraagd worden voor het stuk warmterecuperatie op basis van technologie: recuperatie van restenergie voor gebruik in industriële processen. Enkel voor de componenten leidingsysteem exclusief afgiftesysteem en inclusief de inkoppeling op het verdeelnet en/of warmtewisselaar (vloeistof-vloeistof, gas-vloeistof/vloeistof-gas, gas-gas) kan er beroep gedaan worden op de ecologiepremie. De ecologiepremie telt niet voor de gehele investering maar voor de kosten voor de warmterecuperatie. Deze ecologiepremie heeft een subsidiëring van 30% voor KMO's en 15% voor grote ondernemingen.

Dit toont aan dat er meer duidelijk moet komen over de bedragen van ecologiepremies en het effectief toekennen van de ecologiepremie. Voor deze investering mogelijk te maken is er meer subsidiëring en vooral duidelijkheid omtrent de subsidiëring nodig.

De laatste deelvraag stelt de vraag welke maatregelen kunnen genomen worden om risico's te reduceren. De risico-reductie is vooral geconcentreerd rond de drie factoren die de meeste variantie van de NCW verklaren nl. de verkoopprijs van bio-olie, het opbrengstpercentage van bio-olie en het aantal ha oogst per jaar. Dit is te wijten aan de grootte van het interval die op deze variabelen gezet is. De *range* moet verkleind worden. Dit kan op basis van verder onderzoek of door technieken te gebruiken die garanderen dat de basiswaarden gehaald worden.

Om 95% kans te hebben op een positieve NCW, moet de verkoopprijs minstens 435 euro bedragen, c.p.. De marktwerking moet uitwijzen of dit haalbaar is. Het is niet haalbaar om enkel de opbrengstpercentage van bio-olie te verhogen. De beste bio-olie opbrengst, 70-75%, kan behaald worden via een ablatieve reactor. Het aantal ha oogst per jaar moet minstens 4.175 bedragen om 95% kans te hebben op een positieve NCW. Het is zeer belangrijk dat er in de Noorderkempen uitgebreid onderzoek wordt uitgevoerd naar de bereidheid van landbouwers om over te schakelen op het telen van korteomloophout. De inputprijs mag maximaal 9,75 euro per tds bedragen, c.p., om 95% kans te hebben op een positieve NCW. Dit is duidelijk te laag, aan dit bedrag zal geen enkele landbouwer korteomloophout willen gaan telen.

Een positieve NCW is al wel gebleken wanneer de fast pyrolyse centrale gecombineerd wordt met een warmtekrachtkoppelingscentrale en zo elektriciteit en warmte opgewekt wordt (Voets et al., 2011). Wanneer het telen van korteomloophout op grote schaal gerealiseerd kan worden, is het beter om over te schakelen op vergassing (Kuppens en Thewys, z.d.). Bij het Empyro-project in Nederland is het wel mogelijk om een pyrolyse-centrale te bouwen, dit komt omdat dit project voor 4 miljoen euro gesubsidieerd werd. Hierdoor wordt dit wel een goede investering.

Verder onderzoek naar de winstgevendheid van biobrandstoffen is noodzakelijk. Deze biobrandstoffen kunnen verkregen worden door het maken van emulsies met bio-olie of door *co-firing*. Verder zijn studies over de winstgevendheid van chemicaliën uit bio-olie nodig.

Om de investering in enkel een fast pyrolyse centrale momenteel mogelijk te maken, zijn er extra subsidies en/of meer onderzoek nodig naar de bereidheid van landbouwers om over te schakelen op de korteomloophoutteelt, de verkoopprijs van de bio-olie en de opbrengstpercentages van bio-olie en char.

Lijst van de geraadpleegde werken

Annemans, L. (2010) *Gezondheidseconomie voor niet-economen*. Academia Press.

Agentschap Ondernemen (2012a) *Hoeveel bedraagt de ecologiepremie?* Opgevraagd op 18 februari 2012, via <http://agentschapondernemen.be/artikel/hoeveel-bedraagt-de-ecologiepremie>

Agentschap Ondernemen (2012b) *Verhoogde investeringsaftrek*. Opgevraagd op 18 februari 2012, via <http://agentschapondernemen.be/artikel/verhoogde-investeringsaftrek>

Aven, T., Nilsen, E.F., Nilsen, T. (2004) *Expressing economic risk- review and presentation of a unifying approach*. Risk Analysis, 24, 989-1005.

Baldi, G., Grieco, E. (2011) *Analysis and modeling of wood pyrolysis*. Chemical engineering science, 66, 650-660.

BeNeKempen, (2008). *Scenario's voor beheer en sanering van de grensoverschrijdende bodemverontreiniging in de Kempen*. Opgevraagd op 12 oktober 2011, via <http://www.abdk.nl/html/media/documenten/Brochure%20Benekempen%20def.pdf>

Blom, M. et al. (2007) *Nieuwe elektriciteitscentrale in Nederland, De 'vergeten' kosten in beeld*. Opgevraagd op 24 oktober 2011, via: <http://www.energieraad.nl/Include/ElectosFileStreaming.asp?FileId=227>

Boardman, A., Greenberg, D., Vining, A., Weimer, D., *Cost Benefit Analysis*. New Yersey: Pearson Education

Brammer, J.G. et al. (z.d.) *Techno-economic assessment of power production from the Wellman and BTG fast pyrolysis processes*. 20p (online). Opgevraagd op 24 oktober 2011, via: <http://www.aston-berg.co.uk/docs/J%20Brammar%20-%20Techno-/economic%20Assessment.pdf>

Brem, G. en Bramer, E.A., PyRos: a new flash pyrolysis technology for the production of bio-oil from biomass residues, 14p (2006) (online). Beschikbaar op: http://www.tno.nl/downloads/Full_Paper_Biomass_Conference_Singapore_G%20Brem_PyRos.pdf

Bridgwater, A.V. (2012). *Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading*. Biomass and Bioenergy, Elsevier, 68-94.

Bridgwater, A.V. (2011). *Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading*. Biomass and Bioenergy, Elsevier, 1-27.

Bridgwater, A.V. (2000). *Fast pyrolysis processes for biomass*. Renewable and sustainable energy reviews, 4, 1-73.

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

Bridgwater, A.V., de Wild, P., Elliott, D.C., Meier, D., Nowakowski, D.J. (2010) *Lignin fast pyrolysis: Results from an international collaboration*. Journal of analytical and applied pyrolysis, 88, 53-72.

Bridgwater, A.V., Peacocke, G.V.C (2000) *Fast pyrolysis processes for biomass*. Renewable and sustainable energy reviews, 4, 1-73.

Campolongo, F., Cariboni, J., Saltelli, A. (2007) *An effective screening design for sensitivity analysis of large models*. Environmental Modelling and software, 22, 1509-1518.

Carleer, R., Lievens, C., Vangronsveld, J., Yperman, J. (2008) *Study of the potential valorisation of heavy metal contaminated biomass via phytoremediation by fast pyrolysis: Part I. Influence of temperature, biomass species and solid heat carrier on the behaviour of heavy metals*. Fuel, 87, 1894-1905.

Chardon, W.J. (2008). *Uitmijnen of afgraven van voormalige landbouwgronden ten behoeve van natuurontwikkeling*. Alterra-Rapport. 1683, 1-23.

Chiaramonti et al. (2003a) *Development of emulsions from biomass pyrolysis liquid and diesel and their use in engines—Part 1: emulsion production*. Biomass and bioenergy, 25, 85-99.

Chiaramonti et al. (2003b) *Development of emulsions from biomass pyrolysis liquid and diesel and their use in engines—Part 2: tests in diesel engines*. Biomass and bioenergy, 25, 101-111.

Centrum voor Milieukunde Universiteit Hasselt, (2011). *Fytoremediatie*. Opgevraagd op 11 oktober 2011 via,
http://www.uhasselt.be/UH/CMK/CMK_nl/Onderzoek/CMK_nl/Onderzoek/Onderzoeksgroepen/Milieubiologie-.html

Cidad G., Mathijs E., Nevens F., Reheul D. (2003). *Energiegewassen in de Vlaamse landbouwsector*. Opgevraagd op 17 oktober, 2011, via
http://www.ilvo.vlaanderen.be/Portals/9/Documents/Pub_stedula/stedula1.pdf

De Somviele, B., Meiresonne, L., Verdonck, P. (2009) *Van wilg tot warmte*. Fonds Duurzaam afval en energiebeheer, 1-19.

De Tijd (2012) *Dieselprijs op record*. Belga. Opgevraagd op 18 februari 2012, via
http://www.tijd.be/nieuws/ondernemingen_energie/Dieselprijs_op_record.9161268-3094.art?ckc=1

Drummond, M.F. et al. (2005) *Methods for the economic evaluation of health care programmes*. Derde druk, Oxford Medical Publications.

Eurostat (2012a) *Labour cost index: recent trends*. Opgevraagd op 18 april 2012, via
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Labour_cost_index_-_recent_trends.

Eurostat (2012b) *Labour costs incurred by business*. Opgevraagd op 18 april 2012, via
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/labour_market/introduction.

Europa.eu (2012) *Samenvatting bedrijfstoeslag*. Opgevraagd op 8 februari 2012, via http://europa.eu/legislation_summaries/other/l11089_nl.htm

Europese richtlijn biomassa (2001) Opgevraagd op 24 oktober 2011, via: http://economie.fgov.be/energy/renewable_energy_directive_2001_77_nl.pdf

EVMI, (2006). *Te veel cadmium in nieren vee Kempen*. Opgevraagd op 10 oktober 2011, via <http://www.evmi.nl/nieuws/voedselveiligheid-kwaliteit/128/te-veel-cadmium-in-nieren-vee-kempen.html>

Fagnäs, L., Brammer, J., Wilén, C., Lauer, M., Verhoeff, F. (2010) *Drying of biomass for second generation synfuel production*. Biomass and Bioenergy, 34, 1267-1277.

Fiala, M. et al. (1997) *A model for the optimal dimensioning of biomass-fuelled electric power plants*. Journal of Agricultural Engineering Research, 1-67.

Peters, M.S., Timmerhaus, K.D., West, R.E. (2004) *Plant design and economics for chemical engineers*. Vijfde druk, Mc Graw Hill.

Garcia, C. V. et al. (2003) *Energiegewassen in de Vlaamse landbouwsector*, Steunpunt Duurzame Landbouw, Opgevraagd op 24 oktober 2011, via: <http://www.kuleuven.ac.be/stedula/nl/publicaties/publicatie1.pdf>

Gemeentelijk Ruimtelijk Structuurplan Balen (2003) Opgevraagd op 7 februari 2012, via http://www.balen.be/file_uploads/2631.pdf?_vs=0_N

Gemeentelijk Ruimtelijk Structuurplan Lommel (2004) Opgevraagd op 7 februari 2012, via <http://www.lommel.be/www-lommel-be-Gemeentelijk-Ruimtelijk-Structuurplan.html>

Gemeentelijk Ruimtelijk Structuurplan Mol (2006) Opgevraagd op 7 februari 2012, via http://www.gemeentemol.be/file_uploads/13706.pdf?_vs=0_N

Gemeentelijk Ruimtelijk Structuurplan Overpelt (2006) Opgevraagd op 7 februari 2012, via http://overpelt.preview.anaxis.be/_uploads/www.overpelt.be/Ruimtelijke_Ordening_en_Leefmilieu/downloads/tekstenbundel_definitieve_aanvaarding.pdf

Geurds, M. et al. (2006) *Bio-energie, Omzetten van vaste biomassa in hernieuwbare warmte en elektriciteit*, ODE-Vlaanderen, Opgevraagd op 24 oktober 2011, via: http://ode.be/images/stories/Brochures/bim3_vaste_biomassa.pdf

Govaerts, L. et al. (2006) *Potentieelstudie biobrandstoffen in Vlaanderen*, Opgevraagd op 24 oktober 2011, via: <http://www.lne.be/themas/klimaatverandering/klimaatconferentie/vlaamseklimaatconferentiewerkgroepen-1landbouw/enquete-glasiuinbouw-evaluatie-en->

rapportering-voortgang-vkp-(september-2007)/070920%20VKC%20potentieelstudie%20biobrandstoffen%20Vlaanderen_d ef.pdf

Hornngren, C.T. et al. (2006) *Cost Accounting*. Pearson: New Jersey.

INBO (2007) *Van snoeihout tot warmte: een gesloten cyclus*. Opgevraagd op 24 oktober 2011, via: <http://www.inbo.be/docupload/3648.pdf>

Instituut voor natuur- en bosonderzoek (z.d.) *Technische aspecten korte omloophout, aanleg, beheer en exploitatie*. Opgevraagd op 24 oktober 2011, via: http://www.inbo.be/content/page.asp?pid=DUU_Bos_energiehout_technischeaspecten

Kleijnen, J., Van Groenendaal, W. (1997) *On the assessment of economic risk: factorial design versus Monte Carlo methods*. Reliability engineering and system safety, 57, 91-102.

Kleijnen, J., Van Groenendaal, W. (2002) *Deterministic versus stochastic sensitivity analysis in investment problems: An environmental case study*. European journal of operational research, 141, 8-20.

Kuppens, T. (2012) *Modelinge toelichting*.

Kuppens, T. et al. (2010) *Economic assessment of flash co-pyrolysis of short rotation coppice and biopolymer waste streams*. Journal of Environmental Management, 1-12.

Kuppens, T., Thewys, T. (2008) *Kosten-batenanalyse van pyrolyse van korte omloophout na fyto-remediatie (cmk)*. Nieuwsbrief Milieu en economie, Jaargang 22, nummer 3.

Kuppens, T., Thewys, T. (z.d.) *Methode voor de bepaling van de prijs voor korteomloophout uit fyto-remediatie*.

Kim, K.H., et al. (2011) *Investigation of physicochemical properties of biooils produced from yellow poplar wood (Liriodendron tulipifera) at various temperatures and residence times*. Journal of analytical and applied pyrolysis, 92, 2-9.

Levine, X. (2012) *Estimating conditional probabilities of terrorist attacks: Modeling adversaries with uncertain value trade-offs*. Risk Analysis, 32, 294-304.

Lievens, C., Carleer, R., Cornelissen, T., Yperman, J. (2008). *Study of the potential valorisation of heavy metal contaminated biomass via phytoremediation by fast pyrolysis: Part II: Characterisation of the liquid and gaseous fraction as a function of the temperature*. Fuel, 87, 1906-1916.

Mercken, R. (2004). *De investeringsbeslissing, een beleidsgerichte analyse*. Antwerpen: Garant.

Ministerieel besluit houdende de uitvoeringsbepalingen betreffende de steun voor energiegewassen van 25 november 2005 Opgevraagd op 8 februari 2012 via, <http://staatsbladclip.zita.be/staatsblad/wetten/2006/01/23/wet-2006035038.html>

Mohan et al. (2007). *Sorption of arsenic, cadmium, and lead by chars produced from fast pyrolysis of wood and bark during bio-oil production*. Journal of colloid and interface science, 310, 57-73.

Mueller, B. en Goswami, D. (2001), *Phytotechnology Technical and Regulatory: Guidance Document*, (online). Beschikbaar op: <http://www.itrcweb.org/Documents/PHYTO-2.pdf>

Paulrud, S., Laitila, T. (2010) *Farmers' attitudes about growing energy crops: A choice experiment approach*. Biomass and Bio-energy, 34, 1770-1779.

Prins, W. (1998). *Market Study for Applications of Flash Pyrolysis Oil*. NOVEM, the Netherlands, a agency for energy and the environment. Utrecht, the Netherlands. Report within the framework of the EWAB (Energy Recovery from Waste and Biomass) program from the Netherlands, June 1998.

Provinciaal centrum voor landbouw en milieu, (2011). *Energiegewassen*. Opgevraagd op 16 oktober 2011, via <http://www.enerpedia.be/nl/energiegewassen/kortecomloophout>

Savvides, S.C. (1994) *Risk analysis in investment appraisal*. Project Appraisal, 3, 3-18.

Siemons, R.V. (2005). *Pyrolyse in Groningen. Onderzoek Naar de Haalbaarheid van een Transitiecoalitie*. Final Report, January 15, 2005.

Scott, D.S., et al. (1999) *A decond look at fast pyrolysis of biomass –the RTI process*. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 51, 23-27.

Soilpedia, (2011). Sanerings- en beheersmethoden metaalverontreiniging. Opgevraagd op 10 oktober 2011, via <http://www.soilpedia.nl/Wikipaginas/Sanerings%20en%20beheersmethoden%20metaalverontreiniging.aspx>

Stals, M., et al. (2010a) *Flash pyrolysis of heavy metal contaminated hardwoods from phytoremediation: Characterisation of biomass, pyrolysis oil and char/ash fraction*. Journal of analytical and applied pyrolysis, 89, 22-29.

Stals, M., et al. (2010b) *Flash pyrolysis of heavy metal contaminated biomass from phytoremediation: Influence of temperature, entrained flow and wood/leaves blended pyrolysis on the behaviour of heavy metals*. Journal of analytical and applied pyrolysis, 87, 1-7.

Statbel.be (2004) *Arbeidskosten volgens activiteit*. Opgevraagd op 18 februari 2012, via http://statbel.fgov.be/nl/statistieken/cijfers/arbeid_leven/lonen/activiteit/

Streekpact van de Kempen (2006), RESOC Kempen, Opgevraagd op 7 februari 2012 via http://www.resockempen.be/uploads/Streekpact/Streekpact_2007-2012-Cijferboek.pdf

Streekplatform van Noord-Limburg (2000) Opgevraagd op 7 februari 2012 via <http://www.noordlimburg.be/html/bestanden/streekvisie/VI1.pdf>

Streukens, S. (2011) *Powerpoint onderzoeksmethoden Factorial Designs*. Universiteit Hasselt

Test-Aankoop (2012) *Energie: wie worrdt uw leverancier?* Opgevraagd op 18 februari 2012, via <http://www.test-aankoop.be/ServiceSelector/Energy/NL/Overview.aspx>

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

Van Groenendaal, W. (1998) *Estimating NPV variability for deterministic models*. European Journal of Operational Research, 107, 202-213.

Vangronsveld et al. (2009) *Phytoremediation of contaminated soils and groundwater: lessons from the field*. Environ Sci Pollut Res, 16, 765-794.

Venderbosch, R.H., Prins, W. *Fast pyrolysis technology development*. (2010) Bioproducts Biofuels and Biorefining, 4, p. 178-208.

Verordening van 29 september 2003 tot vaststelling van gemeenschappelijke voorschriften voor regelingen inzake rechtstreekse steunverlening in het kader van het gemeenschappelijk landbouwbeleid en tot vaststelling van bepaalde steunverlening voor landbouwers. Opgevraagd op 8 februari 2012 via <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32003R1782:NL:HTML>

Voets, T., Bloemen, A., (2009). *Hout als energiebron, vergelijking van vergassing en pyrolyse voor de omzetting van omloophout in warmte en elektriciteit via kosten-batenanalyse*. Opgevraagd op 14 oktober 2011, via, <http://doclib.uhasselt.be/dspace/bitstream/1942/10195/1/04218162008589c.pdf>

Voets, T. et al. (2011) *Economics of electricity and heat production by gasification or flash pyrolysis of short rotation coppice in Flanders (Belgium)*. Biomass and Bioenergy, 30, 1-13.

Vose, D., (2003). *Risk Analysis*. New York: John Wiley&Sons, LTD.

VREG (2012) *Energiemarkt*. Opgevraagd op 18 februari 2012, via <http://www.vreg.be/energiemarkt>

Witters, N., et al. (2009) *Short rotation coppice of willow for phytoremediation of a metal-contaminated agricultural area: a sustainability assessment*. BioEnergie Research, 2, 144-152.

Yoder, J., et al. (2011) *Economic tradeoff between biochar and bio-oil production via pyrolysis*. Biomass and Bioenergy, 35, 1851-1862.

Zorg en Gezondheid, (2011). *Cadmium*. Opgevraagd op 12 oktober 2011, via http://www.zorg-en-gezondheid.be/v2_default.aspx?id=22043&terms=cadmium



EMPYRO - Demonstration of the fast pyrolysis process in the Netherlands

Bert van de Beld, BTG Biomass technology Group BV
Gerhard Muggen, BTG Bioliquids BV

Content

- > Introduction of the EMPYRO project
- > BTG Pyrolysis technology
- > Biomass
- > Legislation & Permits
- > Engineering
- > Pyrolysis oil application
- > Project finances
- > Time schedule
- > Summary

Location

EMPYRO – plant:

Hengelo, the Netherlands

Premises of AkzoNobel

BIOMASS collection:

Goor, the Netherlands

Premises Bruins & Kwast



tc/biomass2011

5

Location



tc/biomass2011

6

Biomass feedstock

- > Initially, clean wood will be used ('A-wood');
- > Permits also valid for contaminated wood ('B-wood');
- > Size reduction at premises of B&K
- > 'Particle size' < ~3 mm
- > Drying integrated with pyrolysis plant
- > Final moisture content < 7 wt%



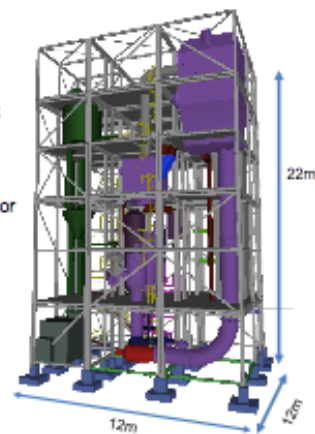
tcbiomass2011

9

Engineering

- > **Basic plant configuration:**
 - Single reactor
 - Pyrolysis gas and flue gas afterburning at 850 °C
 - Integrated combustor/boiler
 - External sand cooler
 - Single-stage, low temperature, oil spray-condensor

- > **Basic data of the plant**
 - Capacity = 5 t dry biomass/hr
 - Oil Production = 3.2 t/hr
 - Steam production = 2.5 MW
 - Electricity production = 700 kW_e



tcbiomass2011

10

Project finances

> Indicative overview Project investments (EMPYRO):

Pyrolysis plant	7,5	ME	44%
Flue gas cleaning & E-generation	3,6	ME	21%
Biomass pretreatment & storage	1,2	ME	7 %
Other (utilities, civil....)	2,7	ME	16%
Total investment	15	ME	
Contingencies	2	ME	12%
Total project costs	17	ME	

tcbiomass2011

19

Project finances

> Indicative pyrolysis oil price (EMPYRO):

Pyrolysis oil	300	€/ton
	18	€/GJ
Biomass costs ~ 80 €/ dry ton !		



tcbiomass2011

20

Project finances

- > For financial close sufficient oil sales contracts need to be in place.
- > Overview financing (EMPYRO):

Equity shareholders:	2,5	M€	15%
Equity by subsidies (regional and EC)	4,0	M€	24%
Subordinated loan Province	3,0	M€	18%
Bank loan	7,5	M€	43%
Total Financing	17	M€	

tc/biomass2011

21

Project time table

Indicative time table:

- > All permits will be final Q4, 2011
- > Oil sales contracts expected to be finalized in Q4-2011 /Q1 (2012)
- > Financial close expected by the end of Q1, 2012

- > Start construction in May 2012
- > Commissioning in summer 2013
- > Initial oil production in Q4, 2013

tc/biomass2011

22

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

Risicoanalyse van fast pyrolyse voor de productie van bio-olie uit vervuild korteomloophout

Richting: master in de toegepaste economische wetenschappen-beleidsmanagement

Jaar: 2012

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Van den Bempt, Stephanie

Datum: 1/06/2012