



**ecoenergy**  
business group



**rijksuniversiteit  
groningen**

## Optimale scheiding van bio-ethanol uit gefermenteerde cassave pulp

René van der Linden

Rijksuniversiteit Groningen

Faculteit Wis- en Natuurwetenschappen

Bachelor Thesis – Technische Bedrijfskunde

Juni 2012

Tuinbouwstraat 76a

9717 JL Groningen

(06)

Rene.van.der.linden.2@student.rug.nl

Studentnummer S1862995

## *Voorwoord*

Het rapport dat voor u ligt bevat een probleemanalyse en oplossingsstrategie betreffende de situatie van een bio-ethanol installatie in Panama. Ik heb deze installatie mogen analyseren als afstudeeropdracht voor mijn bachelor Technische Bedrijfskunde aan de RuG, welke op zijn beurt de opdracht binnen heeft gekregen via FACT foundations.

Er ontstaat met het opraken van fossiele brandstoffen interesse naar alternatieven. Met mijn onderzoek hoop ik hier een kleine bijdrage aan te leveren, door lokale boeren een mogelijkheid te geven om van fossiele brandstoffen over te stappen op bio-ethanol.

Middels dit voorwoord wil ik een aantal mensen bedanken en mijn grootste bedank gaat uit richting John Loke, zonder wie dit rapport niet tot stand zou zijn gekomen. Hij is een constante bron van informatie geweest en heeft mijn blik op een groene toekomst duidelijk verbreed.

Daarnaast wil ik van FACT de heren Ywe-Jan Franken en Winfried Rijssenbeek bedanken. Zij hebben mij de mogelijkheid gegeven dit project te kiezen en hebben in het hele traject mij gevolgd en gesteund om tot een goed resultaat te komen.

Verder bedank ik de heer Frans van Hulle, hij heeft mij als plantmanager de meeste eisen gegeven en ik hoop dat hij nog lang plezier aan zijn verbeterde installatie heeft.

Als laatste gaat nog een groot bedank uit naar mijn begeleider professor Heeres. Door mij terug te halen uit verduisterende zijwegen en met zijn kennis heeft hij een grote bijdrage gehad in mijn onderzoek.

## *Samenvatting*

In dit rapport is een kleinschalige bio-ethanol installatie in Panama geanalyseerd. Bio-ethanol is een brandstof die gebruikt kan worden voor in motoren. Doordat lokale boeren hun eigen brandstof produceren, worden ze minder afhankelijk van fossiele brandstoffen. Deze installatie maakt gebruik van cassave wortels als grondstof. In de huidige installatie ontstaat na het fermenteren een opstopping in de filter, die de vaste stoffen dient te scheiden. Het gevolg hiervan is dat de boiler en de destillatiekolom verstopt raken.

De vraagstelling van het onderzoek luidt: Hoe kan, op een kosteneffectieve en energiezuinige manier, het proces zo worden ingericht dat de 95% van de ethanol uit de pulp gescheiden kan worden?

De minimale eisen waaraan het ontwerp moet voldoen zijn;

- 500L uitgaande stroom waarvan 95% ethanol per dag,
- Het ontwerp moet kosteneffectief zijn,
- Het energie rendement moet positief zijn,
- Het proces moet fool-proof zijn,
- Lokale boeren moeten het eenvoudige onderhoud kunnen uitvoeren,
- Het proces moet veilig zijn.

In het literatuuroverzicht worden drie verschillende stappen onderzocht. Dit zijn de voorbehandeling, de voorbereiding en het scheiden. De voorbehandeling kan bestaan uit het snijden en drogen, het wassen, het schillen van verse wortels of een combinatie hiervan. De voorbehandeling beïnvloedt de ingaande stroom in samenstelling en viscositeit. De voorbereiding is het fijn maken van de cassave, zodat het contactoppervlak voor de enzymatische reactie groter wordt. Dit kan gedaan worden door een hamermolen of een rasp. De voorbereiding is van invloed op de deeltjesgrootte en de viscositeit. De onderzochte scheidingsmethoden zijn het gebruiken van een filter, gebruik maken van sedimentatie of scheiden door middel van een schroef. Door een vergelijking te maken van het huidige proces en in theorie omschreven processen, zijn er een aantal oplossingen naar voren gekomen.

Het productieproces begint met het vermalen van de verse cassavewortel. Hierna wordt de pulp gehydrolyseerd en wordt het principe van simultaneous saccharification and fermentation (SSF) toegepast. Na het fermenteren wordt de pulp gefilterd en gedecanteerd. De pulp wordt vanaf hier bier genoemd en wordt in een boiler gescheiden tot water en ethanol voor het de destillatiekolom ingaat. In de huidige installatie verstopt de filter en komen er teveel vaste stoffen in de boiler en de destillatiekolom, die vervolgens verstopten.

De eerste oplossing is om de filter van de hamermolen te verkleinen van 1.3 mm naar 0.8 mm. Hierdoor zijn de vaste stoffen in het proces kleiner. In de hamermolen kan een pasta ontstaan. De oplossing hiervoor bestaat uit het toevoegen van meer water, een schraper die meedraait in de hamermolen of door water van de andere kant op de filter te spuiten. De kosten van deze oplossingen zijn voornamelijk het extra water gebruik, het verlies van ethanolopbrengst en in de aanschaf van een nieuw filter.

De tweede oplossing is het vervangen van de verse wortel voor gedroogde chips. Dit verlaagt de viscositeit en vermindert het aantal vaste stoffen per liter ethanol. Dit leidt tot een verhoogde ethanol opbrengst van 185 naar 449 liter per dag. De kosten van deze oplossing bestaan uit de aanschaf van een snijmachine en van grond om de cassave te drogen. Deze investering is in 3 weken terugverdiend. In oplossing drie wordt het principe van sedimentatie geïntegreerd in de huidige filter. Volgens de wet van Stokes bezinken de deeltjes genoeg, meer dan 40 cm. De onzekerheid van deze oplossing is dat de praktijk kan verschillen van de theorie. De vierde oplossing is om de filter te vervangen voor een schroef. Deze schroef is een erg robuuste bewerking en heeft een gegarandeerde effectiviteit. Nadelen ervan zijn de hoge aanschafkosten, de hoge energiekosten en dat een operator de schroef niet kan maken wanneer deze stuk gaat.

De voorgestelde oplossing is om de eerste drie te combineren. Hiervoor is gekozen, omdat oplossing twee niet voldoende zal zijn om het filtratieprobleem op te lossen. Het gebruik van oplossing drie werkt volgens de theorie, maar om in de praktijk nog minder risico te nemen is ervoor gekozen om ook oplossing een aan de voorgestelde oplossing toe te voegen. Oplossing één brengt geen hoge kosten met zich mee en is eenvoudig te implementeren. Dit zal een eenvoudig proces opleveren, een proces dat uit te voeren is door een persoon en de investeringskosten zullen worden terugverdiend. De extra opbrengst ethanol per dag is nu 152 liter per dag. De totale kosten zijn 2850 dollar aanschafkosten en eventueel 0.15 dollar per dag aan extra waterkosten. De investering zal na 38 dagen zijn terugverdiend.

## *Inhoudsopgave*

<b>Voorwoord</b>		<b>i</b>
<b>Samenvatting</b>		<b>ii</b>
<b>1</b>	<b>Introductie</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Achtergrond informatie</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Probleemanalyse</b>	<b>3</b>
	3.1 Probleemanalyse	3
	3.1.1 Vraagstelling	3
	3.1.2 Causaal conceptueel model	3
	3.1.3 Deelvragen	4
	3.1.4 Aanpak	4
<b>4</b>	<b>Literatuuroverzicht kleinschalige bio-ethanol installaties</b>	<b>5</b>
	4.1 De drie processtappen	5
	4.1.1 Direct na de oogst	5
	4.1.2 Voorbehandeling	5
	4.1.3 Voorbewerking	7
	4.1.4 Scheiding	8
	4.2 Inventarisatie vergelijkbare processen	11
	4.3 Root-cause analyse	11
<b>5</b>	<b>Procesbeschrijving</b>	<b>12</b>
	5.1 PFD	12
	5.2 Massabalans	14
<b>6</b>	<b>Oplossingsstrategie</b>	<b>15</b>
	6.1 Oplossing 1, verklein de filter van de hamermolen	15
	6.2 Oplossing 2, gebruik van louter gedroogde cassave	16
	6.3 Oplossing 3, sedimentatie	18
	6.4 Oplossing 4, schroef	19
<b>7</b>	<b>Conclusie</b>	<b>21</b>
	<b>Literatuurlijst</b>	<b>22</b>
	Appendix A, figuren	25
	Appendix B, Procestekening	26
	Appendix C, Model massabalans	27
	Appendix D, Grafieken van productiemethode vergelijking	28
	Appendix E, Massa balans oplossing 2	29
	Appendix F, Bezinksnelheden	30

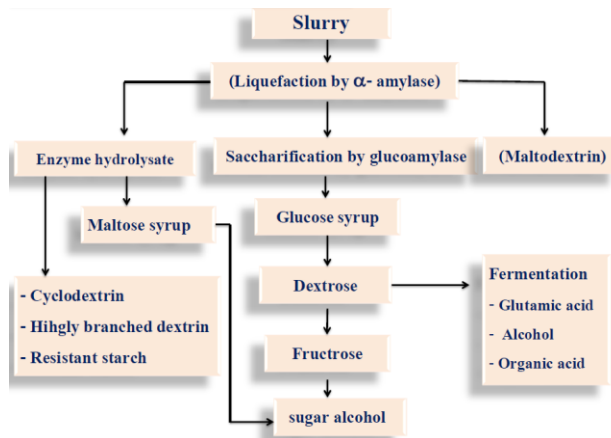
## 1. Introductie

Sinds het besef dat fossiele brandstoffen eindig zijn is men op zoek naar alternatieven. Eén van deze alternatieven is bio-ethanol. Bio-ethanol wordt geproduceerd door glucose houdend materiaal, meestal delen van gewassen, anaeroob te vergisten. Hierbij ontstaat naast ethanol ook CO<sub>2</sub>. Aangezien deze CO<sub>2</sub> relatief gezien niet zo lang geleden werd opgenomen uit de lucht, wordt deze uitstoot niet als een bijdrage van het broeikaseffect gezien en als groen gelabeld.

Het meest verbouwde gewas in Panama is de cassaveplant. Deze wordt voor een groot deel als voeding gebruikt. Daarnaast is de pulp van de wortel een grondstof voor allerlei andere toepassingen (zie figuur 1). De cassavewortel is, wegens zijn hoge zetmeelgehalte (30-35% nat gewicht) en hoge opbrengsten per hectare (25-40 ton) (Breuninger et al.), erg geschikt voor de productie van ethanol. De conventionele processtappen om ethanol te winnen uit zetmeel begint bij het oogsten van de plant. Deze wordt, al dan niet met voorbehandeling, in een hamermolen vermalen en gemengd met water. Hierna wordt het mengsel in een tank geroert en gekookt om ervoor te zorgen dat het zetmeel wordt omgezet in di- en trisachariden. Door vervolgens enzymen toe te voegen, worden de sachariden omgezet in glucose. Hierna wordt de glucose gefermenteerd in vaten, waarin gisten leven. Na zo'n vat wordt de pulp bier genoemd en het heeft een alcoholpercentage van 10-20%. Het bier wordt de destillatiekolom in gestuurd om de ethanol te winnen. Meestal wordt voor deze stap het bier nog gescheiden van de vaste stoffen die zijn overgebleven van de plant. In de destillatiekolom wordt de ethanol tot 95% gewonnen, waarna het door 'molecular sieves' tot 99% wordt gezuiverd. De afval van dit proces wordt vinasse genoemd en is bruikbaar als meststof voor de landbouwgrond. Dit proces is te vinden in Appendix A in figuur 1. Er wordt in de wereld onderscheidt gemaakt in de schaalgrootte van een bio-ethanol installatie. Dit heeft te maken met de eenvoud van een installatie, de kosten en de productie capaciteit. De te onderzoeken installatie in Panama valt in de categorie kleinschalige installaties, met een beoogde dagopbrengst van 500 liter ethanol. In het onderzoek wordt daarom rekening gehouden met de investeringskosten en het gemak van opereren, aangezien er één persoon beschikbaar is om de installatie draaiende te houden. De ethanol die door de installatie geproduceerd wordt kan gebruikt worden door lokale boeren als brandstof voor hun machines. Dit maakt ze minder afhankelijk van fossiele brandstoffen, die ze moeten importeren.

De planteigenaar is Frans van Hulle en is eigenaar van het bedrijf Agro2. Van Hulle heeft via de stichting FACT laten weten dat er een probleem is ontstaan in zijn installatie. Nadat het gebouwd was, ontstond er bij het in werking stellen direct een opstopping in de filter. De randen van de filter gingen hierdoor uitzetten en de stroom eindigde ongefilterd in de destillatiekolom, waardoor deze verstopte. Het belang van de installatie is dat het als 'pilot' dient en dat een opschaling de boeren in de regio minder afhankelijk maakt van fossiele brandstoffen. Dit geldt als een belangrijk speerpunt van de tussenpersoon FACT foundation. Om de opschaling tot een succes te maken, wil van Hulle graag dat de huidige installatie goed werkt. De doelstelling van dit onderzoek zal zijn:

Een oplossing voordragen die ervoor zorgt dat het proces een output realiseert van 500 liter 95% zuivere ethanol, waarbij kosten, energiegebruik en eenvoud de belangrijkste criteria zijn.



Figuur 1, verschillende eindproducten en bewerkingsstappen van de cassavepulp

## 2. Achtergrond informatie

In dit rapport zijn de belangen van drie partijen verstrengeld. Allereerst die van Van Hulle. Zoals in de inleiding vermeldt wil hij graag de installatie opschalen. Zijn belang zal vooral liggen in de effectiviteit van de installatie. Daarnaast is er het belang van de Ecoenergy business group (e2), welke vertegenwoordigt wordt door John Loke. Van Hulle heeft de installatie gekocht van Loke. E2 is een bedrijf dat zich bezig houdt met het onderzoek naar allerlei groene energiebronnen. Het belang van e2 ligt vooral in de efficiency van de huidige installatie. Als laatste is er FACT foundation. Zij zijn een stichting die mensen in derde wereld landen proberen te helpen met kennis over biobrandstoffen en hebben contacten met zowel Agro 2 en e2. Voor hen is het van belang om kennis op te doen over de productie van ethanol uit cassave om elders op de wereld mensen te kunnen helpen.

### 3. Probleem analyse

Het rapport zal beginnen met een probleem analyse om helder te maken wat er onderzocht is. Uit de probleem analyse zijn een vraagstelling, een conceptueel model en twee deelvragen naar voren gekomen, die het onderzoek structuur hebben gegeven.

#### 3.1 Probleemanalyse

De output hapert doordat de destillatiekolom verstopt raakt. Dit wordt veroorzaakt door ineffectieve scheiding van ethanol en water uit de pulp, waardoor ook de stroperige vinasse de kolom ingaat. Dit heeft meerdere mogelijke oorzaken, namelijk;

- Te veel en te grote vaste stukjes in de pulp,
- En te hoge viscositeit van de pulp,
- Verkeerde scheiding.

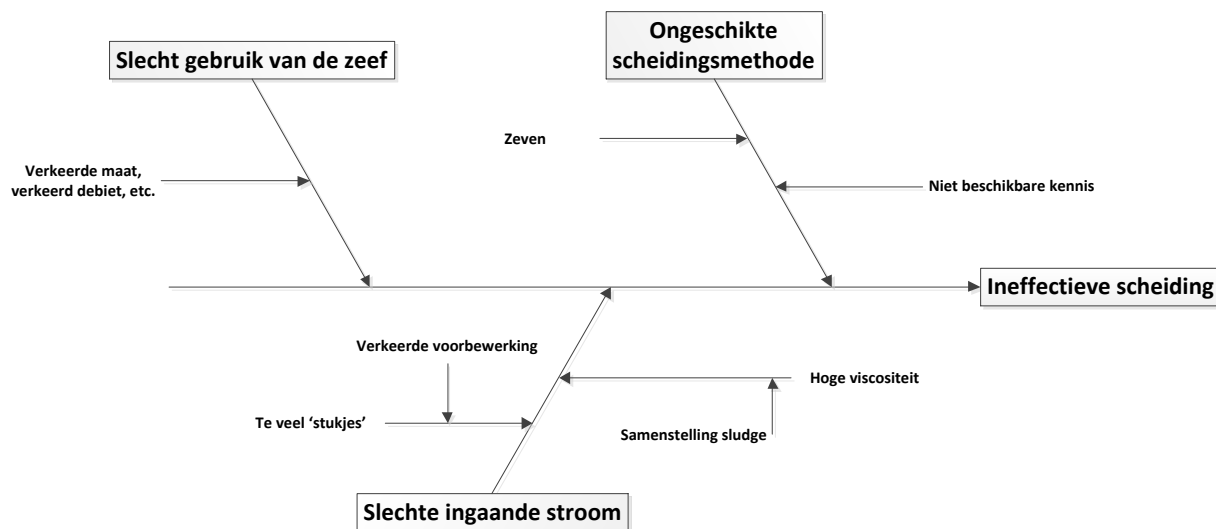
De minimale eisen waaraan het ontwerp moet voldoen zijn

- 500L uitgaande stroom waarvan 95% ethanol per dag
- Het ontwerp moet kosteneffectief zijn
- Het energie rendement moet positief zijn
- Het proces moet fool-proof zijn
- Lokale boeren moeten het eenvoudige onderhoud kunnen uitvoeren
- Het proces moet veilig zijn

#### 3.1.1 Vraagstelling

Hoe kan, op een kosteneffectieve en energiezuinige manier, het proces zo worden ingericht dat de 95% van de ethanol uit de pulp gescheiden kan worden?

#### 3.1.2 Causaal conceptueel model



Figuur 3, causaal conceptueel model



Door de ineffektieve scheiding verstopt de destillatiekolom en hapert de output. Om het model overzichtelijk te houden zijn deze oorzaak-gevolg relaties niet weergegeven. De basis (ineffectieve scheiding) kan door meerdere factoren beïnvloed worden. De voorbehandeling kan onvoldoende zijn. Uit literatuur blijkt dat de verse wortels voor meer problemen zorgend dan voorbewerkte droge chips (Genencor). De schillen van de wortels bestaan grotendeels uit cellulose, wat niet wordt omgezet. De schil levert hierdoor een grote bijdrage aan de 'stukjes' (Loke). Daarnaast kan de pulp te visceus zijn, wat betekent dat het te stroperig is om goed door de filter te stromen. Dit kan veroorzaakt worden door een hoge concentratie amolpectine (Sharma), te weinig water en veel cellulose. Dit valt onder de noemer samenstelling sludge. De samenstelling van de pulp en de hoeveelheid 'stukjes' beïnvloeden de ingaande stroom naar de filter, deze kan dus van invloed zijn op de werking van de filter. Daarnaast kan de zeef zelf de verkeerde maat hebben. De smalle filter heeft een porie grootte van 1mm, die kleiner is dan de 1,3 mm poriegrootte van de filter achter de hamermolen. Het zou kunnen dat de deze poriegrootte groter gekozen moet worden en dat er meer overgebleven 'stukjes' bezinken tijdens het decanteren. Het zou ook kunnen dat de filter achter de hamermolen een kleinere poriegrootte moet hebben. Dan kan het nog zo zijn dat de filter in geen situatie de juiste scheidingsmethode is. In het huidige proces is er te weinig kennis over alternatieven, waardoor een gebrek aan kennis de oorzaak kan zijn van het scheidingsprobleem.

### 3.1.3 Deelvragen

1. Wat in de samenstelling van de ingaande stroom zorgt voor problemen bij het filteren? Valt hier wat aan te doen?
2. Wat zijn scheidingsmethode die het filtreren in de huidige situatie kunnen vervangen?
  - Moeten er bij deze scheidingsmethodes nog andere bewerkingen gedaan worden aan de pulp (voor/na bewerkingen)?

### 3.1.4 Aanpak

Het doel van het onderzoek is om de vraagstelling te beantwoorden. Hiervoor wordt een literatuurstudie opgestart naar kleinschalige bio-ethanol installaties. De kennis uit de literatuur zal worden vergeleken met een proces beschrijving van de huidige installatie. De verwachting is dat hieruit een aantal verschillen naar voren zullen komen en op basis van de literatuur zullen er oplossingen worden aangedragen die de installatie in Panama kunnen verbeteren.

## 4. Literatuuroverzicht kleinschalige bio-ethanol installaties

Uit de probleemanalyse is gebleken dat het probleem zich kan voordoen in de voorbehandeling, de voorbereiding of in de scheiding. Daarom zullen in het literatuuroverzicht deze drie behandeld worden en wordt bijvoorbeeld de theorie over het fermenteren niet beschouwd. Er is onderzocht hoe anderen hun ethanol installatie inrichten. Hoewel een groot deel van de gevonden procesbeschrijvingen over cassave gingen zijn er een aantal bronnen die uitgingen van andere grondstoffen.

### 4.1 De drie processtappen

#### 4.1.1 Direct na de oogst

Na het oogsten van de cassave dient deze zo snel mogelijk verwerkt worden. In 3 tot 4 dagen daalt het zetmeel gehalte zo veel dat het niet meer rendabel is om het te verwerken (Atthasampunna et al). Dit betekent voor een ethanol installatie die werkt op verse cassave dat er een constante aanvoer moet te zijn. Dit kan op kleine schaal voor problemen zorgen. Een andere mogelijkheid is om de geoogste cassave te snijden en te drogen tot chips. Het zetmeelgehalte in deze chips (droge cassave) is >70% (Genencor) en ze blijven veel langer geschikt voor verwerking. Voordeel van het snijden en drogen is dat het zetmeelgehalte stijgt en dat chips relatief minder vezels bevatten dan verse cassave (BioTec).

#### 4.1.2 Voorbehandeling

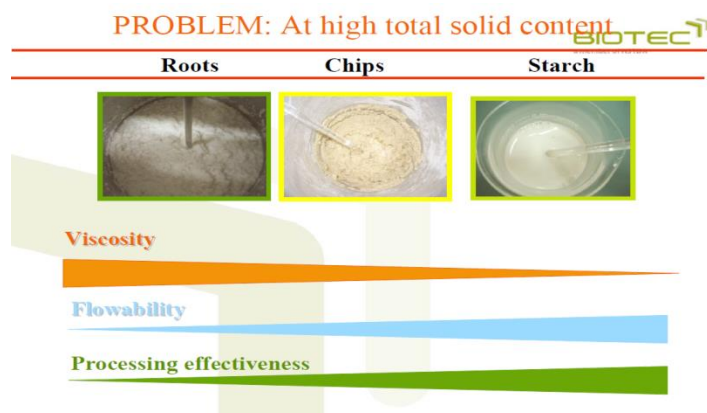
Het doel van een voorbehandeling is om de cassave meer geschikt te maken voor het productieproces en om te voorkomen dat er vuil het proces in gaat. Er kan gekozen worden om de cassave zonder voorbehandeling het proces in te sturen. Dit betekent dat verse cassave direct van het land het proces in gaat. Dit heeft als voordeel dat de enige kosten de transportkosten zijn. Nadeel is dat verse cassave veel water en ongewenste stoffen bevat. Per liter ethanol is er bij gebruik van verse wortels 1.4 keer zoveel vaste stof dan bij gebruik van chips (massabalans). Eén van de mogelijke voorbehandeling is om de verse cassave te snijden en te drogen. Voor het snijden worden groffe raspers gebruikt en het drogen kan gebeuren door 'sun-drying' of 'flash drying'. De cassave wordt door de rasp in stukken van maximaal 10cm gesneden. In het geval van een kleine installatie ligt het voor de hand om deze chips te drogen in de zon. Het is ideaal om per vierkante meter een laag van 10 cm wortels te drogen (Loke). De dichtheid van de wortels is  $870\text{kg/m}^3$ , dit betekent dat er per  $\text{m}^2$  87 kg cassave kan drogen. Van 100 kg cassave blijft 59 kg chips over (Hahn et al). Dit betekent dat een vierkante meter 51 kg chips oplevert. Het is logisch om de cassave op een zeil te laten drogen, wanneer het begint te regenen kan het sneller onder een afdak worden verplaatst. Per hectare kost het 10 man om de cassave op een goede manier te drogen, zo moeten ze af en toe gedraaid worden. Het voordeel van snijden en drogen is dat het zetmeelgehalte veel hoger is dan bij verse wortels, de viscositeit lager is dan bij verse wortels en dat er minder vaste stoffen het proces ingaan (Biotec).

In een afbeelding van Biotec is een relatie tussen de voeding en de viscositeit van de pulp weergegeven (zie figuur 4). Wat opvalt, is dat gedroogde chips een veel lagere viscositeit hebben dan de verse wortels. Dit is niet gewenst, omdat een dit een lagere vloeibaarheid en een lagere effectiviteit van verwerken betekent. De viscositeit van verse wortels is volgens een onderzoek van Genencor ongeveer 240 mPa.s. Wanneer er Laminex™ aan toegevoegd wordt kan deze gereduceerd worden tot ongeveer

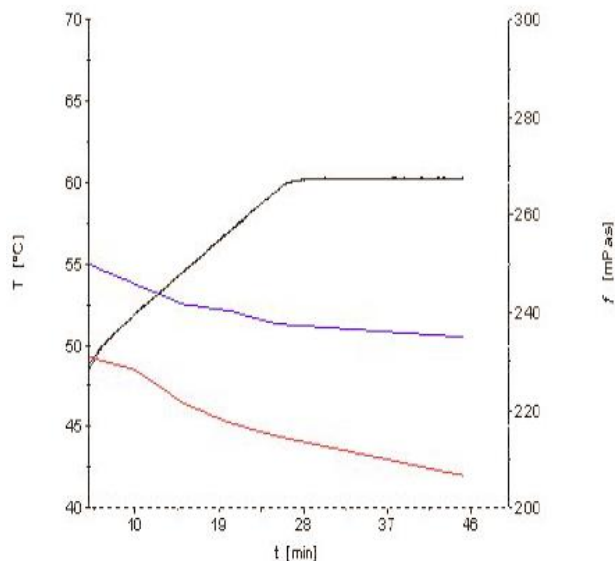
200 mPa.s (zie figuur 5). De pulp van chips heeft een viscositeit van ongeveer 50 mPa.s, zonder het toevoegen van Laminex™. Effecten van toevoeging van Laminex™ op de viscositeit van chips zijn niet bekend.

Een andere voorbehandeling is het schillen van de cassave. In de schil zit zetmeel dat ethanol oplevert. Het argument voor schillen is dat er naast veel zetmeel ook veel vezels in de schil zitten. Deze worden niet omgezet in ethanol en hinderen het proces, doordat ze als vaste stof de filter blokkeren. Schillen kan met de hand gedaan worden, het is dan wel erg arbeidsintensief. Gemiddeld schilt één persoon 20 kilogram per uur (Adetan et al). Er bestaan ook cassaveschilmachines, deze worden beoordeeld op efficiëntie en op capaciteit. De efficiëntie van een schilmachine ligt gemiddeld op ongeveer 70% en de capaciteiten lopen ver uiteen van kilogrammen per uur tot tonnen per uur.

Als laatste is het mogelijk om de cassave te wassen. Het wassen zorgt ervoor dat zand en ander vuil niet in het proces terecht komt. Wassen kan in waterkanalen gedaan worden.



Figuur 4, viscositeit van verschillende grondstoffen

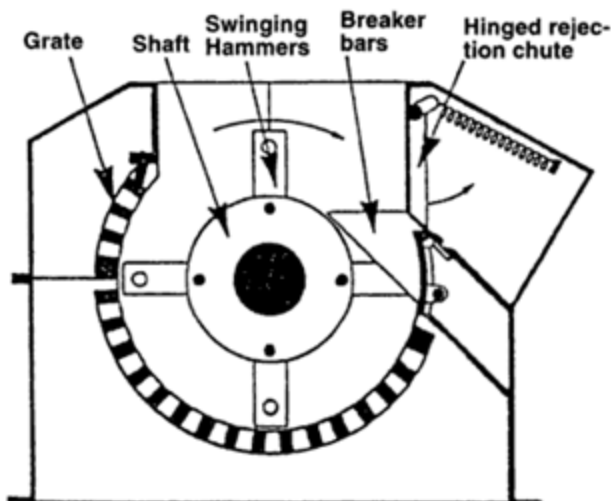


Figuur 5, viscositeit profiel verse cassave wortels. Blauwe lijn is zonder Laminex™, rode lijn is met Laminex™ en de zwarte lijn is de temperatuur.

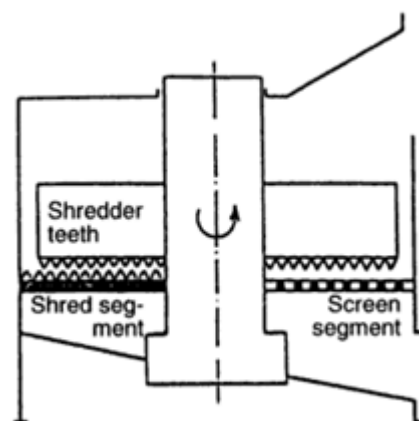
#### 4.1.3 Voorbewerking

Voordat de cassave klaar is om gehydrolyseerd te worden moet het contactoppervlak, waar de enzymen hun werk kunnen doen, verkleind worden. De twee opties om deze stap uit te voeren zijn malen en raspen. De hamermolen is een ronde bak met daarin een roterende hamer. Deze hamer bestaat uit vier koppen die elk in een hoek van 90 graden staan ten opzichte van elkaar (zie figuur 6). De koppen slaan de cassave stuk net zolang totdat het klein genoeg is om door de filter te gaan die de schuine onderkant van de bak is. Om de cassave meteen op te lossen en om stofvorming te voorkomen, wordt er water van bovenaf toegevoerd. Hoe fijn de cassave wordt vermalen hangt af van de rotatiesnelheid en de grootte van de filter. Hoe hoger de rotatiesnelheid hoe fijner de cassave. Voor de poriëgrootte van de filter geldt als vuistregel dat deze 40 mesh (=0,4mm) dient te zijn (U.S. Department of Agriculture). In dezelfde bron wordt er als voorbeeld een 20 mesh (=0,841mm) gebruikt en dit werkte ook goed. Daarnaast is de verhouding tussen het water en de cassave van belang, omdat er bij toevoeging van te weinig water een pasta ontstaat die de filter blokkeert (van Hulle). Dit kan ook worden voorkomen door een meedraaiende schep, dat langs de filter de pasta los schraapt. Ook kan er een waterstraal vanaf de andere kant op de filter worden gemikt om de pasta los te maken.

De rasp bestaat uit een filter, een versnipperaar en een ronddraaiende arm. De cassave komt er aan de bovenkant in en wordt gepakt en rondgedraaid over de filter. Ondertussen wordt de cassave geraspt door de tanden van de versnipperaar. Dit gebeurt tot de cassave door de filter past. (zie figuur 7). Bij de rasp wordt er om dezelfde redenen als bij de hamermolen water toegevoerd. Gemiddeld is een rasp 35% energiezuiniger dan een hamermolen. Daartegenover staat dat de hamermolen effectiever is in het verkleinen van de voeding. Om een batch tot eenzelfde grootte te verkleinen als een hamermolen, moet een rasp soms wel tot 20 keer langer werken (Dinnissen).



Figuur 6, hamermolen (Bilitewski)



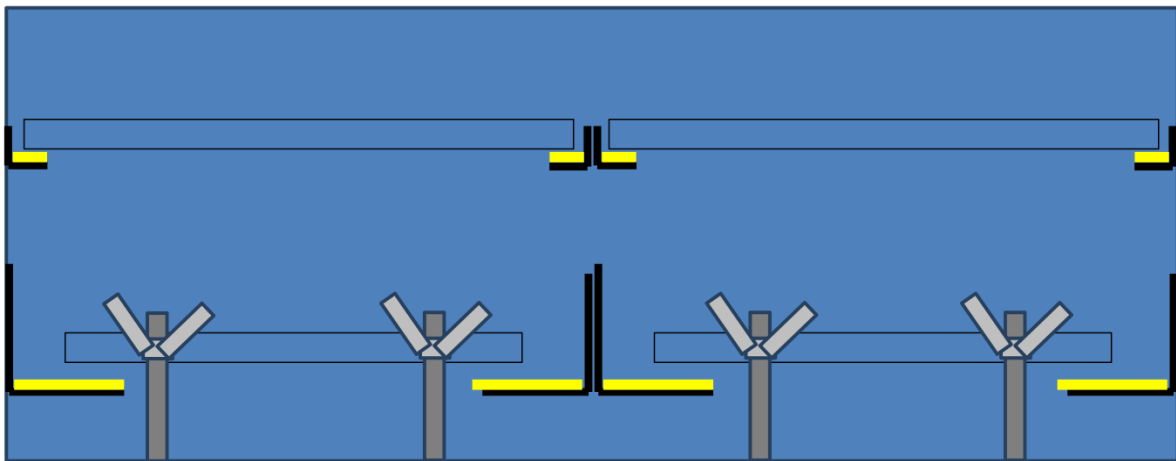
figuur 7, rasp (Bilitewski)

#### 4.1.4 Scheiding

Na het fermenteren moet de ethanol uit de pulp gewonnen worden. Deze pulp bestaat uit water, ethanol, vezels, mineralen, niet omgezette suikers en vuil. Het doel is om aan het einde alleen ethanol over te houden, dit wordt het makkelijkst bereikt door destillatie van water en ethanol. De overige (vaste) stoffen dienen uit de pulp gescheiden te worden. De scheiding heeft als doel om een beheersbaar proces te realiseren. Dit betekent dat er in de boiler maximaal een laag van 1cm aan sediment per week mag ontstaan (Loke). Dit geeft een eis voor de scheidingsstap die gedaan moet worden voor het decanteren, waarbij het decanteren als een constante wordt aangenomen. Met behulp van de massabalans kan de eis aan de scheidingsstap bepaald worden.

In een aantal gevallen worden de vaste stoffen niet gescheiden voor de destillatie, maar pas erna. Dit lijkt onwenselijk in een continue kolom, omdat het proces vaak stilgelegd moet worden om de kolom schoon te maken. In een batch destillatie is dit wel een goede optie, omdat er tussen de batches tijd is om de kolom schoon te maken. Daarnaast is de scheiding erg afhankelijk van de bewerkingen eerder in het proces. Het gebruik van verse cassavewortels leidt tot meer vaste stoffen die gescheiden moeten worden.

De onderzochte scheidingsmethoden zijn het gebruik van een filter, sedimentatie en een schroeffilter. De huidige filter bestaat uit twee lagen. De bovenste laag ligt er los in, zo kan deze eenvoudig worden vervangen. De poriën hebben een grootte van 5 mm. De onderste laag is vastgedraaid, om ervoor te zorgen dat de wanden niet gaan uitzetten door de druk van de pulp. Dit heeft als nadeel dat het wat meer tijd en moeite kost om deze te vervangen. De poriën zijn 1 mm. Zie figuur 8.



Figuur 8, filter

De efficiëntie van de filter is niet bekend. Wel is het bekend dat de filter in de huidige situatie niet goed werkt en dat een verandering van de voorbehandeling of voorbewerking het mogelijk zou maken de filter te laten werken. (Loke)

In het geval van sedimentatie wordt de filter ook gebruikt, maar wordt de werking ervan gecombineerd met het principe van sedimentatie. De pulp wordt aan het begin geïntroduceerd en verspreidt zich over het oppervlak. Doordat er een voorwaartse beweging is ontstaan zullen de grootste deeltjes als eerste bezinken. Verder in het traject zullen er steeds meer deeltjes bezonken zijn en na het laatste schot zal er voornamelijk vloeistof de filter verlaten (zie figuur 9). De vloeistof die achter de schotten blijft kan door kleine gaatjes boven in de schotten door blijven stromen. De voordelen van sedimentatie zijn de eenvoud van installatie en gebruik en de lage energiekosten. (Loke)

De sedimentatiesnelheid kan worden berekend met de wet van Stokes:

$$u = \frac{g(\rho_d - \rho_m)D^2}{18\alpha} \quad \text{formule 1}$$

Waarin:

$u$  = bezinksnelheid

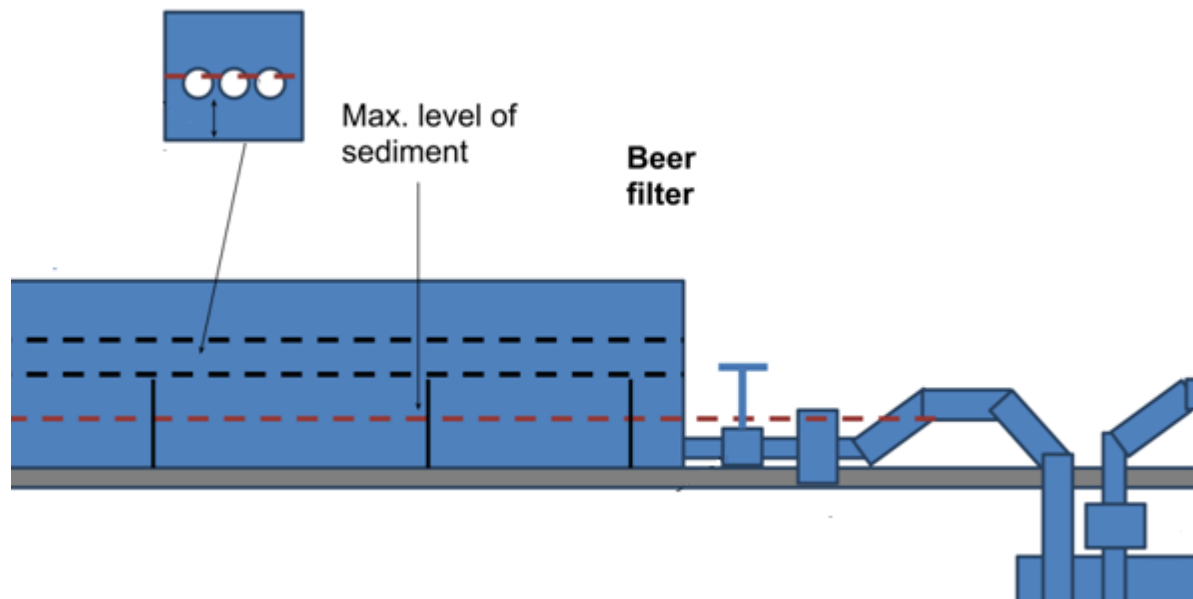
$g$  = gravitatieconstante

$\rho_d$  = dichtheid sediment

$\rho_m$  = dichtheid medium

$D$  = Diameter sediment

$\alpha$  = viscositeit medium



Figuur 9, sedimentatie

De laatste optie is om een schroeffilter te gebruiken. Deze wordt weergegeven in figuur 10. De pulp wordt via een trechter geïntroduceerd in een schroef. De draaiing van de schroef zorgt ervoor dat de pulp horizontaal wordt verplaatst. Tijdens de verplaatsing sijpelt het water er aan de onderkant door een filter uit. De vaste stof past hier niet door en wordt door de schroef meegenomen naar het einde, waar het er als vinasse uitkomt. De indicatoren voor de prestaties van de schroef zijn het drooggehalte van de vinasse, zijn capaciteit en de energiekosten. De voordelen van de schroef zijn dat het erg robuust is en een goede werking heeft. (Sriroth, Overview of cassava potentials)



Figuur 10, schroef

#### *4.2 Inventarisatie vergelijkbare processen*

Voor elk van de drie bewerkingsstappen is geteld hoe vaak een methode gebruikt werd. De resultaten zijn te vinden in appendix D. In de conclusies die hieruit volgden, is rekening gehouden met de relevantie van de bron, de schaalgrootte en of de installatie een cassave ethanol installatie betrof.

In de voorbehandeling is opgevallen dat de meeste processen gesneden en gedroogde cassave gebruiken. Zoals besproken heeft dit een aantal voordelen en gezien de kosten tegenover de toegevoegde waarde van andere voorbehandelingen lijkt dit voor de kleinschalige installatie in Panama het beste alternatief.

Het meest gebruikte apparaat in de voorbewerking is de hamermolen. Voornamelijk omdat deze effectiever is dan de rasp. Uit het literatuur onderzoek kwam dat de hamermolen in 12 van 16 gevallen wordt gebruikt, wat van de hamermolen de beste keuze maakt.

Over de scheidingsmethode wordt in de helft van de bronnen niet gesproken. Het lijkt erop dat deze bronnen vergeten te melden hoe ze gescheiden hebben, doordat de focus daar niet op gericht was. Uit wat overblijft wordt een filter het meest gebruikt. Daarnaast wordt er nog een centrifuge en een schroef gebruikt. In het vervolg van het onderzoek zal voor de scheidingsmethoden de filter (huidig proces), de sedimentatie (Loke) en de schroef (Sriroth) worden beoordeeld.

#### *4.3 Root-cause analyse*

In het huidige proces ontstaat er in de filter een probleem, doordat het de wanden van de filter uitzetten onder de druk van de pulp. Dit wordt mede veroorzaakt door de ingaande stroom, maar het kan ook door het ontwerp van de filter komen. Zoals beschreven wordt getracht dit probleem te voorkomen door de onderste laag in de filter vast te schroeven. Dit helpt tot op zekere hoogte het uitzetten van de wanden, maar het leidt er ook toe dat de pulp nog meer verstopt raakt en uiteindelijk alsnog langs de wanden stroomt.

De filter zelf doet het niet goed genoeg om de huidige pulp samenstelling te kunnen scheiden, vandaar dat dit als hoofdoorzaak gezien wordt. Belangrijkste zijn het gebruik van de grondstof en de poriëgrootte van de filter achter de hamermolen. Wanneer deze twee zaken veranderd worden, is de verwachting dat de filter beter zou werken. Dit komt door de verbeterde vloeibaarheid en de kleinere deeltjes in het proces. Als dit niet werkt moet er gekeken worden naar oplossingen voor het scheiden. De filter zou aangepast kunnen worden, of één van de alternatieven uit de theorie kan worden geïmplementeerd.



## 5. Proces beschrijving

Dit hoofdstuk zal beginnen met een proces flow diagram (PFD). Hierin wordt er per bewerking van begin tot eind uitgezet wat er gebeurt. Hierbij worden verschillende aspecten van het systeem beschouwd. De tekening hiervan is in appendix B te vinden. Daarna volgt een massabalans van het huidige proces, waarin aangenomen wordt dat alles goed werkt.

### 5.1 PFD

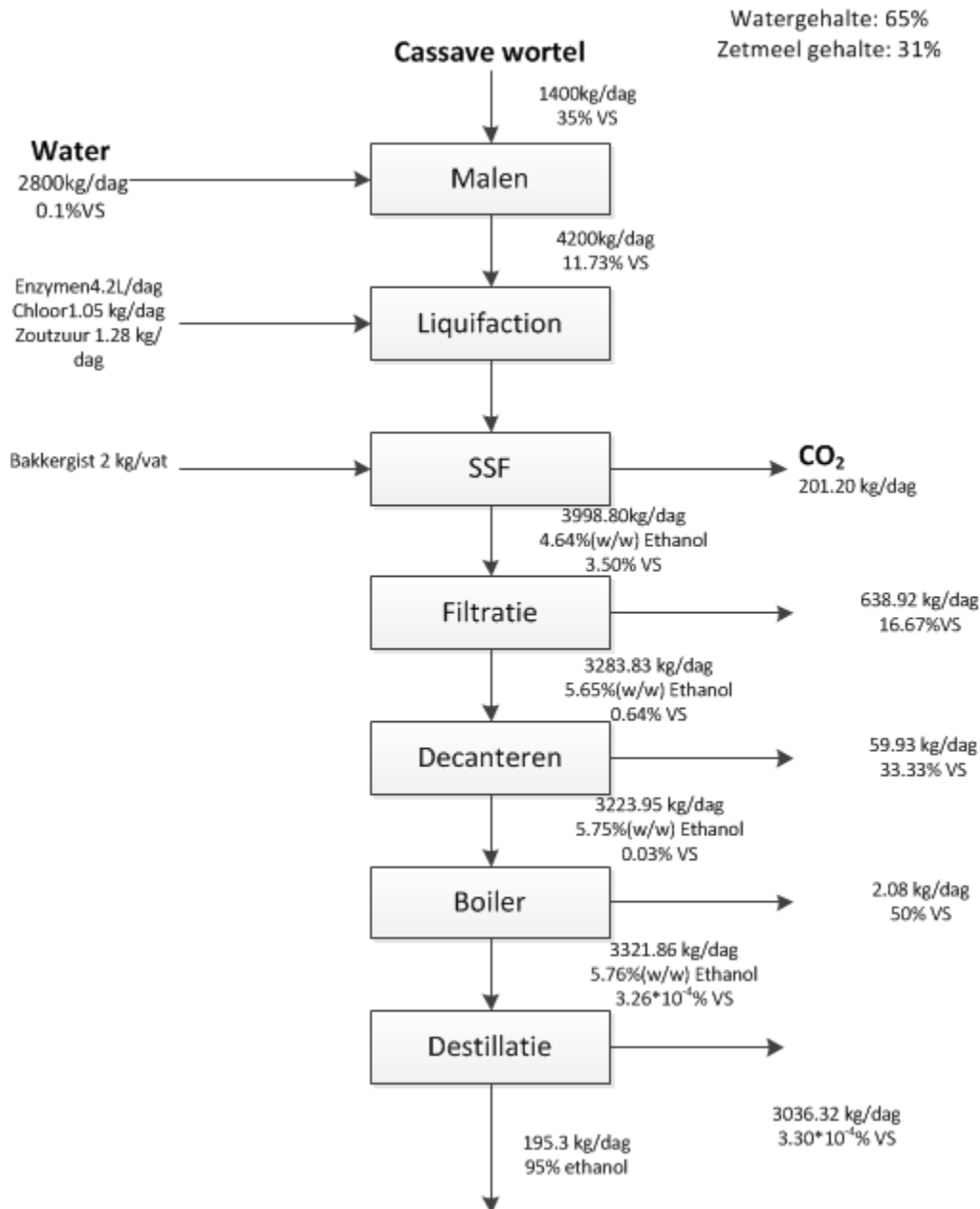
Er wordt een mengeling van verse en droge cassave gevoed aan de hamermolen. Deze heeft een vermogen van 5,9kW en een capaciteit van 1500 kg per uur. Deze stroom is 1400 kg per dag. Naast de cassave wordt er water van boven de hamermolen in gestuurd om stof vorming tegen te gaan. Daarnaast dient het water als oplosmiddel. Het water wordt in een verhouding 2:1 met de cassave toegevoegd, er wordt dus per dag 2800 kg water toegevoegd. In de hamermolen wordt de cassave vermalen tot het door een 1,3mm filter gaat. Het mengsel van cassave en water stroomt door middel van zwaartekracht een roerbak in, die in de grond is gebouwd. Deze is 2000 liter, waarvan er 1700 gebruikt worden. Onderin deze bak zit een mechanische roerder en een pomp met een vermogen van 1,5 kW. In de roerbak is een instroom van de enzymen alpha-amylase en glucoamylase, chloor en zoutzuur (zie massabalans). De pomp zorgt voor een verblijftijd van ongeveer 1,5 uur in de bak en pompt het mengsel door naar één van de drie fermentatievaten. Iedere van deze is 3500 liter en wordt in batch gebruikt. In het vat wordt het principe van simultaneous saccharification and fermentation (SSF) gehanteerd. In het vat worden bakkersgisten toegevoegd, deze blijven 3 batches in het vat voordat het vat wordt schoongemaakt. Onder anaerobe omstandigheden, die door een waterslot gecreëerd worden, wordt het zetmeel door enzymen omgezet in glucose en zetten de gisten glucose om in ethanol en koolstofdioxide. De omzetting van zetmeel naar glucose is 95%, de omzetting van glucose naar ethanol 45% en de omzetting van glucose naar koolstofdioxide is 48,8%. De tijd die het mengsel in het vat spendeert is ongeveer 60 uur. Het vat wordt twee keer per dag met de hand geroerd en tegelijk worden drijvende schillen afgeschept. Aan het vat zit een kraan om het vat leeg te laten stromen. De gefermenteerde pulp stroomt weer door middel van de zwaartekracht omlaag door een 4-inch buis over een filter. De filter bestaat uit twee lagen. De bovenste laag heeft een poriegrootte van 5 mm en de onderste laag een van 1 mm. De bedoeling van de filter is om vaste stoffen uit de pulp te halen, zodat deze de destillatiekolom niet verstoppen. Na de filter is er een zwanenhals geplaatst om ervoor te zorgen dat de pomp die hierna komt geen lucht gaat aanzuigen. De pomp, van 0,75 kW, pompt de pulp vervolgens 6 meter omhoog in een vat van 415 liter. De bodem van dit vat loopt iets schuin af om sediment af te kunnen tappen. Binnen in het vat zit een vlotter en door een level-control systeem wordt de 0,75 kW pomp aangestuurd. Op een bepaalde hoogte zit een kraan om de pulp door te laten stromen omlaag langs een warmtewisselaar richting een boiler. De gebruikte buis is 2-inch en de boiler heeft een aanvoer van 3 liter per minuut nodig om te werken. De pulp is bij binnenkomst 25 graden Celsius en komt in de warmtewisselaar een stroom van hete vinasse (100 graden) tegen. De pulp wordt hierbij opgewarmd tot 70 graden voor het de boiler ingaat. De boiler is 4 meter lang en in de eerste 80 cm wordt de pulp verhit door vuur. In de laatste 320 cm wordt het verwarmd door een oliebad van 150 graden. De boiler is opgedeeld in een zestal secties door 6 in lengte aflopende schotten. Het water en

ethanol zullen in de boiler verdampen en aan het eind aan de bovenkant van de boiler door een ventiel ontsnappen een buis in richting de destillatiekolom. Alle andere stoffen stromen aan de onderkant van de boiler door een kraan eruit en wordt vinasse genoemd. De hete vinasse wordt gebruikt om de pulp voor de boiler te verwarmen. Het water en de ethanol worden afgekoeld en vervolgens een continue destillatiekolom ingeleid. Zie de procestekening in appendix B

Het proces dient eenmaal per week te worden schoongemaakt, om achtergebleven vuil eruit te halen. Het schoonmaken wordt gedaan door het systeem open te halen en de afzonderlijke bewerkingen te spoelen met water.

## 5.2 Massabalans

In figuur 2 wordt de massabalans van het huidige proces weergegeven. Voor de berekening ervan is de aanname gemaakt dat de invoer volledig uit verse wortels bestaat. Alle stromen zijn vervolgens met behulp van een model in Excel berekend, welke staat vermeld in appendix C.



Figuur 2, massabalans van het huidige proces

## 6 Oplossingsstrategie

In dit hoofdstuk zullen er verschillende oplossingen worden voorgedragen en geanalyseerd worden. Tevens is het mogelijk om oplossingen te combineren, waarover in de conclusie meer.

Om de oplossingen met elkaar te kunnen vergelijken zijn er een vijftal criteria opgesteld, deze zijn;

- Kosten
- Robuustheid
- Eenvoud
- Ruimte
- Kans op succes

### 6.1 Oplossing 1

Verklein de filter achter de hamermolen naar 0,8 mm of zelfs naar 0,4 mm (U.S. Department of Agriculture).

Voordelen:

Kleinere deeltjes in het proces, betere filtratie, hoger rendement op fermentatie door meer contactoppervlak.

Nadelen:

Kost waarschijnlijk meer energie bij het destilleren door een verhoogd water verbruik.

- Werking

Er komen kleinere deeltjes het proces in. Dit zal er toe leiden dat het contactoppervlak voor reactie groter is en de reactie zal sneller kunnen verlopen. Tevens is het idee dat de filter niet meer zo snel verstopt raakt als dat het nu doet. Hierdoor moet het hele proces beter werken.

- Kosten

Er zal een nieuw filter gekocht moeten worden. Zo'n filter kost naar schatting 100 dollar (Loke). Naast de aanschaf van de nieuwe filter, komen er ook extra kosten bij doordat er meer energie nodig is in de destillatiekolom om het mengsel te verwarmen. Het is lastig in te schatten hoeveel meer water er nodig is om te voorkomen dat er een pasta ontstaat. Ter schatting wordt ervan uitgegaan dat de verhouding cassave:water gelijk wordt aan 1:3. Door de begrensde hoeveelheid van drie fermentatievaten betekent dit dat er 350 kg water meer verwarmd moet worden in destillatiekolom per dag. Aangenomen wordt dat het water van 60 naar 90 graden verwarmd wordt. Met een warmtecapaciteit van water gelijk aan 4,18 kJ/kg\*K, leidt dit tot 1463 kJ per dag extra energie. Ervan uitgaande dat het rendement van de energie input ten opzichte van de opgenomen energie 70% is, is er een energie input van 2090 kJ (=58kWh) benodigd. Prijs van een kWh is ongeveer 25 cent (Nuon), dus dit kost per dag 0.15 dollar extra.

Daarnaast is er door het extra waterverbruik een verlies in ethanol opbrengst. In de huidige situatie is dit het verschil tussen 185 en 139 liter vermenigvuldigd met 50 cent per liter. Dit betekent een verminderde dagopbrengst van 23 dollar.

- Robuustheid

Het vervangen van de filter zorgt ervoor dat het bestaande proces intact blijft. Met de nieuwe filter moet er op het begin geëxperimenteerd worden wat de juiste waterverhouding is. Tevens kunnen er technieken gebruikt worden als water van de buitenkant tegen de filter spuiten of een mal laten meedraaien in de molen die de filter schoon schraapt (Loke). Als het water verhouding eenmaal gevonden is dan dient het proces af en toe te worden stilgelegd om de filter schoon te maken. Een tweede filter kopen lijkt niet nodig, aangezien de hamermolen een veel grotere capaciteit heeft dan het roervat en het fermentatievat en het stilleggen ervan dus niet voor problemen zorgt.

- Eenvoud

Het is eenvoudig te implementeren en daarnaast ook eenvoudig voor een operator om het te onderhouden.

- Ruimte

Het gebruik van de andere filter kost geen extra ruimte.

- Kans op succes

Wil dit plan slagen, dan zal er in ieder geval geen pasta mogen ontstaan in de hamermolen. Dit hangt af van de verhouding cassave:water en of deze oplossing in combinatie met oplossing 2 wordt gebruikt. Mocht de hamermolen goed zijn werk doen met de 40 mesh filter, dan nog kan het mis gaan bij de filter. Zonder een test valt hier moeilijk iets over te zeggen, maar het lijkt dat deze oplossing ervoor kan zorgen dat de filter na een acceptabel tijdsinterval schoongemaakt moet worden.

## 6.2 Oplossing 2

Gebruik van louter gedroogde cassave

Voordelen:

Meer opbrengst per kilo input, minder vaste stof te filtreren, een minder hoge viscositeit.

Nadelen:

Extra ruimte voor sun-drying en een snijmachine

- Werking

Wanneer de suikers in de verse cassave worden opgelost in water, zorgen deze ervoor dat de viscositeit omhoog gaat (Biotec). Met het wegnemen van deze suikers, zal de pasta-vorming in de hamermolen minder zijn. Hierdoor kan er minder water worden toegevoegd. Er zijn minder vaste stoffen aanwezig, dus de filter zal ook langer meegaan voordat deze schoongemaakt moet worden (Loke). Zeker wanneer deze met oplossing 1 wordt gecombineerd.

- Kosten

In figuur 2 in appendix A (Biotec) is te zien dat verse wortels meer drooggewicht vaste stoffen bevatten dan de chips. Daarnaast bestaan de chips voor slechts 10% uit water en de verse wortels voor 65%. Dit leidt ertoe dat de opbrengst per kilo chips hoger is dan de opbrengst per kilo verse wortel. Daartegenover staat dat de verse wortel direct het proces in kan, terwijl de chips een voorbehandeling ondergaan. Deze voorbehandeling bestaat uit het snijden en drogen van de verse wortel. In een grote ethanol installatie ziet zo iets eruit als in figuur 11. In het geval van de kleine ethanol installatie in Panama zal het snijden (afbeelding 2 figuur 11) in een wat kleinere machine gedaan worden. De verspreiding van de cassave over de grond kan met de hand/bezem gedaan worden.

Wanneer louter chips worden gebruikt stijgt de ethanol opbrengst van 185 liter per dag naar 449 liter per dag (model Appendix B). Dit komt door het hogere zetmeelpercentage in de chips. Dit betekent 264 liter extra ethanol dat voor ongeveer 50 cent per liter verkocht (ethanolrfa) kan worden. Aangenomen dat deze extra liters ethanol niet meer productiekosten met zich meebrengen, het wordt uit de huidige drie fermentatievaten gehaald, betekent dit een opbrengst van 132 dollar extra per dag.

De kosten die deze oplossing met zich meebrengt zijn de kosten voor de aanschaf van een snijmachine, het eventueel huren/kopen van een stuk grond en loon. Op veulingsites worden zulke machine aangeboden voor ongeveer 2000 dollar.

Zoals eerder genoemd is het ideaal om per vierkante meter een laag van 10 cm wortels te drogen. In het huidige proces zijn drie fermentatievaten van 3500 liter. Aangezien het 2.5 dagen duurt om te fermenteren kan er per dag 4200 liter behandeld worden. Met een cassave:water verhouding van 1:2 betekent dit 1400 kg cassave per dag. Een acceptabele veiligheidsmarge in de voorraad wordt gesteld op 3 dagen. Dit betekent dat er in de huidige situatie 4200 kg chips moeten worden opgeslagen en dat er ruimte moet zijn voor 2373 kg verse wortels per dag om te drogen. Er is dan een oppervlakte van 27m<sup>2</sup> nodig voor het doogproces. Hierbij komt een extra 27 m<sup>2</sup>, omdat wanneer het begint te regenen de chips verplaatst moeten kunnen worden onder een afdakje. In acht genomen dat nog extra ruimte nodig is voor de voorraad van 4200 kg, wordt de totaal benodigde ruimte op 70 m<sup>2</sup> geschat. Verondersteld wordt dat een m<sup>2</sup> in een niet erg toeristisch deel van Panama 10\$ (landinpanama) kost. De investering in eventuele nieuwe grond zal 700\$ zijn.

Per hectare zijn er 10 personen per dag nodig om de cassave goed te laten drogen (Loke). Voor de 70 m<sup>2</sup> is dus 0,07 persoon nodig. De huidige operator kan dit naast zijn andere taken kan doen, het brengt geen extra loonkosten met zich meebrengt.

Met de extra opbrengst van 132 dollar per dag duurt het 21 dagen voordat de investering is terugverdiend. Zie appendix D voor een massabalans van deze situatie.

- Robuustheid

Doordat er minder vaste stoffen het proces ingaan en de viscositeit lager is, is de verwachting dat het proces beter gaat lopen. Hierdoor zal het minder stil hoeven te liggen en wordt het betrouwbaarder. Het drogen is afhankelijk van het weer, voornamelijk van de temperatuur en de luchtvochtigheid. De temperatuur in Panama zal geen probleem zijn, het is vaak 30 graden of meer. De luchtvochtigheid is relatief hoog en van mei tot december is het regenseizoen. Deze twee factoren zijn niet gewenst en dienen in het achterhoofd gehouden te worden.

- Eenvoud

De eenvoud van deze oplossing zit hem in de voorbehandeling en wat voor invloed dat heeft op de rest van het proces. Door een eenvoudige manier van voorbehandelen moet het huidige proces makkelijker te opereren worden.

- Ruimte

Nadeel van deze oplossing is dat het ruimte in beslag gaat nemen en wel 70m<sup>2</sup>. Dit brengt naast (eventuele) investeringskosten ook onderhoud en verantwoordelijkheid mee.

- Kans op succes

De installatie die in de literatuur gevonden zijn, gebruiken bijna allemaal gedroogde cassave chips. Zoals beschreven leidt dit gebruik tot minder vaste stoffen en een mindere viscositeit. Ongeveer de helft van

de installatie spreekt zelfs niet over filtratie van de stroom voordat het de destillatiekolom ingaat. Dit lijkt wat overdreven, maar het geeft wel aan dat het een behoorlijke kans van slagen heeft.



Figuur 11, proces van drogen

### 6.3 Oplossing 3

Gebruik filter in combinatie met sedimentatie

Voordelen:

Lage kosten

Nadelen:

Het lijkt niet logisch om het gevolg aan te pakken in plaats van de oorzaak, praktijk moet uitwijzen of de theorie klopt.

Sedimentatie:

- Werking

De vier belangrijkste bestanddelen van de vaste stof zijn zetmeel, cellulose, schillen en eiwitten. Van elk is de bezinksnelheid uitgerekend, zie appendix E. Aan de hand van de afmetingen van de filter en de snelheid is berekend hoever een deeltje bezinkt. De uitkomst is dat de vezels en zetmeel genoeg bezinken. De schil en de eiwitten en de schil zullen juist gaan drijven. Dit gebeurt ook al tijdens het fermenteren, waar een deel wordt afgeschept.

Om te voorkomen dat de wanden niet gaan uitzetten dient de filter net als in de huidige situatie vastgeschroefd te worden.

- Kosten

De kosten voor deze oplossing bestaan uit het aanpassen van de filter. Er moeten metalen schotten in die de filter verdelen in een aantal secties. Dit zal niet meer dan 50 dollar kosten. Het energiegebruik blijft bij deze oplossing gelijk (staalrijzen).

- Robuustheid

De sedimentatie unit is waarschijnlijk gevoelig voor de input. Zo is het een wezenlijk verschil of er verse of droge cassave wordt gebruikt met betrekking tot het aantal vaste deeltjes en de grote ervan die moeten bezinken. Wanneer er veel (grote) deeltjes zijn, moet de filter sneller worden schoongemaakt. Verder is de kans op een verstopping groter bij een variërende input.

- Eenvoud

De oplossing is erg eenvoudig zolang deze goed werkt. Zoals bij robuustheid aangegeven kan een variërende input voor problemen zorgen en dan kan het voor een operator lastig te bepalen zijn waar het probleem vandaan komt. Het schoonmaken is net zo eenvoudig als bij de huidige filter, alleen is er een extra handeling aan verbonden. Dit is het weghalen van sediment voor de schotten.

- Ruimte

Deze oplossing kost geen extra ruimte in vergelijking met de huidige situatie.

- Kans op succes

Zolang de input varieert zal de werking van de sedimentatie ook variëren. Door deze met oplossing 2 te combineren wordt de variatie weggenomen en zal het kloppen volgens het model. Het is echter nog de vraag of er in de praktijk hetzelfde wordt ervaren als in de theorie.

#### 6.4 Oplossing 4

Vervang het filter voor een schroef

Voordelen:

Gegarandeerde scheiding, robuust ontwerp.

Nadelen:

Hoge kosten

- Werking

De input komt vanuit een trechter in het werkzame deel van de schroef. Dit is een roterende schroef die de pulp horizontaal verplaatst. Terwijl de pulp verplaatst wordt, sijpelt de vloeistof als gevolg van de zwaartekracht de behuizing van de schroef uit. De vaste stof wordt meegenomen naar het einde en er aan het einde uitgeperst.

- Kosten

De kosten van een schroef bestaan uit het aanschaffen ervan en het energieverbruik. Een schroef met een outputcapaciteit van 150 kg/h (alibaba) kan gekocht worden voor 5000\$. Het energieverbruik van deze schroef is 22kW. Stel dat de schroef 20 uur per dag draait, dan verbruikt het 440 kWh per dag. Dit kost dan 110\$ per dag.

- Robuustheid

Het effect van de scheiding door de schroef is niet erg afhankelijk van de omstandigheden. Het is een erg robuuste oplossing die veel zekerheid heeft.

- Eenvoud

Het implementeren van de schroef is erg eenvoudig, net als het schoonmaken ervan. Wanneer de schroef stuk gaat, zal de kennis van de operator waarschijnlijk onvoldoende zijn om het te kunnen maken. Hier zal dan een specialist bij gehaald moeten worden.

- Ruimte



De schroef heeft afmeting van 2,5 bij 0, bij 1,8 meter. De ruimte die het inneemt is niet significant meer dan de filter.

- Kans op succes

Wanneer de juiste schroef en de juiste afstelling bepaald zijn werkt deze gegarandeerd. Echter, grootste tegenargument zijn de kosten en het hoge energieverbruik. Een ander klein nadeel is dat er een nihil percentage vloeistof achterblijft in de vaste stof, wat dus tot (miniem) ethanol verlies leidt.

## 7. Conclusie

De vraagstelling luidde: Hoe kan, op een kosteneffectieve en energiezuinige manier, het proces zo worden ingericht dat de 95% van de ethanol uit de pulp gescheiden kan worden?

Om deze vraag te beantwoorden is een literatuurstudie gedaan en deze is vergeleken met de bewerkingen in de huidige installatie. Al snel bleek dat het probleem zich bevindt in de voorbehandeling, de voorbewerking of in de scheiding. Daarna werden verschillende oplossingen aangedragen en het is duidelijk dat oplossing 2 geïmplementeerd moet worden om in de buurt te komen van de eis van 500 liter ethanol per dag. Met het gebruik van verse cassave wordt deze eis nooit bereikt, tenzij er nieuwe fermentatievaten bij gekocht worden. Daarnaast biedt oplossing 2 een verbetering ten aanzien van de viscositeit van de pulp. Er kan geëxperimenteerd worden met het toevoegen van Laminex™ om de viscositeit nog verder te reduceren. Het uitvoeren van oplossing 2 zal zich na drie weken al hebben terugbetaald dankzij de extra ethanol output. Echter, de verwachting is niet dat dit voldoende zal zijn om het filtratie probleem op te lossen. Wanneer er gebruik wordt gemaakt van louter gedroogde cassave zal de filtratie stap minstens 85% van de vaste stoffen moeten scheiden (zie appendix C). Door het toevoegen van oplossingen 1 en 3 moet dit in theorie haalbaar zijn. Beide oplossingen hebben lage kosten. De terugverdientijd wordt wel beïnvloed, doordat oplossing 1 waarschijnlijk een verminderde output meebrengt. De extra output is nu 152 liter en de terugverdientijd 38 dagen. Er kan gekeken worden naar de aanschaf van een extra fermentatievat om de capaciteit uit te breiden. Uit formule 1 blijkt dat de vezels en zetmeel deeltjes bezinken. In de praktijk zal dit minder zijn, maar voordat er geëxperimenteerd is, is de aanname dat in ieder geval 85% van de deeltjes gescheiden kan worden. Het implementeren van de schroef wordt gezien als noodoplossing wanneer blijkt dat de eerdere oplossingen niet werken. Dit komt door de hoge investering- en energiekosten die de schroef met zich meebrengt.

## Literatuurlijst

Interviews met John B. Loke; verantwoordelijk voor de bouw van de installatie.

<http://www.landinpanama.nl/>

<http://www.ethanolrfa.org/exchange/entry/ethanol-and-gasoline-prices/>

<http://www.nuon.nl/energie/energieprijzen/vaste-energieprijzen.jsp>

[http://staalprijzen.nl/images/stories/archief/2012/20120217/20120217\\_bruto\\_prijlijst\\_staalprijzen\\_plaat.pdf](http://staalprijzen.nl/images/stories/archief/2012/20120217/20120217_bruto_prijlijst_staalprijzen_plaat.pdf)

[http://www.alibaba.com/product-gs/528044553/hot\\_HYJDS65\\_2\\_Twin\\_screw\\_Extruder.html](http://www.alibaba.com/product-gs/528044553/hot_HYJDS65_2_Twin_screw_Extruder.html)

Adekunle, A.A., A.O. Fatunbi and L.O. Sanni: *Commercial utilization of cassava in Nigeria*, presentatie van COL, IITA, OCDN en TODEV

Adetan, D.A., L.O. Adekoya and O.B. Aluko: *Characterisation of some properties of cassava root tubers*, Journal of Food Engineering Vol. 59 p. 349–353, 2003

Adetan, D.A., L.O. Adekoya and O.B. Aluko: *Theory of a mechanical method of peeling cassava tubers with knives*, Int. Agrophysics Vol. 20 p. 269-276, 2006

Atthasampunna, P., P. Somchai, A. Eur-aree and S. Artjariyasripong: *Production of fuel ethanol from cassava*, MIRCEN Journal Vol. 3 p. 135-142, 1987

Bilitewski, B., G. Hardtle, K. Marek, A. Weissbach and H. Boeddicker: *Waste management*, ISBN 3-540-59210-5

Breuninger, W.F., K.Piyachomkwan and K. Sriroth: *Tapioca/cassava starch: production and use*, Starch: Chemistry and technology Vol. 3, 2009

CIAT: *Cassava, starch and starch derivatives*, International symposium Guangxi, China 1996

CIAT: *Cassava breeding, agronomy and utilization research in Asia*, Workshop in Malang, Indonesia 1990

Dinnissen: *milling and grinding*, brochure

EcoFys: *Bio-ethanol from cassava*, Ecofysics.com 2007

Genencor: *Direct conversion of fresh cassava root to alcohol*, European bioethanol technology meeting april 2008

Hahn, S.K., L. Reynolds and G.N. Egbunike: *Cassava as livestock feed in Africa*, <http://www.fao.org/wairdocs/ILRI/x5458E/x5458e0d.htm>

Nguyen, T.L.T., S.H. Gheewala and S. Bonnet: *Life cycle cost analysis of fuel ethanol produced from cassava in Thailand*, *Int J Life Cycle Assess* Vol. 13 p. 564–573, 2008

Laohaphatanaleart, K., K. Piyachomkwan, K. Sriroth and E. Bertoft: *The fine structure of cassava starch amylopectin. Part 1: Organization of clusters*, *International Journal of Biological Macromolecules* Vol. 47 p. 317–324, 2010

Li, P. and M. Zhu: *A consolidated bio-processing of ethanol from cassava pulp accompanied by hydrogen production*, *Bioresource Technology* Vol. 102 p. 10471–10479, 2011

Moon, S.K., S.W. Kim and G.W. Choi: *Simultaneous saccharification and continuous fermentation of sludge containing mash for bioethanol production by *Saccharomyces cerevisiae**, *Journal of Biotechnology* Vol. 157 p. 584–589, 2012

Nitayavardhana, S., P. Shrestha, M.L. Rasmussen, B.P. Lamsal, H. van Leeuwen and S.K. Khanal: *Ultrasound improved ethanol fermentation from cassava chips in cassava-based ethanol plants*, *Bioresource Technology* Vol. 101 p. 2741–2747, 2010

Odigboh, E.U.: *A cassava peeling machine development, design and construction*, *J. agric. Engng Res.* Vol. 21 p. 361–369, 1976

Pereira, C.P.P.: *Anaerobic digestion of sustainable biomass chains*, Ph.D. Thesis, Wageningen University, Wageningen, NL 2009

Rattanachomari, U., S. Tanapongpipat, L. Eurwilaichitr and V. Champreda: *Simultaneous non-thermal saccharification of cassava pulp by multi-enzyme activity and ethanol fermentation by *Candida tropicalis**, *Journal of Bioscience and Bioengineering* Vol. 107 No. 5, p. 488–493, 2009

RestMac: *Creating markets for renewable energy*, brochure

Sanchez, O.J. and C.A. Cardona: *Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks*, *Bioresource Technology* Vol. 99 p. 5270–5295, 2008

Sharma, V., K.D. Rausch, M.E. Tumbleson and V. Singh: *Comparison between granular starch hydrolyzing enzyme and conventional enzymes for ethanol production from maize starch with different amylose:amylopectin ratios*, Starch/Stärke Vol.59 p. 549–556, 2007

Speight, J.G.: *Synthetic fuels handbook*, McGraw-Hill handbooks

Sriroth, K.: *Cassava starch for industrial & non industrial applications: Switching interchangeably from sugar to starch*, Cassava starch world 2012

Sriroth, K.: *Overview of potential cassava as a food crop and as a feedstock for biofuels*, Meeting Accra, Ghana 2010

Sriroth, K. K. Piyachomkwan, S. Wanlapatit and S. Nivithchanyong: *The promise of a technology revolution in cassava bioethanol: From Thai practice to world practice*, Fuel Vol.89 p, 1333–1338, 2010

Thang V.H., K. Kanda and G. Kobayashi: *Production of acetone-butanol-ethanol (ABE) in direct fermentation of cassava by Clostridium saccharoperbutylacetonicum N1-4*, Appl. Biochem Biotechnol Vol.161 p. 157–170, 2010

Tuxen: *About cassava production, Global consultation of cassava as a potential bioenergy crop*. Meeting Accra, Ghana 2010

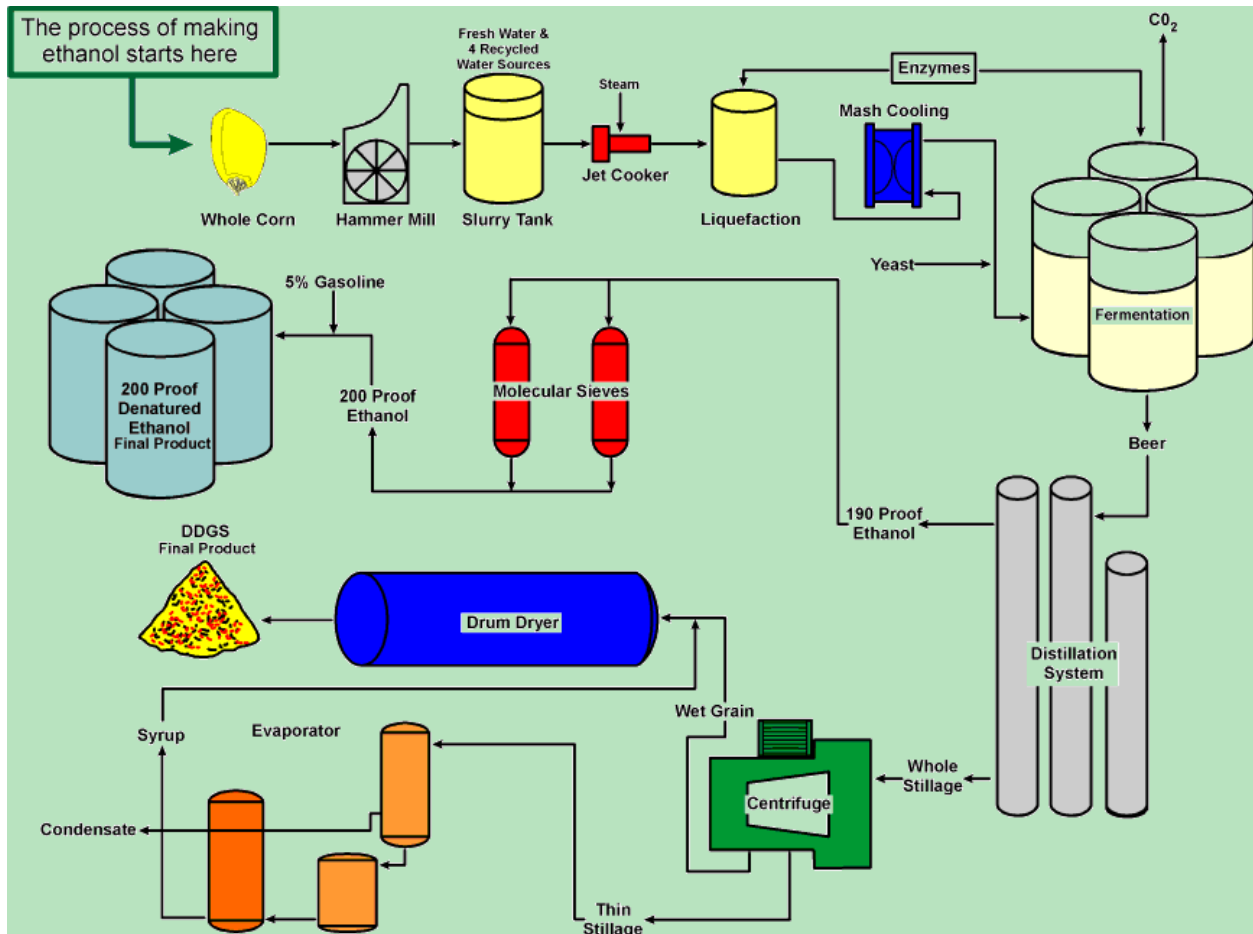
U.S. Department of Agriculture, the office of alcohol fuels & U.S. Department of Energy: *Fuels from farms; A guide to small-scale ethanol production*, Technical information office, 1982

Weerachanchai, P., C. Tangsathitkulchai, and M. Tangsatbitkulchai.: *Comparison of pyrolysis kinetic models for thermogravimetric analysis of biomass*, Suranaree J. Sci. Technol. Vol. 17 p. 387-400

Westby, A.: *The economics of drying cassava chips for use of cassava as a filler crop in multi-feed plants*

Zhang, C.M., Z.G. Mao, X. Wang, J.H. Zhang, F.B. Sun, L. Tang and H.J. Zhang: *Effective ethanol production by reutilizing waste distillate anaerobic digestion effluent in an integrated fermentation process coupled with both ethanol and methane fermentations*, Bioprocess Biosyst Eng Vol. 33 p. 1067–1075, 2010

Appendix A, Figuren

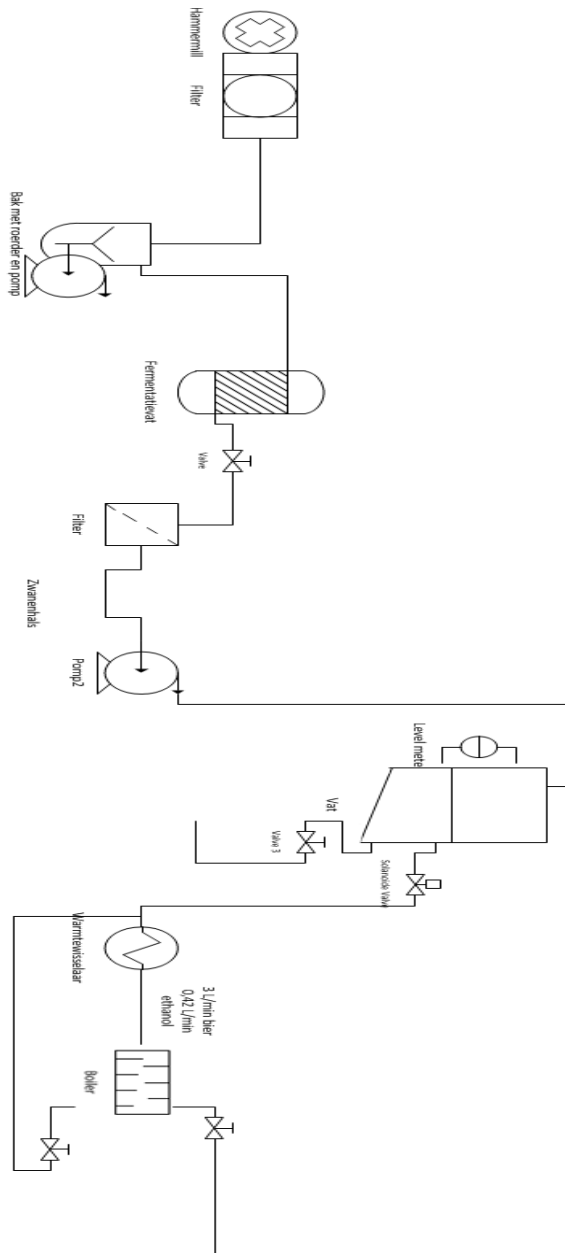


Figuur 1, traditioneel proces om ethanol te winnen uit zetmeelhoudende plant

<b>Composition of cassava feedstock</b>			
Composition (% dry basis)	Roots	Chips	Starch
Fiber content	1.5-6.0	2 - 5	nil
Protein	1.5-6.0	2.0-2.5	0-0.3
Ash	1.5-6.0	2.0-3.5	0.1-0.5
Starch content	70-85	70-85	97-100
Starch content (wet basis)	25-30	60-75	85-90
(%MC)	(65)	(10)	(12)

Figuur 2, samenstelling verschillende cassave grondstoffen

## Appendix B Procestekening

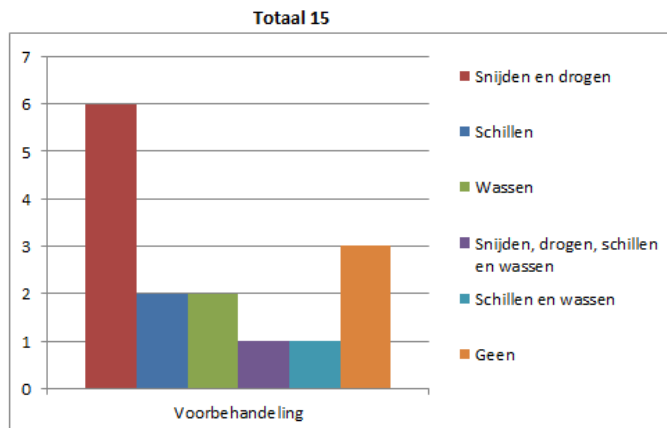


## Appendix C, model van de massabalans

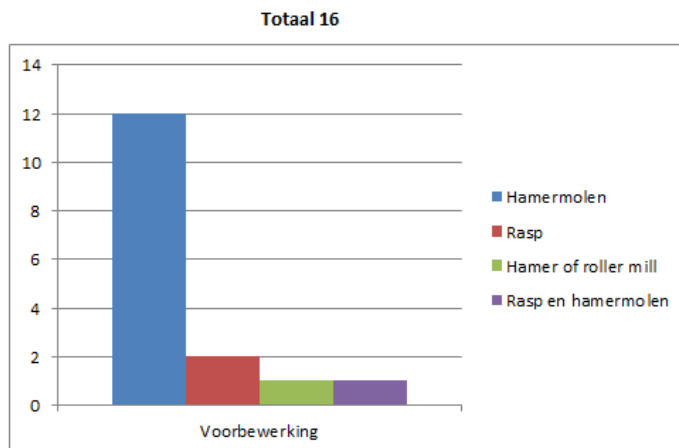
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Model om proces flow te berekenen onder allerlei verschillende omstandigheden										
2					Malen	Hydrolyse	SSF	Filtratie	Decant.	Boiler	Destillatie
3											
4	Cassava in	1400			1400						
5	Water in	4200			4200						
6	Totaal in	5600			5600	5600	5600	5113.22	3877.37525	3773.78238	3770.18389
7	%VS in water	0.001									
8	%zetmeel	0.75			0.1875	0.1875	0.01369	nvb	nvb	mnb	nvb
9	%water	0.15			0.78675	0.78675	0.86482148	0.87485777	0.88057276	0.880936	0.05
10	%VS	0.85			0.21325	0.21325	0.04739137	0.00937448	0.00048159	4.8205E-06	0
11	%ethanol				0	0	0.08778715	0.11576775	0.11894565	0.11905918	0.95
12	Uit				5600	5600	5113.22	3877.37525	3773.78238	3770.18389	472.5
13	CO2 uit proces				0	0	486.78	0	0	0	0
14	Water uit proces				0	0	0	1029.87063	69.0619125	1.79924456	3321.29072
15	VS uit proces				0	0	0	205.974125	34.5309563	1.79924456	0.01817419
16	VS aanwezig						242.3225	36.348375	1.81741875	0.01817419	0
17	conversie z-g	0.95									
18	conversie g-e	0.45									
19	conversie g-co2	0.488									
20	% g voor gist	0.5									
21	filter eff.	0.85									
22	decant. Eff.	0.95									
23	boiler eff.	0.99									
24	destillatie eff.	0.95									
25	Fractie W VS	5									
26	Fractie W:VS dec	2									
27	Fractie W:VS boi	1									
30	Cassava in	De ingaande stroom cassava uitgedrukt in kilogram per dag									
31	Water in	De ingaande stroom water uitgedrukt in kilogram per dag									
32	Totaal in	De totaal ingaande stroom uitgedrukt in kilogram per dag									
33	%zetmeel	Het gewichtspercentage zetmeel van de ingaande cassava, en gedurende het proces									
34	%water	Het gewichtspercentage water van de ingaande cassava, en gedurende het proces									
35	%VS in water	Percentage vaste stoffen in grondwater									
36	%VS	Het gewichtspercentage vaste stoffen van de ingaande cassava, en gedurende het proces									
37	%ethanol	Het gewichtspercentage ethanol gedurende het proces									
38	Uit	De uitgaande stroom per bewerking uitgedrukt in kilogram per dag									
39	CO2 uit proces	De uitgaande stroom CO2 uitgedrukt in kilogram per dag									
40	Water uit proces	De uitgaande stroom water per bewerking uitgedrukt in kilogram per dag									
41	VS uit proces	De uitgaande stroom vaste stoffen per bewerking uitgedrukt in kilogram per dag									
42	VS aanwezig	De aanwezige vaste stoffen per bewerking uitgedrukt in kilogram									
43	conversie z-g	Het percentage gewichtsconversie van zetmeel naar glucose									
44	conversie g-e	Het percentage gewichtsconversie van glucose naar ethanol									
45	conversie g-co2	Het percentage gewichtsconversie van glucose naar CO2									
46	% g voor gist	Het percentage niet omgezet glucose wat door de gisten wordt gebruikt voor groei									
47	Filter eff.	Het percentage vaste stoffen dat de filter scheidt uit de ingaande stroom									
48	Decant. Eff.	Het percentage vaste stoffen dat door middel van decanteer principe wordt gescheiden uit de ingaande stroom									
49	boiler eff.	Het percentage vaste stoffen dat door de boiler wordt gescheiden uit de ingaande stroom									
50	Destillatie eff.	Het percentage tot hoever de destillatiekolom de ingaande stroom zuivert tot ethanol									
51	Fractie W VS	De fractie water:vaststof die van toepassing is bij de uitstroom van vaste stoffen uit het filter									
52	Fractie W:VS dec	de fractie water:vaststof die van toepassing is bij de uitstroom van de vaste stoffen uit het decanteevat									
53	Fractie W:VS boi	De fractie water:vaststof die van toepassing is bij de uitstroom van vaste stoffen uit de boiler									
54											
55	Formules:										
56	Ingaande stroom = uitgaande stroom vorige bewerking										
57	Percentage zetmeel bij ingang malen = %zetmeel * cassava in/ Totaal in										
58	Percentage vaste stof bij ingang malen = %VS * cassava in/Totaal in										
59	Percentage water bij ingang malen = 1-%VS										
60	Percentage zetmeel dat overblijft na SSF = (1-conversie z-g)*cassava in/ Uit										
61	Uit = In - CO2 uit - VS uit - Water uit										
62	Percentage ethanol na SSF = Cassava in * %zetmeel * conversie z-g * conversie g-e/Uit										
63	Percentage VS na SSF = (%VS - %zetmeel) * Cassava in/ Uit + %zetmeel na SSF + (%g voor gist*(1-(conversie g-e+conversie g-CO2)))*conversie z-g*%zetmeel*Cassava in/ Uit + %VS in water* Water in/Uit										
64	CO2 uit = Cassava in * %zetmeel * conversie z-g * conversie g-CO2										
65	VS uit = %VS * Uit(-1) * scheiding efficiëntie										



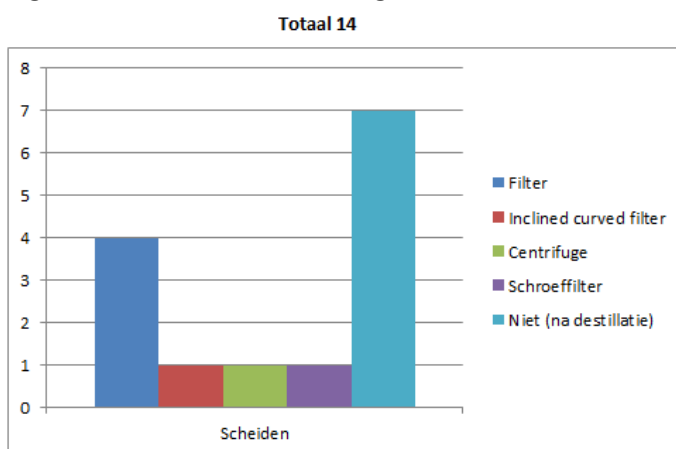
Appendix D, Grafieken van productiemethode vergelijking



Figuur 1, aantal voorbehandelingen

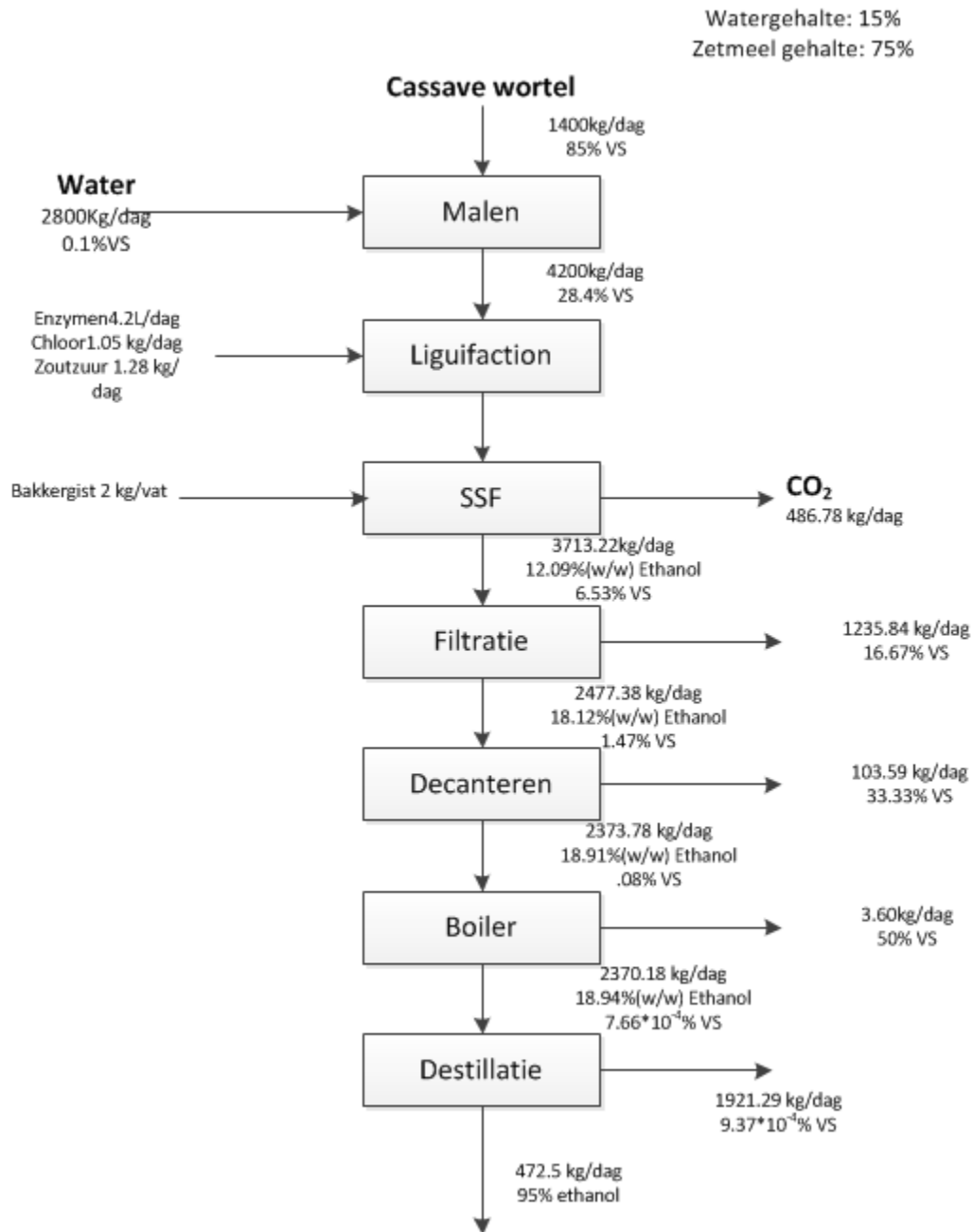


Figuur 2, aantal voorbereidingen



Figuur 3, aantal scheidingsmethoden

Appendix E, massabalans van gedroogde cassave



Appendix F, bezinksnelheden

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	bezinksnelheid											
2	zwaartekracht versnelling(dichtheid deeltje-dichtheid vloeistof)*D^2/18*visco vloeistof											
3												
4	g	9.8										
5	rho zetmee	1540										
6	rho schil	860										
7	rho eiwit	1350										
8	rho vezel	1540										
9	rho pulp	1507										
10	diameter	0.0008										
11	visco pulp	0.05										
12												
13	u zetmeel	0.000229973	m/s	0.022997333	cm/s							
14	u schil	-0.00450887	m/s	-0.45088711	cm/s							
15	u eiwit	-0.00109412	m/s	-0.10941156	cm/s							
16	u vezel	0.000229973	m/s	0.022997333	cm/s							
17												
18												
19	lengte filter/sedimentatie			3	m							
20	debiet			6.66667E-05	m3/s							
21	Oppervlakte			0.08	m2							
22	Snelheid			0.000833333	m/s							
23	Tijd			3600	s							
24	Gezakte afstand zetmeel			0.827904	m							
25	Gezakte afstand schil			-16.231936	m							
26	Gezakte afstand eiwit			-3.938816	m							
27	Gezakte afstand vezel			0.827904	m							

