

CHALMERS



Utvärdering av lönsamhet för pelletsproduktion i Zambia

Evaluation of the economic profitability from producing wood pellets in Zambia

Kandidatarbete i Industriell ekonomi

JOEL GEBRING

FREDRIK HALLGREN

MARK HENRIKSSON

GUSTAV HERMANSSON

KARL MÖTSCH LARSSON

AXEL LUNDH

Institutionen för Teknikens ekonomi och organisation

Avdelningen för Science, Technology and Society

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2017

Kandidatarbete TEKX04-17-21

Förord

Följande kandidatuppsats har skrivits under vårterminen 2017 på Chalmers tekniska högskola i Göteborg. Författarna av rapporten är studenter vid civilingenjörsprogrammet Industriell ekonomi, tillhörande institutionen för Teknikens ekonomi och organisation. Studien genomfördes i samarbete med det svenska startupbolaget Emerging Cooking Solutions Sweden AB och har utförts under handledning av Erik Bohlin, biträdande professor vid avdelningen för Science, Technology and Society.

Studien har bidragit till en djupare förståelse för vilka skillnader som finns i att etablera en industriell verksamhet i utvecklingsländer jämfört med i västvärlden. Undersökningen har framförallt givit gruppen kunskap inom pelletsproduktion och agroforestry i sammanhanget.

Kandidatgruppen vill rikta ett stort tack till grundarna av Emerging Cooking Solutions Sweden AB, Per Löfberg och Mattias Ohlson, för förtroendet att genomföra den här studien och på så vis kunna bidra till en minskad träkolsanvändning.

Kandidatgruppen vill även tacka Per Medbo, tekniklektor vid avdelningen Supply and Operations Management för hans värdefulla vägledning inom ämnet.

Gruppen vill också rikta ett tack till alla de som, på något sätt, möjliggjort detta kandidatarbete.

Slutligen riktas ett extra stort tack till handledaren Erik Bohlin som med hans engagemang, kompetens och guidning varit värdefull under studiens gång.



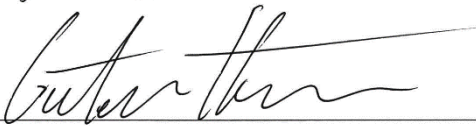
Joel Gebring



Fredrik Hallgren



Mark Henriksson



Gustav Hermansson



Karl Mötsch Larsson



Axel Lundh

Abstract

Problem

The dependency on charcoal for heating and cooking is still great in developing countries, including Zambia. The burning of charcoal has severe consequences regarding people's health and our environment. The Swedish founded start-up company Emerging Cooking Solutions (ECS) seeks to provide a sustainable alternative to charcoal by producing wood pellet in Zambia. ECS is interested in evaluation the usage of agricultural waste biomass for fuel pellet production.

Aim

This thesis seeks to be a contribution to lessen the dependency on Charcoal in developing countries. The aim of the report is to construct a model of a new production chain for ECS. The model describes and assess the production chain from agricultural waste to fuel pellet. The findings will be used for evaluation a possible investment in the described production chain. The environmental impact of the production and usage of the wood pellet will also be evaluated. A more general application of the conclusions is intended to be of value to other project trying to reduce the usage of charcoal.

Theoretical Framework

The report build upon three main areas of interest: Modelling, Logistics and Investment valuation. Modelling theory is used to build the above described model. Logistics gives an understanding for the flow in the production chain for wood pellet. Investment valuation gives a framework for evaluation of a possible investment in the described production chain.

Method

The central part of the method is the calculations related to the model. The method is quantitative but the findings are also qualitative analyzed. The model is built with several factors. Different levels of the factors correspond to different possible real configurations of the modeled production chain. Output from the model is investment performance measures for the different combinations of the factors. The environmental impact of the production chain was compared with the usage and production of charcoal.

Results and Implications

The conclusion reveals three main factors most important for reaching economic profitability in the production chain: transportation distance, moisture in the biomass and the yearly production volume. ECS is recommended to further evaluate these three factors before a future investment. If ECS succeed in keeping the three factors on an acceptable level, there is considerable chance in reaching economic profitability. The emissions from the usage and productions of wood pellet is compared to charcoal much lower.

Sammandrag

Problem

Att använda träkol till uppvärmning och matlagning är fortfarande vanligt i många utvecklingsländer, däribland Zambia. Träkolen för med sig en mängd problem, bland annat kopplade till hälsa och miljö. Människor som vistas i miljön där förbränningen sker löper risk att drabbas av en rad olika sjukdomar orsakade av de partiklar som frigörs. Vissa av partiklarna bidrar också till den globala uppvärmningen. Företaget Emerging Cooking Solutions (ECS) tillverkar pellets i Zambia i syfte att konkurrera ut träkolen. En möjlig råvarukälla till företagets pelletsproduktion är restbiomassa från jordbruk.

Syfte

Rapporten avser att vara ett bidrag i arbetet att minska träkolsanvändandet i utvecklingsländer. Syftet med studien är att ta fram en modell över en ny produktionskedja för ECS. Med modellen utvärderas råvarukällan restbiomassa från jordbruk, både ur ett ekonomiskt och miljömässigt perspektiv. Rapporten är därför tänkt att fungera som ett investeringsunderlag för ECS. Avsikten är också att rapporten ska kunna appliceras mer generellt och därigenom vara till hjälp i andra projekt som syftar till att minska träkolsanvändning.

Teoretiskt ramverk

Teorin bakom rapporten grundas framförallt i tre områden: modellering, logistik och investeringskalkylering. Modellering är viktigt som bakomliggande teori till framtagande av modellen. Logistiska begrepp har betydelse för förståelse av flödet i produktionskedjan i vilken restbiomassa från jordbruk samlas in. Teori inom investeringskalkylering är viktig för att kunna ta fram investeringsunderlag utifrån modellen.

Metod

Rapportens metod består till största del i genomförande av beräkningar med koppling till modellen. Metoden är därför huvudsakligen av kvantitativ karaktär. Beräkningarna analyseras dock även kvalitativt. I modellen har olika faktorer tagits fram och varierats för att återspegla olika varianter av den verkliga produktionskedjan. Utdata från modellen är kapitalvärdeskvoter för olika kombinationer av värden på faktorerna. Med hjälp av kvoterna kan olika kombinationer vägas mot varandra. För att göra den miljömässiga utvärderingen jämfördes koldioxidutsläpp från produktionskedjan med koldioxidutsläpp från produktion och konsumtion av träkol.

Resultat och implikationer

Resultatet visar att det finns tre faktorer som har störst inverkan på den ekonomiska lönsamheten i produktionskedjan: transportsträckan, fukthalt hos restbiomassan då den går in i produktionen samt produktionsvolymen. Rekommendationen till ECS är att vidare utvärdera dessa tre faktorer innan investering. Om ECS lyckas hålla dessa tre faktorer på en fördelaktig nivå finns stor potential för att uppnå ekonomisk lönsamhet. Ur ett miljömässigt perspektiv förhåller sig utsläppen från pellets, producerad av den undersökta restbiomassan, mycket väl jämfört med träkol.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	Inledning.....	1
1.1	BAKGRUND.....	1
1.1.1	<i>Problem med användandet av träkol.....</i>	<i>1</i>
1.1.2	<i>Emerging Cooking Solutions.....</i>	<i>2</i>
1.1.3	<i>Agroforestry</i>	<i>2</i>
1.2	SYFTE	3
1.3	FRÅGESTÄLLNINGAR	4
1.4	AVGRÄNSNINGAR	4
1.5	DISPOSITION	5
2	Teoretiskt Ramverk.....	6
2.1	MODELL	6
2.1.1	<i>Konceptuell modell.....</i>	<i>6</i>
2.1.2	<i>Experimentell design</i>	<i>6</i>
2.2	LOGISTIK	7
2.2.1	<i>Supply Chain Management</i>	<i>7</i>
2.2.2	<i>Hållbar utveckling och logistik</i>	<i>7</i>
2.2.3	<i>Transportplanering</i>	<i>7</i>
2.3	TOTALKOSTNADSANALYS	8
2.4	PEST-ANALYS.....	8
2.5	INVESTERINGSKALKYLERING	8
2.5.1	<i>Kalkylränta.....</i>	<i>9</i>
2.5.2	<i>Pay-Back time</i>	<i>9</i>
2.5.3	<i>Internräntemetoden</i>	<i>9</i>
2.5.4	<i>Nuvärdeskalkyl.....</i>	<i>10</i>
2.5.5	<i>Kapitalvärdeskvot.....</i>	<i>11</i>
3	Metod.....	12
3.1	METODANSATS	12
3.1.1	<i>Kvantitativ analys.....</i>	<i>12</i>
3.1.2	<i>Kvalitativ analys.....</i>	<i>12</i>
3.1.3	<i>Studiens typ av analys</i>	<i>12</i>
3.2	ARBETSPROCESS.....	13
3.2.1	<i>Skapa förståelse och definiera syfte</i>	<i>13</i>
3.2.2	<i>Modellbyggnad och samla indata</i>	<i>14</i>
3.2.3	<i>Beräkningar, analys av resultat och slutsats.....</i>	<i>14</i>
3.3	DATAINSAMLING	14
3.3.1	<i>Litteraturstudie.....</i>	<i>14</i>
3.3.2	<i>Intervjuer.....</i>	<i>15</i>
4	Systempåverkande aspekter	17
4.1	PEST-ANALYS AV ZAMBIA.....	17
4.1.1	<i>Politik.....</i>	<i>17</i>
4.1.2	<i>Ekonomi.....</i>	<i>17</i>
4.1.3	<i>Sociala förhållanden</i>	<i>18</i>
4.2	KLIMAT I ZAMBIA.....	18
4.2.1	<i>Säsongvariation</i>	<i>18</i>
4.3	INFRASTRUKTUR I ZAMBIA	19
4.4	PELLETSPRODUKTION.....	20
4.4.1	<i>Sortering.....</i>	<i>21</i>
4.4.2	<i>Flisning</i>	<i>21</i>

4.4.3	Torkning	21
4.4.4	Malning	22
4.4.5	Pelletering	22
4.4.6	Kylning	22
4.4.7	Paketering	22
5	Unika förutsättningar och antaganden.....	23
5.1	EMERGING COOKING SOLUTIONS FÖRUTSÄTTNINGAR.....	23
5.2	AKTUELLT SAMARBETE FÖR PRODUKTIONSKEDJAN	23
5.3	UNDERSÖKT DISTRIKT FÖR PRODUKTIONSKEDJAN.....	24
5.4	TILLGÄNGLIG MÄNGD RESTBIOMASSA OCH DESS EGENSKAPER	24
5.5	INSAMLING AV RESTBIOMASSA.....	25
5.6	ERSÄTTNING FÖR RESTBIOMASSA.....	28
5.7	KOSTNAD FÖR LAGERHÅLLNING.....	26
6	Framtagen modell och beräkningar.....	27
6.1	SCHEMATISK BESKRIVNING AV MODELLEN	27
6.2	FAKTORER.....	28
6.2.1	Designfaktorer.....	28
6.2.1.1	Övergripande designfaktorer	29
6.2.2	Osäkerhetsfaktorer	30
6.3	UTDATA FRÅN MODELLEN	30
6.3.1	Kalkylränta.....	30
6.4	MODELLENS BESTÄNDSDELAR	31
6.4.1	Del I - Uppsamlingsplatser	31
6.4.1.1	Designfaktorer	31
6.4.1.2	Antal uppsamlingsplatser.....	32
6.4.1.3	Kostnader förknippade med uppsamlingsplatser	33
6.4.2	Del II – Flisning av råmaterial	34
6.4.2.1	Antal flismaskiner.....	34
6.4.2.2	Operationella kostnader	34
6.4.2.3	Investeringskostnader	35
6.4.3	Del III – Transporter.....	35
6.4.3.1	Designfaktorer	35
6.4.3.2	Transportkostnader	36
6.4.3.3	Transportkostnader utifrån Teravaninthorn och Raballand.....	36
6.4.3.4	Transportkostnader utifrån Nathan Associates Inc	37
6.4.4	Del IV – Produktionsanläggning.....	37
6.4.4.1	Designfaktorer	37
6.4.4.2	Produktionskostnader	38
6.4.4.3	Investeringskostnader	39
6.4.4.4	Kapacitetsberäkningar	40
7	Analys av modellens utdata	41
7.1	INTRODUKTION TILL ANALYSEN	41
7.2	ANALYS AV FAKTORERS INVERKAN PÅ MODELLEN.....	41
7.2.1	Transportsträckan.....	43
7.2.2	Det ingående materialets fukthalt	43
7.2.3	Produktionsmålet och produktionsvolymen	43
7.2.4	Övriga faktorer.....	43
7.3	INTRESSANTA SCENARIER FÖR EMERGING COOKING SOLUTIONS.....	45
7.3.1	Transporter på 800 km.....	45
7.3.2	Hög fukthalt.....	46
7.3.3	Produktionsmål mindre än 14 000 ton per år	47

7.3.4	Transportera råmaterial eller flis	49
8	Utsläppsberäkningar och miljöanalys	51
8.1	UTSLÄPPSBERÄKNINGAR	51
8.2	ANALYS AV BERÄKNINGAR	52
8.2.1	Jämförelse med träkol	53
9	Diskussion.....	54
9.1	METODDISKUSSION	54
9.2	OSÄKERHETER I MODELLEN.....	54
9.2.1	Osäkerheter med kapitalvärdeskvot	54
9.2.2	Tillgänglig mängd restbiomassa	55
9.2.3	Uppsamlingsplatser.....	56
9.2.4	Flisning	56
9.2.5	Transport.....	57
9.2.6	Produktionsanläggning	58
9.3	OSÄKERHETER I UTSLÄPPSBERÄKNINGAR	59
9.4	EXTERNA FAKTORER	59
9.5	JÄMFÖRELSE MED LIKNANDE STUDIER.....	60
10	Slutsats.....	61
10.1	YTTERLIGARE UNDERSÖKNINGSOMRÅDEN FÖR ECS	62
11	Referenser	63
	Appendix A – Beräkningar	I

1 Inledning

Inledningen beskriver bakgrunden tillsammans med en problembild av det aktuella ämnet. Det syfte och de frågeställningar som studien avser att besvara presenteras också tillsammans med de avgränsningar som gjorts. Slutligen finner läsaren en beskrivning av rapportens disposition.

1.1 Bakgrund

Denna rapport behandlar problematiken med att en stor del av befolkningen i subsahariska Afrika använder träkol vid matlagning. Rapporten adresserar problemet genom att utvärdera om det är lönsamt för företaget Emerging Cooking Solutions AB (ECS) att utnyttja agroforestry som råvarukälla för pelletsproduktion. I följande delkapitel beskrivs problemen med träkol tillsammans med en introduktion både till företaget Emerging Cooking Solutions AB och jordbruksmetoden agroforestry.

1.1.1 Problem med användandet av träkol

Uppvärmnings- och matlagningsmetoder som använder bränslen från traditionell biomassa är mest utbredda i världens mest fattiga och marginaliserade områden (FAO, 2010). Omkring tre miljarder människor världen över använder fortfarande biomassa såsom träkol, djuravföring och skörderester som bränsle för uppvärmning och matlagning (WHO, 2016a). Bränslet eldas i öppen eld eller i enkla spisar som inte möjliggör fullständig förbränning. Den ineffektiva förbränningen orsakar en rad olika typer av luftföroreningar som är skadliga för miljö, klimat och hälsa (WHO, 2016a). Eldningen sker dessutom ofta inomhus i dåligt ventilerade utrymmen. Följaktligen uppstår farligt höga koncentrationer av partiklar och kolmonoxid som bland annat kan orsaka lunginflammation, stroke och kranskärslsjukdomar. Konsekvenserna av luftföroreningarna är att omkring 4,3 miljoner människor dör i förtid varje år. De grupper som utsätts mest för de höga koncentrationerna är kvinnor och barn då de vistas inomhus större utsträckning än män (WHO, 2016b). Faktum är att åtta procent av alla dödsfall hos barn under fem år är ett resultat av lunginflammation förorsakat av sotpartiklar frigjorda vid ineffektiv förbränning (WHO, 2016a). Vid förbränning frigörs även metan som tillsammans med sotpartiklarna har stark påverkan på klimatförändringen (WHO, 2014).

I subsahariska Afrika, de afrikanska länderna söder om Sahara, är infrastrukturen instabil och mindre än 20 procent av befolkningen är anslutna till elnätet. Detta gör att 50 till 80 procent av hushållen är direkt beroende av träkol för uppvärmning och matlagning (Gumbo *et al.*, 2013; IEA, 2014). Ett av de länder som har en utbredd produktion och användning av träkol är Zambia. Träkolproduktionen är problematisk och leder till avskogning, minskad biologisk mångfald och bidrar även till ökenspridning (Gumbo *et al.*, 2013; Turpie, Warr and Ingram, 2015).

Zambia har den femte högsta avskogningstakten i världen och den mest drivande faktorn till detta är träkolsproduktionen (Gumbo *et al.*, 2013; Turpie, Warr and Ingram, 2015). Ett genomsnittligt hushåll i Lusakaområdet använder 1,0 till 1,4 ton träkol per år vilket kräver cirka åtta ton råmaterial för att framställa (Kalinda *et al.*, 2008; Gumbo *et al.*, 2013). Efterfrågan och produktionen av träkol kommer troligtvis att öka i takt med ökad urbanisering (Boucher *et al.*, 2011). Sedan datainsamlingen började år 1961 har träkolsproduktionen i Zambia stadigt ökat från 100 000 till 1 miljon ton per år (FAOSTAT, 2017).

Utöver de omfattande klimat- och hälsorelaterade problemen med träkolproduktion och konsumtion, bidrar även träkol till flera samhällsproblem. Den oreglerade träkolstillverkningen gör att producenter långt ned i tillverkningskedjan missgynnas (Zulu and Richardson, 2013). Vidare beskattas inte tillverkningen och försäljningen av träkol vilket leder till att zambiska samhället går miste om stora skatteintäkter (Zulu and Richardson, 2013). För att motverka de omfattande problem produktionen och användandet av träkol medför krävs alternativa energiförsörjningsmetoder.

1.1.2 Emerging Cooking Solutions

Emerging Cooking Solutions Sweden AB (ECS) är ett svenskgrundat startupbolag med säte i Lund men bolagets huvudsakliga verksamhet bedrivs i Zambia genom dotterbolaget Emerging Cooking Solutions Limited. ECS erbjuder ett alternativ till träkol i form av träpellets som marknadsförs tillsammans med högeffektiva pelletsspisar. Spisarna möjliggör en effektiv förbränning och ger låga utsläpp av skadliga luftföroreningar. Ett exempel på en sådan spis är ECS egna spis Mimi Moto. Enligt oberoende tester utförda av Global Alliance for Clean Cookstoves uppfyller Mimi Moto de högsta prestandamåttan gällande effektivitet samt utsläpp av partiklar och kolmonoxid (Mizia, 2015). De godkända emissionerna för matlagning inomhus är baserade på WHO:s riktlinjer av luftkvalitet inomhus med avseende på föroreningskoncentrationer (Global Alliance for Clean Cookstoves, 2017). Vidare anses förbränningen av ECS pellets i matlagningsspisar klimatneutral då pelletsen är baserad på förnybar biomassa. Förnybar biomassa ger inget nettoutsläpp av koldioxid eftersom den koldioxid som släpps ut vid förbränning har växten bundit i form av kolhydrater i odlingsfasen (WWF, 2017). Utsläpp av växthusgaser från fossila bränslen kan dock ske under tillverkningsprocessen.

I dagsläget är ECS verksamhet begränsad till delar av Zambia. Verksamheten har dock potential att kunna skalas upp och etableras över hela Zambia och i förlängningen hela subsahariska Afrika för att på så sätt ersätta stora delar av träkolsanvändningen i regionen. Pellets kan till en lägre kostnad ersätta träkol inom matlagning och uppvärmning. Utöver detta kan pelletsen även ersätta träkol vid generering av el. Idag produceras pelletsen av sågspån från sågverk. Till följd av den ökade efterfrågan ser ECS en potential i att öka och bredda företagets försäljnings- och produktionsvolymerna. Det är därför aktuellt att identifiera andra möjliga råvarukällor för att uppnå expansionsmålen – att fyrdubbla pelletsproduktionen till år 2019 enligt Mattias Ohlson¹, CEO på ECS. En möjlig källa för att uppnå målen är restbiomassa som skapas när jordbruksmetoden agroforestry tillämpas.

1.1.3 Agroforestry

Agroforestry är ett relativt nytt begrepp för en jordbruksmetod men dess tillämpning sträcker sig flera hundra år tillbaka i tiden (Nair, 1993). Metoden baseras på att de grödor som ska odlas på en åkermark planteras tillsammans med kvävefixerande växter som inte är avsedda för skörd. Åkermarken delas också eventuellt med boskap. Genom att tillämpa metoden kan flera fördelar uppnås, bland annat att växterna tillför näring till grödorna genom kvävefixering samt ger skugga och skyddar därmed mot uttorkning. Detta samtidigt som växternas rotsystem binder

¹ Mattias Ohlson CEO Emerging Cooking Solutions Ltd, e-post 6 april 2017.

jorden, vilket motverkar erosion. Vistas boskap på åkermarkerna får dessutom djuren föda i form av växter och bidrar med gödsel (Alavalapati and Mercer, 2005). Sammantaget baseras idén om agroforestry på att bygga upp ett fungerande och hållbart jordbruksekosystem som bidrar till ett mer effektivt och mer lönsamt jordbruk.

Kunskapen och användandet av agroforestry håller idag på att spridas och implementeras bland jordbrukare i olika delar av Afrika. Hittills har kunskapen till stor del spridits genom olika utbildningsprogram arrangerade av icke-statliga organisationer (Katanga *et al.*, 2007). Ett exempel på sådan organisation är holländska SNV Netherlands Development Organisation (SNV) som är en av de ledande aktörerna i Zambia. Förhoppningen är att jordbrukarna själva i framtiden ska sprida kunskapen vidare för att möjliggöra att allt fler implementerar agroforestry. Jordbrukare som implementerat agroforestry har blivit mindre sårbara för missväxt och fått större skördar, vilket har genererat större ekonomiska intäkter (Gao, Barbieri and Valdivia, 2014).

I samband med agroforestry uppkommer ansamlingar av restbiomassa eftersom de kvävefixerande växterna emellanåt måste beskärs för att inte ta över åkermarken. Detta resulterar i stora mängder restbiomassa som inte har något större värde för jordbrukarna utan kan bara delvis användas som djurfoder. En stor del av restbiomassan blir i dagsläget således överflödigt för jordbrukarna enligt Mattias Ohlson².

1.2 Syfte

Syftet med studien är att ta fram en modell för möjliga produktionskedjor vid pelletstillverkning i Zambia. Modellen är anpassad efter Emerging Cooking Solutions expansionsmål, därmed fokuserar studien på restbiomassa från agroforestry. Modellen används för att bedöma Emerging Cooking Solutions lönsamhet av att investera i användandet av restbiomassa från agroforestry som ingående råvara i produktionen av pellets.

Studiens resultat kan även vara till nytta för liknande projekt som syftar till att motverka träkolsanvändning, eller projekt som hanterar lågvärdigt gods i en förädlingskedja. Av denna anledning vägs även pellets från agroforestry mot träkol ur ett miljöperspektiv.

² Mattias Ohlson CEO Emerging Cooking Solutions Ltd, e-post 6 april 2017.

1.3 Frågeställningar

Utifrån rapportens syfte har följande frågeställningar tagits fram:

- Är det ekonomiskt lönsamt för Emerging Cooking Solutions att utnyttja restbiomassa från agroforestry i sin produktionskedja?
- Finns det faktorer som har en större inverkan än andra på den ekonomiska lönsamheten i en produktionskedja där pellets tillverkas av restbiomassa från agroforestry?
- Ur miljösynpunkt, hur förhåller sig pellets tillverkade av restbiomassa från agroforestry till träkol?

För att kunna besvara den första och andra frågeställningen har följande delfrågeställningar identifierats:

1. Vilka delar ska modellen av de möjliga produktionskedjorna bestå av för att kunna representera en verklig produktionskedja?
2. Vilka faktorer är kostnadsdrivande i varje del?
3. Vilka olika värden kan faktorerna anta?

1.4 Avgränsningar

För att ge studien ett tydligt fokus och för att kunna slutföra projektet inom den givna tidsramen har ett antal avgränsningar gjorts. Dessa är beskrivna nedan.

Studien är avgränsad till råvaruanskaffning och produktion

Studien är avgränsad till råvaruanskaffningen och produktionen av aktuella pellets. Arbetet tar varken hänsyn eller behandlar de efterföljande aktiviteter som sker när pelletsen är färdigproducerad. Det innebär bland annat att kostnader för distribuering och marknadsföring inte tas i beaktande. I de fall som undersöks antas att allt som produceras bli sålt och distribution samt marknadsföring ske i ECS existerande kanaler.

Studien väger inte nyttan av olika träkolsalternativ mot varandra

Bakgrunden till arbetet ligger i behovet av att minska de miljö-, klimat-, och hälsoproblem som träkolsanvändning orsakar. Rapporten undersöker om det på ett hållbart sätt är möjligt att ersätta användningen av träkol med pellets från restbiomassa. Det finns andra aktörer och initiativ som erbjuder andra typer av alternativ. Exempelvis bedriver organisationen COMACO (*Community Markets for Development*) projektet *Improved Cooking Stoves* som syftar till att reducera användandet av öppna eldar (Federal Ministry for the Environment, 2017). Eco-Charcoal Zambia är ett företag som framställer hållbart träkol genom att odla skog för sin träkolsproduktion (EcoCharcoal Zambia, 2017). Arbetet avgränsas från att undersöka hur grundproblematiken, användandet av träkol, åtgärdas på bästa sätt. För att lösa de problem som träkolsanvändning medbringat är det av intresse att utreda hur detta görs på mest effektivt sätt för att kunna rikta resurser och insatser rätt. Det är möjligt att det finns andra alternativ, likt ovan beskrivna som mer effektivt än pellets från restbiomassa skulle kunna ersätta träkol.

1.5 Disposition

Rapporten består av tio kapitel, följt av referenser och appendix. Kapitel 1 består av bakgrund, som beskriver den problematik som studien har sin utgångspunkt i, tillsammans med syfte och frågeställningar. Kapitel 2 innefattar det teoretiska ramverk som beskriver studiens bakomliggande teori. Kapitel 3 beskriver vilken typ av metodansats som tillämpats i studien samt studiens arbetsprocess. I kapitel 4 redogörs för övergripande aspekter som påverkar hur systemet som framställer pellets från restbiomassa kan se ut. Kapitel 5 går, till skillnad från kapitel 4, mer in på djupet på förutsättningar och antagande som är unika för situationen som studien undersöker. Med unika aspekter avses bland annat geografiskt område, aktörer och restbiomassan i systemet. Kapitel 6 beskriver därefter den modell som tagits fram för att återspegla den verkliga produktionskedjan, samt beräkningar som genomförts på modellen. I kapitel 7 analyseras beräkningarna på modellen. I kapitel 8 beskrivs genomförda utsläppsberäkningar samt analys av dessa för en jämförelse med träkol ur ett miljöperspektiv. I kapitel 9 diskuteras studiens metod och resultat. Avslutningsvis i kapitel 10 dras slutsatser i form av sammanfattande svar på frågeställningarna och förslag på ytterligare undersökningsområden för ECS.

2 Teoretiskt Ramverk

Följande är en presentation av den teori som tillämpas för att uppnå studiens syfte. Först presenteras teori kring vad en modell är och hur den skapas och används. Därefter beskrivs teori kring logistik vilket mynnar ut i transportplanering och totalkostnadsanalys som blir aktuellt i skapandet av modellen. PEST-analysen, som beskrivs nedan, har använts för att analysera förutsättningarna i Zambia. Slutligen beskrivs olika metoder för att utvärdera investeringar, vilket är essentiellt för att svara på syftet.

2.1 Modell

Den definition av modell som är aktuell för denna studie återfinns i Oxford Dictionaries. En modell definieras där som en förenklad beskrivning, vanligtvis matematisk, av ett system eller process i syfte att underlätta beräkningar och förutsägingar (Oxford, no date). Definitionen är relevant då studien syftar till att förenkla en planeringsprocess för att kunna genomföra kostnadsberäkningar.

2.1.1 Konceptuell modell

Robinsons (2008) och Musselmans (1994) teorier om konceptuella modeller har varit till hjälp under framtagandet av modellen i studien. Robinson (2008) definierar konceptuella modeller som övergripande modeller av det system som är tänkt att efterliknas. Vidare menar Robinson att det är den konceptuella modellen som ligger till grund för resterande delen av arbetet. Därav är en korrekt framtagen konceptuell modell avgörande för studiens resultat. Om en avgörande faktor förbises redan i den konceptuella modellen kommer detta även återspeglas i resultatet.

Musselman (1994) presenterar teori kring hur arbetet i studier med modeller bör utformas. Enligt teorin bör studien delas upp i ett antal steg. Första steget är att orientera sig med den verklighet som ska modelleras. Därefter ska frågeställningar tas fram och rangordnas. Det tredje steget är att definiera det resultat som krävs från modellen för att kunna besvara frågeställningarna. Sedan bestäms omfattningen av modellen i form av bland annat modellens gränser. Avslutningsvis specificeras vilken indata som krävs och finns tillgänglig.



Figur 2.1 Illustrering av Musselmans teori för utformning av arbete med modeller

2.1.2 Experimentell design

Som grund för studien ligger Chung (2004) teorier om experimentell design. Chung (2004) menar att olika varianter av en modell bör tas fram för att utföra experiment och analys. En viktig aspekt är därför att identifiera de faktorer som påverkar modellen. Identifikation av faktorer för modellen är en viktig aspekt för att kunna ta fram olika varianter. Chung beskriver faktorer som variabler vilka kan kontrolleras och har inverkan på modellens prestation. Korrekt framtagna faktorer i studiens modell är av stor vikt då kostnadsberäkningarna har sin grund i dessa.

2.2 Logistik

Logistik syftar till att strategiskt styra anskaffning, transport och olika typer av lager (Christopher 2011). Målet med logistik är att skapa en plan för flödet av produkter och information genom verksamheten. Logistik är besläktat med begreppet Supply Chain Management som avser att länka och koordinera processer från råvara till slutkund. Supply Chain Management är på så sätt ett bredare begrepp än logistik.

2.2.1 Supply Chain Management

Supply Chain Management består av alla parter involverade, antingen direkt eller indirekt, i att uppfylla kundens behov. Utöver tillverkare och leverantörer inkluderas även transportörer, lager, återförsäljare och kunderna i begreppet Supply Chain Management (Chopra and Meindl, 2013). Den internationellt ledande branschorganisationen Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP) definierar Supply Chain Management som planeringen och styrningen av alla aktiviteter inblandade i anskaffning, distribution och logistikfrågor. Sammantaget innebär Supply Chain Management integration mellan styrningen av tillgång och efterfrågan inom och mellan företag.

Skillnaden mellan logistik och Supply Chain Management är därmed dess gränser. Målet med logistik är att skapa en plan för flödet av produkter och information genom verksamheten medan Supply Chain Management avser att länka och koordinera processer från råvara till slutkund. Denna studie begränsar sig till logistik i sin utredning av olika typer av transporter.

2.2.2 Hållbar utveckling och logistik

Ur ett företagsekonomiskt perspektiv eftersträvas utformning av logistiksystem som ger låga kostnader, hög kundservice och låg kapitalbindning. På senare tid har även miljö blivit en allt viktigare effektivitetsvariabel när det gäller logistik och transporter av gods (Jonsson and Mattson, 2016b). Globalisering samt låga transportkostnader har medfört att kroppsarbete ofta läggs ut på leverantörer i de länder där priserna är lägst, vilket medför att transporterna ökat (Christopher, 2011).

Det finns flera angreppssätt för att sträva efter en mer miljöanpassad logistik. Genom att arbeta med och implementera alternativa trafikslag, alternativa bränslen, moderna fordon, och förändrat körsätt kan miljöpåverkan minska (Jonsson and Mattson, 2016a). Dessutom kan miljöpåverkan minskas ytterligare genom att utnyttja effektiv transportplanering och konsolidering av gods, vilket beskrivs vidare under avsnitt 2.2.3. Miljömålen kommer ofta i konflikt med de traditionella företagsekonomiska målen, vilket är ett ständigt problem inom logistik (Jonsson and Mattson, 2016a).

2.2.3 Transportplanering

Transportplanering handlar om att på ett effektivt sätt styra transporterna genom att skapa ett lämpligt transportmönster för att på så vis minimera miljöpåverkan och kostnaderna. Samtidigt påverkas även leveransfrekvens och leveranskvantitet av transportplanering (Jonsson and Mattson, 2016b). Olika typer av gods skapar olika förutsättningar för transportsystemen. En grundregel är att sträva efter så hög fyllnadsgrad som möjligt, det vill säga att lastbilarna ska vara så fulla som möjligt med avseende på vikt eller volym, genom att konsolidera mindre transporter till större (Jonsson and Mattson, 2016b).

Konsolidering av gods innebär att små sändningar aggregeras ihop till större flöden (Jonsson & Mattson 2016). De finns flera sätt att konsolidera gods men den som är aktuell för denna studie är brytpunktssystem. Ett brytpunktssystem innebär att många mindre godsflöden samordnas mellan så kallade samlastning- och brytpunkter. Vid dessa punkter möjliggörs sortering, mellanlagring och omlastning. Punkterna har också ett visst upptagnings- respektive spridningsområde. Upptagningsområdet är det område som förser samlastningspunkten med material. Spridningsområdet är det område brytpunkten förser med material. Genom att bygga upp ett nätverk med många samlastning- och brytpunkter bildas ett navsystem (Jonsson & Mattson 2016).



Figur 2.2 Brytpunktssystem

2.3 Totalkostnadsanalys

Aktiviteter som utförs i ett logistiksystem medför kostnader. Ett helhetsperspektiv är viktigt vid utformning eller förändring av ett logistiksystem. Om en viss aktivitet nedprioriteras i syfte att reducera kostnaderna finns en risk att systemet suboptimeras och kostnaderna för andra aktiviteter i systemet ökar. Ett exempel är om lagerhållningen centraliseras för att minska lagerhållningskostnaderna, då kan istället kostnaderna för transporter öka på grund av längre transportsträckor. För att få en helhetsbild och på ett korrekt sätt utvärdera olika logistiksystem kan därför en totalkostnadsanalys användas där alla kostnader som påverkas vid en förändring i logistiksystemet beaktas (Jonsson & Mattson 2016).

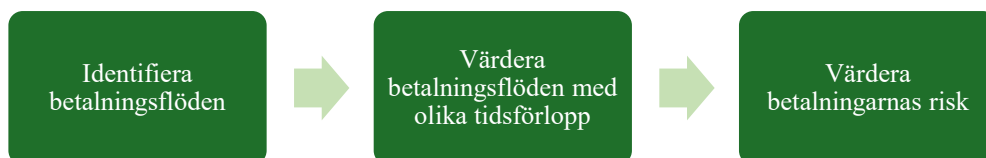
2.4 PEST-analys

PEST-analys (akronymen bygger på de engelska orden: Political, Economic, Social och Technological) är ett ramverk som syftar till att undersöka miljön ett företag befinner sig i. Resultatet från PEST-analysen kan användas för att känna av förändringar i miljön och som stöd vid strategiska beslut. Vid en PEST-analys utvärderas fyra olika faktorer: politik, ekonomi, sociala förhållanden och teknologi (Heery and Noon, 2008).

2.5 Investeringskalkylering

Lantz et al. (2014) förklarar vad som menas med investeringskalkylering och vad som traditionellt väntas ingå i en sådan kalkyl. Stora investeringar påverkar företag under lång tid och därmed är investeringar ofta en del av företagets långsiktiga strategiska arbete. Vidare förklarar Andersson (2008) hur investeringskalkyler likt alla modeller är förenklingar av

verkligheten. Andersson menar att syftet med investeringskalkylering är att möjliggöra jämförelse av betalningsströmmar som sker utspritt över en längre tid. I linje med varandra presenterar Andersson (2008) och Lantz et al. (2014) en modell för investeringsbedömning som består av tre övergripande huvudområden vilka visualiseras i figur 2.3.



Figur 2.3: Investeringskalkylerings tre övergripande huvudområden

Identifieringen av betalningsflöden sker genom prognoser på de positiva och negativa kassaflöden investeringen väntas generera. För att utföra dessa tre steg krävs ett antal kalkylmetoder och ekonomiska mått. Lantz et al. (2014) och Andersson (2008) beskriver ett antal sådana kalkylmetoder och mått. Nedanstående är endast ett urval av författarnas presenterade mått. Urvalet har baserats på de tre måttens olika fokus med syfte att en sammanvägning av måtten väntas ge en god översikt av en tänkt investeringslönsamhet.

2.5.1 Kalkylränta

Kalkylräntan, även kallad diskonteringsränta, ska motsvara avkastningskravet på kapital. Kalkylräntan ska även ta tidsaspekten i beaktande, det vill säga hur mycket mer en krona är värd idag jämfört med en krona kommande år (Andersson, 2008). Kalkylräntans huvudsakliga uppgift är att kunna sammanväga in- och utbetalningar som sker vid olika tidpunkter (Lantz, Isaksson and Löfsten, 2014). Att bestämma kalkylräntan är i många fall problematiskt. Lantz et al. (2014) förklarar att kalkylräntan i många fall blir en ren bedömningsfråga. Tre komponenter ingår vanligtvis: kompensation för väntan, kompensation för förlorad köpkraft och kompensation för risk. Ett vanligt sätt att beräkna en lägsta acceptabel kalkylränta är att sammanväga olika finansiärers, ägares och långgivares, krav. Kalkylräntan uppgår då till den genomsnittliga kapitalkostnaden. Kalkylräntan bestäms då enligt följande:

$$\text{Kalkylränta} \geq \text{Andel lånelånggivares räntekvar} + \text{andel eget kapital} \times \text{ägarnas förräntningskrav}$$

2.5.2 Pay-Back time

Pay-Back time är den tidsperiod som det tar för det ackumulerade kassaflödet för en investering att visa positivt resultat. Tiden det tar att återbetala investeringen är relevant för likviditeten i ett företag. Investeringar med lång återbetalningstid ställer stora krav på kapitaltillgången jämfört med investeringar med kortare återbetalningstid eller Pay-Back time.

2.5.3 Internräntemetoden

Internräntemetoden är en investeringsmetod som syftar till att bestämma investeringens internränta, det vill säga den ränta som medför att summan av investeringens in- och utbetalningar över en given tid är lika stora (Lantz et al. 2014). Enligt internräntemetoden är en investering lönsam om den framtänkta internräntan är högre än ett tidigare fastställt gränsvärde, vilket ofta utgörs av investeringens kalkylränta. I de fall då två eller flera investeringar ställs mot varandra är det investeringsalternativ som ger den högsta internräntan

mest lönsamt (Lantz et al. 2014). Beräkningen av internräntan sker genom att numeriskt lösa ut den ränta som uppfyller följande ekvation:

$$G - \sum_{k=0}^n \frac{CF_i}{(1+i)^k} = 0$$

G – Grundinvestering

CF_i – Kassaflöde år i

i – Internräntan

n – investeringens livslängd/planeringshorisont

Fördelarna med internräntemetoden är att den direkt går att jämföra med kalkylräntan för att bedöma investeringens lönsamhet. Nackdelarna med internräntan är att metoden i vissa fall kan missgynna långsiktiga investeringar, då framtida in- och utbetalningar värderas lägre (Lantz, Isaksson and Löfsten, 2014). I de fall då stora variationer i betalningstömmarna förekommer kan metoden er hålla flera möjliga internräntor. I vissa fall kan även en internränta som är lika med noll förekomma. Beräkningar enligt internräntemetoden kan också komma att underdimensionera investeringsprojekt i de fall då internräntan är större än kalkylräntan (Lantz, Isaksson and Löfsten, 2014). Utöver detta uppstår problem då två investeringar med olika kalkylräntor ska ställas i relation till varandra.

2.5.4 Nuvärdeskalkyl

Nuvärdet är en värdering av en framtida betalning med avseende på en kalkylränta. Det får till följd att en framtida betalning värderas lägre som konsekvens av de risker som beskrivs under avsnittet kalkylränta. Nuvärdeskalkylering utnyttjas för att jämföra betalningsflöden som sker vid olika tidpunkter genom att diskontera in- och utbetalningar till en gemensam referenspunkt, vanligtvis år noll (Lantz, Isaksson and Löfsten, 2014). Nuvärdet för ett enskilt framtida kassaflöde kan beräknas enligt:

$$\text{Nuvärde av kassaflöde år } i = \frac{CF_i}{(1+p)^i}$$

Summan av ett antal kassaflöden över ett antal år beräknas enligt:

$$\text{Nuvärde av samtliga kassaflöden under } n \text{ år} = \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+p)^i}$$

CF_i - Kassaflödet år i

n – antal år

p - Kalkylränta

CF_i motsvarar kassaflödet under år i, n motsvarar antalet år för vilket nuvärdet av kassaflöden avses beräknas. p motsvarar den valda kalkylräntan och är den faktor som styr storleken på diskonteringen. Lantz et al. (2014) förklarar att nuvärdet inte har några teoretiska svagheter men beskriver att metoden inte är lämplig att använda vid projekt med olika långa livslängder. Vidare beskriver Lantz et al. att en svaghet är att ingen hänsyn tas till grundinvesteringen och att då istället kapitalvärdeskvot bör användas som metod.

2.5.5 Kapitalvärdeskvot

När flera investeringsalternativ med olika stora grundinvesteringar ska jämföras blir det missvisande att använda sig av nuvärdesmetoden (Andersson, 2008). Bättre är då att jämföra kapitalvärdeskvoten (benämns även nuvärdeskvoten) som definieras enligt:

$$\text{Kapitalvärdeskvot} = \frac{\text{Kapitalvärde}}{\text{Grundinvestering}}$$

Med kapitalvärdeskvoten blir det därmed möjligt att effektivt jämföra flera investeringsalternativ, något som varit aktuellt i denna studie. Kvoten visar kapitalvärde per investerad krona. Används investeringsprojektets nuvärde som kapitalvärde ger kvoten istället nuvärdet per investerad krona och följande formel fås:

$$\text{Kapitalvärdeskvot} = \frac{\text{Nuvärde av kapital}}{\text{Grundinvestering}}$$

En positiv kvot betyder att investeringen är lönsam och en negativ kvot innebär motsatsen. Exempelvis betyder en kvot på 0,5 att värdet av det diskonterade nuvärdet är hälften av grundinvesteringen. Vid jämförelse av flera investeringar väljs den som har högst kvot då denna har högst avkastning per investerad krona (Andersson, 2004). Kapitalvärdeskvot är ett synnerligen relevant mått vid kapitalknapphet (Andersson, 2008). Det har på så vis blivit en vanligt förekommande metod i samhällsekonomiska sammanhang för att avgöra vilken investering som har störst välfärdseffekt (Andersson, 2004). Det är bland annat en metod som svenska transportsektorn har använt sedan en lång tid tillbaka (Trafikverket, 2016). Lantz et al. (2014) trycker på vikten vid jämförelse av olika investeringsalternativ att tydligt definiera vilka kostnader som utgör grundinvesteringen. I de fall då utgifter för grundinvesteringen är återkommande och löper över flera år, måste ett antagande göras om utgiften ska inkluderas i grundinvesteringen eller ses som en löpande kostnad. Antagandet kommer påverka värdet på kapitalvärdeskvoten.

Kapitalvärdeskvoten har vissa svagheter. Exempelvis kommer kvoten att bli orimligt stor då grundinvesteringen är mycket liten. En investerare som enbart förlitar sig på kapitalvärdeskvoten kan exempelvis välja en investering på 10 SEK som generar ett nuvärde på 20 SEK framför en investering på 60 000 SEK som ger 100 000 SEK under samma tidsperiod. De största svagheter med kapitalvärdeskvoten är dock förenade med osäkerheter kring hur nuvärdet har beräknats. Nuvärdet baseras i en uppskattning på förväntade kassaflöden och osäkerheterna kring dessa kan därför bli stora.

3 Metod

Metodkapitlet berör den arbetsgång som använts vid genomförandet av studien. Inledningsvis introduceras den metodansats som legat till grund för att uppnå studiens syfte. Sedan presenteras den arbetsprocess som genomförts för att forma studiens modell och analysera dess resultat. Slutligen beskrivs hur data till studien samlats in.

3.1 Metodansats

Den metodansats som studien grundar sig i presenteras i följande avsnitt. Avsnittet beskriver hur studien applicerar den beskrivna forskningsstrategin, i form av kvantitativ och kvalitativ analys, samt hur de interageras i studien.

3.1.1 Kvantitativ analys

Kvantitativ analys grundas på mätning av numerisk information. En kvantitativ metod lämpar sig då studiens mål är att bevisa ett önskat samband (Eriksson & Wiedersheim-Paul 2008). Denna form av analys möjliggör en stor exakthet vid korrekt insamlade data. Kvantitativ analys öppnar dock även upp för att undersöka framtagna korrelation eftersom korrelation inte kan jämföras med kausalitet. För att nå kausalitet från en analys krävs en väl genomförd metod (Eriksson & Wiedersheim-Paul 2008).

3.1.2 Kvalitativ analys

En kvalitativ studie har sin grund i termer och data som samlas in genom bland annat intervjuer och observationer. En kvalitativ metod används då undersökningen vill bidra med att öka förståelsen i givna situation genom att tolka datainsamlingen (Eriksson & Wiedersheim-Paul 2008). Till skillnad från en kvantitativ metod fokuserar den kvalitativa metoden på studiens helhet (Winch *et al.*, 2005). Vid användning av sekundärkällor måste datainsamlingen utvärderas för att kunna användas i nya undersökningsobjekt. Kvalitativ analys är därför central vid användning av sekundära källor (Blomqvist & Hallin 2014).

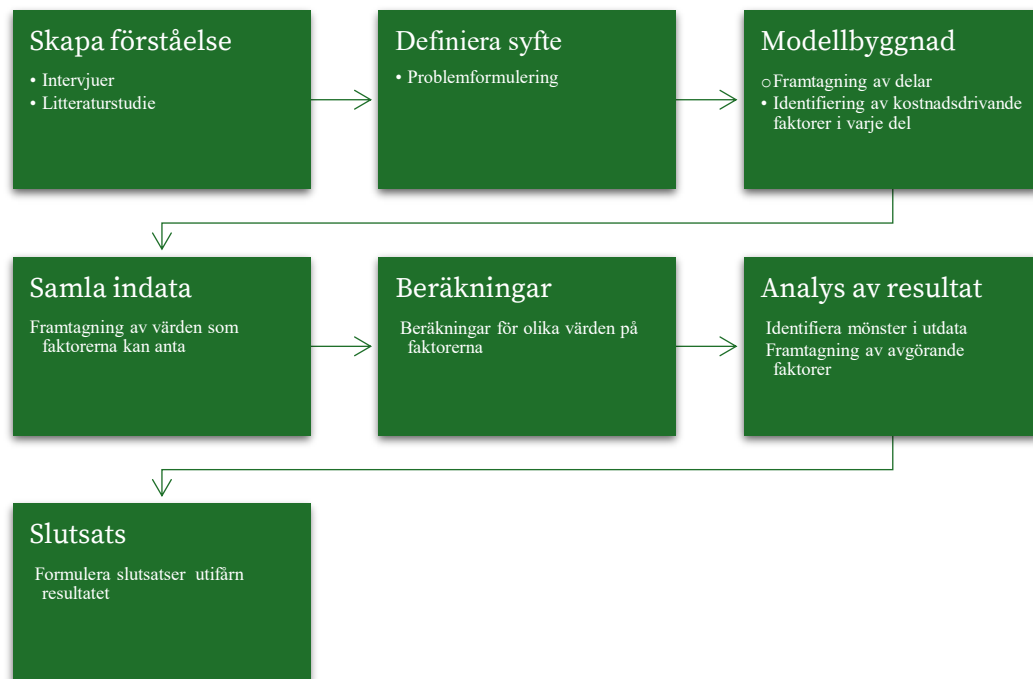
3.1.3 Studiens typ av analys

Studien omfattar ett område där få forskningsstudier bedrivits. I och med det geografiska område som studien undersöker, Zambia, är dessutom relevant litteratur begränsad. Av denna anledning samlades istället stora mängder data in från aktörer med koppling till området genom intervjuer. Studiens analysmetod har därför varit en interaktion av kvantitativ och kvalitativ analys. Dessa analysmetoder kompletterar ofta varandra vid komplexa frågeställningar då numerisk data behöver tolkas för att mottagaren ska kunna förstå sammanhanget (Eriksson & Wiedersheim-Paul 2008).

En stor del av studiens metod består av att genomföra beräkningar på en modell för pelletsproduktion. Detta tillvägagångssätt för beräkningar klassas som en kvantitativ analysmetod. Beräkningarna görs dock utifrån insamlad sekundärdata, det vill säga befintliga uppgifter som inte har en självklar koppling till undersökningen i fråga (Blomqvist & Hallin 2014). Dessutom är den data som samlats in i många fall osäker. För att kunna dra slutsatser om resultatet från den kvantitativa analysen har det därför varit viktigt att göra en kvalitativ analys av resultatet för att kunna besvara studiens frågeställningar.

3.2 Arbetsprocess

Nedan beskrivs hur arbetet praktiskt har utförts samt vilka faser studien genomgått. I arbetsprocessen appliceras den typ av metod som beskrivs i metodansatsen. Arbetsprocessen är utformad med Musselmans teori kring arbete med modeller som grund, avsnitt Konceptuell modell. Anpassningar av teorin har dock varit nödvändiga att göra för att kunna uppfylla studiens syfte. Figur 3.1 illustrerar arbetsprocessen. I verkligheten har de olika faserna dock inte alltid varit så tydliga som figuren visar. Till exempel har faserna i många fall överlappat varandra.



Figur 3.1: Arbetsprocessens utformning med grund i Musselmans teori.

3.2.1 Skapa förståelse och definiera syfte

Under den första fasen ägnades tid åt litteraturstudier och intervjuer för att få en djupare förståelse för de grundläggande koncept som rapportens syfte berör. De viktigaste områdena undersöktes genom litteraturstudie och intervjuer. Dessa områden presenteras nedan:

- Allmän information om subsahariska Afrika och Zambia
- Den bakomliggande problematiken med träkolsproduktion och träkolsanvändning i subsahariska Afrika
- Agroforestry
- Pelletsproduktion
- Information om infrastrukturen i subsahariska Afrika och Zambia
- Jordbruk och klimat i Zambia
- Förståelse för ECS som företag

För ytterligare information om litteraturstudien och intervjuerna hänvisas läsaren till avsnitt 3.3. Resultatet från denna del av studien finns samlad i avsnitt 1.1 samt kapitel 4. Med erhållen

kunskap inom ämnet kunde studiens syfte fastställas. Utifrån syftet formulerades studiens frågeställningar.

3.2.2 Modellbyggnad och samla indata

Processen för att bygga upp kostnadsmodellen för pelletstillverkning började med att bryta ner modellen i olika delar. Här var framförallt förståelsen kring pelletsproduktion viktig. Då delarna tagits fram identifierades kostnadsdrivande faktorer i respektive del. Modellen byggdes med hjälp av Excel. Då grunden för modellen lagts, påbörjades en ny informationssökning med avsikt att hitta indata till de kostnadsdrivande faktorerna. Även denna informationssökning innefattade intervjuer och litteraturstudier. I flera fall gavs faktorerna flera värden.

3.2.3 Beräkningar, analys av resultat och slutsats

Baserat på framtagna data genomfördes beräkningar för modellens olika kostnadsdrivande faktorer enligt Chungs teori om experimentell design som redogörs i avsnitt 2.1.2. Genom att variera värdena för de olika faktorerna erhöles totalt 2 664 kombinationer av den tänkta modellen. Av de framtagna kombinationerna kunde 1 176 kombinationer förkastas. Dessa kombinationer uppfyllde inte modellens krav och skulle aldrig kunna realiseras i praktiken. De kvarvarande kombinationerna resulterade var och en i unika utdata i form av en totalkostnad för modellen. Tillsammans med intäkterna för modellen användes totalkostnaden för att beräkna ekonomiska prestationsmått. Utifrån dessa mått utvärderades de möjliga varianterna av modellen. Utöver kostnadsberäkningarna genomfördes även miljömässiga beräkningar för modellens faktorer. Analys av utdata utfördes genom att urskilja mönster i erhållna data. Med hjälp av identifierade mönster kunde slutsatser dras och studiens frågeställningar besvaras. Detta redovisas mer djupgående i kapitel 7.

3.3 Datainsamling

Informationsinsamling har legat till grund för att skapa en övergripande förståelse för problemet samt för att erhålla den data som använts som indata i den skapta modellen. I båda fallen har information och data från intervjuer och litteratur använts.

3.3.1 Litteraturstudie

En stor del av studien är byggd på litteratur, dels för att skapa en övergripande problembild men även för att samla indata till modellen. Vid en studie baserad på litteratur ställs stora krav på sökt information för att säkerställa kvaliteten. Det är av yttersta vikt att ha ett kritiskt förhållningssätt till sina källor (Blomqvist and Hallin, 2014). Stora krav har därför ställts på den litteratur som använts. Litteratur har antingen varit av vetenskaplig karaktär eller rekommenderad av experter inom aktuellt område. För att hitta litteratur har sökfunktioner som Google Scholar och Chalmers biblioteks hemsida använts. Även fysiska böcker från Chalmers bibliotek, Göteborgs stadsbibliotek och relevant kurslitteratur från programmet Industriell ekonomi på Chalmers har använts.

Litteraturen har, liksom intervjuerna, använts både kvantitativt och kvalitativt. Kvantitativt genom att data från rapporter och andra dokument har använts i modellen och kvalitativt genom att jämföra olika källor inom samma område. Litteraturen har även lagt grunden för det teoretiska ramverket, givit en klar problembild och på så vis bidragit med underlag för diskussion.

3.3.2 Intervjuer

Under arbetets gång har flertalet intervjuer utförts i syfte att skapa en tydlig problembild och samla in data till modellen. De viktigaste intervjuerna med representanter från organisationer involverade i ECS expanderingsprojekt är: ECS, SNV och Simon Andersson – student vid Karlstad Universitet.

ECS har intervjuats för att få information om nuvarande verksamhet (fabrik, lokalisering, kostnader och intäkter). Intervjuer har även genomförts angående ECS framtidsplaner och vilka volymer som planeras att produceras inom en snar framtid. SNV har intervjuats för att få information om agroforestry och hur mycket restbiomassa som finns tillgängligt i aktuellt område. Simon Andersson genomför sitt examensarbete kring hur restbiomassa från aktuella agroforestryväxter omvandlas till pellets och vilka förutsättningar som krävs. Han har således bidragit med data och information om detta.

Intervjuerna har varit av semistrukturerad karaktär. Vid en semistrukturerad intervju är inte specifika frågor skrivna innan intervjun utan den är istället organiserad kring ett antal frågeområden (Blomqvist and Hallin, 2014). Denna typ av intervju har passat projektet väl då intervjuerna tillåts bli av mer utforskande art och mer information har således kunnat samlats från intervjun.

Även en intervju av ostrukturerad karaktär har utförts. En ostrukturerad intervju är en intervju som på förhand inte har ett bestämt mål (Blomqvist and Hallin, 2014). Denna intervju genomfördes med David Bauner, CTO på Renetech AB. Renetech AB har genomfört ett projekt i Uganda där restbiomassa från jordbruk förädlas till bränsle till matlagning. Bauner kunde därför bidra med värdefulla insikter och råd.

Intervjuerna har liksom litteraturen både bidragit med information av kvantitativ och kvalitativ karaktär. Kvantitativ i form av data som använts i datamodeller, till exempel data om agroforestry, pelletsproduktion och om ECS. En stor del av insamlad information från intervjuer är också av kvalitativ typ och har använts för att få en tydlig problembild och ge en bakgrundskontext.

Intervjuerna har, med intervjuobjektets tillåtelse, spelats in för att möjliggöra återuppspelning. Detta är något som Blomqvist och Hallin (2014) betonar vikten av. Blomqvist och Hallin (2014) trycker även på vikten av att hålla sig nyfiken och kritisk under intervjun, därför har svar uppmannats att förtydligas eller utvecklas vid otydligheter.

Tabell 3.1 - Genomförda intervjuer i studien.

Intervjuobjekt	Företag eller organisation	Roll	Huvudsakligt kommunikationssätt
Per Löfberg	Emerging Cooking Solutions AB	VD	Skype
Arend van der Goes	SNV	Project Manager Climate Smart Agriculture	Skype
Simon Andersson	Karlstad Universitet	Student	Skype
David Bauner	Renetech AB	CTO	Skype
Mattias Ohlson	Emerging Cooking Solutions Ltd	CEO	Mail
Godfrey Kundhlande	World Agroforestry Centre (ICRAF)	Agricultural/Natural Resources Economist	Mail
Johanna Linder	Läkare utan gränser	Supply Chain Responsible	Mail

4 Systempåverkande aspekter

I följande avsnitt följer en redogörelse för aspekter som tagits i beaktande i konstruktionen av den konceptuella modellen över en produktionskedja för pelletstillverkning från restbiomassa i Zambia. I första avsnittet presenteras en PEST-analys av Zambia. Därefter ges en beskrivning av klimat- och logistikaspekter i Zambia som påverkar utformandet av produktionskedjan. Slutligen förklaras allmänna förutsättningar och tillvägagångssätt för pelletstillverkning.

4.1 PEST-analys av Zambia

En PEST-analys har utförts i detta arbete för att ge en anvisning om möjligheterna till att implementera ett system som utnyttjar restbiomassa från agroforestry som råvara till pelletsproduktion i Zambia. PEST-analysen utfördes därför både i syfte att behandla situationen i Zambia i allmänhet, men också gå in djupare på situationen för jordbrukare i Zambia. Den teknologiska faktorn har i analysen ansetts mindre relevant för studien och därför utelämnats.

4.1.1 Politik

Zambia är en demokrati med politisk stabilitet. Till skillnad från många närliggande länder är risken för att interna stridigheter bryter ut till följd av det politiska läget låg (The National Archives, 2016). Ibrahim Index of African Governance mäter och rangordnar till vilken grad invånare i afrikanska länder förses med politiska, ekonomiska och sociala nyttor (Mo Ibrahim Foundation, 2017). Sedan 2006 har Zambia årligen klättrat i rangordningen och hamnade år 2015 på trettonde plats. Jeremy Gould (2008) menar dock att zambiska staten fått mindre och mindre möjlighet att påverka välfärden hos invånarna sedan självständigheten år 1964. Gould anser att landet inte är självständigt i praktiken och lyfter fram flera bevis på detta. Exempelvis styrs beslut som påverkar Zambias BNP, så som exporten av koppar, till stor del av aktörer på andra kontinenter. Även statsbudgeten kontrolleras i stor utsträckning av aktörer i andra länder på grund av en hög statsskuld. Landets begränsade möjlighet att fatta självständiga beslut återspeglas även i landets korruption. Det finns lagstiftning i Zambia som syftar till att motverka korruption men förverkligandet av denna lagstiftning är mycket bristfällig (GAN Integrity, 2015).

4.1.2 Ekonomi

Sedan Zambia blev självständig har landets BNP ökat markant. Från att ha legat på ett värde av mindre än en miljard USD innan självständigheten uppnåddes ett rekord för landet på 27 miljarder USD år 2014 (Trading Economics, 2017). Dessutom har inflationen uppvisat en minskning sedan självständigheten år 1964, bortsett från början av 2016 då rekordhöga inflationsnivåer uppmättes. Inflationen har dock återigen sjunkit och uppmättes till 6,7 procent i mars 2017. Den snabba ekonomiska tillväxten under de senaste decennierna kan till stor del härröras till att landet är Afrikas näst största kopparproducent (BBC, 2017). Det starka beroendet av koppar har dock varit negativt i perioder av svag efterfrågan på råvaran. Exempelvis har den ekonomiska tillväxten saktats in de senaste åren till följd av låga kopparpriser på den globala marknaden (The National Archives, 2016).

I Zambias nationella utvecklingsplan (Ministry of Finance [Zambia], 2014) beskrivs jordbruk som en viktig sektor för ökad ekonomisk tillväxt och minskad fattigdom. En orsak är att av

Zambias drygt 2,5 miljoner hushåll försörjer sig ungefär 1,5 miljoner på jordbruk (Central Statistical Office, 2011). En annan orsak till jordbrukets betydelse för Zambia är kopplat till naturresurser, i form av exempelvis vatten och bördiga jor­dar. Dessa tillgångar gör landet väl lämpat för odling av åkermark (Ministry of Finance [Zambia], 2014). I Zambia klassificeras 42 miljoner hektar, motsvarande 58 procent av total landareal, som att ha medelhög till hög potential för jordbruksproduktion (Ministry of Agriculture [Zambia], no date) Samtidigt är i dagsläget bara ungefär sju procent av landarealen kultiverad. Jordbruket är inte lika viktigt ur en ekonomisk synvinkel som det är för sysselsättningen. År 2014 stod jordbruket enbart för 7,3 procent av landets BNP, vilket är en siffra som mer än halverats sedan 1995 (Worldbank, no date). Internationella fonden för jordbruksutveckling (International Fund for Agricultural Development, IFAD) är ett fackorgan inom FN vars mål är att utrota fattigdomen på landsbygden, där människor i hög utsträckning livnär sig på jordbruk (International Fund for Agriculture, no date a). De menar att det inom jordbruket i Zambia råder brist på resurser (så som frön och gödning), marknadsplatser, transporter och infrastruktur. För att göra jordbruket till en lönsam sektor som människor kan försörja sig på krävs därför investeringar. Det faktum att Zambia är ett glesbefolkat land skapar dock problem. Vissa delar av landet är i stort sett geografiskt isolerade, vilket gör det svårt att förse människor i dessa regioner med de ovan beskrivna medlen (International Fund for Agriculture, no date b).

4.1.3 Sociala förhållanden

Trots den positiva trend som landets ekonomi uppvisat har Zambia än idag många sociala problem så som fattigdom, hög arbetslöshet, snabb befolkningsökning och många HIV/AIDS-smittade (Central Intelligence Agency 2017). År 2010 beräknades 61 procent av befolkningen leva under den nationella gränsen för fattigdom och 74 procent av befolkning ha mindre än 1,25 USD per dag (United Nations 2015). Den nationella gränsen för fattigdom syftar till en viss nivå av inkomst och konsumtion vilken, inom ett lokalt område, uppfattas som en gräns mellan fattigdom och icke-fattigdom. Det råder dessutom ojämlikheter mellan människor i stadsområden och på landsbygden, där fattigdomen är som mest utbredd. På landsbygden levde 78 procent under den nationella gränsen för fattigdom, år 2010. Samma parameter i stadsområden uppmättes till endast 28 procent, också år 2010 (United Nations 2015). Anledningen till denna ojämlika fördelning kan till viss del förklaras i landets glesa befolkningstäthet och geografiskt isolerade områden vilket beskrivits under avsnitt 4.1.2. Zambias sociala problem återspeglas också i att medellivslängden hos invånarna hör till de lägsta i världen (Hansson & Rundquist n.d.).

4.2 Klimat i Zambia

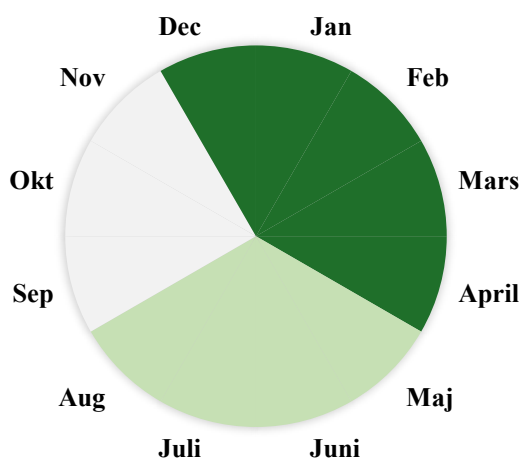
Nedan presenteras säsongvariation och skördetider i Zambia. Säsongvariation är en faktor som behöver beaktas då det under regnperioden faller stora mängder nederbörd vilket bland annat medför att restbiomassa blir mycket våt om denna lämnas oskyddad. Skördetiderna av jordbrukarnas huvudsakliga grödor bestämmer under vilken tid som agroforestryväxterna klipps.

4.2.1 Säsongvariation

Zambia har tre identifierbara årstider: kalltorrperiod, varmtorrperiod och varmregnperiod. Under kalltorrperioden, april till augusti, är temperaturer runt fem till tio grader Celsius vanligt,

även om frost kan förekomma. I slutet på augusti börjar den varmare torrperioden med temperaturer på uppemot 30 grader Celsius samtidigt som luftfuktigheten är hög. Endast två månader skiljer mellan den kallaste månaden som är juli och oktober som är den varmaste månaden. I slutet november blir regn mycket mer frekvent då regnperioden startar. Under regnperioden sker en klar majoritet av landets årliga nederbörd på cirka 700 till 1300 millimeter (Aregheore, 2009).

ÅRSTIDER I ZAMBIA

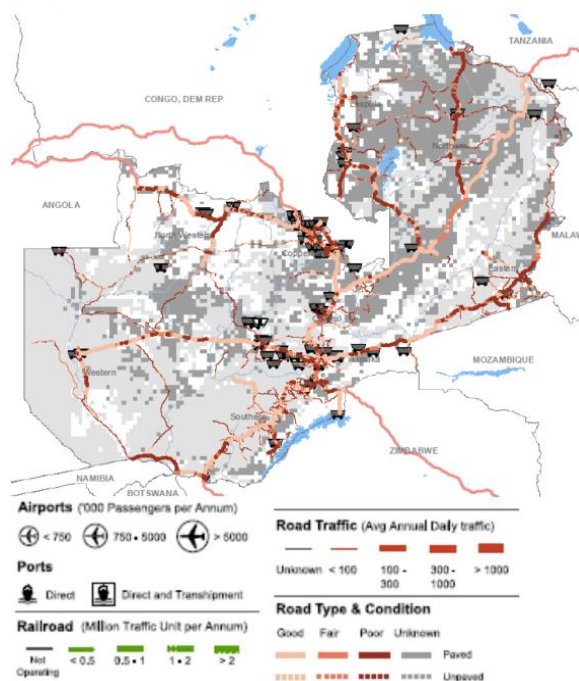


Figur 4.1 - Årstider i Zambia. Mörkgrön=varmregnperiod. Ljusgrön=kalltorrperiod. Grå=varmtorrperiod.

4.3 Infrastruktur i Zambia

Zambias vägnätverk är koncentrerat kring Copperbelt-regionen i norr, vid den kongolesiska gränsen, samt huvudstaden Lusaka. Trafiken i Zambia flödar till största del från norr till söder i landet. Detta har lett till en mindre utvecklad infrastruktur i vägnätverket längs landets västra och östra delar, vilket illustreras i figur 4.2 (Foster and Dominguez, 2010). Zambias huvudvägnätverk möjliggör anslutningar som förbinder Lusaka med omkringliggande provinsiella huvudstäder och gör Lusaka till en viktig del vid internationell gränsövergång.

Zambia har gjort stora investeringar på de koncentrerade vägnätverken, i ett försök att öka landets BNP (Foster and Dominguez, 2010). Faktum är att mer än 80 procent av Zambias asfalterade vägnätverk anses vara i gott skick, samtidigt som Zambia är ett av få länder i regionen som avsatt en budget som är större än den nödvändiga summan för att underhålla och rusta upp landets huvudvägar (Gwilliam *et al.*, 2008; Foster and Dominguez, 2010).



Figur 4.2: Översikt över vägnätverket i Zambia (Foster and Dominguez, 2010).

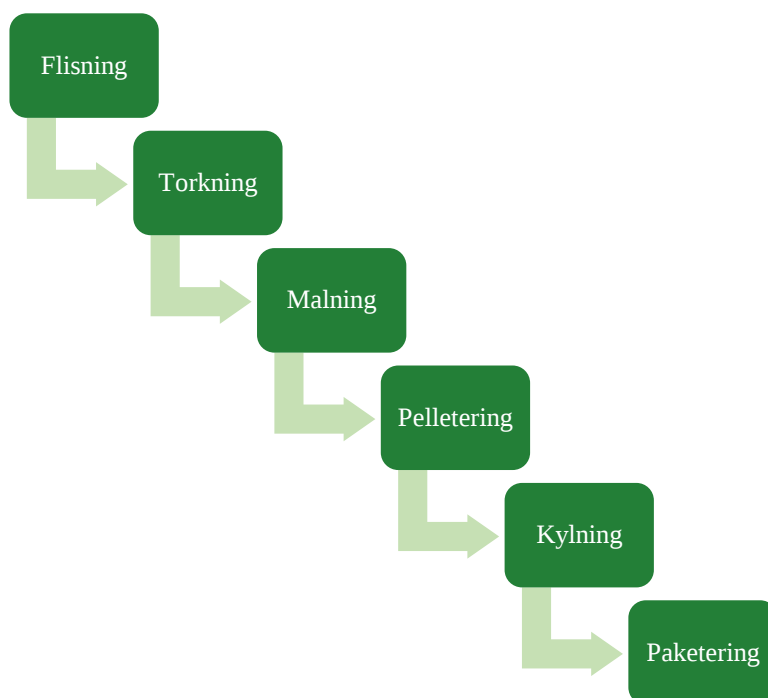
Foster & Dominguez (2010) menar att mycket tyder på en överinvestering i Zambias huvudvägnätverk. Omkring tre fjärdedelar av huvudvägnätverken är asfalterade i landet, vilket är ett av de högsta förhållandena i Afrikas låginkomstländer. Detta samtidigt som vägarna är relativt lågtrafikerade med 736 fordon per dag i genomsnitt (Foster and Dominguez, 2010). Siffran motsvarar ungefär hälften av genomsnittet för en trafikerad väg i resursrika länder. Faktum är att analyser som gjorts snarare påvisar att 65 procent av huvudvägnätverket har en trafiktäthet på mindre än 300 fordon per dag, vilket är den undre gränsen för att motivera en investering i asfalterade vägar (Foster and Dominguez, 2010).

Zambias stora investeringar på huvudvägnätverket sker samtidigt som framkomligheten på landets landsvägar är dålig jämfört med många av deras grannländer (Gwilliam *et al.*, 2008). Endast 21 procent av landets landsvägar anses vara i gott skick, vilket kan jämföras med omkring 60 procent i grannländerna, och hälften av Zambias landvägarna beskrivs vara i dåligt skick (Foster and Dominguez, 2010). I och med det befintliga skicket på landsvägsnätverket i Zambia finns det anledning att flytta uppmärksamheten och resurser från de överinvesteringar som idag görs på de primära vägnätverken.

4.4 Pelletsproduktion

Avsnittet syftar till att ge läsaren en generell överblick av pelleteringsprocessen från råvara till färdig pellets. En övergripande förståelse anses vara tillräckligt för att kunna ta del av studiens

resultat. Tillverkningen av pellets görs i en serie av processer som inkluderar flisning, torkning, malning, pelletering, avkylning och paketering, se figur 4.3. Nedan följer en beskrivning av de enskilda processtegen.



Figur 4.3: De ingående stegen i pelletstillverkningsprocessen.

4.4.1 Sortering

Beroende på vilket ingående material som används vid tillverkningen av pelletsen kan det vara aktuellt att, innan inledandet av pelletstillverkningsprocessen, sortera ut olika föroreningar från det ingående materialet. Syftet med sorteringen är att avlägsna eventuella föroreningar i det ingående materialet och därmed förbygga produktionshaveri (FAO, 2013). Sorteringen av det ingående materialet kan ske på olika sätt, där vanliga metoder är att använda olika typer av vibrationsband och metalldetektorer för att upptäcka och avlägsna föroreningarna.

4.4.2 Flisning

Det första steget i pelletstillverkningsprocessen utgörs av flisning. I flisningsprocessen flisas det ingående materialet ner i mindre flisor på cirka fem till tio centimeter (FAO, 2013). Syftet med flisningen är att minska det ingående materialets storlek samt uppnå en homogen materialstorlek. Den mindre och mer homogena materialstorleken gör materialet mindre skrymmande och lättare att hantera i senare processteg.

4.4.3 Torkning

Andra steget i pelletstillverkningen utgörs av torkning. Syftet med torkningsprocessen är att sänka fukthalten hos den ingående restbiomassan till cirka tio procent. En låg fukthalt är en förutsättning för att tillverka pellets av god kvalitet (Mani *et al.*, 2006). Torkningen kan ske på olika sätt. Vanligt är att använda en värmeväxlare som utnyttjar ånga eller varmvatten för att torka det ingående materialet. Valet av metod beror på hur stor investering aktören är villig att göra. Till exempel har ofta en värmeväxlare som använder ånga en högre initial investeringskostnad, men har också en högre potential till återanvändning av värme vilket

resulterar i en lägre driftskostnad (Thek and Obernberger, 2004). Andra alternativ är att använda spillvärme från andra kringliggande produktionsanläggningar.

Torkningen är på många sätt viktig för pelletstillverkning då fukthalten spelar en avgörande roll för hur väl materialet kan pelleteras. Material med högre fukthalt än 15 procent är mycket svårpelleterat samtidigt som material med för låg fukthalt inte går att pelletera (Monteiro, Mantha and Rouboa, 2012). Utöver detta är torkningen det mest energikrävande processteget under pelletstillverkningen (Thek and Obernberger, 2004). Därav är fukthalten och behovet av torkning hos det ingående materialet kritiskt för hur dyrt och energikrävande materialet är att pelletera. Det får till följd att det ur ett miljömässigt och ekonomiskt perspektiv är viktigt att välja en hållbar energikälla (Selivanovs *et al.*, 2012).

4.4.4 Malning

Efter torkningen förflyttas materialet vidare i produktionskedjan till malningsprocessen. I malningsmaskinen finfördelas det nu flisade och torkade materialet ytterligare till ett mer homogent pulver som är lämpat för pelletering.

4.4.5 Pelletering

Processteget pelletering syftar till att pressa samman det torkade pulverbaterialet till en slutlig pellet. Pelletering sker genom att pulverbaterialet matas in i ett pelletverk även kallad extruder. I extrudern pressas pulvret under högt tryck genom en matrisform med små hål. Det höga trycket i kombination med de friktionskrafter som uppstår då materialet pressas genom formen gör att materialets temperatur ökar. Värmen får lignin (aromatiska föreningar som ingår i växternas cellväggar) i trä materialet att mjukna och träfibrerna att formas om till pellets (Karkania, Fanara and Zabaniotou, 2012). I vissa fall kan även bindemedel adderas till råmaterialspulvret för att öka pelletsens hållbarhet.

4.4.6 Kylning

När pelletsen lämnar pelleteringsmaskinen har de en temperatur på ca 90 till 95 grader Celsius. För att pelletsen ska stabiliseras och bibehålla sin form är det viktigt att kyla pelletsen. Under nedkylningen stelnar ligninet och pelletsens stabilitet ökar. Det vanligaste sättet att kyla pelletsen är genom luftkylning (Karkania, Fanara and Zabaniotou, 2012).

4.4.7 Paketering

Det slutliga steget i tillverkningsprocessen av pellets är att paketera pelletsen för att på så sätt underlätta transport och lagring av pelletsen. Vanligt förekommande sätt är att paketera pelletsen i plastpåsar, bulk, eller i tankar. Prissättningen av pellets baseras ofta på pelletsens vikt med hänsyn till fukthalten (Monteiro, Mantha and Rouboa, 2012).

5 Unika förutsättningar och antaganden

I detta kapitel beskrivs de förutsättningar som ligger till grund för framtagandet av den modell som beskriver produktionskedjan av pellets från restbiomassa av agroforestry. Förutsättningarna i detta kapitel skiljer sig från det som beskrivits i kapitel 4 då de är unika för det som undersökts i denna studie.

5.1 Emerging Cooking Solutions förutsättningar

ECS nuvarande fabrik ligger vid staden Ndola i Copperbeltprovinsen. ECS kunder är lokaliserade både i huvudstaden Lusaka och i Ndola (Emerging Cooking Solutions Sweden AB 2016). En stor del av kunderna befinner sig alltså i närheten av den nuvarande fabriken vilket innebär att transportsträckan till fabriken inte kan minskas genom att flytta den. Mattias Ohlson³ förklarar att ECS avsikt med restbiomassa från agroforestry är att det ska generera minst 500 ton pellets år 2017 och 7 000 ton år 2020. Målet är dock att det ska ge upp till dubbelt så mycket. Företagets nuvarande fabrik har en kapacitet på 300 kilogram per timme, enligt Ohlson⁴. Det kommer alltså krävas investeringar i produktionsutrustning för att uppnå de satta målen.

Idag producerar ECS pellet från sågspån och säljer dessa genom sitt distributionsnätverk. Enligt Simon Andersson⁵, som genomför ett examensarbete för ECS inom pelletering av agroforestryväxter, sker pelletering enligt samma principer oavsett råvara. Därmed väntas en övergång till restbiomassa från agroforestry inte leda till några större förändringar gentemot företagets redan etablerade tillvägagångssätt. Valet av råvara påverkar inte slutprodukten och därmed väntas förpackning och distribution fungera likt ECS nuvarande distributionskedja.

5.2 Aktuell samarbete för produktionskedjan

Sustainable Integrated Land Management Solutions (SILMS) är ett projekt, som drivs av den icke-statliga organisationen SNV, vars syfte är att skapa högre avkastning inom småskaligt jordbruk (SNV, no date). Som en del i SILMS arbete, bedriver organisationen projekt för att få jordbrukare att börja använda hållbara och mer produktiva metoder såsom agroforestry. Som ett första steg i förändringsprocessen måste incitament skapas för att jordbrukarna ska vilja gå över till de nya metoderna. Detta är något som Arend van der Goes⁶, projektledare för SILMS, beskriver svårigheter med då jordbrukarna i Zambia är mycket konservativa i sitt sätt att odla. Vidare beskriver van der Goes att SILMS-projektet även syftar till att ta fram krävda incitament till jordbrukarna. Exempelvis har ett koncept tagits fram som bygger på att *lead farmers* ska börja tillämpa agroforestry. Lead farmers är jordbrukare som har en särskild ställning i samhället. De är framgångsrika, har mycket kunskap inom jordbruk och är dessutom öppna för förändring.

Lyckas SNV övertyga dessa bönder att implementera agroforestry finns en stor möjlighet att andra jordbrukare följer trenden. SNV arbetar även för att skapa incitament genom att

³ Mattias Ohlson CEO Emerging Cooking Solutions Ltd, e-post 27 januari 2017.

⁴ Mattias Ohlson CEO Emerging Cooking Solutions Ltd, e-post 6 april 2017.

⁵ Simon Andersson Student Karlstad Universitet, Skype 27 januari 2017.

⁶ Arend van der Goes Project Manager SNV Netherlands Development Organisation, Skype 14 mars 2017.

implementera agroforestry på viss åkermark som demonstration. Jordbrukarna kan då jämföra odlingsresultatet när agroforestry tillämpats respektive inte tillämpas och förhoppningsvis förstå vilka fördelar som agroforestry medför.

SILMS är ett treårigt projekt som preliminärt löper fram till och med 2018, men som kan komma att förlängas. Projektet bedrivs i Zambias östra provins, i de två distrikten Katete och Lundazi⁷. I Katete finns omkring 8090 jordbrukare som är involverade i projektet, och ungefär lika många i Lundazi. I dagsläget har inte dessa jordbrukare börjat tillämpa agroforestry, men skulle jordbrukarna välja att odla efter SILMS rekommendationer skulle en stor mängd restbiomassa finnas tillgänglig, som eventuellt skulle kunna användas vid pelletsproduktion. Då skulle ett samarbete mellan ECS och SNV bli mycket framgångsrikt. Detta beror dock på om SNV lyckas skapa de tidigare nämnda incitamenten hos jordbrukarna så de följer SNV:s odlingsmetoder. Samarbetet är dessutom nödvändigt för att realisera produktionskedjan som denna studie har undersökt.

5.3 Undersökt distrikt för produktionskedjan

I studien har information om Katete och i Lundazi funnits tillgängligt. Studien har dock fokuserat på insamlande av restbiomassa från Katete. Detta eftersom van der Goes⁸ beskriver att beräkningar visar på att om projektet SILMS lyckas och alla jordbrukare implementerar agroforestry, kommer det finnas tillräckligt med restbiomassa enbart i Katete. Vidare är Katete mindre till ytan än Lundazi vilket gör att antaganden om hur utspridda jordbrukarna är blir en mindre felkälla. Bortsett från arealen har de båda distrikten i flera avseende likande attribut såsom transportsträcka till ECS nuvarande fabrik i Ndola. Detta gör att samma beräkningsmetodik som tillämpas på Katete till största del även kan appliceras på Lundazi. Beroende på var i Katete restbiomassan upphämtas varierar transportsträckan till fabriken. En genomsnittlig sträcka på 800 kilometer (Google, no date) uppskattas dock vara tillräckligt precist för att kunna beräkna transportkostnader. Det zambiska jordbruksdepartementet har delat in Zambia i så kallade *agricultural camps*. Arend van der Goes⁶ beskriver att Katete består av 20 *agricultural camps* men endast tre av de ingår i SILMS.

5.4 Tillgänglig mängd restbiomassa och dess egenskaper

Den genomsnittliga gårdsstorleken tillhörande jordbrukarna i SILMS har estimerats till ett spann på 1,5 till 4 hektar. Vid fullskalig implementation av agroforestry på en gård, förklarar Arend van der Goes⁸ att varje hektar kan generera två ton restbiomassa per år, lågt räknat. Detta innebär att en genomsnittlig gård kan generera tre till åtta ton restbiomassa varje år. Om samtliga jordbrukare lyckas implementera agroforestry kan 24 270 till 64 270 ton restbiomassa per år förväntas finnas tillgängligt, enbart i Katete. Detta är en siffra som potentiellt skulle kunna vara ännu högre. Siffran är lågt estimerad samtidigt som vissa jordbrukare har fler än en gård som skulle kunna generera restbiomassa. Dock förutsätter detta att spill, exempelvis i form

⁷ Godfrey Kundhlande Agricultural/Natural Resources Economist World Agroforestry Centre (ICRAF), e-post 5 april 2017

⁸ Arend van der Goes Project Manager SNV Netherlands Development Organisation, Skype 14 mars 2017.

av jordbrukare som använder restbiomassan som djurfoder, inte förekommer i någon större skala.

Jämfört med ECS nuvarande råvara, sågspån, kräver restbiomassa ytterligare förädlingssteg i form av flisning innan den går att pelletera. Färsk biomassa har en densitet av 160 kilogram per kubikmeter och en fukthalt på 50 till 60 procent medan flisad biomassa har en densitet runt 260 kilogram per kubikmeter med bibehållen fukthalt (FAO, 2013).

5.5 Insamling av restbiomassa

Ett potentiellt problem med det tänkta systemet för pelletsproduktion är att restbiomassan finns utspridd på många olika platser, det vill säga på varje gård. Detta kan innebära svårigheter vid insamlingen av restbiomassan eftersom transporterna blir avsevärt längre om de måste gå via ett stort antal punkter. Eftersom vägnätverket i östra provinsen är lågt utvecklad, som redovisas i avsnitt 4.3, ökar vikten av att minimera transportsträckan vid insamlingen för att minimera kostnaderna. För att minimera transportkostnaderna bör systemet bestå av platser där en större mängd restbiomassa aggregeras, så kallade uppsamlingsplatser.

Arend van der Goes⁹ beskriver att en uppskattning är framtagen av SNV där jordbrukarna själva kan transportera restbiomassa fem kilometer för att nå en uppsamlingsplats. Lastbilstransporterna behöver då inte åka mellan ett flertal gårdar utan endast mellan fabrik och uppsamlingsplatser. Uppsamlingsplatserna fungerar alltså som brytpunkter vilket skapar en transportkorridor mellan uppsamlingsplats och fabrik. Enligt Mattias Ohlson¹⁰ på ECS bör uppsamlingsplatserna placeras vid större vägskal så större lastbilar kan hämta upp restbiomassan. Ohlson menar att kravet för att en uppsamlingsplats ska vara lönsam är att den ska samla in tillräckligt med restbiomassa för att kunna fylla en lastbilstransport. Uppfyller inte uppsamlingsplatsen kravet är det inte lönsamt för en lastbil att hämta restbiomassa från platsen.

Växterna som används vid agroforestry beskärs ungefär en gång per år. Godfrey Kundhlande¹¹ förklarar att huvudsaklig beskärning sker precis innan plantering av skördeväxter, det vill säga strax innan den varma regnperioden som börjar i slutet på november, se figur 4.1. Följaktligen uppstår två tänkbara scenarion, antingen måste insamlingen ske under en kort tidsperiod eller så måste restbiomassan lagras på jordbrukarnas gård och succesivt transporteras i mindre mängder. Det första alternativet kan vara problematiskt då jordbrukarna kan ha svårt att transportera stora mängder restbiomassa under en kort tidsperiod. Det kan också vara problematiskt eftersom systemet då inte kommer hålla ett jämnt flöde vilket kan hämma systemets produktivitet (Schmenner and Swink, 1998). Med det andra alternativet undviks dessa problem men ställer som sagt krav på att jordbrukarna ska kunna lagra restbiomassan. Att lagra restbiomassa hos jordbrukarna kan dock leda till andra typer av problem. Exempelvis bör restbiomassa skyddas mot regn under lagringstiden minimera ökad fukthalt i materialet.

⁹ Arend van der Goes Project Manager SNV Netherlands Development Organisation, Skype 14 mars 2017.

¹⁰ Mattias Ohlson CEO Emerging Cooking Solutions Ltd, e-post 6 april 2017.

¹¹ Godfrey Kundhlande Agricultural/Natural Resources Economist World Agroforestry Centre (ICRAF), e-post 5 april 2017.

5.6 Kostnad för lagerhållning

Vid kostnadsberäkningarna i modellen tas ingen hänsyn till kostnader för att lagerhålla varor, de så kallade lagerkostnaderna (Jonsson and Mattson, 2016b). Efter rådgivning från Johanna Linder¹², som har lång erfarenhet av att arbeta med logistik i utvecklingsländer, togs ett beslut om att inte räkna på dessa kostnader i studien. Linder menar att till skillnad från beräkningar av logistiklösningar i västvärlden finns ofta många andra osäkerheter kopplade till kostnadsberäkningar i utvecklingsländer. Det blir därför inte så betydelsefullt att göra exakta beräkningar på logistiska modeller i ett land som Zambia. Det är därför inte av största relevans att uppskatta kostnader för att lagerhålla en vara, utan snarare att uppskatta grundläggande kostnader för att äga varan. Att beräkna lagerkostnader skulle dessutom öka komplexiteten hos den framtagna modellen samtidigt som värdet hos godset i fråga inte är särskilt högt.

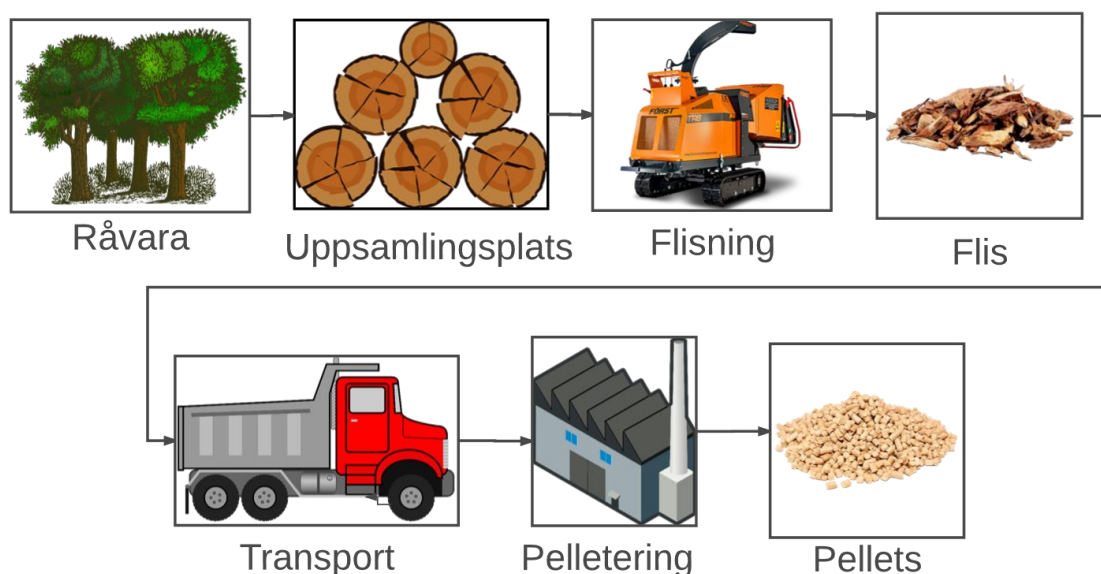
12 Johanna Linder, Supply Chain Responsible Läkare utan gränser, e-post 10 april 2017.

6 Framtagen modell och beräkningar

I detta kapitel introduceras uppbyggnaden av den modell som beskriver produktionskedjan för pelletsproduktion. Inledningsvis följer en text om modellen i sin helhet, därefter följer en beskrivning av viktiga faktorer i modellen. Slutligen ges en ingående beskrivning de enskilda delarna av modellen samt beräkningar som genomförts i varje del.

6.1 Schematisk beskrivning av modellen

Modellen byggdes med de systempåverkande aspekterna samt de unika förutsättningarna och antagandena som grund. Modellen är uppdelad i fyra delar: Uppsamlingsplats, flis, transport och fabrik. En schematisk översikt av den tänkta förädlingskedjan presenteras i figur 6.1.



Figur 6.1: Bilden en beskriver en schematisk översikt av den tänkta förädlingskedjan för att tillverka pellets av restbiomassa från agroforestry.

Grundförutsättningen till förädlingskedjan utgörs av jordbrukarna som ingår i SILMS och tillämpar agroforestry. Jordbrukarna bidrar med den ingående restbiomassan i förädlingskedjan.

Uppsamlingsplats: Det första förädlingssteget i kedjan utgörs av ett antal uppsamlingsplatser. Uppsamlingsplatserna kommer fungera som en handelsplats mellan jordbrukarna och ECS där jordbrukarnas restbiomassa byts mot pellets. Syftet med uppsamlingsplatserna är också att aggregera restbiomassan från ett antal utspridda jordbrukares gårdar för att på så vis effektivisera och reducera kostnaden för upphämtning av restbiomassan. Transporten från de enskilda gårdarna till uppsamlingsplatserna utförs av jordbrukarna själva. Antalet och utplaceringen av uppsamlingsplatser baseras på böndernas geografiska placering samt tidigare beskrivna tidsram för att hämta restbiomassan.

Flisning: Syftet med flisningen är att underlätta för vidare hantering av restbiomassa samt möjliggöra senare processteg i fabriken. Antalet flisar som krävs påverkas av den tidigare beskrivna tidsbegränsningen för insamlingen av restbiomassan samt produktionsvolym.

Transport: För att förflytta restbiomassan från de geografiskt spridda uppsamlingsplatserna i Katete till ECS fabrik i Ndola krävs transporter. Transporterna sker med lastbil där kostnaden kommer variera beroende på antalet uppsamlingsplatser samt transportsträcka.

Fabriken: Det slutliga steget i den konceptuella modellen utgörs av pelletering av den flisade råvaran i ECS fabrik. I fabriken sker tidigare nämnda pelletering i steg enligt tillverkningsprocessen för pellets.

I figur 6.1 presenteras aktiviteterna i förädlingskedjan i en viss ordning. Det är dock även möjligt att ändra den inbördes ordningen för två aktiviteter. Flisning är inte bunden till en specifik plats i den tänkta förädlingskedjan och kan därmed ske antingen innan eller efter transport. Samma sak gäller för pelletering, som också kan förflyttas och utföras innan eller efter transporten beroende på lokaliseringen av ECS fabrik. Genom att variera den inbördes ordningen för aktiviteterna i förädlingskedjan på detta sätt erhålls olika möjliga varianter av förädlingskedjan.

6.2 Faktorer

I varje del av modellen har faktorer som är viktiga för att kunna beräkna kostnaden för delen identifierats. Faktorer kan liknas vid variabler som kan anta olika värden eller nivåer. Faktorerna har delats in i två kategorier, kallade design- respektive osäkerhetsfaktorer. Kategorin designfaktorer kan delas upp i två undergrupper, faktorer som påverkar flera delar av modellen respektive faktorer som endast påverkar en enskild del. Faktorerna som påverkar flera delar av modellen beskrivs under rubriken övergripande designfaktorer.

6.3 Ersättning för restbiomassa

En möjlig form av ersättning till jordbrukarna för deras restbiomassa är pellets. Denna byteshandel mellan jordbrukarna och ECS kan vara mer gynnsam för båda parter än om jordbrukarna får monetär ersättning. ECS undviker då att behöva ha tillgång till en stor mängd likvida medel. För en fungerande byteshandel krävs dock ett system som säkerställer att jordbrukarna får rätt mängd pellets i förhållande till hur mycket restbiomassa de bidrar med. Exakt hur mycket pellets en jordbrukare ska få för en given mängd råmaterial beror framförallt på i vilken utsträckning de värdesätter pellets, vilket legat utanför ramen för denna studie att undersöka.

Då jordbrukarnas ersättning är en viktig del för att kunna genomföra en totalkostnadsanalys av systemet har ett antagande varit nödvändigt att göras. Antagandet har gjorts, i samverkan med SNV och ECS, att jordbrukarna i genomsnitt får en årsförbrukning pellets för att bidra med restbiomassa under samma period. Mängden pellets som jordbrukarna får i ersättnings har uppskattats till 38 procent av den totala produktionsvolymen (för beräkning se appendix A). I ett verkligt system bör administration finnas som säkerställer att jordbrukare får den utlovade mängden pellets för sin restbiomassa.

6.3.1 Designfaktorer

En designfaktor är en variabel i modellen som styr utformningen av förädlingskedjan. Variation av designfaktorer motsvarar olika val som kan göras vid konfigurationen av förädlingskedjans olika delar. Att variera designfaktorer ligger i linje med Chungs teori om

experimentell design (se kapitel 2). De olika designfaktorerna för den tidigare beskrivna modellen presenteras i Tabell 6.1 nedan.

Tabell 6.1: Modellens designfaktorer

Designfaktor	Nivåer	Delar av modellen som faktorn inverkar på
Antalet uppsamlingsplatser	80 UP 46 UP 12 UP 5 UP 5 UP	Del I - Uppsamlingsplatser
Transportsträcka	800 km 100 km	Del III – Transporter
Tillstånd på materialet i transporter	Råmaterial Flis Pellets	Del III – Transporter (Används även för modellera fabriken och flisens plats i)
Fukthalt på ingående material	Hög (60 %) Låg (60 %)	Del IV – Produktionsanläggning
Storlek på pelletsverk	Stort (3 ton per timme) Litet (1,2 ton per timme)	Del IV – Produktionsanläggning
Insamlingstid	Tolv månader Sex månader En månad	Del I - Uppsamlingsplatser Del II – Flisning av råmaterial
Produktionsmål	14 000 ton per år 7 000 ton per år 500 ton per år	Del I - Uppsamlingsplatser Del II – Flisning av råmaterial Del III – Transporter Del IV – Produktionsanläggning

Framtagandet av olika värden på designfaktorerna gör att faktorerna kan kombineras med varandra på många vis. Istället för att ha en modell med enbart en uppsättning av värden kan modellen alltså konfigureras på ett stort antal sätt. Därav representerar olika nivåer av faktorerna olika scenarion för produktionskedjan. Exempelvis representerar olika värden på designfaktorn ”Det transporterade materialets tillstånd” olika placering av flis och fabrik vilket beskrevs ovan i avsnitt 6.1. Att kunna konfigurera modellen möjliggör således jämförelser mellan olika möjliga produktionskedjor.

6.3.1.1 Övergripande designfaktorer

Övergripande designfaktorer är faktorer som ingår i och påverkar flera delar i produktionskedjan. I den framtagna modellen finns två övergripande design faktorer. Den första övergripande designfaktorn är produktionsmål. I linje med ECS mål för mängden pellets som ska genereras från agroforestry har tre produktionsmål tagits fram: 500, 7 000 och 14 000 ton pellets per år. Designfaktorn modellerar den mängd pellets av restbiomassa från agroforestry som ska kunna säljas efter år 2020. Som det beskrevs i avsnitt 5.6 ska 38 procent av den producerade volymen pellets ges till jordbrukarna i ersättning. Den producerade volymen är alltså högre än produktionsmålet. Produktionsmålen utgör indata till samtliga delar i modellen och kommer därmed påverka samtliga delar i produktionskedjan.

Den andra övergripande designfaktorn är insamlingstiden, det vill säga under hur många månader på ett år som restbiomassan samlas in. Insamlingstiden avgöra alltså hur många

månader jordbrukare har på sig att lämna in restbiomassan. I avsnitt 5.5 beskrevs att insamlingen antingen kan ske under en kort eller lång period. Faktorn har därför följande tre värden: 1, 6 och 12 månader per år. Insamlingstiden påverkar inte alla delar av produktionskedjan, utan endast uppsamlingsplats och flis.

6.3.2 Osäkerhetsfaktorer

Som en konsekvens av osäkerheten i vissa indata har ett antal kostnader beräknats med två olika metoder får att testa huruvida metoden har inverkan på modellen. Osäkerheten mäts genom att analysera hur känsliga utdata från modellen är beroende på nivån på osäkerhetsfaktorn. Om stora förändringar sker i utdata beroende på osäkerhetsfaktorns nivå är faktorn i fråga förknippad med en osäkerhet. Modellens två osäkerhetsfaktorer presenteras i tabell 6.2.

Tabell 6.2: Modellens osäkerhetsfaktorer

Osäkerhetsfaktor	Nivåer	Delar av modellen som faktorn inverkar på
Kostnad för uppsamlingsplatser	Dyr Billig	Del I - Uppsamlingsplatser
Kostnad för transporter	Dyr Billig	Del III – Transporter

6.4 Utdata från modellen

För varje del av modellen beräknades de operationella kostnaderna per år. De operationella kostnaderna för varje del av modellen summerades sedan för alla tänkbara kombinationer av nivåer på design- och osäkerhetsfaktorer. Vissa kombinationer sällades dock bort då de inte betraktades som genomförbara i ett verkligt system. Dessa kombinationer är alltså otillåtna. Därefter beräknades ett ekonomiskt resultat per år för alla kombinationer genom att subtrahera kostnaderna från intäkterna varje år. Intäkterna baserades på pelletsens försäljningspris på 220 USD per ton (Emerging Cooking Solutions Sweden AB, 2016). Förutom operationella kostnader är flis- och fabriksdelen även förknippade med investeringskostnader. Summan av dessa investeringskostnader benämns grundinvesteringen.

Resultaten nuvärdesberäknades sedan över en period på tio år med en kalkylränta på 14 procent. Nuvärdet dividerades sedan med grundinvesteringen för att slutligen beräkna kapitalvärdeskvoten. Kapitalvärdeskvoten har alltså beräknats med de diskonterade nuvärdena. Utdata från modellen är följaktligen nuvärde per investerad USD för de olika kombinationerna. Kapitalvärdeskvot valdes för att enkelt kunna jämföra en stor mängd investeringsalternativ med olika grundinvesteringar. Internräntemetoden valdes bort då en metod som relaterar resultatet till grundinvesteringen krävdes. Kapitalvärdeskvot valdes också på grund av att tillgången på kapital ofta är begränsad vid investeringar i subsahariska Afrika (Sacerdoti, 2005). Med hjälp av erhållna kapitalvärdeskvoter kunde en bedömning av den ekonomiska prestationen för varje variant av förädlingskedjan göras.

6.4.1 Kalkylränta

Kalkylräntan som används i modellen för att ta fram respektive kapitalvärdeskvot är satt till 14 procent. Räntan är baserad på de kalkylräntor som använts i två tidigare studier i subsahariska Afrika. Liang (2008) utvärderar investeringar i konstbevattningssystem i subsahariska Afrika

och använder vid beräkningar en kalkylränta på tolv procent. SAPOA (2016) utförde studier av investeringar på fastighetsmarknaden i Zambia och använde då en kalkylränta på 14,4 procent. Baserat på dessa två studier valdes en kalkylränta på 14 procent. Denna kalkylränta ansågs spegla kraven på kompensation för väntan, förlorad köpkraft och risk, det vill säga de tre komponenterna att ta i beaktande vid val av kalkylränta. Osäkerheterna kring val av kalkylräntan i denna studie är dock stor. Den valda kalkylräntan kan därför ses som ett grovt estimat. Hur osäkerheterna kring kalkylräntan hanteras diskuteras i kapitel 9.

6.5 Modellens beståndsdelar

Nedan beskrivs de delar modellen är uppbyggd av. Till skillnad från den schematiska beskrivningen av modellen ges här en mer detaljerad skildring i form av faktorer i de olika delarna samt beräkningar som genomförts i respektive del.

6.5.1 Del I - Uppsamlingsplatser

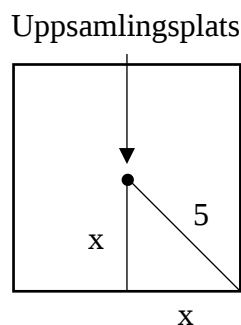
Denna del av modellen syftar till att avspegla användandet av uppsamlingsplatser i produktionskedjan.

6.5.1.1 Designfaktorer

Den unika designfaktorn som identifierats i delen är antal uppsamlingsplatser. Utöver uppskattning av kostnader förknippade med att använda uppsamlingsplatser har därför även estimat på antal uppsamlingsplatser som krävs i systemet tagits fram. Uppsamlingsplatserna påverkas även av den övergripande designfaktorn insamlingstid. Insamlingstiden påverkar uppsamlingsplatserna då den begränsar under hur många månader uppsamlingsplatserna kan utnyttjas. Detta medför att insamlingstiden påverkar kostnaderna för uppsamlingsplatser.

6.5.1.2 Antal uppsamlingsplatser

Beräkandet av antalet uppsamlingsplatser i systemet har framförallt baserats på Katetes areal och den uppskattade sträckan som jordbrukarna kan transportera restbiomassan, det vill säga fem kilometer. Beräkningarna grundas också till viss del i mängden restbiomassa som samlas in. Då uppgifter om jordbrukarnas utspridning inom Katete varit knapp har olika utspridningar använts för att ta fram olika antal uppsamlingsplatser. Först beräknades arean av en yta inom vilken avståndet till en uppsamlingsplats aldrig överstiger fem kilometer, enligt figur 6.2. Denna yta benämns uppsamlingsområde. Avståndet grundas i SNV:s uppskattning av jordbrukarnas möjlighet att transportera restbiomassa på egen hand, enligt kapitel 5. Arealen för ett uppsamlingsområde, $A_{\text{uppsamlingsplats}}$, beräknades med följande formel:



Figur 6.2: Uppsamlingsområde, det vill säga yta där avståndet till en uppsamlingsplats aldrig överstiger fem kilometer.

$$A_{\text{uppsamlingsplats}} = (2 * x)^2 = (2 * \sqrt{\frac{5^2}{2}})^2 = 50 \text{ km}^2$$

x – Se figur 6.2.

Genom att dela in hela Katete i dessa ytor går det med säkerhet att fastställa att fågelvägen från en jordbrukare till en uppsamlingsplats aldrig kommer överstiga fem kilometer, oavsett av var jordbrukaren befinner sig. Denna metod genererade 80 stycken uppsamlingsplatser, med hjälp av följande beräkning:

$$\text{Antal uppsamlingsplatser} = \frac{A_{\text{total}}}{A_{\text{uppsamlingsplats}}}$$

A_{total} – Arealen för det område där restbiomassan samlas in.

$A_{\text{uppsamlingsplats}}$ – Arealen för uppsamlingsområdet, det område som beskrivs i figur X.

A_{total} är i detta fall hela Katetes areal. Efter att ha delat in hela Katetes areal i uppsamlingsområdena beräknades antalet uppsamlingsplatser för en mindre del av den totala arealen. Tanken bakom denna beräkning är att restbiomassa bara kommer samlas in från 3 av 20 *agricultural camps* i Katete. Om alla *agricultural camps* antas vara lika stora fås ett värde där A_{total} är tre tjugondelar av hela Katetes areal, vilket resulterade i 12 uppsamlingsplatser.

Den första metoden, som genererade 80 uppsamlingsplatser, förutsätter maximal utspridning av jordbrukarna inom Katete medan den andra metoden, som gav 12 uppsamlingsplatser, bygger på ett antagande om relativt låg utspridning. Därav kan 80 betraktas som ett högt värde på antal uppsamlingsplatser och 12 som ett lågt. På grund av detta används även medelvärdet av de två värdena, det vill säga 46 uppsamlingsplatser.

De ovan beskrivna beräkningarna av antalet uppsamlingsplatser har tagit hänsyn till att all tillgänglig restbiomassa i Katete är nödvändig för pelletsproduktionen. Detta gäller dock inte då produktionsmålet är 500 ton. Därför har för detta fall även ett scenario med fem uppsamlingsplatser använts vid resultatberäkningarna. Enligt liknande resonemang har även en konfiguration med ett produktionsmål på 500 ton och 80 uppsamlingsplatser uteslutits. Denna konfiguration skulle innebära att varje uppsamlingsplats samlar in mindre restbiomassa än tillräckligt för att fylla en lastbilstransport, vilket är kravet för en uppsamlingsplats som beskrivs i kapitel 5. Exakt kapacitet för lastbilstransporter beskrivs i flöjande avsnitt 6.4.3. Tabellen nedan sammanfattar antal uppsamlingsplatser för de olika produktionsvolymerna.

Tabell 6.3: Sammanställning av antal uppsamlingsplatser för olika produktionsvolymen. Mörk ruta innebär att antalet gäller för produktionsvolymen. Ljus ruta innebär att antalet inte är aktuellt för produktionsvolymen.

Produktionsvolym (ton)	Antal uppsamlingsplatser			
	5	12	46	80
500				
700				
14 000				

6.5.1.3 Kostnader förknippade med uppsamlingsplatser

För att ta fram kostnaden som är förknippad med att använda uppsamlingsplatser har två alternativ tagits fram. Kostnad för uppsamlingsplats är därför en osäkerhetsfaktor. I det ena alternativet hyr ECS mark för uppsamlingsplatsen och betalar lön till personal som krävs för att upprätthålla uppsamlingsplatsen. Kostnader för detta alternativ är löne- och personalkostnad, som är hämtat från Cost of Doing Business in Zambia (Japan International Agency and Zambia development agency, 2011). Kostnaden för en uppsamlingsplats beräknades därför på följande sätt:

$$\text{Kostnad för uppsamlingsplats} = (\text{personalkostnad per månad} * \text{antal personal} + \text{markhyra per månad}) * \text{antal månader}$$

Syftet med det andra alternativet är att återspegla att uppsamlingsplatserna skulle kunna fungera på så sätt att restbiomassan aggregeras hos jordbrukare som är lämpligt lokaliserade. Lämpligt lokaliserade jordbrukare avser jordbrukare som äger mark där sträckan till en större väg är kort. Som ersättning för att lagra restbiomassan på sin gård får dessa jordbrukare en mindre monetär ersättning. Det andra alternativet innefattar därför inte någon kostnad för att hyra mark. I formeln ovan sattes alltså posten markhyra per månad till noll. Ersättningssumman till jordbrukarna baserades på minimilönen i Zambia på 0,7 USD per timme (Government of Zambia, 2012). Antagandet kring lösningen i det billigare alternativet baseras på en intervju

med David Bauner¹³, som är CTO på företaget Renetech AB. Han menade att det sannolikt skulle gå att ta fram en lösning för uppsamlingsplatser som inte är förknippade med några större kostnader. Bauner har många års erfarenhet av arbete i internationella projekt inom förnybar energi. På Renetech har han arbetat i ett projekt som syftade till att producera briketter från restbiomassa till matlagning i Uganda.

6.5.2 Del II – Flisning av råmaterial

Del II innefattar den del av modellen som involverar flisning av råmaterial. I modellen avspeglas att flisningsaktiviteten kan utföras vid antingen uppsamlingsplatserna eller vid fabriken. När flisningen sker vid uppsamlingsplatserna speglar modellen ett system där flismaskiner fraktas mellan uppsamlingspunkterna och flisar råmaterialet. Modellen skiljer dock inte på dessa två fall. Kostnad för flisning vid fabrik har därför satts till samma värde som för kostnad för flisning vid uppsamlingsplatser. Anledning till detta är att tillräcklig data för att uppskatta kostnad för flisning vid fabrik inte funnits tillgänglig. Denna kostnad förmodas dock vara lägre än kostnad för flisning vid uppsamlingsplatser. Detta antagandet grundas i att det troligtvis går att dra nytta av stordriftsfördelar för flisning vid fabrik. Därmed försvinner troligtvis inga kostnader i och med denna förenkling. De enda designfaktorerna för denna del av modellen är därför de övergripande, det vill säga produktionsmål och insamlingstid. Med utgångspunkten att förhindra att flisningsaktiviteten blir en flaskhals beräknades antalet krävda flismaskiner utifrån kapaciteten hos en flis. Beräkningarna utgick från antalet krävda flisar för att flisa en given mängd råmaterial under en given tid.

Flisningskostnaderna består av två poster. Investeringskostnader och operationella kostnader. Investeringskostnaden beror på antalet krävda flisar och de operationella kostnaderna beror på hur mycket som ska flisas.

6.5.2.1 Antal flismaskiner

Antalet flisar i systemet beräknades utifrån antal maskintimmar som krävs för att flisa råmaterialet och tidsintervallet som flismaskinerna kommer arbeta. Antalet maskintimmar varierar med produktionsmålet och tidsintervallet beror på insamlingstiden. Antalet flismaskiner bestäms därför enligt följande ekvationen:

$$\text{Antal flismaskiner} = \frac{\text{Maskintimmar}}{\text{Tidsintervall för flisning}}$$

Antal maskintimmar har beräknats utifrån mängden restbiomassa som måste flisas och sekundärdata på kapacitetsbegränsningen på en flismaskin från *Maskinkompaniet AB* som levererar flisar (Maskinkompaniet AB, no date). Tidsintervallet för flismaskinerna har tagits fram efter antaganden om fyra arbetsveckor per månad och 40 arbetstimmar per vecka. Tidsintervallet tas sedan fram beroende på antal månader som flisning kommer ske.

6.5.2.2 Operationella kostnader

Med följande ekvation kan kostnaden för att flisa en given mängd pellets beräknas:

¹³ David Bauner CTO Renetech AB, Skype 19 mars 2017.

$$\text{Kostnad för } T \text{ ton pellets} = \frac{C \times (B + U) \times T}{K}$$

B – Bränsleförbrukning [liter/h]

U – Maskinens underhållskostnad [USD/h]

K – Kapacitetsbegränsning, restbiomassa [ton/h]

T – Produktionsvolym [ton]

C – Utbyteskvot (Se appendix A)

Parametrarna har tagits fram och beräknats med hjälp av sekundärdata. Bränsleförbrukningen och kapacitetsbegränsningen har tagits fram från Maskinkompaniet (Maskinkompaniet AB, no date).

Underhållskostnaden i framtagna kostnadsmodell baseras på Thek och Obernbergers (2004) metod för beräkning av underhållskostnad vid pelletsproduktion i Österrike och Sverige. Underhållskostnaden beräknas genom att ta fram en procentsats av investeringskostnaden och slå ut kostnaden på antal maskintimmar som flisen används. För att räkna om vikten restbiomassa till motsvarande vikt i pellets har en utbytesfaktor tagits fram genom beräkningar som tar hänsyn till volym- och fuktförändringen i materialet vid pelletering, se appendix A.

6.5.2.3 Investeringskostnader

De investeringskostnader som beräknats för flisning är uteslutande inköpskostnader för flismaskinerna. Inköpskostnaden för en flis baseras på priset på en ny flismaskin som drivs på diesel. Kapaciteten på flisen, för vilken inköpskostnader tagits fram, är samma som vid beräkning av de operationella kostnaderna. Anledningen till att diesel valts som bränsle är för att enkelt kunna hantera maskinen ute på uppsamlingsplatserna där tillgång på el med största sannolikhet är begränsad. För att hantera osäkerheter med variation vid inköpspris har en dyrare flismaskin valts för att inte riskera att räkna med en för låg kostnad.

6.5.3 Del III – Transporter

Jordbrukare som är aktuella för samarbete med ECS befinner sig i dagsläget en genomsnittlig sträcka på cirka 800 kilometer från ECS fabrik i Ndola. Denna del av modellen omfattar hur dessa transporter kan ske och hur kostnaderna för dem har beräknats. Delen har två designfaktorer: transportsträcka och det transporterade materialets tillstånd.

6.5.3.1 Designfaktorer

Då transportsträckan förmodades ha stor inverkan på den totala kostnaden i modellen har två olika sträckor använts. Faktorns höga nivå, 800 kilometer, valdes utifrån avståndet mellan Katete och ECS nuvarande fabrik i Ndola. Sträckan 100 kilometer valdes som låg nivå då det är en lätthanterlig siffra och en klart kortare distans. För att ta hänsyn till att transporterna inte lastas fullt vid framkörning har en positioneringssträcka på 50 procent av totalsträckan använts. Vid beräkningar av transportkostnader adderas positioneringssträckan med transportsträckan för att erhålla den totala transportsträckan.

I modellen testas olika produktionskedjor där flisningen och pelletsproduktionen sker på olika platser. Detta medför tre möjliga tillstånd hos det transporterade materialet: oflisad restbiomassa, flisad restbiomassa samt färdigproducerad pellets. Transporter av råmaterial innebär att flisning sker vid fabriken och transport av flis innebär att flisning sker vid uppsamlingsplatserna. När det sker transporter av pellets antas produktionsanläggningen ligga

nära råvaran och färdiga pellets transporteras den aktuella sträckan. I fallet med 800 kilometer kan det visualiseras som att fabriken ligger i Katete och samtliga pellets transporteras bort till slutkunder i Ndola. Beroende på om restbiomassan transporteras oflisat, flisat eller pelleterat kommer transportkostnaden att påverkas. Flisat och pelleterat material har en högre densitet vilket leder till en högre fyllnadsgrad och sänkta transportkostnader.

6.5.3.2 Transportkostnader

För att beräkna transportkostnaderna har två olika beräkningsmetoder använts. Syftet är att kunna utföra en känslighetsanalys av transportkostnaden som vid transporter i Afrika är fluktuerande och svår att fastställa. Dagliga fasta kostnader kan exempelvis variera trefaldigt från 21 till 73 USD (Teravaninthorn & Raballand 2009). De två olika beräkningsmetoderna ger olika kostnad för samma transporttyp och används därför till att modellera en osäkerhetsfaktor. Följande två källor har använts: *Logistics Cost Study of Transport Corridors in Central and West Africa* av Nathan Associates Inc (NAI) (2013) och *Transport Prices and Costs in Africa* av Teravaninthorn och Raballand (2009) på World Bank. I de båda använda transportkostnadsmodellerna har det antagits att transporterarna köps in som en tjänst. Att modellera ett scenario där företaget investerar i en egen lastbilsflotta ansågs vara för krävande i förhållande till hur säker modelleringen förmodligen skulle vara. Transportkostnader baserade på NAI är generellt sätt lägre än de baserade på Teravaninthorn och Raballand. Transportkostnader från NAI är därför det låga värdet på osäkerhetsfaktorn transportkostnad medan Teravaninthorn och Raballand är det höga.

6.5.3.3 Transportkostnader utifrån Teravaninthorn och Raballand

Teravaninthorn och Raballand (2009), på World Bank, har beräknat transportkostnaden i USD per kilometer baserat på sträckan Lusaka i Zambia till Dar-es-Salaam i Tanzania. Transportkostnaden beräknad av Teravaninthorn och Raballand har därefter använts för att estimerar kostnaderna för transporterarna i den framtagna modellen. Teravaninthorn och Raballand (2009) hävdar att transporter i Afrika nästan alltid utförs med överlastade lastbilar och att vikten därmed spelar mindre roll. Kostnaden baseras därför enbart på sträckan och avser en fullastad, alternativt överlastad, lastbil.

Då flisad och oflisad restbiomassa transporteras är det volymen som har satt gränsen för hur mycket som kan lastas på varje lastbil och således hur många lastbilar som krävs. I Teravaninthorn och Raballand (2009) gäller kostnaderna för en fullastad lastbil med lastkapaciteten 30 ton. En lastbil med lastkapacitet på 30 ton har en lastvolym på 110 kubikmeter (NTM 2008). När transportkostnaderna har beräknats med hjälp av uppgifter från Teravaninthorn och Raballand (2009) antas alltså lastbilarna ha en maxviktskapacitet på 30 ton och en maxvolymkapacitet på 110 kubikmeter. Antalet lastbilar krävda för att transportera restbiomassan multipliceras sedan med transporterad sträcka samt kilometerpriset för att erhålla transportkostnaden, vilket illustreras i formeln nedan.

$$TTK_{WB} = \frac{(Vikt \times 1\,000)/\rho}{V} \times Sträcka \times (1 + PS) \times KK_{WB}$$

TTKWB – Totala transportkostnader World Bank [USD]

Vikt – Transporterad vikt [ton]

ρ – densitet [kg/m³]

V – lastvolym [m³]

Sträcka – transporterad sträcka [km]

PS – positioneringssträcka

KKWB – Kilometerkostnad enligt Teravaninthorn och Raballand på World Bank [USD/km]

När pellets transporteras är det vikten, istället för volymen, som avgör hur mycket som kan lastas på varje lastbil. Detta på grund av att pellets har högre densitet än både restbiomassa och flis. Därmed avgör vikten hur många lastbilar som krävs för att transportera en årsproduktion av pellets. I detta fall har följande formel istället använts:

$$TTK_{WB} = \frac{Vikt \times 1\,000}{M} \times Sträcka \times (1 + PS) \times KK_{WB}$$

TTKWB – Totala transportkostnader World Bank [USD]

Vikt – Transporterad vikt [ton]

M – Max vikt för lastbil [kg]

Sträcka – transporterad sträcka [km]

PS – positioneringssträcka

KKWB – Kilometerkostnad enligt Teravaninthorn och Raballand på World Bank [USD/km]

6.5.3.4 Transportkostnader utifrån Nathan Associates Inc

Nathan Associations Inc:s rapport är baserad på en fallstudie där 1000 ton ris transporteras med fordon köpta i andra hand. Transportkostnaderna är beräknade utifrån transporter längs fem transportkorridorer i Västafrika: Abidjan till Bamako, Abidjan till Ouagadougou, Cotonou till Niamey, Douala till Ndjamenä och Douala till Bangui. Längden på dessa korridorer varierar från 990 till 2000 kilometer. Med hjälp av uppgifterna från rapporten av Nathan Associates, har först en kostnad i USD per ton-kilometer beräknats. Denna kostnad har därefter multiplicerats med transporterad vikt och transportsträcka för att erhålla slutgiltig transportkostnad, vilket visas i formeln nedan.

$$TTK_{NAI} = TK_{NAI.Medel} \times Sträcka \times (1 + PS) \times Vikt$$

TTKNAI – Totala transportkostnader NAI [USD]

TKNAI.Medel – Medelvärde av transportkostnader baserad på rapport från NAI [USD/(ton×km)]

Sträcka – Transporterad sträcka [km]

PS – positioneringssträcka

Vikt – Transporterad vikt [ton]

6.5.4 Del IV – Produktionsanläggning

Den sista delen av modellen består av produktionsanläggningen. Designfaktorerna består av storleken på pelletverket och fukthalt på pelletsråvaran.

6.5.4.1 Designfaktorer

Två olika typer av pelletverk studerades. Det ena verket har en maximal produktionskapacitet på 1,2 ton per timme och det andra en maximal produktionskapacitet på tre ton per timme. Valet av verk baseras på två kriterier. Det ena kriteriet utgjordes av att ECS i dagsläget har begränsade ekonomiska resurser och håller succesivt på att skala upp sin verksamhet. Därav är det av

intresse att undersöka pelletverk med olika produktionskapacitet då de är förknippade med olika stor initial investering. Det andra kriteriet är att olika storlekar krävs för att kunna uppnå de olika produktionsmålen.

I kapitel 4 beskrevs att torkkostnaden i många fall är avgörande för de totala kostnaderna av en pelleteringsprocess. Torkkostnaden beror främst på det ingående materialets fukthalt. Av denna anledning valdes även fukthalten hos råvaran, då den går in pelleteringsprocessen, som en designfaktor. En hög nivå på 60 procent valdes då det är denna fukthalt restbiomassan har när den beskurits¹⁴. En låg nivå på designfaktorn sattes till 10 procent då det är denna fukthalt råmaterialet måste ha för att kunna pelleteras. Det låga värdet skulle i ett verkligt system motsvara att råmaterialet får torka i solen innan den går in i pelleteringsprocessen.

6.5.4.2 Produktionskostnader

Beräkningar av kostnader för pelleteringsanläggningen nyttjar metoder använda i en studie av Thek & Obernberger (2004). I studien jämförs investeringar i pelletsanläggningar i Sverige och Österrike med varandra. Rapporten presenterar noggranna beräkningsgångar samt kostnader för investeringar i samtliga delar av ett pelleteringsverk. Det är dessa modeller som tillämpas i följande beräkningar för investering och operationella kostnader för ett pelletverk. För att säkerställa kvaliteten i Thek och Obernberger jämfördes deras studie med andra studier inom samma eller liknade områden. Siffror för storlek på investeringar och kostnader per producerat ton pellets jämfördes med Mani et al. (2006) samt Monteiro et al. (2012). I dessa rapporter studeras kostnaderna för pelletverk i USA respektive Portugal. Rapporterna kommer fram till kostnader som ligger i linje med Thek & Obernberger (2004). Därav anses Thek & Obernberger (2004) som en god källa för modellen och kostnadsuppskattningar för en investering i pelletverk.

Ur Thek och Obernbergers (2004) studie inhämtades maskindata, så som energiförbrukning, servicekostnader och antal arbetande operatörer. Dessa data användes för beräkningar på aktiviteterna (torkning, malning, pelletering och kylning) i pelletstillverkningsprocessen. Vissa justeringar av inhämtade data gjordes för att kalkylerna bättre skulle spegla rådande förutsättningar i Zambia. Exempelvis har kostnader för elektricitet, bränsle samt löner anpassats till nivåer i Zambia. För att göra dessa anpassningar inhämtades landspecifikdata rörande påverkande kostnader så som lönekostnader, elpris och oljepris från externa källor (se Appendix A).

Kostnaden för att torka råmaterialet erhöles genom att beräkna torkens kostnad för olja och el. Första steget i beräkningen var att räkna ut mängden vatten hos materialet. Därefter beräknades den mängd vatten som måste förångas för att reducera det ingående materialets fukthalt till åtta procent, vilket är ett produktionskrav för att kunna tillverka pellets av god kvalitet (FAO, 2013). Den framräknade mängden vatten som måste förångas multiplicerades sedan med den specifika värmekapaciteten för vatten. Den erhållna mängden energi dividerades med energivärdet för olja, vilket gav den krävda mängden olja. Mängden olja multiplicerades slutligen med priset för olja. Elektricitetskostnad för att driva torkens rotationsrörelse beräknades genom att multiplicera

¹⁴ Mattiass Ohlson, VD ECS, e-post 27 januari 2017.

torkens energiförbrukning per timme med elpriset i Zambia. Beräkningen av kostnaden för att torka det ingående materialet redovisas i formeln nedan. Observera att ingen hänsyn har tagits till eventuell energiförlust vid energiomvandlingen från olja till värmeenergi.

$$Torkkostnad \text{ för } T \text{ ton pellets} = \left(\frac{(IV \times (1 - FP))}{(IV - (IV \times IF))} - 1 \right) \times KET \times B \times T$$

IV – Vikt hos det ingående materialet [ton]

IF – Fukthalt hos det ingående materialet [%]

FP – Fukthalt vid pelletering [%]

KET – Kräv energi för att torka ett ton biomassa [J/kg]

B – Inköpspris råolja [USD]

T – Antal producerat ton pellets [ton]

För att beräkna kostnaden för malnings- samt pelleteringsprocessen multiplicerades malningsmaskinen respektive pelleteringsmaskinen elektricitetsförbrukning med det aktuella elpriset i Zambia. Enligt formel nedan:

$$PR = \frac{EF \times EP}{T}$$

PR – Produktionskostnad för malning-, pelletering- eller kylning av T ton pellets [USD]

EF – Energiförbrukning, malnings-, pelleterings- eller kylnings-maskin [kWh]

EP – Aktuellt el-pris i Zambia [kWh]

T – Antal producerat ton pellets [ton]

I fallet med ett 1,2 tons pelletverket luftkyls pelletsen efter pelletering, vilket gör att inga operationella kostnader uppkommer vid kylningsprocessen. Med ett tre tons pelletverk måste dock den färdiga pelletsen kylas med ett kylsystem. Kostnaden för kylsystemet beräknas enligt föregående formel.

Utöver kostnader för torkning, malning, pelletering och kylning beräknades även personalkostnaden för pelletverkets anställda inklusive tillägg för administrativa kostnader och kringkostnader. Slutligen summerades samtliga rörliga kostnadsposter för att beräkna den totala produktionskostnaden för de olika produktionsvolymerna för respektive pelletverk (Se appendix A).

6.5.4.3 Investeringskostnader

Storlek på krävda investeringar i de två studerade pelletverken hämtades från (Thek and Obernberger, 2004) och uppgick till 633 880 USD för ett verk med kapaciteten 1,2 ton per timme och till 2 033 080 USD för en anläggning med kapaciteten tre ton per timme. Dessa två kostnader inkluderar investeringar i torkning, malning, pelletering samt eventuellt kylsystem.

6.5.4.4 Kapacitetsberäkningar

För att kunna avgöra om de givna produktionsmålen (500, 7 000, respektive 14 000 ton) ställde krav på investeringar i ett 1,2 ton eller ett tre tons verk, beräknades den krävda produktionskapaciteten per timme för att nå de tre olika försäljningsmålen med medföljande produktionspåslag för att producera pelletsersättningen till jordbrukarna. Krävd produktionskapacitet per timme beräknades enligt följande formel:

$$\text{Krävd produktionskapacitet per timma} = \frac{FM + (EJ \times FM)}{h_s \times S_d \times d_v \times Ant_v \times \eta}$$

FM – Försäljnings mål

EJ – Ersättning till jordbrukarna som procentuell andel av produktionen

hs – Arbetstimmar per skift

Sd – Antal skift per dag

dv – Antal dagar med produktion per vecka

Antv – Antal veckor med produktion per år

η - utnyttjandegrad

7 Analys av modellens utdata

Detta kapitel innehåller analyser av de utdata som framtagen modell genererat. Kapitlet börjar med en introduktion av analysarbetet. Därefter presenteras två olika typer av analyser som genomförts. I den ena analysen har faktorernas inverkan på modellen undersökts. I den andra har vissa scenarier som kan vara av särskilt intresse för Emerging Cooking Solutions studerats.

7.1 Introduktion till analysen

Totalt genomfördes 2 664 försök med modellen. Det innebär att 2 664 olika varianter av förädlingskedjan testades. Av det totala antalet fall förkastades 1 176 försök på grund av att de har bestått av otillåtna kombinationer, se tabell 7.1. Ett exempel på en otillåten kombination som förkastades är en som inte uppfyller minimikravet på tillgänglig mängd restbiomassa på varje uppsamlingsplats. Efter att de otillåtna kombinationerna förkastats fanns 1 488 fall kvar som var aktuella för vidare analys. I den fortsatta texten kommer alla analyser att utgå från den utdata som genererades av de 1 488 fall som ej blivit förkastade.

Tabell 7.1: Tabellen visar hur många försök som utfördes total, hur många försök som förkastades och hur många försök som sedan var aktuella för analys.

Antal genomförda försök	2 664
Antal förkastade försök	1 176
Antal försök aktuella för analys	1 488

Varje fall, det vill säga variant av förädlingskedjan, som testats genererar en kapitalvärdeskvot. Ju högre kvot desto bättre anses förädlingskedjan prestera. För att kunna se trender i modellens utdata sätts olika gränser på kapitalvärdeskvoten. De två gränser som använts i analysen är 0 och 1,6. Den lägre gränsen är av intresse att studera då den visar hur många fall som har genererat en positiv kapitalvärdeskvot. Den högre gränsen är genomsnittsvärdet av samtliga positiva kapitalvärdeskvoter som erhållits. Vid en jämförelse med den övre gränsen framgår det vilka konfigurationer av modellen som presterar över medel av alla godkända. Med hjälp av de två gränserna går det att se hur många fall som klarar den lägre respektive högre gränsen. Av de 1 488 fallen har 173 en positiv kapitalvärdeskvot. Av dessa har 80 fall en kapitalvärdeskvot större än 1,6.

7.2 Analys av faktorers inverkan på modellen

Analysen utfördes genom att studera hur de 1 488 fallen förhåller sig till de satta gränserna för kapitalvärdeskvoten. Först studerades hur många fall som totalt placerats över respektive gräns. Sedan studerades de enskilda faktorernas inverkan på modellen mer i detalj. Figur 7.1 förklarar tekniken som använts vid denna analys. I kommande underrubriker beskrivs analysen av varje faktor sammanfattande. Först presenteras analysen av de tre faktorer som visat sig ha störst inverkan på modellen, och därför ses som kritiska faktorer. Därefter beskrivs analysen av övriga faktorer. Det har inte gjorts några analyser som gör det möjligt att rangordna de kritiska faktorerna utefter deras inverkan på modellen. Följaktligen presenteras de utan inbördes ordning.

Tillvägagångssätt för att analysera faktorerers inverkan på en modell

Grunderna till tabellen

Till höger syns resultattabellen från en godtycklig beräkningsmodell med prestationsmåttet P.

Modellen har tre faktorer: A, B och C. De tre faktorerna har alla en hög nivå och en låg nivå.

Totalt har 100 fall testats. Det syns längst ner i tabellen där det står ”Totalt antal testade fall”. Samtliga av de hundra fallen har genererat ett P-värde; det som används som prestationsmått.

I resultattabellen till höger syns en situation där det har angivits en gräns för prestationsmåttet P. De fall som har genererat ett P-värde större än gränsen ses som godkända. Med den aktuella gränsen på P-värdet har 20 försök genererat ett P-värde större än gränsen. Det framgår i raden där det står ”Totalt antal godkända fall:”.

Vilken faktor tycks påverka mest?

Nu är det av intresse att veta om någon faktor A, B och C har någon påverkan på systemet som modellerats.

Först studeras faktor A. Det framgår att faktor A ligger på sin höga nivå lika många gånger som den ligger på sin låga nivå för de 20 godkända fallen. I tio av fallen ligger faktor A på en hög nivå, och i tio fall ligger den på en låg nivå.

Eftersom att faktor A ligger på sin höga och låga nivå lika många gånger för den aktuella gränsen går det att tyda att P-värdet för ett försök inte tycks påverkas av vilken nivå faktor A ligger på. Det är lika möjligt att nå upp till gränsen när faktor A är på sin höga nivå som sin låga. Följaktligen innebär det att faktor A inte har en stor påverkan på

		Antal godkända försök med aktuell gräns på prestationsmåttet P
Faktor A	Hög nivå	10
	Låg nivå	10
Faktor B	Hög nivå	1
	Låg nivå	19
Faktor C	Hög nivå	12
	Låg nivå	8
Totalt antal godkända fall		20
Totalt antal testade fall		100

Figur 7.1: Figuren beskriver på ett överskådligt sätt den analysmetod som används för att tolka modellens utdata.

7.2.1 Transportsträckan

I tabell 7.2 blir det tydligt att transportsträckan har en stor inverkan på modellen. För de fall med positiv kapitalvärdeskvot har 22 stycken lång sträcka. Resterande 151 fall har alltså den korta transportsträckan. Av de fall med positiv kapitalvärdeskvot är det alltså betydligt fler som har kort än lång sträcka. Samma sak gäller då gränsen för kapitalvärdeskvot sätts till 1,6. Då är det endast 3 av 80 fall som har den långa transportsträckan. Utifrån denna analys drogs slutsatsen att transportsträckan har stor inverkan på modellen. Vidare går det att se att kapitalvärdeskvoten inte påverkas särskilt mycket av vilken transportkostnadsmetod som används.

7.2.2 Det ingående materialets fukthalt

Utdata från modellen tyder också på att fukthalten materialet har när det går in i pelleteringsprocessen har en stor inverkan på den tänkta produktionskedjan. För den lägre gränsen på kapitalvärdeskvoten är det endast fem fall som har en hög fukthalt och 168 fall har en låg fukthalt. När kapitalvärdeskvotens gräns höjs till 1,6 har inget av de 80 fallen en hög fukthalt. Eftersom det är en stor skillnad mellan antalet fall med låg respektive hög fukthalt som klarar gränserna för kapitalvärdeskvoten antogs fukthalten vara en kritisk faktor.

7.2.3 Produktionsmålet och produktionsvolymen

Modellens resultat i tabell 7.2 indikerar att produktionsmålet har en stark inverkan på förädlingskedjans ekonomiska prestation. Av de fall med positiv kapitalvärdeskvot har inga ett produktionsmål på 500 ton, 53 stycken har 7 000 ton och 120 stycken har 14 000 ton. När gränsen på kapitalvärdeskvoten däremot höjs till 1,6 består fallen enbart av produktionsmål på 14 000 ton. Utifrån detta fastställdes att storleken på produktionsmålet påverkar modellens utdata i hög utsträckning. I tabell 7.2 framgår det även att det i samtliga positiva fall endast går att utnyttja ett stort pelletverk, det vill säga ett pelletverk med en produktionsvolym på tre ton per timme. Detta faller sig dock naturligt då det lilla verket endast kan hantera produktionsmålet 500 ton per år och är för litet för övriga produktionsmål.

7.2.4 Övriga faktorer

Designfaktorer som rör vilket tillstånd materialet är i när det transporteras, antalet uppsamlingspunkter samt antalet månader som transporter och flisning utförs på har förhållandevis liten inverkan på systemet, vilket kan utläsas ur tabell 7.2. Det gäller även osäkerhetsfaktorer för transportkostnader och kostnaderna för uppsamlingspunkter. Dessa design- och osäkerhetsfaktorer uppvisar inget tydligt mönster.

Observera att alternativet med fem uppsamlingspunkter inte ger några fall med en positiv kapitalvärdeskvot. Detta förklaras dock av att alternativet endast har varit aktuellt vid produktionsmålet för 500 ton per år.

Tabell 7.2: Tabellen presenterar en sammanställning av den utdata som har genererats av de 1 488 försök som bestod av godkända kombinationer. Tabellen visar hur faktorerna förhåller sig när gränsen på kapitalvärdeskvoten är 0 respektive 1,6. De försök som utgjorts av otillåtna kombinationer och därför förkastats, sammanställs inte i tabellen.

	Antal godkända försök för given gräns på kapitalvärdeskvot		Antal uteslutna försök för given gräns på kapitalvärdeskvot	
	0	1,6	0	1,6
Gräns på kapitalvärdeskvot	0	1,6	0	1,6
800 km	22	3	722	741
100 km	151	77	593	667
Dyr transport	74	35	670	709
Billig transport	99	45	645	699
Råmaterial	41	21	455	475
Flis	50	28	446	468
Pellets	82	31	414	465
Hög fukthalt	5	0	739	744
Låg fukthalt	168	80	576	664
80 UP	43	22	173	194
46 UP	62	28	490	524
12 UP	68	30	508	546
5 UP	0	0	144	144
Dyr UP	59	25	613	647
Billig UP	114	55	702	761
Tolv månader	43	19	461	485
Sex månader	56	56	400	426
En månad	74	31	454	497
14 000 ton per år	120	80	264	304
7 000 ton per år	53	0	331	384
500 ton per år	0	0	720	720
Stort verk	173	80	883	976
Litet verk	0	0	432	432
Totalt antal godkända fall	173	80	1 315	1 408
Totalt antal testade fall	1 488			

7.3 Intressanta scenarier för Emerging Cooking Solutions

Vidare analyser av resultatet ger insikt i ett antal situationer som anses vara av särskilt intresse för fallföretaget ECS situation. Dessa analyser utfördes genom att fixera en designfaktor på en viss nivå. Alla fall med ett annat värde på designfaktorn plockades alltså bort. Därefter studerades övriga faktorer i fall som uppfyller minst en av de två gränserna för kapitalvärdeskvoten. Dessa analyser visar på vilka krav som ställs på övriga faktorer när en designfaktor inte går att påverka.

7.3.1 Transporter på 800 km

Eventuella fall av intresse för ECS är om sträckan måste vara 800 kilometer. Denna modellering motsvarar ett scenario där ECS har en koncentrerad kundbas i en del av Zambia på ett stort avstånd från jordbrukarna och råvaran. För att konkretisera ytterligare kan det jämföras vid att kunderna befinner sig i Ndola och att jordbrukarna samt råvaran finns i Katete. ECS måste alltså få färdiga pellets att befinna sig 800 kilometer från förädlingskedjans början. Att studera detta fall är intressant då transportsträckan visat sig vara en kritisk faktor, men även då nuvarande transportsträcka mellan ECS fabrik och restbiomassa är 800 kilometer.

För att uppnå en positiv kapitalvärdeskvot måste råmaterial ha låg fukthalt. Det innebär alltså att det måste vara möjligt att sänka fukthalten i det flisade materialet innan det går in i produktionen för att ett system med sträckan 800 kilometer ska kunna resultera i en positiv kapitalvärdeskvot. Utdata från modellen visar också på att det endast går att nå en positiv kapitalvärdeskvot när sträckan är 800 kilometer om det sker transporter av pellets. Det innebär alltså att fabriken måste ligga vid råvaran för att den långa sträckan ska kunna köras.

Vidare blir det tydligt att en transportsträcka på 800 kilometer endast ger positiv kapitalvärdeskvot om produktion och försäljning är av stor volym. I samtliga positiva fall uppgår produktion och försäljning till den högsta av produktionsmålen, det vill säga 14 000 ton. För de tre fall som har sträckan 800 kilometer och uppfyller en kapitalvärdeskvot på minst 1,6 är systemet känsligt för transporternas och uppsamlingpunkternas kostnad. Detta på grund av att för samtliga tre fall ligger faktorerna på sin billiga nivå.

Tabell 7.3: Tabellen visar hur övriga faktorer tedde sig i de fall där sträckan 800 kilometer fixerades och gränsen på kapitalvärdeskvoten var 0 respektive 1,6. Exempelvis visar tabellen att det i 22 fall gick att ha en låg fukthalt och få en kapitalvärdeskvot större än noll då transportererna var på 800 kilometer.

Vad krävs för att:	Köra 800 km	Köra 800 km
Gräns på kapitalvärdeskvot	0	1,6
Hög fukthalt	0	0
Låg fukthalt	22	3
Kör råmaterial	0	0
Kör flisat	0	0
Kör pelleterat	22	3
Dyr transport	8	0
Billig transport	14	3
Dyr UP	5	0
Billig UP	17	3
Tolv månader	5	1
Sex månader	8	2
En månad	9	0
500 ton	0	0
7 000 ton	0	0
1400 ton	22	3
5 UP	0	0
12 UP	8	2
46 UP	8	1
80 UP	6	0
Litet verk	0	0
Stort verk	22	3

Sammanfattningsvis för att ECS ska kunna transportera material 800 kilometer i produktionskedjan, det vill säga från Katete till Ndola, krävs att:

- Fabriken placeras i Katete.
- Det ingående råmaterialet vid pelleteringsprocessen har en lågfukthalt.
- Den hösta prognostiserade försäljningsvolymen uppnås.

Enligt det erhållna resultatet kommer ECS inte kunna nyttja sin nuvarande fabrik i Ndola om råmaterialet för att producera pellets av restbiomassa kommer från agroforestryavfall i Katete.

7.3.2 Hög fukthalt

Då den första analysen även visat på att fukthalt är en kritisk faktor är det intressant att studera vad som krävs av övriga faktorer om fukthalten är hög. Detta kan i verkligheten återspeglas i en situation där det inte är möjligt att sänka fukthalten innan råvaran går in i produktionen, men däremot övriga designfaktorer.

Utdata från modellen gav fem fall med en positiv kapitalvärdeskvot då fukthalten är hög. Av dessa fall har dock ingen en kapitalvärdeskvot högre än 1,6. De fem kvoterna låg mellan 0 och

0,4. I samtliga fall med positiv kapitalvärdeskvot ligger fabriken nära råvaran, transporterna körs alltså med färdig pellets. Det är alltså enligt modellen inte möjligt att ha en hög fukthalt och köra transporter av råmaterial eller flis.

Designfaktorn för transportsträcka är på sin lägsta nivå på 100 kilometer i samtliga fall vilket innebär att det enligt modellen sannolikt inte är möjligt att ha långa transporter uppemot 800 kilometer av något slag när fukthalten är hög. Även produktionsmålet är på sin mest gynnsamma, det vill säga högsta nivå. Produktionsmålet och sträckans nivåer är i linje med teorin om att dessa två är kritiska faktorer.

De fem fall där kapitalvärdeskvoten är positiv är väldigt begränsade då i princip alla faktorer är på sin nivå som är förknippad med lägst kostnad. Detta tyder på att det bör vara av stor vikt för ECS att se till så att fukthalten sänks innan den går in i pelleteringsprocessen. Fukthalten bör kunna sänkas om den får ligga och soltorka, vilket beskrevs i kapitel 6. Detta bör vara genomförbart med tanke på Zambias varma klimat, förutsatt att självtorkningen inte sammanfaller med landets regnperiod.

Tabell 7.4: Tabellen visar hur övriga faktorer tedde då fukthalten var hög och gränsen på kapitalvärdeskvoten var satt till noll respektive 0,4. Exempelvis visar tabellen att det i fem fall gick att ha transporter av pellets få en kapitalvärdeskvot större än noll.

Vad krävs för att:	Ha hög fukthalt (60 %)	Ha hög fukthalt (60 %)
Gräns på kapitalvärdeskvot	0	0,4
Kör råmaterial	0	0
Kör flis	0	0
Kör pellets	5	0
Dyr transport	2	0
Billig transport	3	0
800 km	0	0
100 km	5	0
Dyr UP	0	0
Billig UP	5	0
Tolv månader	2	0
Sex månader	3	0
En månad	0	0
500 ton	0	0
7 000 ton	0	0
14 000 ton	5	0
5 UP	0	0
12 UP	4	0
46 UP	1	0
80 UP	0	0
Litet verk	0	0
Stort verk	5	0

7.3.3 Produktionsmål mindre än 14 000 ton per år

Sen tidigare har det framgått att stora produktionsvolymen har en stark påverkan på prestationsmättet. Det blir därför intressant att se vad som krävs av övriga faktorer för att erhålla positiva kapitalvärdeskvoter för de produktionsmål som inte är 14 000 ton per år. Detta kan i

verkligheten tänkas motsvaras av en situation där ECS eller annan aktör endast har möjligheten att utöka produktionen till 500 eller 7 000 ton per år. Det kan exempelvis vara tillgången på råvara eller en begränsad efterfrågan som sätter den övre gränsen. För att göra denna analys fixeras produktionsmålet till 500 respektive 7 000 ton per år vilket påvisade ett tydligt mönster. Enligt modellen så kommer ett system med ett produktionsmål på 500 ton pellets per år, under inga omständigheter resultera i en positiv kapitalvärdeskvot. Detta även om samtliga övriga faktorer i systemet sätt till de nivåer som innebär lägst kostnader.

För ett produktionsmål på 7 000 ton per år så ger 53 fall en positiv kapitalvärdeskvot, dock är ingen av dessa större än 1,6. Av de positiva fallen är det fukthalten och sträckan som är avgörande, övriga faktorer varierar och uppvisar inte någon tydlig trend. Sammanfattningsvis är det inte ekonomiskt lönsamt för ECS att investera om produktions- och försäljningsvolymen inte överstiger 500 ton per år. Det är däremot möjligt att nå ekonomisk lönsamhet om produktionsvolymen ligger på 7 000 ton per år men detta ställer höga krav på fukthalten och transportsträckan.

Tabell 7.5: Tabellen visar hur övriga faktorer tedde sig för fallen med försäljningsmålen 500 samt 7 000 ton per år och gränsen på kapitalvärdeskvoten var noll respektive 1,6. Exempelvis visar tabellen att det i 53 fall gick att ha en låg fukthalt och få en kapitalvärdeskvot större än noll vid produktionsmålet på 7 000 ton per år.

Vad krävs för att:	500 ton per år	7 000 ton per år	7 000 ton per år	14 000 ton per år
Gräns på kapitalvärdeskvot	0	0	1,6	1,6
Hög fukthalt	0	0	0	0
Låg fukthalt	0	53	0	80
Kör råmaterial	0	11	0	21
Kör flis	0	19	0	28
Kör pellets	0	23	0	31
Dyr transport	0	19	0	35
Billig transport	0	34	0	45
800 km	0	0	0	3
100 km	0	53	0	77
Dyr UP	0	15	0	25
Billig UP	0	38	0	55
Tolv månader	0	9	0	19
Sex månader	0	15	0	30
En månad	0	29	0	31
5 UP	0	0	0	0
12 UP	0	21	0	30
46 UP	0	19	0	28
80 UP	0	13	0	22
Litet verk	0	0	0	0
Stort verk	0	53	0	80

7.3.4 Transportera råmaterial eller flis

I scenariot där fabriken inte kan ligga i närheten av restbiomassan måste transporterna till fabriken innehålla råvara eller flis. Om flisningsaktiviteten är placerad vid uppsamlingsplatserna kommer lastbilarna att transportera flis. Om flisningen däremot sker vid fabriken måste lastbilarna transportera råvara, som har lägre densitet än flis. Dessa scenarier kan vara intressanta för ECS då deras nuvarande fabrik inte ligger nära råvaran. Dessutom är det billigare att transportera pellets än både restbiomassa och flis. Detta då pellets har högre densitet jämfört med både restbiomassa och flis. Genom att fixera faktorn för att köra råmaterial respektive faktorn för att köra flis går det att studera vilka krav som ställs på övriga faktorer.

Det tidigare framtagandet av de kritiska faktorerna visade att kapitalvärdeskvoten inte var särskilt känslig för huruvida transporterna var fyllda med flis eller råvara. Det är ett mönster som fortsätter vara tydligt vid analys av övriga faktorer då transporterna för råmaterial respektive flis fixeras. I 41 av fallen då råmaterial transporterades och 51 av fallen då flis transporteras ger modellen en positiv kapitalvärdeskvot. Det sker alltså inte någon markant ökning av antalet fall med positiv kvot då flisningen flyttas från fabriken till uppsamlingsplatserna. Då gränsen för kapitalvärdeskvot sätts till 1,6 blir sambandet liknande.

Vidare framkommer det att övriga faktorer förhåller sig på liknande sätt för de båda transportscenarierna. För varken råmaterial eller flis är det möjligt att erhålla en positiv kapitalvärdeskvot om inte fukthalten sänks innan torkningsprocessen. I enlighet med framtagna kritiska faktorer är det alltså viktigt att sänka fukthalten och transportsträckan för att kunna utföra transporter av flis eller råmaterial. Det går aldrig heller att ha den långa transportsträckan för varken flis eller råmaterial och få ut en positiv kvot.

Det framgår även att det förmodligen krävs en stor produktionsvolym för att kunna transportera råmaterial eller flis. För 11 av 41 respektive 20 av 51 av de positiva fallen går det att ha ett produktionsmål på 7 000 ton för transporter av råmaterial respektive flis. Däremot har inget av dessa fall en kapitalvärdeskvot över 1,6. Resterande faktorer förhåller sig liknande och ingen tycks vara särskilt avgörande. I det här scenariot tycks alltså systemet inte vara särskilt känsligt för vilken transportkostnadsmetod eller vilken kostnadsmodell för uppsamlingspunkter som används.

Sammanfattningsvis är det kritiskt för ECS eller annan aktör att ha så kort transportsträcka som möjligt och låg fukthalt om förutsättningarna kräver transporter av råmaterial eller flis till fabriken. Enligt modellen kommer det inte att kunna bli ekonomiskt lönsamt om fukthalten är hög eller om sträckan är på 800 km. Detta innebär att ECS enligt modellen inte kommer att kunna nyttja sin fabrik i Ndola för produktion av pellets med råmaterial från Katete.

Tabell 7.6: Tabellen visar hur övriga faktorer tedde sig i de fall där det skedde transporter av råmaterial eller flis och gränsen på kapitalvärdeskvoten var 0 eller 1,6. Exempelvis visar tabellen att det i 41 fall gick att ha en låg fukthalt och kapitalvärdeskvot större än noll vid transporter av råmaterial.

Vad krävs för att:	Köra råmaterial	Köra råmaterial	Köra flis	Köra flis
Gräns på kapitalvärdeskvot	0	1,6	0	1,6
Hög fukthalt	0	0	0	0
Låg fukthalt	41	21	51	28
Dyr transport	14	7	24	14
Billig transport	27	14	27	14
800 km	0	0	0	0
100 km	41	21	51	28
Dyr UP	15	5	19	10
Billig UP	26	16	32	18
Tolv månader	10	6	12	6
Sex månader	13	8	15	10
En månad	18	7	24	12
500 ton	0	0	0	0
7 000 ton	11	0	20	0
14 000 ton	30	21	31	28
5 UP	0	0	0	0
12 UP	15	8	20	10
46 UP	15	7	18	10
80 UP	11	6	13	8
Litet verk	0	0	0	0
Stort verk	41	21	51	28

8 Utsläppsberäkningar och miljöanalys

Följande avsnitt utvärderar den miljömässigt hållbara potentialen i att tillverka pellets av restbiomassa från agroforestry. I avsnittet beräknas koldioxidutsläppen för tillverkning av pellets. Beräkningarna sätts sedan i relation till koldioxidutsläppen för tillverkning och konsumtion av träkol. Avslutningsvis jämförs pellets med träkol utifrån ytterligare hållbarhetsaspekter.

8.1 Utsläppsberäkningar

För att kunna jämföra pelletsens miljöpåverkan med träkolets genomfördes beräkningar av pelletsproduktionens koldioxidutsläpp. Beräkningarna inleddes med att de produktionsaktiviteter som orsakar koldioxidutsläpp i förädlingskedjan från råvara till färdig produkt identifierades. Eftersom en större del av Zambias elektricitet idag generas genom vattenkraft (Aregheore, 2009) gjordes antagandet att den el som används för att driva fabriken maskiner kommer från vattenkraft och därmed inte medför några koldioxidutsläpp. Baserat på detta antagande kvarstod tre koldioxid drivande aktiviteter att undersöka: utsläpp vid flisning av restbiomassa, utsläpp under transport av restbiomassa samt eldning av råolja vid torkning av restbiomassan. Utsläppen vid produktion av ett kilogram pellets beräknades för de tre aktiviteterna och summerades därefter för att erhålla det totala koldioxid utsläppet vid produktion av ett kilogram pellets. Formler för att beräkna koldioxidutsläppen för flisning, transport och torkning av ett kilogram pellets presenteras nedan:

$$\text{Koldioxidutsläpp vid flisning av ett kg restbiomassa} = \frac{B \times E \times Q}{K}$$

K – Kapacitet flis [Kg/h]

E – Krävd mängd restbiomassa för att producera ett kilogram pellet

B – Bränsleförbrukning flismaskin [L/h]

Q – Koldioxidutsläpp per liter bränsle [kg/L]

$$\text{Koldioxidutsläpp vid transport av ett kg restbiomassa} = \frac{B \times \eta \times S \times Q}{V \times E}$$

B – Bränsleförbrukning flismaskin [L/mil]

η – Transportens fyllnadsgrad [%]

S – Transportsträckan [mil]

Q – CO₂ utsläpp per liter bränsle [kg/L]

V – Transport vikt

E – Krävd mängd restbiomassa för att producera ett kilogram pellet

$$\text{Koldioxidutsläpp vid torkning av ett kg restbiomassa} = \frac{B \times Q}{V}$$

B – Bränsleförbrukning trumtork [L/år]

V – Årsproduktion av pellets [kg/år]

Q – CO₂ utsläpp per liter bränsle [kg/L]

8.2 Analys av beräkningar

Beräkningarna av koldioxidutsläppen vid tillverkning av ett kilogram pellets genomfördes för samtliga tre försäljningsvolymerna och två fukthalter hos den ingående restbiomassa vid fabriken. Vidare beräknades även hur eventuell förtorkning och placering av denna kommer att påverka koldioxidutsläppet för att producera ett kilogram pellets.

Tabell 8.1: Koldioxidutsläppen per kilogram pellets för de olika volymerna, fukthalterna samt placering av material för torkning. Ingen förtorkning motsvarar en fukthalt på 60 procent hos det ingående materialet. Förtorkat material har en fukthalt på 10 procent.

Produktionsvolym Typ av pelletsverk	Koldioxidutsläpp					
	500 ton		7 000 ton		14 000 ton	
	1,2 ton	3 ton	1,2 ton	3 ton	1,2 ton	3 ton
	Ingen förtorkning					
Koldioxidutsläpp [kg/kg pellets]	1,3002	1,3080	-	1,2743	-	1,2785
	Förtorkning vid fabrik					
Koldioxidutsläpp [kg/kg pellets]	0,0328	0,0329	-	0,0323	-	0,0324
	Förtorkning innan transport					
Koldioxidutsläpp [kg/kg pellets]	0,0308	0,0309	-	0,0304	-	0,0304
	Förtorkning innan flisning					
Koldioxidutsläpp [kg/kg pellets]	0,0291	0,0293	-	0,0287	-	0,0288

Av tabell 8.1 framgår det att koldioxidutsläppen för att producera ett kilogram pellets framförallt varierar beroende på produktionsmål och fukthalten hos det ingående materialet. Vid en fukthalt på 60 procent hos det ingående materialet varierar koldioxidutsläppen per kilogram pellets mellan 1,2743 och 1,3080 kilogram. För en fukthalt på tio procent varierar koldioxidutsläppen per kilogram pellets mellan 0,0287 och 0,0329 kilogram. Det framräknade resultatet tyder således på en tydlig trend där en lägre fukthalt hos det ingående materialet resulterar i lägre koldioxidutsläpp per kilogram producerat pellets.

Ett annat samband är att mängden koldioxid vid produktion av ett kilogram pellets reduceras ju tidigare i förädlingskedjan förtorkningen av restbiomassan utförs. Detta kan förklaras med att koldioxidutsläppen vid transport, torkning såväl som flisning har en koppling till restbiomassans fukthalt. Förtorkas restbiomassan reduceras dess vikt vilket minskar bränsleförbrukningen och således koldioxidutsläppen under transport.

Sett till hur de tre olika produktionsmålen påverkar koldioxidutsläppen kan ett samband ses där en fabrik med större årlig produktion tenderar till att ha lägre koldioxid per producerat kilogram pellets. I samtliga fyra torkningsfall är koldioxidutsläppen vid flisning och transporter konstant samt oberoende av produktionsvolymerna. I stället beror skillnaden i koldioxidutsläppen enbart på torkningen, se appendix A. I tabellen framgår det att vid en större årlig försäljningsvolym minskar koldioxidutsläppen per kilogram producerat pellets, vilket kan hänföras till stordriftsfördelar i fabriken som reducerar torkens bränsleförbrukning.

Vid en jämförelse av de fyra torkningsfallen framgår det att den mest koldioxiddrivande faktorn vid produktion av pellets är torkningen. Genom att förtorka restbiomassan innan torkning i fabrik kan koldioxidutsläppen för pellets reduceras med 97,46 till 97,48 procent. Efter torkning är transporterna, följt av flisning den näst respektive minst koldioxiddrivande faktorn vilka enbart har en mindre positiv inverkan på koldioxidutsläppen.

8.2.1 Jämförelse med träkol

Utsläppen från produktion av träkol varierar beroende på produktionsmetoden. Det finns idag metoder som utvecklats i syfte att minimera utsläppen. Sparrevik et al. (2015) menar dock att dessa metoder ännu inte är etablerade i utvecklingsländer, så som Zambia, i samma utsträckning som mer traditionella metoder. Författarna redogör för koldioxidutsläpp från de traditionella produktionsmetoderna, baserat på tester de utfört. Testerna visar att koldioxidutsläppen ligger i ett spann från 1,41 till 3,35 kilogram per producerat kilogram träkol. Pennise et al. (2001) har genomfört liknande tester på träkolsproduktion i Kenya. Deras undersökningar resulterade i ett spann på koldioxidutsläpp från 1,06 till 3,03 gram per producerat kilogram träkol. Under konsumtionen, det vill säga förbränning av träkol vid exempelvis matlagning, menar Bhattacharya et al. (2002) att ett kilogram träkol frigör 2,16 till 2,57 kilogram koldioxid.

De beskrivna studierna resulterar därmed i ett spann på 3,22 till 5,92 kilogram koldioxid per kilogram träkol under både produktion och konsumtion. Dessa siffror är högre än koldioxidutsläppen från ett kilogram pellets i modellen som tagits fram i denna studie, oavsett hur faktorerna i modellen konfigureras. Det högsta värdet på koldioxidutsläpp från pellets beräknades till 1,31 kilogram per producerat pellets. Då pelletsen är baserad på förnybar biomassa är nettoutsläpp under konsumtion noll. Detta är dock generellt inte fallet för träkol som vanligtvis baseras på biomassa från regnskog som inte återplanteras (Gumbo *et al.*, 2013). Det är därför aktuellt att jämföra utsläpp under produktion av pellets med utsläpp under produktion och konsumtion av träkol. Förutom att pellets är förknippat med en mindre mängd koldioxid per kilogram än träkol så kan en given mängd träkol ersättas med en mindre mängd pellets. Den årliga produktionen av träkol i Zambia på 1,2 miljoner ton kan ersättas med 400 000 ton pellets (Emerging Cooking Solutions Sweden AB, 2016)

Utöver jämförelsen av koldioxidutsläppen finns fler miljöpåverkande aspekter som måste tas i beaktande vid jämförelse av träkol och pellets tillverkad av restbiomassa från agroforestry. Till skillnad från träkol bidrar inte pellets till skövlingen av regnskog samt de samhällsproblem som tidigare har beskrivits. Utöver detta är ECS ett skattebetalande företag, vilket gör att försäljningen av pellets kommer bidra till att generera skatteintäkter och därmed stärka Zambias välfärd.

9 Diskussion

I detta kapitel diskuteras det resultat som erhållits från modellen och utsläppsberäkningarna. Först diskuteras studiens tillvägagångssätt för att ta fram resultatet. Under avsnittet osäkerheter i modellen diskuteras de osäkerheter, främst i indata, som kan ge ett missvisande resultat. Därefter följer en liknande diskussion kring utsläppsberäkningarna. Slutligen ställs studiens resultat i relation till och jämförs med tidigare forskning.

9.1 Metoddiskussion

Bristen på data har lett till att flertalet antaganden gjorts, exempelvis om jordbrukarnas geografiska utspridning. I andra fall har det lett till att sekundärdata fått ersätta uteblivna primärdata, vilket var fallet för exempelvis transportpriser. Då indata setts som osäker har dock olika typer av känslighetstester genomförts. Möjligtvis hade andra typer av metoder kunnat användas för att samla in mer primärdata, exempelvis fallstudier. Det ansågs dock inte rimligt att finna lämpliga aktörer i Zambia att samarbeta med för att kunna genomföra fallstudier inom tidsramen för studien. En fältstudie i Zambia hade också varit ett lämpligt tillvägagångssätt för att, eventuellt, kunna insamla mer primärdata. Dessutom hade en fältstudie kunnat ge en bättre bild av den aktuella situationen i Zambia, vilket hade kunnat vara ett stöd vid utformandet av modellen. En fältstudie övervägdes men genomfördes inte på grund av brist på finansiella medel.

En annan brist i metodens tillämpning är att ingen extern part noggrant granskat den framtagna modellen. Den externa parten hade kunnat validera modellen genom att kontrollera att den faktiskt återspeglar den tänkta verkligheten och verifiera den för att säkerställa att den innehåller några felaktigheter. Orsaken till att granskningen inte genomfördes var av tidsskäl och på grund av svårigheten med att hitta en extern part med krävda kompetenser. Däremot har kontakt med externa parter hållits i syfte att till erhålla en så valid och korrekt modell som möjligt.

9.2 Osäkerheter i modellen

Erhållet resultat visar att det under rätt förutsättningar kan vara fördelaktigt att genomföra en investering i beskriven produktionskedja för pelletstillverkning i Zambia. Samtidigt ska det uppmärksammas att osäkerheten i resultatet i form av väntad kapitalvärdeskvot är stor. Beräkningarna av kapitalvärdeskvoten baseras på intäkter och kostnader framtagna av modellen. I detta avsnitt presenteras osäkerheterna i modellen. Först förs en diskussion gällande kapitalvärdeskvot som metod och därefter angående samtliga delar i modellen som alla påverkar hur kassaflödet från en verklig produktionskedja skulle se ut.

9.2.1 Osäkerheter med kapitalvärdeskvot

Stora osäkerheter finns gällande kalkylräntan. För att få ett mer specifikt svar när det är lönsamt att investera i något av alternativen behöver kalkylräntan bestämmas mer omsorgsfullt. Visserligen bör inte osäkerheter i kalkylräntan påverka inbördes ordning mellan de olika alternativen, eftersom kassaflödena är konstanta år tre och framåt. Skulle det varit en större skillnad mellan de årliga kassaflödena, exempelvis om något alternativ har stora intäkter långt fram i tiden och tvärt om, hade risk funnits för variation i inbördes ordning mellan alternativen beroende på kalkylränta. Då kassaflödena har varit konstanta har kapitalvärdeskvoterna

därmed, trots stora osäkerheter i kalkylräntan, kunnat sättas i relation till varandra. De kapitalvärdeskvoter, i absoluta tal, som tagits fram bör därmed endast ses som en mycket grov uppskattning kring huruvida de olika konfigurationerna av förädlingskedjan är lönsamma.

Som beskrivits i det teoretiska ramverket har kapitalvärdeskvot vissa svagheter, såsom att investeringar med mycket liten grundinvestering kan få orimligt hög kvot. I beräknade investeringsalternativ har hög grundinvestering betytt lägre operationella kostnader på grund av stordriftsfördelar. I det fallet blir värdet på både täljare och nämnare höga i kapitalvärdeskvoten. På samma sätt har en låg grundinvestering medfört höga operationella kostnader vilket leder till att både täljare och nämnare i kapitalvärdeskvoten blir låga. På så sätt ger en ökning i intäkter (eller minskade operationella kostnader) en större ökning av kapitalvärdeskvoten då grundinvesteringen är låg jämfört med då grundinvesteringen är hög. Fall där operationella kostnader, i hela modellen, har minimerats samtidigt som grundinvesteringen är låg kommer därför visa högst kapitalvärdeskvot. Detta betyder att det alternativ som får högst kapitalvärdeskvot nödvändigtvis inte ger högst vinst i absoluta tal. Trots det är, i detta fallet, inte kapitalvärdeskvoten missvisande då kostnaden för grundinvesteringen här är av stor vikt.

Vanligtvis genomförs investeringskalkyler med antagandet att tillgång till kapital är så gott som obegränsat och det mest lönsamma alternativet blir således det som ger högst diskonterat nuvärde. Då ECS uttrycker att de har mycket begränsade tillgång till kapital (Emerging Cooking Solutions Sweden AB, 2016), kan här inte samma antagande göras. Därav är det essentiellt att vinsten sätts i relation till grundinvesteringen så att varje investerad krona utnyttjas maximalt. De största osäkerheterna kring kapitalvärdeskvoten är, som beskrivits i det teoretiska ramverket, uppskattningen av kassaflödena. Intäkterna har i modellen antagits vara konstanta år tre och framåt samtidigt som producerad mängd pellets alltid kommer att säljas. Skiljer sig detta kan naturligtvis resultatet också ändras. Även stora osäkerheter finns gällande operationella kostnader i förädlingskedjan. Osäkerheterna kring de operationella kostnaderna är beskrivna mer utförligt senare i detta kapitel.

Viktigt att notera är att kassaflödena inte innehåller kostnader förknippade med distribution och försäljning. Detta medför att samtliga kostnader är för låga, vilket gör att samtliga beräknade kapitalvärdeskvoter är för höga. Kostnaderna för distribution och försäljning är relativt låga i förhållande till kostnaderna för förädlingskedjan, framförallt då transporten fabrik till kund är en bråkdel av transporten Katete till Ndola. Denna förenkling bör därför inte i någon större grad påverka beräknade kapitalvärdeskvoter. Trots det bör kvoter med ett stort positivt värde enbart ses som en indikation på att investeringen är lönsam. Däremot påverkas inte den inbördes ordningen mellan alternativa investeringar då distributionskostnaderna är oberoende av produktionskedjan, samt att dessa kostnader förmodligen är förhållandevis låga. Således påverkar inte avgränsningen att distributionskostnader inte medräknas i resultatet av vilka faktorer som är avgörande för att nå ekonomisk lönsamhet.

9.2.2 Tillgänglig mängd restbiomassa

De tre värdena på produktionsmålet motsvarar 1150, 16 100 respektive 32 200 ton restbiomassa per år. Då varje jordbrukare antas få en årsproduktion i genomsnitt måste dock 1 590, 22 200 respektive 44 400 ton restbiomassa per år finnas tillgänglig vid de tre fallen (se appendix A för beräkningar). Den sistnämnda mängden överstiger den undre gränsen för spannet på tillgänglig

restbiomassa i Katete. En risk finns därmed att mängden restbiomassa inte räcker till den högsta produktionsvolymen. Av flera anledningar har dock det högsta produktionsmålet ändå använts i modellen. Exempelvis förväntas denna volym nås först år 2020. Vid denna tidpunkt är det möjligt att den tillgängliga mängden har förändrats. Dessutom betraktas modellen i hög utsträckning som applicerbar även på Lundazi, ett distrikt i Zambia med likande förutsättningar som Katete. För att öka mängden tillgänglig restbiomassa kan alltså insamling ske från både Katete och Lundazi, som ligger på ungefär samma avstånd till fabrik i Ndola.

9.2.3 Uppsamlingsplatser

Beräkningarna av antalet uppsamlingsplatser samt dess kostnader bygger på många antaganden. Detta beror på avsaknaden på kännedom om egenskaper hos redan etablerade system som syftar till att lösa likartade problem. Därav har olika värden på antal uppsamlingsplatser och dess kostnad använts. Vid beräkningar av antal uppsamlingsplatser antas både A_{total} (utnyttjad area i Katete) och $A_{Uppsamlingsplats}$ (arean av uppsamlingsområdet för en uppsamlingsplats) vara kvadrater i syfte att förenkla beräkningarna. Trots detta bör inte antalet uppsamlingsplatser som skulle erhållits vid användande av verkliga geometriska former hos areorna skilja sig nämnvärt från det framräknade antalet. I verkligheten skulle många olika värden på $A_{Uppsamlingsplats}$ erhållits. Genomsnittet av dessa värden skulle troligtvis inte skilja sig avsevärt från det framräknade $A_{Uppsamlingsplats}$. Därav ses det framräknade antalet uppsamlingsplatser som ett tillräckligt bra estimat.

Ytterligare en potentiell felkälla är den maximala sträckan som jordbrukarna själva antas kunna transportera restbiomassan till närmsta uppsamlingsplats. SNV uppskattar denna sträcka till fem kilometer och mängden som varje jordbrukare själva behöver transportera är två ton. Ska insamlingen ske under endast en månad behöver således all restbiomassa transporteras till uppsamlingsplatsen på en månad. Genereras två ton från varje jordbruk per år betyder det att varje jordbrukare behöver transportera ungefär 67 kilogram per dag. Detta är något som antagits vara rimligt för jordbrukarna att klara av med de fraktmetoder de idag använder.

9.2.4 Flisning

Vid beräkningen av de operativa kostnaderna för en flis kan underhållskostnaden anses bli hög. Underhållskostnaden för en flismaskin beräknas som en procentsats av investeringskostnaden och slås ut på flismaskinens livslängd. I beräkningarna har flisens livslängds endast antagits vara ett år (se appendix A). Antagandet baseras på att kostnaden för service och underhåll för flisen är tagna från en fallstudie utförd i Sverige och Österrike. Kostnaden har justerats till en högre nivå för att ta hänsyn till de sämre förhållandena som råder i Zambia vid användandet av flismaskin. Exempel på sämre förhållanden är slitage på grund av sämre vägar vid transport och mindre resurser vid underhållsarbete. På så vis minskas risken att beräkningar utförs med för låga operativa kostnader på flismaskinerna.

De uträknade kostnaderna för flismaskiner baseras enbart på att en specifik typ av fabriksnya flismaskiner köps in och används, vilket skapar en osäkerhet då detta inte behöver vara fallet. Beräkningar av begagnade flismaskiner anses dock skapa än större osäkerhet då pris, skick och livslängd blir svårare att förutse. Vid beräkning av fabriksnya flismaskiner antas även den totala

kostnaden bli högre på grund av flismaskinens höga inköpspris, vilket också minskar risken att beräkna de operativa kostnaderna för lågt.

Vid flisning på uppsamlingsplatserna har inte kostnaden av transport av flismaskinen mellan uppsamlingspunkterna beräknats då det anses som en liten kostnad i förhållande till resterande operativa kostnader. I praktiken kan detta likställas med att lastbilarna som transporterar flisat material hämtar upp en flismaskin vid godtycklig uppsamlingsplats och transporterar med den till nästa uppsamlingsplats där oflisad restbiomassa finns. På så vis minimeras extra transporter av flismaskinerna.

9.2.5 Transport

Osäkerheten för transportpriset är stor för de båda transportkostnadskällor som beräkningarna är baserade på. Nathan Associates Inc:s studie behandlar transporter av annat gods, annan sträcka och annat land än vad som undersöks i denna studie. Kostnaderna från Nathan Associates Inc:s studie är dessutom baserade på stora transportkorridorer vilket troligen innebär bättre vägförhållande än vid transporter från Katete till Ndola. Av denna anledning kan beräknade kostnader i denna studie argumenteras för att vara låga. Andra aspekter tyder på att kostnaderna för transporter i Nathan Associates Inc. är högre än hur kostnaderna bör te sig i den behandlade förädlingskedjan. Nathan Associates Inc. har exempelvis inkluderat diverse kostnader som ej är aktuella i det behandlade fallet, såsom osäkerhetskostnader och kostnader som relaterar till hanteringskostnader vid större hamnar. De verkliga transportkostnaderna med denna modell kan således komma att bli både högre eller lägre än de beräknade baserade på Nathan Associate Inc:s studie.

Angående beräkningarna baserade på rapporten av Teravaninthorn och Raballand från World Bank finns liknande osäkerheter här. Framförallt på grund av att deras beräkningar är baserade på en större transportkorridor. Teravaninthorn och Raballand (2009) presenterar transportkostnader för tio undersökta transportkorridorer, varav två går genom Zambia (se tabell 9.1). Av dessa valdes sträckan Lusaka till Dar-es-Salaam då denna till större del utgörs av vägar i Zambia i förhållande till den andra sträckan, Lusaka till Johannesburg. Zambias *Logistics Performance Index* ligger dessutom närmare Tanzanias än Sydafrikas (Worldbank, no date) och således gjordes antagandet att Tanzanias vägnät förmodligen i större utsträckning än Sydafrikas liknar Zambias vägnät. Skicket på infrastrukturen på denna större transportkorridor är dock förmodligen bättre än vid sträckan Katete-Ndola. Katete är placerat i den östra delen av landet där vägnätverket generellt är mindre utvecklat, vilket tidigare har beskrivits i avsnitt 4.3. Det sämre vägnätverket ökar sannolikt slitaget på fordonen under transport, därmed kan kostnader för transport i denna studie bli högre än beräknat.

Tabell 9.1: Priser för de två sträckor som går genom Zambia i Teravaninthorn och Raballand (2009)

Sträcka	Pris (USD per km)
Lusaka (Zambia) – Johannesburg (Sydafrika)	2,32
Lusaka (Zambia) – Dar-es-Salaam (Tanzania)	2,55

Mer trafik och gränskontroller vid landsgräns bidrar dock till att kostnaderna beräknade med hjälp av Teravaninthorn och Raballand kan bli högre än vad de blir av transport av pellets

inrikes i Zambia. Dessutom är beräkningarna i denna studie ej justerade för nationalekonomiska förändringar såsom inflation eller ändrad växelkurs. Huruvida diverse skatter på exempelvis bränsle har förändrats sedan år 2009, då Teravaninthorn och Raballand publicerades, och således potentiellt påverkat transportkostnaderna har inte heller undersökts. De verkliga transportkostnaderna kan således komma att bli både högre eller lägre än de baserat på Teravaninthorn och Raballands studie.

Trots ett flertal olikheter finns även många likheter mellan transporterna i både Teravaninthorn och Raballands rapport, Nathan Associates Inc:s rapport och transporterna aktuella för denna studie. Transporterna sker under samma förutsättningar, med avseende på utvecklingsgrad i landet, politik och infrastruktur. Transporterna i Nathan Associates Inc är dessutom beräknade med gods av liknande attribut som pellets. Uppgifterna från de båda källorna anses därför vara en tillräcklig uppskattning av transportkostnaderna för denna studie.

Jämförs transportkostnaderna baserade på Teravaninthorn och Raballand med de från Nathan Associates Inc syns tydliga skillnader. Transportkostnaderna framtagna med hjälp av Teravaninthorn och Raballand blir alltid ca 37 procent högre jämfört med transportkostnader framtagna med hjälp av rapporten från Nathan Associates Inc. Vad denna skillnad beror på är svårt att avgöra. Den kan bland annat bero på att kostnader för att korsa landgränser ingår i beräkningarna baserade på Teravaninthorn och Raballand och inte för motsvarande Nathan Associates Inc. Skillnaden i kostnad kan dock inte endast härledas till denna faktor. Slutsatsen att någon av dessa är mer rätt att använda än den andra kan inte heller dras, utan snarare att de modellerar olika scenarier.

För att få mer exakta uppgifter på vad transporter på de aktuella sträckorna kostar bör logistiker eller transportörer verksamma i området kontaktas. Författarna till denna rapport har vart i kontakt med flera transport- och logistikföretag verksamma i Zambia men har ej lyckats med att erhålla prisuppgifter på transporter. En annan metod för att bestämma transportkostnaderna i systemet är att använda systemverktyget HDM-4 (Highway Development and Management Tool). HDM-4 är framtaget av World Bank och används för att beräkna bland annat transportkostnader och olika konsekvenser av olika vägåtgärder (Trafikverket, 2015). Vidare så använder HDM-4 data som gäller för nya lastbilar. I Zambia används framförallt gamla begagnade lastbilar med högre bränsleförbrukning och då blir de rörliga kostnaderna högre. HDM-4 tar dessutom inte med eventuella overhead-och administrationskostnader och mutor (Teravaninthorn and Raballand, 2009b) vilket Teravaninthorn och Raballand (2009) tar med i sina beräkningar. På grund av dessa brister med att använda HDM-4 samt att programvaran har ansetts för tidkrävande att använda inom ramen för denna studie har inte HDM-4 använts.

9.2.6 Produktionsanläggning

Vid beräkningar av kostnader för investeringar har, som tidigare beskrivits, data inhämtats från rapporter baserade på investeringar i Sverige, USA samt Österrike. Bristen på vetenskapliga studier rörande investeringar utförda i Zambia har gjort att västerländska fallstudier är de mest representativa källorna tillgängliga för de genomförda beräkningarna. På grund av bristande mängd tillgänglig information om lönekostnader, bränsleförbrukning samt elpriset i Zambia, har det vid beräkningar av de operationella kostnaderna funnits svårigheter att utförligt validera de insamlade uppgifterna. Vid samtliga beräkningar som berör fabriken har ingen hänsyn tagits

till att anpassa fabriken utnyttjandegrad till de förhållanden som råder i Zambia så som kontinuerliga strömbavbrott. En utnyttjandegrad på 90 procent är vanlig i västerländska förhållande (Thek and Obernberger, 2004), och har också använts i beräkningarna i denna studien. I verkligheten är det troligt att fabriken utnyttjandegrad är lägre än 90 procent, men på grund av bristande information och erfarenhet om zambiska förhållanden har ingen korrigering genomförts.

Valet av de två testade kapaciteterna på pelletverk baserades på i studien tidigt inhämtade expensionsmål för ECS pelletsförsäljning. Kapaciteterna avsåg spegla de tre prognostiserade försäljningsmålen: 500, 7 000 samt 14 000 ton pellets per år. I slutförandet av studien uppmärksammades att den faktiska krävda produktionsvolymen är högre än först väntat till följd av den ersättning i form av pellets som betalas till jordbrukare. Följden blir att verket med en produktionskapacitet på 1,2 ton per timme endast klarade av att producera den mängd pellets som krävs för en årlig försäljning om 500 ton per år. Tidigare kunde detta verk producera krävd volym för både 500 och 7 000 tons årlig försäljning. Därav kan siffrorna som berör valet av pelletverket bli missvisande till följd av att det mindre verket är förenat med många icke möjliga fall.

9.3 Osäkerheter i utsläppsberäkningar

Vid beräkning av koldioxidutsläppen vid flisning definieras flismaskinens kapacitet som kilogram per timme. Detta får som följd att när fukthalten reduceras hos restbiomassan, och således även densiteten, ökar också mängden material som flismaskinen kan flisas per timme. Följden blir att mängden flis som bränsleförbrukningen per timme fördelas på ökar, vilket får utsläppen vid flisning per kilogram producerad pellets att minska. Sett till verkligheten är det troligt att ett mer korrekt sätt är att bränsleförbrukningen för flismaskinen är konstant oberoende av fukthalten hos det ingående materialet. Den data som har erhållits har dock varit presenterad på detta sätt och därmed har felkälla ändå valts inkluderas i beräkningar för flismaskinens koldioxidutsläpp.

9.4 Externa faktorer

Förutom designfaktorerna kan även externa faktorer, beskrivna under kapitel 4, påverka möjligheterna vid utformning av produktionskedjan i verkligheten. De externa faktorerna kan antingen komma att underlätta eller försvåra utformandet. Både nuvarande status och den framtida utvecklingen hos vissa av de externa faktorerna är därför viktigt att ta i beaktande.

Då transportsträckan visade sig vara en av de största kostnadsdrivarna är det viktigt att vara vaksam på externa faktorer så som transportmedel och infrastruktur. Om exempelvis skick på fordon och vägar förbättras i framtiden finns en chans att transportkostnaden minskar. Samtidigt finns risk för att lönekostnaderna ökar vilket skulle öka transportkostnaden. Det är alltså svårt att fastställa om transportsträckan kommer vara en lika avgörande designfaktor i framtiden.

För att minska transportsträckan kan det bli aktuellt att samla in restbiomassa från andra områden än Katete eller Lundazi. Möjligheterna att göra detta påverkas i hög grad av externa faktorer. Då myndigheterna i Zambia påstår sig satsa på jordbruk kan möjligheten att samla in restbiomassan från andra områden öka med tiden om antalet jordbrukare och deras produktivitet

ökar. Zambias glesa befolkningstäthet och den geografiska isoleringen som råder i vissa områden kan dock försvåra möjligheten att hitta platser som är bättre lämpade att samla in restbiomassa från än Katete. Som nämnts i kapitel 4 bromsar dessutom den geografiska isoleringen in satsningarna på jordbruket.

Den ekonomiska osäkerhet som kan argumenteras att råda i Zambia på grund av exempelvis landets starka beroende till aktörer i andra länder kan försvåra realiseringen av systemet. Framförallt kan systemen med de högre produktionsvolymerna argumenteras för att vara känsligt för ekonomisk osäkerhet. Om till exempel en samarbetande aktör går i konkurs kan det vara svårare att hitta en ersättare som uppfyller kraven som ställs från ett resurskrävande system än ett mindre omfattande system. Korruptionen i Zambia kan tänkas ge liknande konsekvenser som den ekonomiska osäkerheten. Förekomsten av mutor gör det svårt att uppskatta de faktiska rörliga kostnaderna för bland annat transport och administration (GAN Integrity, 2015). Korruptionen kan dessutom försvåra möjligheterna att få tillgång på den mängd kapital som krävs för att göra de nödvändiga investeringarna.

9.5 Jämförelse med liknande studier

I västerländska förhållanden finns ett flertal genomförda studier med liknande frågeställningar. Detta gör att studiens resultat till viss del kan jämföras med tidigare genomförda studier. Samtidigt bör vissa delar av resultatet ses som ett unikt fall. Resultatet visar vissa likheter med dessa liknande västerländska studier. Thek och Obernberger (2004) och Mani, Sokhansanj, Bi, & Turhollow (2006) har genomfört studier i Sverige och Österrike respektive USA. De båda studierna visar att de största kostnaderna vid pelletstillverkning är kostnaden för anskaffning (transport av) råmaterial och kostnaden för torkning av råmaterial något som även återspeglas denna studie.

Samtidigt finns flera skillnader med dessa studier. Både Thek & Obernberger (2004) och Mani et al. (2006) beskriver att lönekostnaden också är en betydande faktor vid drift av pelleteringsverk i Sverige och Österrike respektive USA. Det är en stor skillnad jämfört med denna studie, där lönekostnaderna är i sammanhanget små. Dessa skillnader kan förklaras av att löner generellt i Zambia är betydligt lägre i västvärlden, vilket gör att dessa står för en mindre del av totalkostnaden.

10 Slutsats

I detta avsnitt presenteras de slutsatser som dragits efter utförd studie.

Finns det faktorer som har en större inverkan än andra på den ekonomiska lönsamheten i en produktionskedja där pellets tillverkas av restbiomassa från agroforestry?

De utförda beräkningarna och analysen tyder på att det finns tre faktorer som har avgörande inverkan på den ekonomiska lönsamheten för en förädlingskedja av den aktuella typen. Att faktorerna har en avgörande inverkan innebär att modellens ekonomiska prestation påverkas starkt beroende på vilken nivå dessa faktorer ligger på.

Fukthalten på ingående material vid torkning

Den första av de tre kritiska faktorerna är fukthalten på materialet då det går in i torkningen som är ett av stegen pelleteringsprocessen. Beroende på om fukthalten hos det ingående materialet är hög eller låg kommer den ekonomiska prestationen att påverkas. Av de 173 fall med en kapitalvärdeskvot över noll är det endast fem fall som har hög fukthalt.

Det som gör att fukthalten har en stark påverkan på den ekonomiska lönsamheten är torkens bränslekostnader som ökar med fukthalten på det ingående materialet. Enligt resultaten är det i princip helt avgörande för en förädlingskedja av det behandlade slaget att fukthalten hos råmaterialet lyckas sänkas genom exempelvis självtorkning i solen.

Transportsträckan

Den andra av de tre mest avgörande faktorerna är transportsträckan. Oavsett om det huvudsakligen transporteras råmaterial, flis eller färdiga pellets har längden på transportsträckan en stark inverkan på den ekonomiska lönsamheten. Av de 173 fall som resulterar i en kapitalvärdeskvot över noll är det endast 22 som har en lång transportsträcka.

Den totala transportkostnaden för en given mängd pellets ökar med sträckan. Vid längre sträckor blir kostnaden alltför omfattande och systemet förlorar sin ekonomiska lönsamhet. Modellens resultat visar att det vid en verklig produktionskedja är av stor betydelse att minimera transportsträckorna.

Produktionsvolymen

Den tredje av de kritiska faktorerna är produktionsvolymen. Resultatet från modellen visar att produktionsmålet – den produktionsvolym systemet lyckas nå år 2020 – och storleken på fabriken båda påverkar systemets ekonomiska lönsamhet. Av de 173 fall med en kapitalvärdeskvot över noll utnyttjar samtliga den stora fabriken och en klar majoritet producerar den största volymen pellets efter tre år.

I modellen antas allt som produceras säljas vilket leder till ökade intäkter när produktionsvolymen ökar. I takt med produktionsvolymen, ökar även fabriken stordriftsfördelar vilket ger bättre marginaler. Resultatet från modellen tyder på att det är kritiskt att nå en stor produktionsvolym (förutsatt att slutprodukterna även säljs) för att kunna dra nytta av stordriftsfördelar.

Är det ekonomiskt lönsamt för Emerging Cooking Solutions att utnyttja restbiomassa från agroforestry i sin produktionskedja?

Modellens resultat tyder på att det under rätt omständigheter kan vara ekonomiskt lönsamt för Emerging Cooking Solutions att utnyttja restbiomassa från agroforestry för pelletstillverkning. Rimligheten för att nå ett ekonomiskt lönsamt system beror enligt modellen till stor del på de identifierade kritiska faktorerna. För att det ska vara möjligt är det av stor vikt att företaget lyckas konfigurera en förädlingskedja som möjliggör att de tre faktorerna hamnar på en fördelaktig nivå. Det innebär alltså att ECS rimligen bör rikta fokus mot att sänka fukthalten i råmaterialet innan torkning, minimera transportsträckor och producera stora volymer.

Modellens resultat tyder även på att ECS inte kommer att kunna använda sin nuvarande fabrik som är placerad i Ndola för att producera pellets av råvara från Katete. Däremot kan det eventuellt vara möjligt att bygga upp en fabrik nära råvaran i Katete och transportera färdiga pellets till säljpunkter på avstånd motsvarande avståndet till Ndola, 800 kilometer. Enligt ECS har de en befintlig kundbas i Lusaka som ligger omkring 480 kilometer från Katete. I jämförelse med 800 kilometer är sträckan mellan Katete och Lusaka fördelaktig och det kan vara intressant för ECS att, beroende på efterfrågan, försörja sin kundbas i Lusaka med pellets från Katete.

Ur miljösynpunkt, hur förhåller sig pellets från agroforestry till träkol?

Baserat på de genomförda utsläppsberäkningarna kan det konstateras att pellets tillverkad av restbiomassa från agroforestry har ett lägre totalt koldioxidutsläpp under produktion och konsumtion än träkol. Dessutom är träkol till skillnad från pellets förknippat med en rad andra sociala och miljömässiga problem.

10.1 Ytterligare undersökningsområden för ECS

Den framtagna modellen som resultaten, analysen och slutsatserna baseras på innehåller en mängd osäkerheter. Innan ECS genomför en eventuell satsning på ett system av det behandlade slaget är det därför rekommenderat att mer noggrant undersöka ett antal områden. Det kan vara nödvändigt att mer i detalj utreda hur de olika aktiviteterna i förädlingskedjan kan utföras för att få mer exakta kostnadsuppgifter. Teorin om hur uppsamlingsplatserna sköts och fungerar är exempelvis framtagen med begränsad kunskap om hur liknande aktiviteter kan skötas i Zambia.

Transportkostnaderna visade sig ha en stor inverkan på resultatet och modellen innehåller många osäkerheter. Med tanken på att transporterna skulle utgöra en stor del av aktiviteterna i ett eventuellt verkligt system bör dess relaterade kostnader undersökas mer noggrant. Stora produktionsvolymer visade sig enligt modellen vara kritiskt för den ekonomiska lönsamheten. Dock är modellen byggd med ett antagande om obegränsad efterfrågan, det vill säga att allt som produceras säljs. Det är därför viktigt att ECS undersöker om den verkliga efterfrågan faktiskt motsvarar de stora produktionsvolymerna. ECS rekommenderas även att noggrannare undersöka hur SNV:s agrofrestyprojekt faktiskt kan komma att utvecklas. Det är möjligt att den tillgängliga mängd restbiomassa i Katete inte räcker för att nå upp till de stora produktionsvolymerna. I det fallet kan det vara intressant att utreda förutsättningar för att inhämta restbiomassa från Lundazi.

11 Referenser

Alavalapati, J. R. R. and Mercer, D. E. (2005) *Valuing Agroforestry Systems*. Dordrecht: Springer Netherlands. doi: 10.1007/1-4020-2413-4.

Andersson, G. (2008) *Kalkyler som beslutsunderlag*. 6:3. Lund: Studentlitteratur.

Andersson, M. B. (2004) *Hantering av osäkerhet i samband med investeringsbeslut - några metodansatser och exempel*. Uppsala.

Aregheore, E. M. (2009) *Country Pasture/Forage Resource Profiles ZAMBIA*. Available at: [http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/counprof/PDF files/Zambia.pdf](http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/counprof/PDF%20files/Zambia.pdf) (Accessed: 4 April 2017).

BBC (2017) *Zambia country profile*. Available at: <http://www.bbc.com/news/world-africa-14112449> (Accessed: 16 April 2017).

Bhattacharya, S. C., Albina, D. O. and Salam, P. A. (2002) 'Emission factors of wood and charcoal-*nyred* cookstoves', *Biomass and Bioenergy*, 23, pp. 453–469.

Blomqvist, P. and Hallin, A. (2014) *Metod för teknologer: examensarbete enligt 4-fasmodellen*. Lund: Studentlitteratur AB.

Boucher, D., Elias, P., Lininger, K., Calen, M.-T., Roquemore, S. and Saxon, E. (2011) 'The root of the problem what's driving tropical deforestation today?', *Union of Concerned Scientists*, 61(1), pp. 5-8-28-110. doi: 10.1007/BF00351108.

Central Statistical Office (2011) *2010 Census Population and Housing Preliminary Report, International immunology*. doi: 10.1093/intimm/dxs153.

Chopra, S. and Meindl, P. (2013) *Supply Chain Management*. Fifth Edit. Harlow: Pearson.

Christopher, M. (2011) *Logistics & Supply Chain Management*. Fourth Edi. Harlow: Pearson.

Chung, C. A. (2004) 'Experimental Design', in *Simulation Modelling Handbook*.

EcoCharcoal Zambia (2017) *Home - EcoCharcoal Zambia*. Available at: <http://www.eco-charcoal.com/index.php> (Accessed: 6 May 2017).

Emerging Cooking Solutions Sweden AB (2016) *SupaMoto® Energy by Emerging Cooking Solutions: Business Plan 2016 - 18*.

Eriksson, L. T. and Wiedersheim-Paul, F. (2008) *Rapportboken*. 1:1. Malmö: Liber AB.

FAO (2010) 'Criteria and indicators for sustainable woodfuels', *FAO Forestry Paper*, 160, pp. 1–103.

FAO (2013) *Wood Fuels Handbook, Journal of Chemical Information and Modeling*. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

FAOSTAT (2017) *Zambia Production Wood charcoal Zambia Total Population - Both sexes Population - Est . & Proj ., FAO*. Available at: <http://www.fao.org/faostat/en/?#compare> (Accessed: 29 January 2017).

Federal Ministry for the Environment, N. C. B. and N. S. (2017) *Zambia: Fuel-Efficient Improved Cooking Stoves (ICS) to substitute the currently common Cooking on open Fire*. Available at: <http://www.carbon-mechanisms.de/en/introduction-old/climate-change-projects/zambia-fuel-efficient-improved-cooking-stoves-ics-to-substitute-the-currently->

common-cooking-on-open-fire/ (Accessed: 6 May 2017).

Foster, V. and Dominguez, C. (2010) 'Zambia's Infrastructure: A Continental Perspective Rights and permissions'. Available at: www.worldbank.org (Accessed: 5 March 2017).

GAN Integrity (2015) *Zambia Corruption Report, Business-Anti-Corruption Portal*. Available at: <http://www.business-anti-corruption.com/country-profiles/zambia> (Accessed: 16 April 2017).

Gao, J., Barbieri, C. and Valdivia, C. (2014) 'A socio-demographic examination of the perceived benefits of agroforestry', *Agroforestry Systems*, 88(2), pp. 301–309. doi: 10.1007/s10457-014-9683-8.

Global Alliance for Clean Cookstoves (2017) *IWA Tiers of Performance*. Available at: <http://cleancookstoves.org/technology-and-fuels/standards/iwa-tiers-of-performance.html> (Accessed: 3 February 2017).

Google (no date) *Katete, Zambia till Ndola, Zambia – Google Maps*. Available at: <https://www.google.se/maps/dir/Katete,+Zambia/Ndola,+Zambia/@-13.7456657,29.2156997,8z/data=!3m1!4b1!4m13!4m12!1m5!1m1!1s0x1918744b4d90852b:0x45bb63d3e5336bed!2m2!1d32.043969!2d-14.0584127!1m5!1m1!1s0x196cb4e3a782fdc7:0x540fdfe500034f23!2m2!1d28.6498144!2> (Accessed: 17 April 2017).

Gould, J. (2008) 'Subsidiary sovereignty and the constitution of political space in Zambia', in *One Zambia, Many Histories*.

Government of Zambia (2012) *Statutory Instrument No. 46 of 2012*.

Gumbo, D. J., Moombe, K. B., Kandulu, M. M., Kabwe, G., Ojanen, M., Ndhlovu, E. and Sunderland, T. C. H. (2013) *Dynamics of the charcoal and indigenous timber trade in Zambia: A scoping study in Eastern, Northern and Northwestern provinces, Occasional paper 86*. doi: 10.17528/cifor/004113.

Gwilliam, K., Foster, V., Archondo-callao, R., Briceño-garmendia, C., Nogales, A. and Sethi, K. (2008) 'AFRICA INFRASTRUCTURE Roads in Sub-Saharan Africa', (June).

Heery, E. and Noon, M. (2008) 'PEST Analysis', *A Dictionary of Human Resource Management*. Oxford University Press. doi: 10.1093/acref/9780199298761.001.0001.

IEA (2014) 'Africa Energy Outlook: A Focus on Prospects in Sub-Saharan Africa', pp. 1–242.

International Fund for Agriculture (no date a) *Rural poverty in Zambia, Rural Poverty Portal*. Available at: <http://www.ruralpovertyportal.org/country/home/tags/zambia> (Accessed: 16 April 2017).

International Fund for Agriculture (no date b) *Who we are*. Available at: <https://www.ifad.org/who/overview> (Accessed: 16 April 2017).

Japan International Agency and Zambia development agency (2011) *Cost of Doing Business In Zambia*.

Jonsson, P. and Mattson, S.-A. (2016a) *Logistik*. Lund: Studentlitteratur AB.

Jonsson, P. and Mattson, S.-A. (2016b) *Logistik - Läran om effektiva materialflöden*. 3:1. Lund: Studentlitteratur.

Kalinda, T., Bwalya, S., Mulolwa, A. and Haantuba, H. (2008) 'Use of Integrated Land Use Assessment (ILUA) data for Forestry and Agricultural Policy Review and analysis in Zambia', pp. 2–119.

Karkania, V., Fanara, E. and Zabaniotou, A. (2012) 'Review of sustainable biomass pellets production - A study for agricultural residues pellets' market in Greece', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, pp. 1426–1436. doi: 10.1016/j.rser.2011.11.028.

Katanga, R., Kabwe, G., Kuntashula, E., Mafongoya, P. L. and Phiri, S. (2007) 'Assessing Farmer Innovations in Agroforestry in Eastern Zambia', *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 13(2), pp. 117–129. doi: 10.1080/13892240701289544.

Lantz, B., Isaksson, A. and Löfsten, H. (2014) *Industriell Ekonomi - Ekonomisk Analys*-. 1:1. Lund: Studentlitteratur. doi: 9789144097145.

Liang, Z. Y. (2008) 'Africa Infrastructure Country Diagnostic: Irrigation Investment Needs in Sub-Saharan Africa', (June), pp. 1–9.

Mani, S., Sokhansanj, S., Bi, X. and Turhollow, A. (2006) 'Economics of producing fuel pellets from biomass', *Applied Engineering in Agriculture*, 22(3), pp. 421–426. doi: 10.13031/2013.20447.

Maskinkompaniet AB (no date) *FLISMASKIN TW 350DHB(T)*. Available at: <http://www.maskinkompaniet.se/tw-350-dhbt.html> (Accessed: 5 April 2017).

Ministry of Agriculture [Zambia] (no date) *Ministry of Agriculture - Objectives*. Available at: http://www.agriculture.gov.zm/index.php?option=com_content&view=article&id=163:objectives-strategies-overview&catid=99&Itemid=1545 (Accessed: 16 April 2017).

Ministry of Finance [Zambia] (2014) *Revised Sixth National Development Plan 2013 - 2016*.

Mizia, J. (2015) *Mimi_Moto_IWA-Tiers-of-Performance-WBT-4.2.3-Report-REV.A.pdf*. Available at: http://www.mimimoto.nl/wp-content/uploads/2016/02/Mimi_Moto_IWA-Tiers-of-Performance-WBT-4.2.3-Report-REV.A.pdf.

Mo Ibrahim Foundation (2017) *Ibrahim Index of African Governance (IIAG)*. Available at: <http://mo.ibrahim.foundation/iiag/> (Accessed: 16 April 2017).

Monteiro, E., Mantha, V. and Rouboa, A. (2012) 'Portuguese pellets market: Analysis of the production and utilization constraints', *Energy Policy*. Elsevier, 42, pp. 129–135. doi: 10.1016/j.enpol.2011.11.056.

Musselman, K. J. (1994) 'Guidelines for simulation project success', *Proceedings of the 1994 Winter Simulation Conference*, (1994), pp. 88–95. doi: 10.1109/WSC.1994.717080.

Nair, P. K. (1993) *Classification of agroforestry systems, An introduction to agroforestry*. Kluwer Academic Publishers; International Centre for Research in Agroforestry. doi: 10.1016/0378-1127(95)90008-X.

Nathan Associates Inc. (2013) 'Logistics Cost Study of Transport Corridors in Central and West Africa', (7161353).

Oxford (no date) *Oxford Dictionaries*.

Pennise, D. M., Smith, K. R., Kithinji, J. P., Rezende, M. E., Raad, T. J., Zhang, J. and Fan, C. (2001) 'Emissions of greenhouse gases and other airborne pollutants from charcoal making in Kenya and Brazil', *Journal of Geophysical Research*, 106(D20), p. 24143. doi:

10.1029/2000JD000041.

RC Holm AB (no date) *FLISMASKIN CIP3200I130*. Available at: <http://www.rcholmshop.se/flismaskiner/green-flismaskiner/green-flismaskin-cip3200i130.html> (Accessed: 5 April 2017).

Robinson, S. (2008) 'Conceptual modelling for simulation Part I: definition and requirements', *Journal of the Operational Research Society*, (2008), pp. 278–290.

Sacerdoti, E. (2005) *Access to Bank Credit in Sub-Saharan Africa: Key Issues and Reform Strategies*. doi: 10.5089/9781451861853.001.

SAPOA (2016) 'Cap & Discount Rate Report'.

Schmenner, R. W. and Swink, M. L. (1998) 'On theory in operations management', *Journal of Operations Management*, 17(1), pp. 97–113. doi: 10.1016/S0272-6963(98)00028-X.

Selivanovs, J., Blumberga, D., Ziemeles, J., Blumberga, A. and Barisa, A. (2012) 'Research of woody biomass drying process in pellet production', *Environmental and Climate Technologies*, 10(1), pp. 46–50. doi: 10.2478/v10145-012-0017-7.

SNV (no date) *Sustainable Integrated Land Management Solutions (SILMS)*. Available at: <http://www.snv.org/project/sustainable-integrated-land-management-solutions-silms> (Accessed: 17 April 2017).

Sparrevik, M., Cornelissen, G., Sparrevik, M., Adam, C., Martinsen, V., Cornelissen, G. and Cornelissen, G. (2015) 'Emissions of gases and particles from charcoal/biochar production in rural areas using medium-sized traditional and improved "retort" kilns', *Biomass and Bioenergy*. Elsevier Ltd, 72(806), pp. 65–73. doi: 10.1016/j.biombioe.2014.11.016.

Teravaninthorn, S. and Raballand, G. (2009a) 'Transport costs in Africa: a review of the main international corridors in the four sub-regions -- an interim progress report', *The World Bank*. Washington, DC: The World Bank.

Teravaninthorn, S. and Raballand, G. (2009b) *Transport prices and costs in Africa: A review of the main international corridors*, *The World Bank*. doi: 10.1596/978-0-8213-7650-8.

The National Archives (2016) *Overseas Business Risk - Zambia*. Available at: <https://www.gov.uk/government/publications/overseas-business-risk-zambia/overseas-business-risk-zambia> (Accessed: 16 April 2017).

Thek, G. and Obernberger, I. (2004) 'Wood pellet production costs under Austrian and in comparison to Swedish framework conditions', *Biomass and Bioenergy*, 27(6), pp. 671–693. doi: 10.1016/j.biombioe.2003.07.007.

Trading Economics (2017) *Zambia GDP*. Available at: <http://www.tradingeconomics.com/zambia/gdp> (Accessed: 16 April 2017).

Trafikverket (2015) *HDM-4*. Available at: <http://www.trafikverket.se/tjanster/system-och-verktyg/Prognos--och-analysverktyg/HDM-4/> (Accessed: 5 May 2017).

Trafikverket (2016) 'Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn : ASEK 6 . 0 Kapitel 5 Kalkylprinciper och generella kalkylvärden', 6, pp. 1–45.

Turpie, J., Warr, B. and Ingram, J. C. (2015) 'Benefits of Forest Ecosystems in Zambia and the Role of REDD + in a Green Economy Transformation', p. 98.

WHO (2014) *Indoor air pollution*, WHO. World Health Organization. Available at: <http://www.who.int/features/qa/indoor-air-pollution/en/> (Accessed: 29 January 2017).

WHO (2016a) *Burning Opportunity: Clean Household Energy for Health, Sustainable Development, and Wellbeing of Women and Children*. Available at: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/204717/1/9789241565233_eng.pdf?ua=1.

WHO (2016b) *Household air pollution and health*, WHO. World Health Organization. Available at: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs292/en/> (Accessed: 29 January 2017).

Winch, C., Todd, M., Baker, I., Blain, J. and Smith, K. (2005) *Methodologies, Guide to undergraduate dissertations*. Available at: <http://www.socscidiss.bham.ac.uk/methodologies.html> (Accessed: 4 March 2017).

Worldbank (no date) *World Development Indicators | DataBank*. Available at: <http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=2&series=LP.LPI.OVRL.XQ&country=TZA,ZMB,ZAF#advancedDownloadOptions> (Accessed: 5 May 2017).

WWF (2017) *Styr rätt med biodrivmedel*, WWF. Available at: http://www.wwf.se/source.php/1209503/Styr_r%C4tt_med_biodrivmedelHELA.pdf.

Zulu, L. C. and Richardson, R. B. (2013) 'Charcoal, livelihoods, and poverty reduction: Evidence from sub-Saharan Africa', *Energy for Sustainable Development*. International Energy Initiative. Published by Elsevier Inc., 17(2), pp. 127–137. doi: 10.1016/j.esd.2012.07.007.

Appendix A – Beräkningar

Nedan följer en redovisning på de beräkningar som gjorts för att ta fram kostnaderna som finns i modellen samt vilka miljöberäkningar som presenteras i analys.

Investeringsberäkning

Följande är en beskrivning på hur investeringsberäkningar utförts på systemet. Det specifika fallet som beskrivs är det där fabriken ligger nära råvaran och pellets transporteras till kunderna. Transportsträckan mellan fabrik och kund är 100 kilometer. Transportkostnader baserade på Nathan Associates Inc har använts som uppskattning av transportkostnader och systemet har 46 uppsamlingsplatser. Flisning väntas ske under hela året (tolv månader), kostnaden för uppsamlingsplatsen är satt till den högre av de två nivåerna och produktionsvolymen motsvarar den som krävs för en försäljning av 14 000 ton per år. Pelletsverket som används har en produktionskapacitet på tre ton per timme och fukthalten hos ingående material är tio procent.

Intäkter

Intäkterna modellerades utefter att fullskalig produktion och försäljning (14 000 ton) väntas uppnås tre år efter investeringen (år 2020). Mellan åren 2017 och 2020 väntas efterfrågan och därmed produktionen växa linjärt. Intäkten per sålt ton pellets väntas uppgå till USD 220 per ton. I det tidigare beskrivna specifika fallet ser intäktsströmmen ut likt följande:

Tabell 1: Intäkter [USD].

År	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Intäkter						
Försäljning	\$ 770 000	\$ 1 540 000	\$ 2 310 000	\$ 3 080 000	\$ 3 080 000	\$ 3 080 000
Summa intäkter	\$ 770 000	\$ 1 540 000	\$ 2 310 000	\$ 3 080 000	\$ 3 080 000	\$ 3 080 000

År	2023	2024	2025	2026	2027
Intäkter					
Försäljning	\$ 3 080 000	\$ 3 080 000	\$ 3 080 000	\$ 3 080 000	\$ 3 080 000
Summa intäkter	\$ 3 080 000	\$ 3 080 000	\$ 3 080 000	\$ 3 080 000	\$ 3 080 000

Intäkterna från och med år 2020 motsvaras av intäkterna från försäljning av 14 000 ton pellets och beräknas enligt:

$$\text{Intäkt} = \text{Intäkt per ton pellets} * \text{antal ton sålda pellets}$$

För åren 2017 till 2019 beräknas den årliga ökningen av intäkt enligt:

$$(\text{Försäljningsvolym år 2020})/4 * \text{Intäkt per ton pellets}$$

$$\text{Intäkt}(2017) = \text{årlig ökning av intäkt} = \$ 770\,000$$

$$\text{Intäkt}(2018) = \text{Intäkt}(2017) + \$ 770\,000$$

$$\text{Intäkt}(2019) = \text{Intäkt}(2018) + \$ 770\,000$$

$$\text{Intäkt}(2020) = \text{Intäkt}(2019) + \$ 770\,000$$

Investeringskostnader

Kostnader för investeringar hämtas från de tidigare beskrivna delsystemen. Endast delsystemen pelletverket och flisningen ger upphov till investeringar och då i form av maskinutrustning. I räkneexemplet krävs en investering i ett pelletverk med en produktionskapacitet på tre ton per timma och då flisningen väntas ske under tolv månader per år krävs investering i en styck flis.

Investeringen i fabriken utgörs av en kostnad på \$2 033 080 och investeringen i en flis uppgår till \$63 300 vilket ger en total investering av \$2 096 380.

Operationella kostnader

Operationella kostnader för systemet hämtas ur de tidigare beskrivna delsystemen. Endast den operationella kostnaden för den väntade årsförsäljningen år 2020 hämtades. Från och med år 2020 antas försäljningen och produktionsvolym vara konstant och därmed också den operationella kostnaden för systemet. Under åren 2017 till 2020 väntas den operationella kostnaden växa linjärt med produktionsvolymen och följer därmed ett samband likt det beskrivet under tidigare avsnitt intäkter. Fallet för exempelberäkningen har en operationell årlig kostnad på \$2 452 458 år 2020.

Tabell 2: Intäkter och kostnader [USD].

År	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Intäkter						
Försäljning	\$770 000	\$1 540 000	\$2 310 000	\$3 080 000	\$3 080 000	\$3 080 000
Summa intäkter	\$770 000	\$1 540 000	\$2 310 000	\$3 080 000	\$3 080 000	\$3 080 000
Kostnader						
Investering	\$2 096 380					
Operationella	\$701 683	\$1 403 365	\$2 105 048	\$2 105 048	\$2 105 048	\$2 105 048
Summa kostnader	\$2 798 063	\$1 403 365	\$2 105 048	\$2 105 048	\$2 105 048	\$2 105 048
Resultat	-\$2 028 063	\$136 635	\$204 952	\$974 952	\$974 952	\$974 952

År	2023	2024	2025	2026	2027
Intäkter					
Försäljning	\$3 080 000	\$3 080 000	\$3 080 000	\$3 080 000	\$3 080 000
Summa intäkter	\$3 080 000	\$3 080 000	\$3 080 000	\$3 080 000	\$3 080 000
Kostnader					
Investering					
Operationella	\$2 105 048	\$2 105 048	\$2 105 048	\$2 105 048	\$2 105 048
Summa kostnader	\$0	\$2 105 048	\$2 105 048	\$2 105 048	\$2 105 048
Resultat	\$3 080 000	\$974 952	\$974 952	\$974 952	\$974 952

Nuvärdesberäkning

I linje med investeringskalkyleringsteori presenterade i det teoretiska ramverket nuvärdesberäknades de erhållna framtida kassaflödena. Samtliga kassaflöden nuvärdesberäknades till år 2017 med hjälp av tidigare presenterad formel:

$$\frac{C_i}{(1+p)^i}$$

C_i motsvarar kassaflödet ett specifikt år och i antalet år som förflutit sedan år 2017. p är kalkylräntan och har antagits till 14 procent. För beräkningsexemplet ser nuvärdesberäkningar av framtida kassaflöden fram till år 2027 ut likt följande:

Tabell 3: Diskonterade kassaflöden [USD].

År	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Diskonterade	-\$1 852 642	\$427 611	\$562 646	\$658 065	\$577 250	\$506 360
Akkumulerat	-\$1 852 642	-\$1 425 031	-\$862 386	-\$204 321	\$372 929	\$879 289

År	2023	2024	2025	2026	2027
Diskonterade	\$ 444 175	\$ 389 627	\$ 341 778	\$ 299 806	\$ 262 987
Akkumulerat	\$ 1 323 464	\$ 1 713 091	\$ 2 054 869	\$ 2 354 675	\$ 2 617 662

Kapitalvärdeskvot

Resultatmättet på modellen utgörs, likt tidigare beskrivet, av kapitalvärdeskvoten baserad på nuvärden beräknade 10 år efter grundinvesteringen. Kvoten beräknades genom att utnyttja det nuvärdesberäknade ackumulerade kassaflödet fram till år 2020 och ställde detta emot den initiala investeringen enligt formeln:

$$\text{Kapitalvärdeskvot} = \frac{\text{Nuvärde av kapital}}{\text{Grundinvestering}}$$

För beskrivet fall uppgick det prognostiserade diskonterade ackumulerade kassaflödet år 2027 till \$4 007 012 och investeringen till \$2 096 380. Kapitalvärdeskvoten beräknas enligt:

$$\frac{\$2\,617\,662}{\$2\,096\,380} = 1,25$$

Transport

Nedan beskrivs beräkningsgången och delresultat av transporter för båda källorna som transportberäkningarna är baserade på.

Beräkningar och delresultat av transportkostnader baserade på Teravaninthorn och Raballand

Beräkningar av transportkostnader utifrån Teravaninthorn och Raballand har genomförts på två sätt beroende på om råmaterial och flis eller pellets transporteras. För råmaterial och flis är lastvolymen den begränsade lastfaktorn. Dessa beräkningar följer nedan.

Tabell 4: Konstanter som använts vid beräkning av transport utifrån Teravaninthorn och Raballand.

Max vikt för lastbil [ton]	Max volym för bil [m ³]	Sträcka [km]	Pris [USD/km] (KK _{WB})	Positioneringssträcka (PS)
30	110	100 och 800	2,55	0,5

Tabell 5: Krävd transporterad vikt för att erhålla 500, 7 000 eller 14 000 ton pellets till försäljning [ton].

	Råmaterial	Flis	Pellets
Massa 1 - 500 ton	1 587	1 587	690
Massa 2 - 7 000 ton	22 218	22 218	9 660
Massa 3 - 14 000 ton	44 436	44 436	19 320

Tabell 6: Densitet av pellets, råvara och flis [kg/m³] (FAO, 2013).

Gods	Densitet
Pellets	0,6
Råvara	0,16
Flis	0,26

För transport av råmaterial och flis har följande formel använts:

$$TTK_{WB} = \frac{(Vikt \times 1000) / \rho}{V} * Sträcka \times (1 + PS) * KK_{WB}$$

TTK_{WB} – Totala transportkostnader World Bank [USD]

Vikt – Transporterad vikt [ton]

ρ – densitet [kg/m³]

V – lastvolym [m³]

Sträcka – transporterad sträcka [km]

PS - positioneringssträcka

KK_{WB} – Kilometerkostnad enligt Teravaninthorn & Raballand på World Bank [USD/km]

För transport av pellets har istället följande formel använts:

$$TTK_{WB} = \frac{Vikt \times 1000}{M} * Sträcka \times (1 + PS) * KK_{WB}$$

TTK_{WB} – Totala transportkostnader World Bank [USD]

Vikt – Transporterad vikt [ton]

M – Max vikt för lastbil [kg]

Sträcka – transporterad sträcka [km]

PS - positioneringssträcka

KK_{WB} – Kilometerkostnad enligt Teravaninthorn & Raballand på World Bank [USD/km]

Resultaten av beräkningarna redovisas i tabellerna nedan.

Tabell 7: Kostnad för transport av den massa som krävs 800 km för att erhålla 500, 7000 eller 14 000 ton pellets till försäljning [USD].

800 km	Råmaterial	Flis	Pellets
Kostnad - 500 ton	\$275 922	\$169 798	\$70 380
Kostnad - 7 000 ton	\$3 862 902	\$2 377 171	\$985 320
Kostnad - 14 000 ton	\$7 725 805	\$4 754 341	\$1 970 640

Tabell 8: Kostnad för transport av den massa som krävs 100 km för att erhålla 500, 7 000 eller 14 000 ton pellets till försäljning [USD].

100 km	Råmaterial	Flis	Pellets
Kostnad - 500 ton	\$34 490	\$21 225	\$8 798
Kostnad - 7 000 ton	\$482 863	\$297 146	\$123 165
Kostnad - 14 000 ton	\$965 726	\$594 293	\$246 330

Beräkningar och delresultat med beräkningsgång av Nathan Associates Inc

NAI delar in kostnaderna för transporter i tidigare nämnda korridorer i två huvudkategorier: *Financial Logistics Costs* och *Hidden Costs*. I *Financial Logistics Costs* ingår *Gateway Costs*, *Inland transport costs* och *inland processing costs*. *Gateway costs* innebär kostnader förknippade med tull, korsa landsgränser och hamnkostnader. Dessa kostnader är inte applicerbara på transporter i detta kandidatarbete (då transporter sker inrikes) och därför kan denna kostnadsgrupp bortses. *Inland transport* är kostnaden för transporten där kostnader för bland annat bränsle, löner, däck, underhåll, försäkring etc. Det vill säga kostnaden som en tredjepartstransportör normalt kräver. *Inland processing costs* innefattar hanteringskostnader och *Hidden Costs* avser dolda kostnaderna där bland annat osäkerhetskostnader ingår.

$$TK_{NAI} = \frac{ITC + IPC + HC}{Sträcka_{NAI}}$$

TKNAI – Transportkostnad NAI [USD/(ton×km)]

ITC – Total Inland Costs [USD/ton]

IPC – Inland process costs [USD/ton]

HC – Hidden costs [USD/ton]

SträckaNAI – Transporterad sträcka enligt NAI [km]

För att beräkna totala transportkostnaden summeras *inland transport costs*, *inland processing costs* och *total hidden costs*. Denna summa divideras med transporterad vikt och sträcka för att få kostnaden per km och ton. Dessa beräkningar har gjorts för alla fem transportkorridorer och ett medelvärde har beräknats till 0,056133 USD per ton×km.

Tabell 9: Beräkning av transportfaktor.

	Abidjan- Bamako	Abidjan- Ouagadougou	Cotonou- Niamey	Douala- Njamena	Douala- Bangui	Medelvärde
Sträcka [km]	2 472	2 326	2 100	3 636	3 140	
Mängd [ton]	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	
Inlandstransport [FCFA/ton]	40 000	40 000	34 091	90 000	83 333	
Inlandsprocessing [FCFA/ton]	6 308	7 281	4 582	13 000	16 535	
Total inland [FCFA/ton]	46 308	47 281	38 673	103 000	99 868	
Transitinventory [FCFA]	3 156	2 695	7 805	5 446	5 900	
Hedging unreliability [FCFA]	2 245	3 030	11 880	5 605	5 718	
Total Hidden Cost [FCFA]	5 401	5 725	19 685	11 051	11 618	
Total	51 709	53 006	58 358	114 051	111 486	
Total [USD/ton]	104,89	107,52	118,37	231,34	226,14	
Total [USD/(ton×km)]	0,04243	0,04622	0,05637	0,06363	0,07202	0,05613

Tabell 10: Konstanter som använts vid beräkning av transport utifrån Nathan Associates Inc.

Max vikt för lastbil [ton]	Max volym för bil [m ³]	Sträcka [km]	Pris [USD/(ton×km)]	Positioneringssträcka (PS)
30	110	100 och 800	0,05613	0,5

Tabell 11: Krävd transporterad vikt för att erhålla 500, 7000 eller 14 000 ton pellets till försäljning [ton].

	Råmaterial	Flis	Pellets
Massa 1 - 500 ton	1 587	1 587	690
Massa 2 - 7 000 ton	22 218	22 218	9 660
Massa 3 - 14 000 ton	44 436	44 436	19 320

Följande formel har sedan använts för att räkna ut totala transportkostnaden:

$$TTK_{NAI} = TK_{NAI.Medel} \times Sträcka \times (1 + PS) \times Vikt$$

TTK_{NAI} – Totala transportkostnader NAI [USD]

TK_{NAI.Medel} – Medelvärde av transportkostnader baserad på rapport från NAI [USD/(ton×km)]

Sträcka – Transporterad sträcka [km]

PS - positioneringssträcka

Vikt – Transporterad vikt [ton]

Tabell 12: Kostnad för transport av den massa som krävs 800 km för att erhålla 500, 7000 eller 14 000 ton pellets till försäljning

	Råmaterial	Flis	Pellets
Massa 1 - 500 ton	1 587	1 587	690
Massa 2 - 7 000 ton	22 218	22 218	9 660
Massa 3 - 14 000 ton	44 436	44 436	19 320

Tabell 13: Kostnad för transport av den massa som krävs 100 km för att erhålla 500, 7000 eller 14 000 ton pellets till försäljning

800 km	Råmaterial	Flis	Pellets
Kostnad - 500 ton	\$106 900	\$106 900	\$46 478
Kostnad - 7 000 ton	\$1 496 601	\$1 496 601	\$650 696
Kostnad - 14 000 ton	\$2 993 201	\$2 993 201	\$1 301 392

Uppsamlingsplatser

I detta avsnitt redovisas indata och beräkningsgång för framtagande av kostnader till uppsamlingsplatser.

Alternativ med löne- och personalkostnad

Nedanstående kostnadsberäkningar baseras på alternativet som innefattar både löne- och markkostnad. Total area är framräknat genom att dividera den totala volymen med fem.

Tabell 14: Indata till de tre nedanstående tabellerna. Löne- och markkostnad hämtad från Cost of Doing Business in Zambia (Japan International Agency & Zambia development agency, 2011).

Lön [USD/månad]	200
Antal personal	2
Markkostnad [USD/m ² /månad]	2,25

Tabell 15: Kostnader för uppsamlingsplatser med insamlingstid 12 månader.

Antal uppsamlingsplatser	5	12	46	80
Total volym 1 [m ³]	9919	9919	9919	
Total volym 2 [m ³]		138863	138863	138863
Total volym 3 [m ³]		277725	277725	277725
Total area 1 [m ²]	1984	1984	1984	
Total area 2 [m ²]		27773	27773	27773
Total area 3 [m ²]		55545	55545	55545
Personalkostnad 1 [USD]	\$24 000	\$57 600	\$220 800	
Personalkostnad 2 [USD]		\$57 600	\$220 800	\$384 000
Personalkostnad 3 [USD]		\$57 600	\$220 800	\$384 000
Markkostnad 1 [USD]	\$53 561	\$53 561	\$53 561	
Markkostnad 2 [USD]		\$749 858	\$749 858	\$749 858
Markkostnad 3 [USD]		\$1 499 715	\$1 499 715	\$1 499 715
Total kostnad 1 [USD]	\$77 561	\$111 161	\$274 361	
Total kostnad 2 [USD]		\$807 458	\$970 658	\$1 133 858
Total kostnad 3 [USD]		\$1 557 315	\$1 720 515	\$1 883 715

Tabell 16: Kostnader för uppsamlingsplatser med insamlingstid 6 månader.

Antal uppsamlingsplatser	5	12	46	80
Total volym 1 [m ³]	9919	9919	9919	
Total volym 2 [m ³]		138863	138863	138863
Total volym 3 [m ³]		277725	277725	277725
Total area 1 [m ²]	1984	1984	1984	
Total area 2 [m ²]		27773	27773	27773
Total area 3 [m ²]		55545	55545	55545
Personalkostnad 1 [USD]	\$12 000	\$28 800	\$110 400	
Personalkostnad 2 [USD]		\$28 800	\$110 400	\$192 000
Personalkostnad 3 [USD]		\$28 800	\$110 400	\$192 000
Markkostnad 1 [USD]	\$26 781	\$26 781	\$26 781	
Markkostnad 2 [USD]		\$374 929	\$374 929	\$374 929
Markkostnad 3 [USD]		\$749 858	\$749 858	\$749 858
Total kostnad 1 [USD]	\$38 781	\$55 581	\$137 181	
Total kostnad 2 [USD]		\$403 729	\$485 329	\$566 929
Total kostnad 3 [USD]		\$778 658	\$860 258	\$941 858

Tabell 17: Kostnader för uppsamlingsplatser med insamlingstid 1 månad.

Antal uppsamlingsplatser	5	12	46	80
Total volym 1 [m ³]	9919	9919	9919	
Total volym 2 [m ³]		138863	138863	138863
Total volym 3 [m ³]		277725	277725	277725
Total area 1 [m ²]	1984	1984	1984	
Total area 2 [m ²]		27773	27773	27773
Total area 3 [m ²]		55545	55545	55545
Personalkostnad 1 [USD]	\$2 000	\$4 800	\$18 400	
Personalkostnad 2 [USD]		\$4 800	\$18 400	\$32 000
Personalkostnad 3 [USD]		\$4 800	\$18 400	\$32 000
Markkostnad 1 [USD]	\$4 463	\$4 463	\$4 463	
Markkostnad 2 [USD]		\$62 488	\$62 488	\$62 488
Markkostnad 3 [USD]		\$124 976	\$124 976	\$124 976
Total kostnad 1 [USD]	\$6 463	\$9 263	\$22 863	
Total kostnad 2 [USD]		\$67 288	\$80 888	\$94 488
Total kostnad 3 [USD]		\$129 776	\$143 376	\$156 976

Alternativ med enbart lönekostnad

Följande tabeller redovisar kostnad för uppsamlingsplatser som enbart baseras på lönekostnad. Indata till tabellerna baseras på en lönekostnad av 0,7 USD per timme (Government of Zambia, 2012). Beräkningarna förutsätter att personal alltid krävs vid uppsamlingsplatsen. Lönekostnaden per timme har därför multiplicerats med 720 för att få en månadskostnad. Då alternativet bortser från markkostnad är produktionsvolymen inte relevant i beräkningarna.

Tabell 18: Kostnader för uppsamlingsplatser med insamlingstid 12 månader.

Antal uppsamlingsplatser	5	12	46	80
Total kostnad [USD]	30240	72576	278208	483840

Tabell 19: Kostnader för uppsamlingsplatser med insamlingstid 6 månader.

Antal uppsamlingsplatser	5	12	46	80
Total kostnad [USD]	15120	36288	139104	241920

Tabell 20: Kostnader för uppsamlingsplatser med insamlingstid 1 månad.

Antal uppsamlingsplatser	5	12	46	80
Total kostnad [USD]	2520	6048	23184	40320

Utbyte mellan restbiomassa och pellets

Hur mycket pellets som går att framställa från en viss mängd biomassa beräknades genom att se till fukthalterna för restbiomassa respektive pellets. Från FAO (2013) fås att fukthalten för färsk biomassa är ca 60 procent och motsvarande för pellets är ca tio procent. I rapporten har en fukthalt för pellets på åtta procent antagits.

Konverteringen sker genom att vikten av restbiomassan minskas med vikten för den mängd vatten som skiljer fukthalterna åt. Det genomförs med följande formel:

$$\frac{Vikt_{Biomassa} - (Vikt_{Biomassa} \times Fukthalt_{Biomassa})}{1 - Fukthalt_{Pellets}}$$

Tabell 21: Räkneexempel för viktkonvertering av ett ton restbiomassa med fukthalt 60 procent till motsvarande mängd pellets med åtta procent fukthalt.

Råvara till pellets utbyte	
Fukthalt [wb]	60%
Vikt [ton]	1
Pellets [wb]	8%
Motsvarande pellets [ton]	0.43

Flis

Nedan redovisas sekundärdata samt delberäkningar för framtagningen av antal flismaskiner och dess operativa kostnader.

Sekundärdata

Följande beräkningar i avsnittet baseras på den indata som presenteras i följande tabell. Samtlig information är hämtad från de svenska flismaskinsleverantörerna RC Holm AB (RC Holm AB, no date) och Maskinkompaniet AB (Maskinkompaniet AB, no date).

Tabell 22: Följande indata ligger till grund för samtliga beräkningar av antal flismaskiner samt kostnader som uppstår vid flisning.

	Värde	Variabel	Källa
Flistyp	TW 350DHB(T)	-	-
Inköpspris på flis [\$]	\$63 300	i	RC Holm AB
Kapacitetsbegränsning [ton biomassa/h] - flis	12	K	Maskinkompaniet AB
Bränsleförbrukning [Liter/h] - flis	6	B	Maskinkompaniet AB
Antal arbetsveckor per månad [veckor]	4	-	-
Antal arbetstimmar per vecka [h]	40	-	-

Antal flismaskiner, n

Utifrån ekvationen som presenterats i *Beräkning av flis*, för att beräkna antal flisar för flisning, fås följande resultat av antal flismaskiner.

Tabell 23: Krävt antal flismaskiner för de specifika fallen [st].

	Produktionsvolym		
	500 ton	7 000 ton	14 000 ton
Antal flisar för flisning - 1 mån	1	8	17
Antal flisar för flisning - 6 mån	1	1	3
Antal flisar för flisning - 12 mån	1	1	1

Antal maskintimmar

Följande beräkning redovisar hur antalet maskintimmar tagits fram utifrån mängden restbiomassa och maskinens kapacitetsbegränsning.

$$\text{Antal maskintimmar} = \frac{\text{Mängden restbiomassa}}{K}$$

K – Kapacitetsbegränsning, restbiomassa [ton/h]

Antal maskintimmar i modellen beräknas genom att dividera mängden restbiomassa med maskinens kapacitetsbegränsning. För den valda flisen, utifrån de tre mängderna restbiomassa, fås följande resultat:

Tabell 24: Krävt antal maskintimmar för att flisa respektive mängd råmaterial [h].

Antal maskintimmar - 500 ton	96
Antal maskintimmar - 7 000 ton	1342
Antal maskintimmar- 14 000 ton	2683

Beräkning av tidsintervallet, t

Tidsintervallet i modellen beräknas fram genom att multiplicera antalet timmar en flis arbetar per månad med antal månader som flisen kommer arbeta.

$$t = \text{Antal timmar per månad} \times \text{Antal flisningsmånader}$$

Detta resulterar i följande tidsintervall:

Tabell 25: Krävd tidsåtgång av flisning för respektive tidsintervall [h].

Tidsintervall för flisning - 1 mån	160
Tidsintervall för flisning - 6 mån	960
Tidsintervall för flisning - 12 mån	1920

Beräkning av flismaskinens underhållskostnad, U:

Underhållskostnaden har beräknats enligt följande formel, som baseras på Thek och Obernbergers (2004) metod för beräkning av underhållskostnad vid pelletsproduktion. Procentsatsen, som andel av investerat kapital, är satt till tre procent enligt Thek och Obernbergers (2004).

$$U = \frac{0,03 \times \text{Investeringskostnad}}{\text{Maskintimmar}}$$

Investeringskostnaden vid flisning är uteslutande inköpskostnader av flismaskiner, som tagits från de svenska flismaskinsleverantörerna RC Holm AB (RC Holm AB, no date) och Maskinkompaniet AB (Maskinkompaniet AB, no date).

Investeringskostnaden beräknas alltså genom att multiplicera inköpspriset för en flismaskin med det tänkta antalet flismaskiner som skall köpas in i de olika fallen.

$$\text{Investeringskostnad} = \text{Inköpskostnad} \times \text{Antal maskintimmar}$$

Utifrån tidigare delberäkningar, blir investeringskostnaden för de olika fallen enligt följande tabell:

Tabell 26: Krävd investeringskostnad vid flisning för respektive fall [USD].

	Produktionsvolym		
	500 ton	7 000 ton	14 000 ton
Investeringskostnad för flisning - 1 mån	\$63 300	\$506 400	\$1 076 100
Investeringskostnad för flisning - 6 mån	\$63 300	\$63 300	\$189 900
Investeringskostnad för flisning - 12 mån	\$63 300	\$63 300	\$63 300

Med ovanstående investeringskostnader beräknades flismaskinens årliga underhållskostnad fram:

Tabell 27: Krävd underhållskostnad vid flisning för respektive fall [USD].

	Produktionsvolym		
	500 ton	7 000 ton	14 000 ton
Underhållskostnad för flisning - 1 mån	\$19,8	\$11,3	\$12,0
Underhållskostnad för flisning - 6 mån	\$19,8	\$1,4	\$2,1
Underhållskostnad för flisning - 12 mån	\$19,8	\$1,4	\$0,7

Operativ kostnad för flisning

Utifrån ekvationen som presenterats i *Beräkning av flis* för att ta fram den operativa kostnaden för flisning fås följande resultat.

Tabell 28: Redovisning av de krävda operativa kostnaderna vid flisning i de specifika fallen.

	Produktionsvolym		
	500 ton	7 000 ton	14 000 ton
Operativ kostnad för flisning - 1 mån	\$2 474	\$23 242	\$48 383
Operativ kostnad för flisning - 6 mån	\$2 474	\$9 949	\$21 797
Operativ kostnad för flisning - 12 mån	\$2 474	\$9 949	\$17 999

Miljö

Nedan presenteras sekundärdata samt beräkningar för koldioxidutsläpp vid produktion av pellets.

Sekundärdata

I tabellerna nedan presenteras ingångsvärden och källor för den indata som har använts vid beräkning av koldioxidutsläpp vid produktion av pellets.

Tabell 29: Indata för beräkning av koldioxidutsläppen vid flisning.

Flisning	Fukthalt 60%	Fukthalt 10%
Kapacitet flismaskin [kg/h]	12 000	12 000
Krävd mängd enhet flis för 1 enhet pellets	2,30	1,02
Mäng pellets timma [kg/h]	5 217	11 739
Bränsleförbrukning per timma [l/h]	6,0	6,0
Bränsleförbrukning per pellets [l/kg]	0,00115	0,00051
CO ₂ utsläpp [kg/l]	2,6	2,6
CO ₂ utsläpp per kg pellets [CO ₂ /kg]	0,00299	0,00133

Tabell 30: Presenterar använd indata för att beräkna lastens vikt vid transport av flis.

	Fukthalt 60%	Fukthalt 10%
Densitet [kg/m ³]	260	115,6

Tabell 31: Den maximala lastvolymen på använd lastbil.

Maximal lastvolym lastbil (HDV) [m ³]	110
---	-----

Tabell 32: Använd indata för att beräkna CO₂ utsläppen vid transport av flisad restbiomassa.

Transport	Fukthalt 60%	Fukthalt 10%
Bränsleförbrukning (fyllnadsgrad 100%) [l/mil]	0,4625	0,3450
Transportsträcka [mil]	80	80
CO ₂ utsläpp per liter diesel [kg/l]	2,6	2,6
Last vikt per lastbil [kg]	28600	12711
Flis 60% fukthalt motsvarighet i pellets	0,4348	0,9783

Tabell 33: Använd indata för att beräkna bränsleförbrukning vid transport av flis givet en godtycklig vikt.

Bränsleförbrukning tom lastbil [l/mil]	0,251
Bränsleförbrukning fullasta lastbil [l/mil]	0,495
Maximal lastvikt lastbil (HDV) [ton]	33
Ökad bränsleförbrukning per kilo last	$7,4 \cdot 10^{-6}$

Tabell 34: Använd indata för att beräkning kostnaden för torkning av flis givet 60 eller 10 procents fukthalt samt olika fabriks kapacitet och försäljningsmål.

Torkning						
CO2 utsläpp förbräning råolja [kg/liter]	6,3					
Årsproduktion [ton]	500 ton		7000 ton		14 000 ton	
Typ av pelletsverk	1,2 ton	3 ton	1,2 ton	3 ton	1,2 ton	3 ton
Fukthalt 60%:						
Bränsleförbrukning [l/kg pellets]	0,2	0,2059	-	0,2006	-	0,2012
CO2 utsläpp per kg pellets [kg/l]	1,29	1,3	-	1,26	-	1,27
Fukthalt 10%:						
Bränsleförbrukning [l/kg pellets]	0,0035	0,0035	-	0,0034	-	0,0034
CO2 utsläpp per kg pellets [kg/liter]	0,022	0,0222	-	0,0216	-	0,0217

Tabell 35: Använd indata vid beräkning av CO2 vid torkning av restbiomassa.

CO2 utsläpp Råolja [g/kWh]	630
Energi olja [kWh/l]	10
CO2 utsläpp per liter råolja [kg/l]	6,3

Ersättning till jordbrukare

Beräkning av krävd mängd pellets för att ersätta jordbrukare med en årsproduktion av pellets. Siffror över genomsnittliga förbrukningar och tillgänglighet på restbiomasa är hämtade från ECS Business Plan och via Personlig kommunikation med SNV.

Tabell 36: Använd indata vid beräkning av CO₂ vid torkning av restbiomassa.

Genomsnittligt hushåll årsförbrukning av Pellets [ton]	0,50
Andel av årsförbrukning pellets ECS ger bönderna	100%
Genomsnittlig storlek på gård [ha]	1,50
Genomsnittlig restbiomassa [ton/ha]	2,00
Genomsnittlig restbiomassa per gård [ton]	3,00
Konverteringsfaktor restbiomassa till pellets	2,30
Mängd pellets som kan tillverkas från en genomsnitts gård [ton]	1,30
Andel pellets producerade som måste lämnas till jordbrukarna	38%