



Energianalys av etanolproduktion; En fallstudie av Lantmännen Agroetanol's produktionssystem i Norrköping

Energy analysis of ethanol production; A case study of
Lantmännen Agroetanol's production system in Norrköping

Per Paulsson

Abstract

In this thesis an energy analysis of ethanol production at the ethanol plant of Lantmännen Agroetanol in Norrköping has been performed. The ethanol plant has been studied in combination with Händelöverket, the combined heat and power plant which provides the ethanol process with steam. The purpose of this study was to determine the energy consumption for the whole production chain from grain to ethanol. The analysis has included the energy consumption for cultivation of grain, production of chemicals, the production chain for wood chips, the steam production and the ethanol plant. The grain and wood chips are both considered raw materials there for the energy content in these are not included as energy input in the system. Instead the help energy to produce these two raw materials have been included as input of energy.

The result from the study is presented as an energy balance, defined as the energy content for the ethanol divided by the total energy input for production of the ethanol. The energy balance has shown to be 2,6 if economic allocation is used. This means that there is more energy produced in form of ethanol than has been used to produce the ethanol. It is possible to make the production of ethanol more energy efficient by producing electricity with a steam turbine before the steam is used in the ethanol plant. If this is done the energy balance will increase to 3,1.

An alternative production system for ethanol has also been studied, in which DDGS (distillers dried grains with solubles) and DWG (distillers wet grain) is used as fuel for steam and electricity production. This system has less quantity of by-products since most of the DDGS is used as fuel instead of animal feed as in the earlier studied system. The energy balance for this system showed to be 2,9 or 3,1 for economic allocation depending on if DWG or DDGS is used as fuel.

Sammanfattning

I denna studie har en energianalys av etanolproduktionen vid Lantmännen Agroetanols fabrik i Norrköping utförts. Etanolanläggningen har studerats som ett så kallat bioenergikombinat tillsammans med det närliggande fliseldade kraftvärmeverket. Både spannmål och skogsflis ses som råvaror i processen och det är den hjälpenergi som har förbrukats för att producera spannmål och ta hand om skogsavfall i form av flis som har inkluderats som insats av energi och inte deras energiinnehåll. Detta eftersom solenergin för att producera deras biomassa ses som gratis energi. Energianalysen har använt livscykelperspektiv vilket innebär att hela produktionskedjan har studerats för att utreda den totala energiförbrukningen vid etanolproduktion.

Resultatet presenteras i form av en energibalans som i detta fall är kvoten mellan etanolens energiinnehåll och den hjälpenergi som har förbrukats för att producera etanolen. Energibalansen vid ekonomisk allokering har visat sig vara 2,6 vilket innebär att mer energi produceras i form av drivmedel än vad som sätts in som hjälpenergi för att få fram biomassa och för att driva produktionen. För varje enhet energi som sätts in i systemet fås 2,6 enheter energi ut i form av etanol, när ekonomisk allokering används. Allokering innebär att den insatta energin i systemet fördelas mellan de olika produkterna som lämnar systemet. I detta fall består produkterna av etanol, biogas och djurfoder.

Mest energi förbrukas vid odlingen av spannmål som står för cirka 60% av den insatta energin vid etanolproduktion. Vid odlingen är den största energiinsatsen i form av naturgas som behövs vid tillverkning av handelsgödsel. Etanolanläggningen står för nästan 30% av den totala energiinsatsen i systemet och det är främst el som belastar etanolproduktionen. Energieffektiviteten i produktionssystemet kan ökas genom att en ångturbin används för att först generera el från den ånga som sedan används i etanolprocessen. Energibalansen skulle då förbättras till 3,1, vid ekonomisk allokering. Energibalansen förbättras eftersom mindre el behöver sättas in utifrån systemet.

Ett alternativt produktionssystem för etanol har också studerats, där skogsflisen ersatts med drank från etanolfabriken och utnyttjats som bränsle vid ång- och elproduktion. Drank är ett svårare bränsle att elda än skogsflis och det har i studien konstaterats att det på grund av bränsleegenskaperna kan uppstå problem vid förbränning av drank. Alkalihalten är hög vilket gör att det kan uppstå problem med slaggbildning och sintring på grund av låg asksmälttemperatur. Både svavel- och klorhalten är hög vilket kan leda till problem med korrosion i pannan.

Energibalansen när fuktig drank (55% fukthalt) används som bränsle för att producera ånga och el vid etanolanläggningen blir vid ekonomisk allokering 2,9. Om dranken istället eldas torkad (10% fukthalt) blir energibalansen 3,1 alltså något bättre, också detta vid ekonomisk allokering. Energibalansen blir bättre främst eftersom mer el kan produceras om dranken torkas till 10% fukthalt, då utgör nämligen fabriken ett större mottrycksunderlag för elproduktion.

Förord

Detta examensarbete har utförts inom civilingenjörsprogrammet Energisystem vid Uppsala universitet och Sveriges lantbruksuniversitet. Studien har utförts på Lantmännen Agroetanol AB i Norrköping och Helena Stavklint har varit handledare för arbetet. Per-Anders Hansson vid institutionen för biometri och teknik, SLU har varit ämnesgranskare. Bengt Hillring vid institutionen för bioenergi, SLU har varit examinator. Kristian Baurne har varit opponent.

Innehållsförteckning

1	BAKGRUND	8
1.1	SYFTE.....	9
1.2	METOD OCH AVGRÄNSNINGAR.....	9
1.3	ENERGIBERÄKNINGAR.....	11
1.4	BEGREPP.....	12
2	ETANOLPROCESSEN OCH KRAFTVÄRMEVERKET	14
2.1	LANTMÄNNEN AGROETANOL.....	14
2.1.1	<i>Processbeskrivning</i>	14
2.2	HÄNDELÖVERKET.....	17
2.2.1	<i>Processbeskrivning</i>	17
3	ENERGIÅTGÅNG FÖR OLIKA DELMOMENT I PRODUKTIONSSYSTEMET	19
3.1	ODLING AV SPANNMÅL.....	19
3.1.1	<i>Odlingsoperationer</i>	19
3.1.2	<i>Gödsling</i>	21
3.1.3	<i>Bekämpning</i>	21
3.1.4	<i>Torkning</i>	21
3.1.5	<i>Skörd</i>	22
3.1.6	<i>Utsäde</i>	22
3.1.7	<i>Halm</i>	22
3.1.8	<i>Tillverkning av maskiner</i>	22
3.1.9	<i>Total energiförbrukning vid odling av spannmål</i>	23
3.2	SKOGSBRÄNSLE.....	23
3.2.1	<i>Insamling</i>	24
3.2.2	<i>Lastning</i>	24
3.2.3	<i>Transporter</i>	24
3.2.4	<i>Bearbetning</i>	24
3.2.5	<i>Energiförbrukning vid tillverkning av maskiner</i>	25
3.2.6	<i>Total energiförbrukning vid bränslehantering</i>	25
3.3	ETANOLPRODUKTION.....	26
3.3.1	<i>Energianvändning</i>	27
3.3.2	<i>Kemikalier</i>	27
3.3.3	<i>Enzymer</i>	28
3.3.4	<i>Avloppsvattenhantering</i>	28
3.3.5	<i>Färskvatten</i>	29
3.3.6	<i>Förbrukningssiffror för Lantmännen Agroetanols fabrik</i>	29
3.4	ÅNGPRODUKTION.....	30
3.4.1	<i>Bränslebehov</i>	30
3.4.2	<i>Elanvändning</i>	33
3.4.3	<i>Kemikalier</i>	33
3.4.4	<i>Färskvatten och avlopp</i>	33
3.4.5	<i>Askhantering</i>	34
3.4.6	<i>Förbrukningssiffror för Händelöverket</i>	34

3.5	ELPRODUKTION	35
3.6	BIOGASPRODUKTION	39
3.7	TRANSPORTER	39
3.7.1	<i>Beskrivning av transporter</i>	<i>39</i>
3.7.2	<i>Transporter till etanolfabriken.</i>	<i>40</i>
3.7.3	<i>Transporter till Kraftvärmeverket</i>	<i>40</i>
3.7.4	<i>Energiförbrukning vid transporter</i>	<i>41</i>
4	INGÅENDE ENERGI.....	42
4.1	BRÄNSLE	42
4.2	PRODUKTER	43
5	RESULTAT FÖR SYSTEM 1.....	44
6	BESKRIVNING AV SYSTEM 2	47
6.1	DRANK ANVÄNDS SOM BRÄNSLE ISTÄLLET FÖR SOM FODER.....	47
6.2	FÖRBRÄNNING AV DRANK IDAG	48
6.3	TORKNING AV DRANK TILL BRÄNSLE.....	48
6.4	BRÄNSLEEGENSKAPER DRANK	50
6.5	FÖRBRÄNNINGSMÖJLIGHETER	51
6.6	ANVÄNDNINGSOMRÅDE FÖR ASKAN.....	53
7	ÅNG- OCH ELPRODUKTION MED DRANK SOM BRÄNSLE	54
7.1	ÅNGTRYCK I PROCESS OCH PANNA	54
7.2	VAL AV TURBIN	54
7.3	ANTAGANDE FÖR FRAMTIDA ENERGFÖRSÖRJNING	55
7.3.1	<i>Antagande gällande eldning av både blöt och torr drank.....</i>	<i>55</i>
7.3.2	<i>Antagande för eldning med blöt drank.....</i>	<i>56</i>
7.3.3	<i>Antagande för eldning med torr drank.....</i>	<i>56</i>
7.4	BERÄKNINGAR FÖR ELDNING AV TORR DRANK	56
7.5	BERÄKNINGAR FÖR ELDNING MED BLÖT DRANK.....	58
7.6	FÖRÄNDRINGAR GÄLLANDE TRANSPORTER	59
8	RESULTAT FÖR SYSTEM 2.....	60
8.1	RESULTAT FRÅN PRODUKTIONSSYSTEM MED ELDNING AV TORR DRANK (DDGS)	60
8.2	RESULTAT FRÅN PRODUKTIONSSYSTEM MED ELDNING AV FUKTIG DRANK (55% FUKTHALT)	63
9	SAMMANFATTANDE DISKUSSION	65
10	SLUTSATS	68
11	SLUTORD	69
12	REFERENSER.....	70
12.1	TRYCKTA SKRIFTER.....	70
12.2	INTERNET	72

12.3	PERSONLIG KOMMUNIKATION	73
12.4	INTERNA DOKUMENT	73
	BILAGA B – BRÄNSLEHANTERING GROT	77
	BILAGA C - TRANSPORTER.....	78
	BILAGA D - RESULTAT FRÅN SYSTEM 1	79
	BILAGA E - RESULTAT FRÅN SYSTEM 2	81
	<i>DDGS som bränsle.....</i>	<i>81</i>
	<i>Fuktig drank som bränsle.....</i>	<i>81</i>

1 Bakgrund

Etanol har de senaste åren fått en allt större betydelse i det svenska energisystemet som ersättningsbränsle för bensin. Den produktion av drivmedelsetanol som finns i Sverige idag sker vid två olika anläggningar. Etanol produceras från spannmål i Norrköping och från cellulosa i Örnsköldsvik. Den totala produktionen av drivmedelsetanol i Sverige är cirka 70 000 kubikmeter per år. Sverige är i och med detta ett väldigt litet produktionsland av etanol. De två största producenterna är USA och Brasilien som står för cirka 90% av världsproduktionen. Under 2006 producerade de tillsammans cirka 35 miljoner kubikmeter etanol. (Berg, 2006) I dessa länder sker etanolproduktion ifrån annan råvara, i USA används främst majs och i Brasilien sockerrör. Etanol tillverkas främst för att ersätta bensin som drivmedel och genom detta ska utsläppen av växthusgaser minskas. Därför är det viktigt att det vid produktion av etanol inte åtgår allt för stora mängder fossil energi. Etanol är idag det största alternativa drivmedlet i Sverige med en andel på 2 % av det totala transportbehovet. Under 2006 blandades 4,6 volym-% etanol in i varje liter bensin som såldes i landet. Den totala förbrukningen av bensin med låginblandning av etanol för 2006 i Sverige var 5 347 000 kubikmeter. Detta innebär att behovet av etanol till låginblandning i Sverige är cirka 250 000 kubikmeter per år. Etanol används också i bränslet E85 där andelen etanol är 85% och resten bensin, dessutom används ren etanol som bussbränsle. Totalt sett förbrukades 318 000 kubikmeter etanol som fordonsbränsle på något sätt under 2006 i Sverige. (SPI, 2007) I Norrköping där Lantmännen Agroetanol driver sin etanolfabrik framställs etanol från spannmål. Denna anläggning är unik i Europa då den använder ånga framställd från biobränsle i ett närliggande kraftvärmeverk. Ofta används fossilt producerad ånga vid etanolproduktion. Den etanol som produceras i fabriken i Norrköping har tack vare detta en mindre påverkan på miljön än den etanol som produceras i övriga Europa. Det är därför intressant att studera hur mycket fossil energi som åtgår vid produktion av etanol i Lantmännen Agroetanol's fabrik. Då etanolfabriken behöver ånga i processen ger detta en möjlighet till att samtidigt producera el i kraftvärmeverket. Etanolfabriken utgör genom sitt behov av ånga ett värmeunderlag för kraftvärmeverket som då kan producera mer el än om etanolfabriken inte hade funnits. Det är därför intressant att studera kraftvärmeverket som ett kombinat tillsammans med etanolfabriken och se vilka positiva energieffekter detta medför.

Den drank som bildas vid etanolprocessen torkas och används idag som foder till framförallt nötkreatur. Fodret (DDGS) har ett högt proteininnehåll men på grund av sammansättningen av aminosyrorna kan bara en viss andel av ett djurs foder ersättas. (Beckman, B. pers. kom.) Marknaden för DDGS är därför begränsad. Flera nya etanolfabriker planeras i landet och många av dem är planerade att vara spannmålsbaserade (Miljörapporten, 2006). Kommer samtliga projekt att byggas och tas i drift kan det tänkas att priset på restprodukten kommer att sjunka och det då inte längre blir lika lönsamt att sälja DDGS som foder. En alternativ användning av dranken kan då vara som bränsle för den interna energiförbrukningen.

När etanolens nytta som drivmedel debatteras används ofta begreppet energibalans. Resultat från energianalyser av alternativa drivmedel presenteras nämligen ofta som en energibalans. Med energibalans menas i denna rapport kvoten mellan etanolens energiinnehåll och den hjälpenergi som använts för att driva hela produktionssystemet. En positiv energibalans innebär att mer energi fås ut i form av drivmedel än vad som har förbrukats för att ta fram det, desto högre energibalans desto energieffektivare produktion.

1.1 Syfte

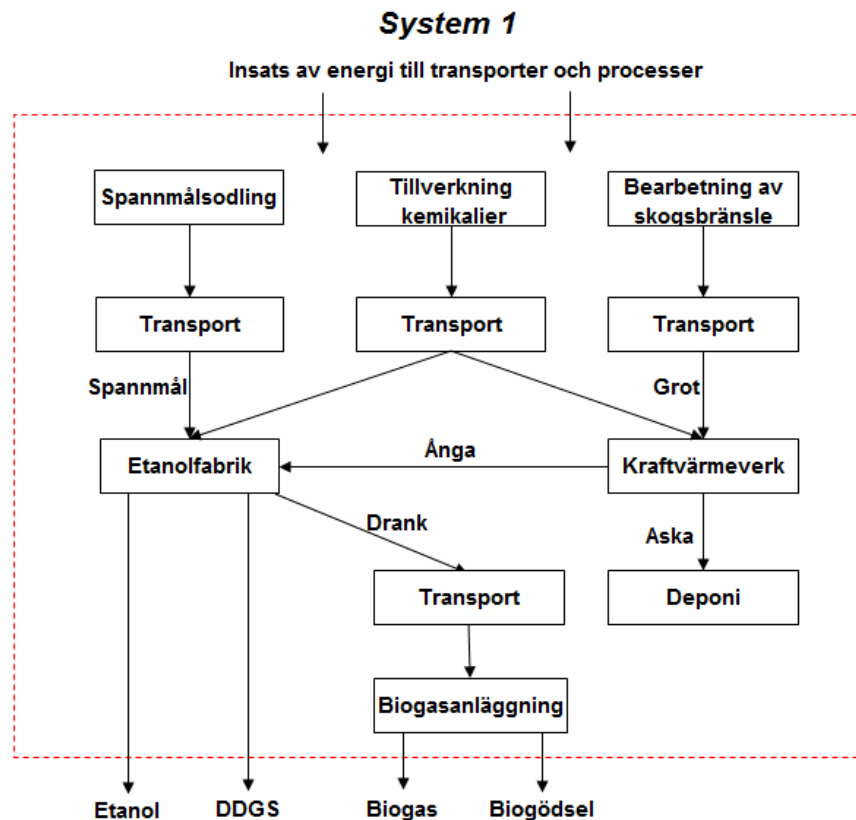
Syftet med examensarbetet är att studera energiinsatsen och energieffektiviteten vid produktion av drivmedelsetanol och djurfoder vid Lantmännen Agroetanols anläggning i Norrköping. Hela produktionssystemet för etanoltillverkning ska utvärderas som ett bioenergikombinat där förutom etanolanläggningen också kraftvärmeverket och biogasanläggningen ska ingå. Energianvändningen för hela kedjan ska beräknas där spannmålsodling, skogsflisproduktion, kemikalietillverkning och transporter ska ingå. Detta ska ställas i relation till ett möjligt framtida scenario där djurfoder som restprodukt från etanoltillverkningen istället nyttjas som bränsle för el- och värmeproduktion inom den egna anläggningen. Examensarbetet ska ge en helhetsbild av energianvändningen med utgångspunkt från jordbruk och skog ända fram till produktionsenheterna etanol, foder och biogas. Resultatet ska förutom att ge en helhetsbild också presenteras som en energibalans så de olika produktionssystemen enkelt kan jämföras.

1.2 Metod och avgränsningar

Examensarbetet är en energianalys och utförs som en systemstudie där en energibalans beräknas för två olika svenska produktionssystem för etanol. De båda systemen förklaras närmare nedan. Produktionen av etanol är uppbyggd på olika sätt i andra länder och i denna studie undersöks endast produktionssystemet för etanol i Lantmännen Agroetanols fabrik i Norrköping. I examensarbetet utförs inga jämförelser med andra produktionssystem för etanol, istället hänvisas till Pål Börjesson som gjort en sammanställning av olika energianalyser för bioetanol (Börjesson, 2006). Datainsamlingen bygger på litteraturstudier, intervjuer och verkliga data från produktionsanläggningarna i Norrköping. Beräkningarna utförs i datorprogrammet Microsoft Excel.

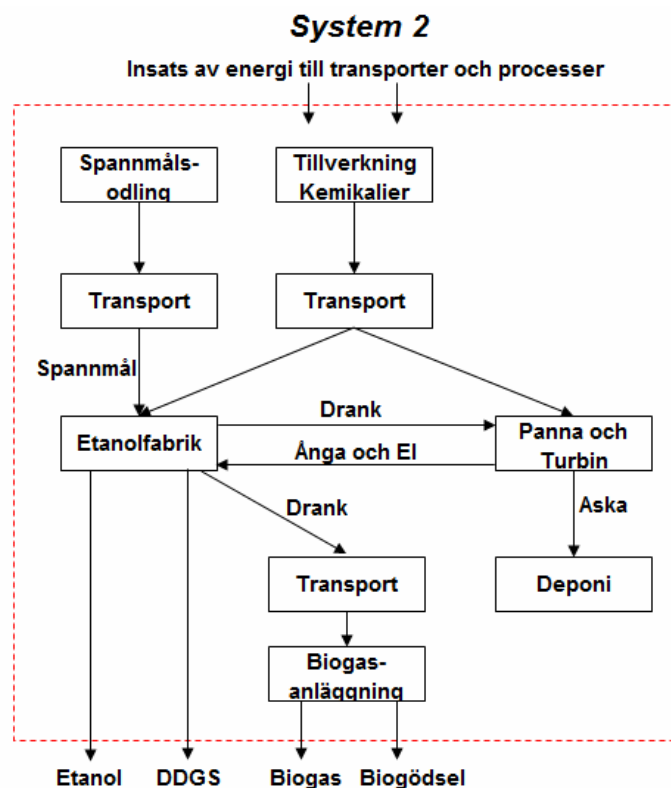
Det första systemet, *System 1* är baserat på den nuvarande produktionen av etanol i Lantmännen Agroetanols fabrik i Norrköping. Produktion av etanol sker från spannmål som odlats i närområdet. För att driva etanolprocessen vid fabriken krävs både ånga och el. Ångan produceras i kraftvärmeverket på Händelö från flis som har sitt ursprung från avverkningsrester i skogen. Den el som används i processen köps in från Nordpool och antas återspegla nordisk elmix. Spannmål och flis är de två råvarorna i processen och den energi som dessa två råvaror innehåller räknas inte som insats av energi då de aldrig passerar systemgränsen. Systemgränsen åskådliggörs i *Figur 1* nedan. Det förbrukas dock energi vid odling, transport och bearbetning av biomassan. Den energi som förbrukats vid

dessa moment räknas med i analysen som insats av energi. Vid de två anläggningarna förbrukas också en viss mängd kemikalier och andra råvaror. Energi för att tillverka och transportera dessa ingår också i systemet som insats av energi. De produkter som lämnar systemet är etanol, foder (DDGS), biogas och biogödsel. Systemet illustreras i följande figur, detta för att kunna åskådliggöra systemgränserna.



Figur 1 Flödesschema över System 1, där huvuddelarna av systemet är illustrerat.

I det andra produktionssystemet, System 2 ersätts Händelöverkets flispanna med en drankeldad panna vid den egna anläggningen. Detta innebär ett något mindre system för bränslehanteringskedjan eftersom flis ersätts med drank som produceras i etanolprocessen. Samtidigt kan ångproduktionen optimeras på ett energieffektivare sätt då elgenerering kommer att ske med en ångturbin vid den egna anläggningen. Eftersom dranken kommer att användas för produktion av ånga och el produceras inte längre lika mycket DDGS vid anläggningen. Systemuppbyggnaden kan studeras i Figur 2.



Figur 2 Flödesschema över System 2, där huvuddelarna av systemet är illustrerat.

1.3 Energiberäkningar

För att kunna jämföra de olika energiinsatserna som sker vid tillverkning av etanol så har all använd energi omräknats till primärenergi. Detta innebär att analysen har både inräknat direkt använd energi och indirekt använd energi. Direkt använd energi avser energi i form av bränslen och energibärare så som diesel, naturgas och el. Den indirekta energin är den energi som förbrukas under tillverkning och distribution av bränslet eller energibäraren. Omräkningen av energi till primärenergi har gjorts i resultatdelen. Alla sammanställningar och antaganden fram till detta avsnitt gäller direkt använd energi om inget annat anges. Till den indirekta användningen av energi tillhör också den energi som förbrukats under tillverkning av lastbilar, skogsmaskiner, traktorer och jordbruksmaskiner. Denna energi har inkluderats hela vägen igenom analysen. Energiförbrukningen vid byggnation av fabriker och byggnader bortses det ifrån i denna analys, då det i andra studier har visat sig vara en liten del av den totala energiförbrukningen (Bernesson, 2004). Energiförbrukningen vid tillverkning och transport av kemikalier och andra råvaror som behövs någonstans i produktionen har inkluderats i analysen.

1.4 Begrepp

<i>Alfa-värde</i>	Benämning på förhållandet mellan el och värme som en ångturbin kan producera, alfa-värde är producerad eleffekt dividerat med producerad värmeeffekt
<i>DDGS</i>	Dried Distillers Grain with Solubles, det foder som produceras i fabriken kallas DDGS. Det är torkad drank som pelleterats tillsammans med sirap, den har en torrsubstanshalt på cirka 90% kan användas både som foder och bränsle.
<i>Dekantrar</i>	En typ av centrifuger som används för att separera den fasta delen av mäskan från den flytande delen. Från dekantrar fås drankvatten och våtkaka.
<i>Drank</i>	Den del av mäskan som inte har renats bort som alkohol i mäskkolonnerna. Kan användas både som djurfoder och gödsel.
<i>Drankvatten</i>	Namnet på den vätska som fås ut vid centrifugeringen består främst av de lösta partiklarna från dranken, har en torrsubstanshalt på cirka 10%.
<i>E85</i>	Fordonsbränsle för flexifuelbilar som består av 85% etanol och 15% bensin.
<i>Entalpi</i>	Energiinnehållet för ett ämne som förändras med avseende på tryck och volym, enheten är MJ/kg.
<i>Fermentering</i>	Jäsning av socker till etanol med hjälp av jästceller.
<i>Finkel</i>	Högre alkoholer som isoamylalkohol, biprodukt vid etanolproduktion som separeras ut i destillationen. Högre alkohol innebär fler kolatomer per alkoholmolekyl.
<i>Grot</i>	Avverkningsrester från massa- och stamved, grot är en förkortning för grenar och toppar .
<i>Heads</i>	Etylacetat och acetaldehyd, biprodukt vid etanolproduktion som separeras ut i en aldehydstripper.
<i>Likvifiering</i>	Upphettningsprocess av en blandning av mjöl, vatten och enzymer. Värmen gör att stärkelsen konverteras från olöst till löst form under enzymverkan. Detta gör att stärkelsen blir tillgänglig för nedbrytning till socker.

<i>Låginblandning</i>	Inblandning av etanol i bensin, normalt avses femprocentig inblandning av etanol.
<i>Mäsk</i>	Namnet på den vätska som förekommer under fermenteringsprocessen (jäsningsen). Under fermenteringen ökar etanolhalten i mäskan till ca 10% då jästen metaboliserar sockret (glukosen).
<i>Sirap</i>	Biprodukt från etanoltillverkning som fås från indunstning av drankvattnet, har en torrsubstanshalt på cirka 33%.
<i>Våtkaka</i>	Namnet på den kaka som fås efter centrifugeringen av dranken, den del som består av de fasta partiklarna, har en torrsubstanshalt på cirka 33%.
<i>Ångturbin</i>	I en ångturbin tillåts ånga expandera samtidigt som ett arbete utförs, energi bundet i ånga omvandlas med hjälp av turbinen till rörelseenergi.

2 Etanolprocessen och kraftvärmeverket

För att få en inblick i hur de olika produktionsanläggningarna är uppbyggda och hur produktionen av etanol och ånga fungerar inleds rapporten med en beskrivning av både etanolprocessen och kraftvärmeverket.

2.1 Lantmännen Agroetanol

Lantmännen är Sveriges största företag inom jordbruks- och livsmedelsektorn med en omsättning på 30 miljarder kronor. Antalet anställda är cirka 12 000 och företaget har verksamhet i 16 länder förutom Sverige. Lantmännen Agroetanol som ingår i Lantmännenkoncernen producerar årligen cirka 55 000 kubikmeter etanol och 45 000 ton foder. Etanolen används idag till inblandning i bensin (5%) så kallad låginblandning. Etanolfabriken är under utbyggnad och till hösten 2008 kommer ytterligare en produktionslinje stå färdig. Då kommer den totala produktionen av etanol från fabriken att vara cirka 200 000 kubikmeter per år eller cirka 60% av den nuvarande svenska konsumtionen av drivmedelsetanol.

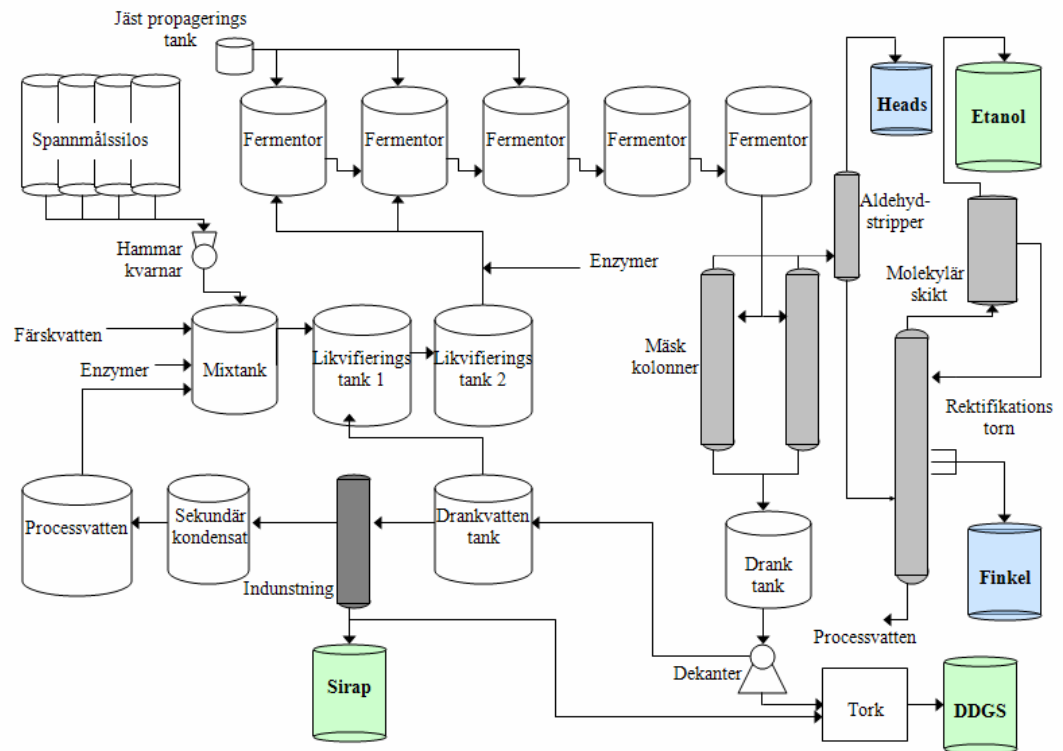
2.1.1 Processbeskrivning

Etanolen som produceras i fabriken i Norrköping baseras på en spannmålsmix av vete, rågvete och korn. Processen för att tillverka etanol startar med mottagning av spannmål som transporteras till fyra silos, där två innehåller vete och de andra två rågvete och korn. Härifrån blandas de tre ingående grödorna för att fortsätta till siktningen där stenar och andra föroreningar rensas bort. Efter sikten mals spannmålen av två hammarkvarnar till ett mjöl, något grövre än grahamsmjöl. Mjölet blandas därefter i en mixtank med processvatten och färskvatten, här tillsätts också en del enzymer och jästnäring för att jästen ska trivas senare i processen. I mixtanken tillsätts också fosforsyra för att justera ph i blandningen. Uppehållstiden i mixtanken är cirka en timme.

Blandningen pumpas från mixtanken till likviferingen. I likviferingen tillsätts mer enzymer och värme i form av ånga för att omvandla stärkelse till socker. Den totala uppehållstiden i likviferingen är cirka 4 timmar. Mäsken kyls sedan innan den fortsätter till fermenteringstankarna. Värmen som bortförs återanvänds till största del i processen men en viss del kyls bort med kyltorn. I kyltornen förbrukas en stor mängd vatten som avges i form av ånga med luften. Det finns fem jästankar som mäsken skall passera innan fermenteringen är slutförd. Detta tar cirka 50-60 timmar och när mäsken lämnar sista jästanken är etanolhalten ca 10%. För att höja etanolhalten till de 99,8% som eftersträvas pumpas mäsken in i destilleriet där mäsken värms upp kraftigt i två kolonner för att skilja etanolen från mäsken. Detta är vanliga destillationskolonner där etanolen kokar bort före mäsken och vattnet och på så vis kan avskiljas. För att bli av med aldehyder som också bildats vid jäsningen används en aldehydstripper där biprodukten heads avskiljs. För att avskilja det vatten som har följt med från kolonnerna används ett rektifikationstorn där vatten, etanol och finkel avskiljs. Sista reningssteget upp till den helt rena etanolen sker i en molekyllärsikt. När etanolen lämnar denna är etanolhalten minst

99,8%. Destilleriet är en stor förbrukare av ånga och här finns en mängd värmeväxlare för att återanvända och utnyttja all energi så långt som det är möjligt.

Fodret produceras från dranken som fås efter destillationen, dranken är den rest som fås när etanolen avskiljts från mäsken. För att få ett bra foder måste den största delen av vattnet i dranken avskiljas. Första steget för att minska vattenhalten i dranken är centrifugering i dekantrar. Från dekantrarna erhålls drankvatten och våtkaka. Drankvattnet har en torrsubstanshalt på cirka 11% och pumpas till indunstningen där vatten dunstas bort. Det vatten som dunstas bort återcirkuleras i processen och tillsätts i mixtanken. Indunstningen fungerar som ett stort kokkärl där fläktar ser till att ett undertryck råder och på så sätt kokar vatten bort vid en lägre temperatur än vid normalt tryck. Detta är ett väldigt energieffektivt sätt att minska vattenhalten i drankvattnet. Vid indunstningen fås förutom processvatten också en så kallad sirap. Sirapen har en torrsubstanshalt på cirka 33% och kommer till användning vid pelleteringen. Sirapen används dock också som foder, gödsel och som råvara till biogasproduktion. Den våtkaka som lämnar dekantrarna har en torrsubstanshalt på cirka 33% och skickas tillsammans med sirapen till torkarna. Här torkas våtkakan och sirapen till en torrsubstanshalt på cirka 91%, därefter pelleteras det till foderpellets, sirap tillsätts för att få pelletsen att hålla ihop bättre. De torkgaser som lämnar torkarna släpps inte ut direkt utan innehåller förutom vattenånga också en del kolväten. Dessa förbränns i en RTO som är en termisk oxidationsanläggning. I RTO:n tillsätts gasol för att hålla temperaturen över hela bädden på en jämn och hög nivå. Förbränning av kolväten görs främst för att minska de problem som funnits med dålig lukt runt anläggningen. Alla produktionssteg kan studeras i processkissen i *Figur 3*.



Figur 3 Processkiss över etanolanläggningen.

Ånga förbrukas i stora mängder under två steg i processen i destilleriet och i torkarna. El förbrukas främst vid malning, pelletering och indunstning som tillsammans står för mer än 50% av den totala elförbrukningen. Gasol förbrukas bara i RTO:n. De övriga resurserna som förbrukas i några större mängder i processen är svavelsyra, fosforsyra, natriumhydroxid, kvävetillskott och olika enzymer.

2.2 Händelöverket

Kraftvärmeverket som ligger i nära anslutning till Lantmännen Agroetanols fabrik är en stor och komplex anläggning för produktion av värme, el och ånga. Kraftvärmeverket kallas Händelöverket och ägs och drivs av Eon Värme Sverige. På Händelöverket finns ett flertal olika pannor som eldas med varierande bränslemixar. Det är Händelöverket som är Norrköpings huvudproduktionsanläggning av fjärrvärme. Lantmännen Agroetanol använder ånga producerad från biobränsle, detta innebär att ångan i huvudsak produceras i panna 13 och/eller panna 11 som båda eldas med bland annat biobränsle.

2.2.1 Processbeskrivning

Panna 11 var ursprungligen en wanderrostpanna för koleldning, idag är den ombyggd och fungerar istället som en vibrationsrostpanna som eldas med flisat återvinningsvirke, flisade bildäck och flisad grot. Den termiska effekten är 90 MW och den levererar ånga till ett tryck av 110 bar och en temperatur på 540° C. Panna 13 är en CFB-panna (cirkulerande fluidiserad bädd) i vilken det eldas träflis och flisade gummidäck. Den termiska effekten är 125 MW och den levererar ånga till ett tryck av 110 bar och en temperatur på 540° C. Den träflis som eldas i panna 13 har sitt ursprung i grot och stamved som levereras till Händelöverket där det på plats bereds till flis med kross eller trumhugg. Stamveden behålls ofta som stockar eftersom de kan lagras på detta sätt betydligt längre än upphuggen flis. På området sker transport av flis med en hjullastare som förflyttar flisen från ett upplag till en tippficka. Från tippfickan transporteras sedan flisen med transportband till en bränslestack som fungerar som korttidslager. Härifrån matas sedan flisen med transportband till pannsilon som finns inne i pannhuset. (Jonson, 2004). Panna 13 fungerar som baslast, och utgör i och med detta den huvudsakliga produktionen av ånga till Lantmännen Agroetanol. Det har därför i denna studie antagits att all ånga som används i etanolprocessen produceras i panna 13 från flisad grot.

För att producera den mängd ånga som behövs i Lantmännen Agroetanols fabrik åtgår det förutom flis också en del andra råvaror och kemikalier. Sand behövs i pannan då det är en CFB-panna där cirkulerande sand används för att hålla en jämn temperatur i hela pannan. En del sand följer med askan från pannan och måste därför ersättas med ny sand. För att minska kväveoxidutsläppen reduceras den bildade kväveoxiden genom att ammoniak sprutas in i pannan. Kalksten används direkt i förbränningsbädden för att minska utsläppen av svaveloxider från anläggningen. Eftersom Lantmännen Agroetanols fabrik inte återför mer än 90% av kondensatet till Händelöverket måste också en del färskvatten tillföras i pannan.

Till etanolfabriken levereras mättad ånga med trycket 16 bar och effekten ligger runt 23 MW vid normal produktion, då pannorna levererar överhettad ånga med 110 bars tryck måste ångtrycket reduceras innan ångan kan användas i processen. Reduktionen av ångan sker idag genom en tryckreduceringsventil och mättning av ångan sker med matarvatten. På detta sätt fås mättad vattenånga vid 16 bars tryck som då kan användas vid etanolprocessen. (Kindblom Ö. pers. kom.)

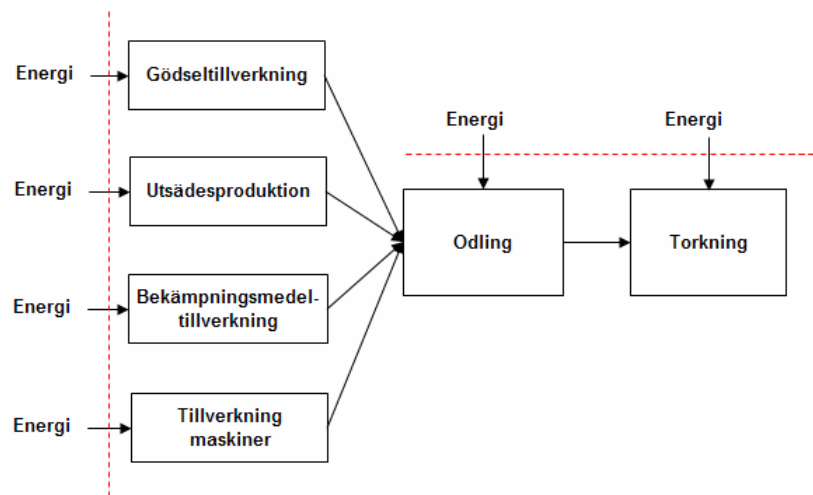
Kondensatet från etanolanläggningen är cirka 110°C varmt när det återvänder till Händelöverket och skulle då kunna användas som fjärrvärme. På grund av processen i etanolfabriken håller kondensatet inte tillräckligt hög vattenkvalitet för att direkt kunna skickas ut på fjärrvärmenätet, utan det behöver renas i en anläggning som inte tål högre temperatur än 60-70°C. Detta innebär att kondensatet från processen behöver kylas innan det kan renas och detta sker genom att returen på fjärrvärmenätet kyler kondensatet till 60°C. Detta är negativt ur Händelöverkets synvinkel då de eftersträvar så låg temperatur på returvattnet från fjärrvärmenätet som möjligt. Genom att behöva kyla kondensatet från etanolfabriken höjs temperaturen på returvattnet till anläggningen. Händelöverket ser detta som negativt då det sänker alfa-värdet för turbinen och på så vis fås en lägre elproduktion i förhållande till värmeproduktion. För att inte göra systemet mer komplicerat än nödvändigt bortses från reningssteget i beräkningar och skisser. Detta är möjligt då värmen som bortförs från kondensatet inte är en förlust utan det kommer till nytta i fjärrvärmesystemet, även om Händelöverket helst hade tagit emot en lägre temperatur för att kunna producera mer el. (Jonson, A. pers. kom.)

3 Energiåtgång för olika delmoment i produktionssystemet

Energiförbrukningen för de olika delarna av produktionskedjan vid etanoltillverkning presenteras i detta avsnitt.

3.1 Odling av spannmål

Vid etanoltillverkning i Lantmännen Agroetanols fabrik i Norrköping används tre olika sorters spannmål; höstvet, rågvete och vårkorn. I denna studie antas att fördelningen mellan de olika grödorna är enligt följande, 75% höstvet, 15% vårkorn och 10% rågvete. (Stavklint, H. pers. kom.) I *Figur 4* kan de delar av spannmålsodlingen som inkluderas i denna studie studeras.



Figur 4 De delar vid spannmålsodling vars energiförbrukning inkluderas i analysen.

3.1.1 Odlingsoperationer

Odling av spannmål som används i fabriken sker främst i närområdet i Östergötlands län och Södermanlands län. Här finns bra jordbruksmark och jordtypen är varierande med både lätta jordar och styv lera. Odlingen antas i denna studie utföras både på konventionellt sätt och med reducerad markberedning. De arbetsoperationer som är nödvändiga vid konventionell spannmålsodling är stubbearbetning, plöjning, harvning tre gånger, gödselspridning två gånger, bekämpning, sådd, tröskning och transport av spannmål från åker till gård. Skillnaden vid odling med reducerat arbetssätt är att två harvningar, gödselspridning och sådd ersätts med en körning med rapidsåmaskin. Det antas att

hälften av odlarna använder konventionellt arbetssätt och hälften av odlarna använder rapidtekniken (Beckman, B. pers. kom.). Den enda skillnaden gällande odlingen mellan de tre grödorna antas vara mängden använt handelsgödsel, i övrigt antas odlingen ske på samma sätt. Drivmedelsförbrukningen vid genomförande av de olika arbetsoperationerna kan studeras i Tabell 1 och Tabell 2 nedan.

Tabell 1 *Bränsleförbrukning för de olika odlingsmomenten vid konventionell odling (Lindgren et al, 2002)*

Valmet Valtra 6600	Dieselförbrukning	
	[kg/ha]	[MJ/ha]
Plöjning	14,4	623
Harvning x 3	8,4	364
Gödselspridning x 2	0,8	35
Sådd	4,2	182
Besprutning*	2,9	123
Stubbearbetning	12,7	550
Spannmålstransport till silo**	1,9	84
Massey Ferguson 7254		
Tröskning	13,4	580
Totalt	58,7	2 540

Tabell 2 *Bränsleförbrukning för de olika odlingsmomenten vid reducerad markberedning (Lindgren et al, 2002)*

Valtra 6600	Dieselförbrukning	
	[kg/ha]	[MJ/ha]
Plöjning	14,4	623
Harvning x 1	2,8	121
Gödselspridning x 1	0,4	17
Direktsådd (inkl gödsling)	4,2	182
Besprutning*	2,9	123
Stubbearbetning	12,7	550
Spannmålstransport till silo**	1,9	84
Massey Ferguson 7254		
Tröskning	13,4	580
Totalt	52,7	2 281

*Bränsleförbrukning som vid sådd (Ahlgren, 2004) och tidsåtgång enligt Agriwise (2007)

**Tur och retur från åker till gård 30 minuter.

3.1.2 Gödsling

De mängder handelsgödsel som använts vid odlingen bygger på de rekommendationer som Jordbruksverket (2006a) ger varje år. Mängden kväve beräknas utgående ifrån den genomsnittliga skörden för Östergötlands län eftersom kvävemängden bestäms av storleken på skörden. Gödselspridning antas ske vid två tillfällen (Beckman B. pers. kom.). Transport av handelsgödsel till odlarna står för en försumbar energiförbrukning, detta har visats av Bernesson (2004), där energiförbrukningen för detta moment endast stod för 0,12% av den totala energianvändningen vid odling. Det har därför i denna studie bortsetts från denna energiförbrukning. Energiförbrukningen vid tillverkning av handelsgödsel finns redovisad i Bilaga A i Tabell 36.

Tabell 3 *Rekommenderade mängder handelsgödsel för norra Götaland på jordar med P-AL klass III. (Jordbruksverket, 2006a)*

		Kväve	Fosfor	Kalium
Vete	[kg/ha]	135	15	25
Rågvete	[kg/ha]	115	15	25
Korn	[kg/ha]	100	15	25

3.1.3 Bekämpning

Antalet bekämpningar bygger på ett årsgenomsnitt över en längre period, då vissa bekämpningsmedel inte behöver användas varje år. Eftersom tillverkningen av bekämpningsmedel är en relativt liten del av den totala energiförbrukningen vid odling antas det att samma mängder bekämpningsmedel används vid odling av alla de tre grödorna. Den mängd bekämpningsmedel som åtgår kan studeras i Bilaga A i Tabell 38 där även mängden aktiv substans per hektar finns redovisad. Energiförbrukningen vid tillverkning av bekämpningsmedel kan ses i Bilaga A i Tabell 39.

3.1.4 Torkning

Vid skörd av spannmål ligger vattenhalten normalt på cirka 20% men vid leverans till etanolfabriken ska vattenhalten vara 14%. Detta innebär att torkning av spannmålen i de flesta fall är nödvändig. Normalt torkas spannmålen hos odlaren med torkanläggning som drivs med olja (Beckman, B. pers. kom.). Detta antagande stöds av den odlarundersökning Lantmännen Agroetanol nyligen har genomfört där endast ett fåtal av odlarna har angett att det använder bibränslebaserad torkning. För att torka spannmål behövs 0,15 liter olja per kilo borttorkat vatten. För att transportera spannmål i torkanläggningen krävs el, normalt elbehov är 18,8 kWh/ton spannmål. (Edström et al, 2005)

3.1.5 Skörd

Den storlek på skörden som använts i studien är baserad på den genomsnittliga hektarskörden för Östergötlands län år 2005.

Tabell 4 *Genomsnittsskörd för Östergötlands län år 2005. (Jordbruksverket, 2006b)*

Gröda		Höstvete	Rågvete	Korn
Skörd	[kg]	6 650	6 050	4 500
Andel vid produktion	[andel]	0,75	0,10	0,15
Markåtgång	[ha/m ³ etanol]	0,30	0,04	0,09

Spannmålsåtgången per kubikmeter etanol är 2 680 kg som fördelas mellan de olika grödorna enligt Tabell 4. Detta ger en total markanvändning på 0,43 hektar per kubikmeter producerad etanol.

3.1.6 Utsäde

En av de höstvetsorter som Lantmännen Agroetanol rekommenderar sina odlare att använda är SW Harnesk. Denna sort har nämligen levererat hög stärkelsehalt och låg proteinhalt tidigare. Hög stärkelsehalt i spannmålen ökar utbytet av etanol per ton spannmål. Enligt odlingsanvisningen för denna sort är utsädesmängden i norra Götaland 194 kg/ha (Svalöv Weibull, 2007) vilket använts som utsädesmängd för alla de tre grödorna i denna studie. Detta då utsädesmängderna är liknande för både rågvete och vårkorn samtidigt som dessa två grödor är en betydligt mindre del av ingående spannmål än höstvetet. Vid utsädesodling åtgår det enligt Ahlgren (2004) 10% mer energi än vid normal spannmålsodling. Energiåtgången för att producera utsäde byggs i denna studie på resultatet från odlingen i denna studie och en ökning på 10% av energiåtgången.

3.1.7 Halm

Halmen som bildas vid odling av spannmål antas i denna studie bli kvar på åkern där den plöjs ner. Halm skulle dock kunna nyttjas för värmeproduktion i samband med torkning av spannmålen. Detta skulle bidra till en mindre energiinsats i systemet då olja skulle ersättas med biobränsle producerat innanför systemgränsen. Berglund & Börjesson (2003) anger att genomsnittsuttaget av halm inte bör överstiga 2 ton/ha år för att bibehålla en god mullhalt. Det effektiva värmevärdet för halm är normalt runt 14,5 MJ/kg (Strömberg, 2004). Varje år skulle 29 000 MJ halm per hektar kunna användas för uppvärmning och ersätta till exempel olja vid torkning av spannmål.

3.1.8 Tillverkning av maskiner

Energiåtgången för tillverkning av traktorer och maskiner som används vid veteodling har i en tidigare studie beräknats av Bernesson (2004). Det antas i denna studie att energin som förbrukas vid detta moment är el. Totalt sett åtgår det 389 MJ/ha för tillverkning av de maskiner som använts i denna studie. Fördelningen kan studeras i Bilaga A i Tabell 42.

3.1.9 Total energiförbrukning vid odling av spannmål

En sammanställning för odlingens energiförbrukning presenteras i Tabell 5. Den använda energin är uttryckt per hektar för att enkelt kunna jämföras med andra studier.

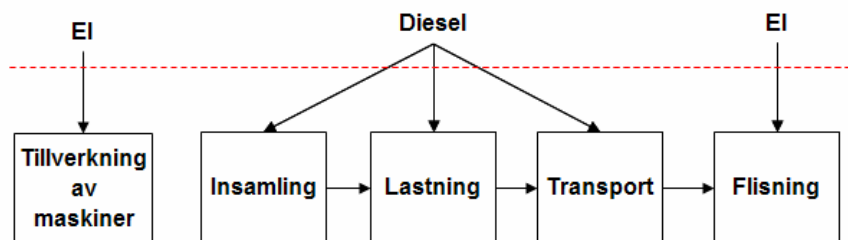
Tabell 5 Sammanställning för energiåtgång vid odling av spannmål

	Utsäde	Bekämpning	Handelsgödsel	Odlingsoperationer	Torkning	Maskiner	Totalt
Energi per hektar	[MJ/ha]	[MJ/ha]	[MJ/ha]	[MJ/ha]	[MJ/ha]	[MJ/ha]	[MJ/ha]
Diesel	95	20	299	2410			2 824
El	37	12	220		447	389	1 105
Stenkol	17		497				514
Eldningsolja	97	11	726		2051		2 885
Naturgas	144	24	4 126				4 294
Värmeproduktion	-4		-114				-118
Totalt	386	67	5 753	2 410	2 498	389	11 503
Andel	3%	1%	50%	21%	22%	3%	

3.2 Skogsbränsle

Skogsbruk drivs i Sverige främst för att få fram råvara till massaved och virke. Skogsbränsle har dock blivit ett allt vanligare bränsle till värmeverk och kraftvärmeverk. Oftast utgörs skogsbränslet av den del av trädet som inte kan användas som virke eller till massaved, tidigare har detta bara lämnats kvar i skogen. Skogsbränsle utgörs framför allt av avverkningsrester i form av grenar och toppar (grot) och virke som inte har någon industriell användning, som rötskadat virke och klen virke från gallring och röjning i ett tidigt skede. Mycket skogsbränsle utgörs också av spill ifrån sågverk i form av sågspån och bark. (Skogsstyrelsen, 2001) I denna analys bortses det från den energi som förbrukats under odling och avverkning av skogen. Energiförbrukningen för dessa moment hade nämligen varit lika stor även om skogsbränslet hade lämnats kvar i skogen eller tagits ut. Lantmännen Agroetanol köper biobränslebaserad ånga ifrån Händelöverket vilket innebär att bränslet kan vara av olika ursprung. Bränslen som räknas som biobränsle och som eldas på Händelöverket är returflis, grot, sågspån, bark och rötved. För att inte göra energianalysen alltför komplex antas det i denna studie att allt biobränsle som eldas för Lantmännen Agroetanol räknas som grot. De moment där energi förbrukas och som tagits med i denna studie är insamling av grot, lastning, flisning och transport till kraftvärmeverket. Under dessa delmoment förbrukas främst fossil energi. Hansson et al (2000) har studerat uppkomna luftemissioner och bränsleförbrukning orsakade av bränsleförsörjningssystemet för

ett svenskt kraftvärmeverk. Information från denna rapport ligger till grund för de beräkningar som utförs i denna studie för Händelöverkets bränsleförsörjningssystem gällande grot. Händelöverket har en egen kross för skogsbränsle och den största mängden grot levereras därmed obearbetad. Den normala bränslehanteringskedjan för Händelöverkets skogsflis är att en skotare samlar ihop grot från avverkningen och lägger i vältor vid väggkanten. Sedan transporteras grot från vältorna med lastbil direkt till Händelöverket där den bearbetas till flis.



Figur 5 De moment vid insamling och bearbetning av skogsflis vars energiförbrukning inkluderas i denna analys.

3.2.1 Insamling

För insamling av grot antas det att en medelstor skotare används. Specifikationer för skotaren kan studeras i Bilaga B i Tabell 43.

3.2.2 Lastning

Lastning av grot antas ske med lastbil som har egen kran. Dieselförbrukningen och tidsåtgången för detta moment kan studeras i Bilaga B i Tabell 44.

3.2.3 Transporter

Vid transport av lös grot antas det att lastbil anpassad för transport av grot används med en genomsnittlig last på 22 ton (Näslund, 2006; Werkelin, R. pers. kom.). Bränsleförbrukningen antas vara 4,9 l/mil för full last och 3,05 l/mil vid tom last (NTM, 2007). Upptagningsområdet av grot antas vara cirkelformat med en radie på 10 mil (Andersson, T. pers. kom.). Medelavståndet för ett cirkelformat upptagningsområde är 2/3 av radien. För att korrigera för att vägnätet inte alltid är rakaste vägen används en slingfaktor som är 1,25. (Fjeld & Pettersson, 2006) Detta ger ett medelavstånd på 8,3 mil. På Händelöverket sker transportererna av flis med hjullastare. Dieselförbrukning och andra relevanta data för hjullastaren kan studeras i Bilaga B i Tabell 45.

3.2.4 Bearbetning

Flisning av grot sker framför allt på Händelöverket (Andersson, T. pers. kom.). I denna studie antas all grot flisas på Händelöverkets anläggning. Flisningsutrustningen består av en hammarkvarn och en trumhugg som båda är

eldrivna. Detta innebär att elförbrukningen för detta moment ingår i den totala elförbrukningen för Händelöverket som redovisas i avsnitt 3.4.2.

3.2.5 *Energiförbrukning vid tillverkning av maskiner*

För lastbilstransporten antas det att 4% (Berglund & Börjesson, 2003) av den använda dieseln energiinnehåll förbrukas vid tillverkning och underhåll av lastbilen i form av el. Det antas att energiåtgången för att tillverka en lastare är densamma som för tillverkning av en traktor. För skotaren antas det att vikten är 15 ton och energianvändningen vid tillverkning är densamma som för en traktor, 44,16 MJ/kg maskin (Bernesson, 2004). Livslängden för skotaren antas vara 10 000 timmar, vilket är detsamma som för en traktor.

3.2.6 *Total energiförbrukning vid bränslehantering*

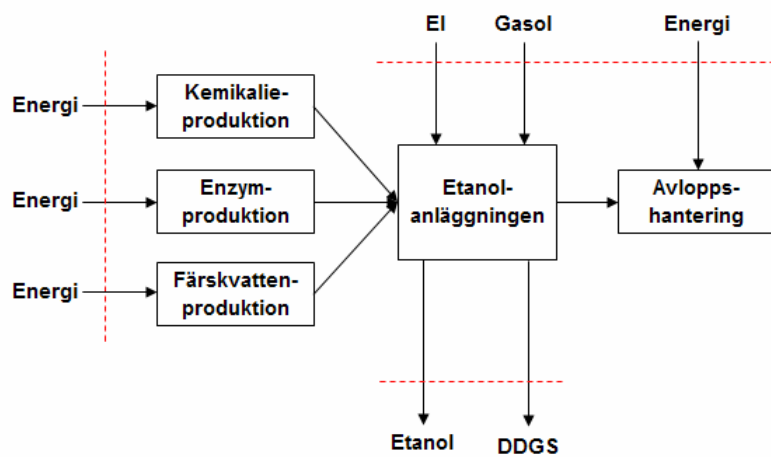
Den totala energiförbrukningen för bränslehanteringskedjan innehållande, insamling, lastning, transport och energiförbrukning vid tillverkning av maskiner kan studeras i Tabell 6.

Tabell 6 *Dieselförbrukning under de olika momenten i bränslehanteringskedjan för grot samt elanvändning vid tillverkning av maskiner. Energiåtgången är uttryckt per ton flis.*

	Insamling	Lastning	Transport	Tillverkning	Totalt
	[MJ/ton]	[MJ/ton]	[MJ/ton]	[MJ/ton]	[MJ/ton]
Diesel	44	9	115		167
El				12	12
Andel	25%	5%	64%	7%	

3.3 Etanolproduktion

I etanolprocessen förbrukas energi i form av ånga, el och gasol. Energiförbrukningen vid produktion av ånga redovisas i avsnitt 3.4. I etanolprocessen förbrukas också vatten, kemikalier, enzymer och jäst. De produkter som används i mindre grad än $0,5 \text{ kg/m}^3$ etanol bortses det från i denna studie. En anledning till varför det går att bortse från dessa kemikalier är att energiförbrukningen för de övriga kemikalierna bidrar till en mycket liten del av den totala energiinsatsen. Det produceras även avloppsvatten som måste tas omhand av reningsverket där det vid reningen förbrukas energi. Vid beräkning av energiförbrukningen används det för alla kemikalier och enzymer livscykelperspektiv. För vattenproduktion och avloppshantering bygger energianvändningen endast på den direkt använda energin. En enkel figur för att illustrera vilken energi som räknas med i denna del av analysen finns nedan.



Figur 6 Energiinsatsen som sker vid etanolfabriken med systemgränsen utritad

3.3.1 *Energianvändning*

För att driva etanolprocessen åtgår det som tidigare nämnts energi i form av ånga, el och gasol. För varje kubikmeter etanol som lämnar fabriken förbrukas det 3 870 kg ånga (2006). Ångan produceras av Händelöverket och mängden hjälpenergi som förbrukas för att producera ångan kommer behandlas i avsnitt 3.4. Elförbrukningen på fabriken var under 2006 i genomsnitt 345 kWh per producerad kubikmeter etanol. Gasol används i mindre utsträckning endast 65 kWh per kubikmeter etanol (2006).

Tabell 7 *Energiförbrukning i fabrik, direkt använd energi.*

	[kWh/m ³ etanol]
El	345
Gasol	65

3.3.2 *Kemikalier*

Den fosforsyra som används i anläggningen för att balansera ph produceras i Police, Polen. Producenten var inte villig att avslöja energiförbrukningen vid tillverkning utan denna bygger på data från en livscykelanalys av etanol utförd av Bernesson (2004).

Det natriumlut som används i anläggningen för att balansera ph produceras i Rotterdam, Nederländerna. Producenten kunde inte avslöja energiförbrukningen vid tillverkning utan denna bygger på data från Bernesson (2004).

Den svavelsyra som används i processen tillverkas i Skellefteå.

Energiförbrukning vid tillverkning av de tre ovan nämnda kemikalierna bygger på Bernesson (2004). Energiförbrukningen för de olika kemikalierna var inte fördelad mellan olika bränsleslag utan endast angivet i form av primärenergi. Därför redovisas endast primärenergianvändningen för dessa kemikalier.

Tabell 8 *Energiförbrukning vid tillverkning av kemikalier som används i processen, koncentration 100% (Bernesson, 2004)*

	Fosforsyra [MJ/kg]	Natriumhydroxi d [MJ/kg]	Svavelsyra [MJ/kg]
Primärenergi	20	10,4	3

Urea används som näring till jätten. Leverantören av urea har lämnat energiförbrukningen för produktion ur ett livscykelperspektiv. Deras siffror gav ett värde på den totala energiförbrukningen och ingen uppdelning på olika energislag. Därför hämtas istället siffror på energiförbrukningen för ureaproduktion från en studie gjord av Davis & Haglund (1999). Där redovisas energiförbrukningen

fördelad på olika energibärare. De två olika studierna visar på samstämmighet gällande den totala energiförbrukningen.

Tabell 9 *Energiförbrukning vid produktion av urea med 46% kväve (Davis & Haglund, 1999).*

	MJ/kg urea
Naturgas	14,8
El	0,7
Ånga	3,7
Olja	2,5
Kol	1,8
Totalt	23,5

3.3.3 Enzymer

En livscykelanalys för enzymer producerade av den danska tillverkaren Novozymes har utförts av Klöverpris & Andersen (2004). Denna studie ligger till grund för antagandena om energiförbrukningen för de enzymer som används i Lantmännen Agroetanols fabrik. Klöverpris & Andersen har beräknat energiförbrukningen för enzymer liknande dem som används i etanolprocessen. Det antas att resultatet från deras studie gällande energiförbrukningen vid tillverkning av enzymer är representativa även för de enzymer som används i etanolprocessen. I etanolprocessen används främst enzymgrupperna alpha-amylas, glukoamylas som katalyserar nedbrytningen av stärkelse och cellulas som klipper sönder cellulosa. Energiförbrukningen vid tillverkning av dessa typer av enzym är 89,4 MJ/kg respektive 105 MJ/kg. Vid tillverkning av enzymerna används en mängd olika råvaror samt energi i form av ånga, olja och el. Råvarorna står för den största delen insatt energi runt 70% av primärenergiförbrukningen. (Klöverpris & Andersen, 2004)

Tabell 10 *Energianvändningen vid enzymtillverkning (Klöverpris & Andersen, 2004)*

Enzym	Råvaror [MJ/kg]	Värme [MJ/kg]	Olja [MJ/kg]	El [MJ/kg]	Totalt [MJ/kg]
Alpha novamyl	64,1	12,3	5,6	5,9	88,1
Cellulase novozym	69,6	5,9		17,5	93,0

3.3.4 Avloppsvattenhantering

Det finns ingen livscykelanalys eller energianalys genomförd för Slottshagens reningsverk i Norrköping på hela kedjan för rening av avloppsvatten. Den energiförbrukning som beräknas för rening av avloppsvattnet bygger på elförbrukning och fjärrvärmeförbrukning för Slottshagen under år 2005. Slottshagen som Lantmännen Agroetanols fabrik är anslutet till tog år 2005 hand om 13 400 000 m³ avloppsvatten och förbrukade vid behandlingen av detta 6,3 GWh el och 4,1 GWh fjärrvärme. (Ryd, C. pers. kom.) För avledning av avloppsvatten finns inga förbrukningssiffror tillgängliga så för detta moment har

energiförbrukningen från Stockholm Vatten istället använts. I Stockholm förbrukades 0,216 MJ el per kubikmeter avloppsvatten (Stockholm vatten, 2007) vilket antas vara representativt för Norrköping också. Totalt sett inklusive både rening och avledning blir energiförbrukningen 1,9 MJ el och 1,1 MJ fjärrvärme för varje kubikmeter avloppsvatten som tas om hand.

3.3.5 Färskvatten

För produktion och distribution av färskvatten har precis som för avloppsvattenhantering inte livscykelanalys eller energianalys av hela kedjan legat till grund för beräkning av energiförbrukningen. År 2005 producerades 12 008 000 m³ dricksvatten av Norrköping Vatten och vid tillverkningen konsumerades 3,73 GWh el (Ryd, C. pers. kom.). Energiförbrukningen vid distribution bygger på värden från Stockholm då detta inte fanns tillgängligt i Norrköping. Distribution av vatten i Stockholm var under år 2005 var 0,32 MJ el per kubikmeter vatten (Stockholm vatten, 2007). Totalt sett ger detta en energiförbrukning på 1,4 MJ el per kubikmeter levererat färskvatten.

3.3.6 Förbrukningssiffror för Lantmännen Agroetanols fabrik

Den exakta förbrukningen av kemikalier och enzymer kan inte avslöjas och därför redovisas en sammanslagen mängd. En sammanställning över energiförbrukningen som är relaterad till etanolfabriken kan studeras i Tabell 12.

Tabell 11 *Förbrukning i etanolprocessen*

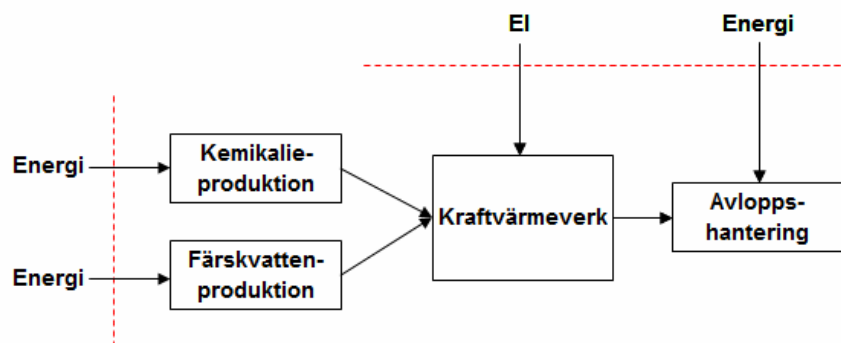
	Förbrukning i fabrik [kg/m ³ etanol]
Ånga	3 870
Spannmål	2 680
Kemikalier	31,8
Enzymer	2,5
Färskvatten	3 600
Avloppsvatten (prod)	1 200

Tabell 12 *Den totala energiförbrukningen som uppkommer på etanolanläggningen och vid tillverkning av de resurser som förbrukas på fabriken.*

	El [MJ/m ³]	Kemikalier [MJ/m ³]	Gasol [MJ/m ³]	Enzymer [MJ/m ³]	Vatten o Avlopp [MJ/m ³]	Totalt [MJ/m ³]
Värme		26		29	1,3	56
Fossil gas		105	234			338
El	1 241	5		18	7,5	1 271
Olja		18		12		30
Kol		13				13
Ospec		99		160		259
Totalt	1 241	265	234	220	9	1 968
Andel	63%	13%	12%	11%	0,4%	

3.4 Ångproduktion

Ånga produceras som tidigare nämnts på Händelöverket. Den ånga som förbrukas i etanolfabriken räknas inte som insats av energi, eftersom den produceras från flis i systemet. Den energi som belastar ångproduktionen är istället dels bränslehanteringskedjan för flis och dels den energi som används direkt på Händelöverket i form av el och indirekt i form av kemikalier. I det kommande stycket presenteras de beräkningar som gjorts för att fastställa bränslebehov och kemikalieanvändning vid Händelöverket. Energiförbrukningen för bränslehanteringskedjan har redovisats per ton bränsle i avsnitt 3.2.6 och redovisas därmed inte ytterligare en gång här.



Figur 7 Bild över vilka delar som bidrar till energiförbrukning vid ångproduktion.

3.4.1 Bränslebehov

I denna studie antas att all ånga produceras i panna 13 på Händelöverket och bränslet är flis ifrån grot. Eftersom pannan är större än det behov som etanolfabriken utgör, så utförs beräkningarna för bränslemängden för den mängd ånga som etanolprocessen förbrukar. För varje kubikmeter etanol som produceras i etanolfabriken åtgår det 3 870 kg ånga. Etanolanläggningen förbrukar ånga med 16 bars tryck och 204°C temperatur och kondenserar denna till 110°C. Massflödet av ånga beräknas utgående ifrån behovet av ånga i etanolprocessen och den genomsnittliga dygnsproduktionen av etanol. *Formel 1* nedan används för att beräkna massflödet av ånga till etanolfabriken.

$$\dot{m}_{\text{ånga fabrik}} = V_{\text{etanol}} \cdot m$$

Formel 1 Beräkning av massflödet av ånga till fabriken

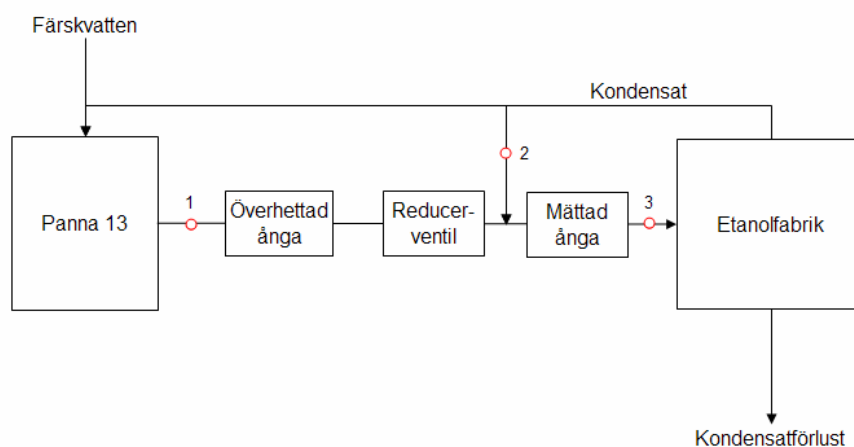
där:

m = mängd ånga per m^3 etanol

$\dot{m}_{\text{ånga fabrik}}$ = ångflöde till etanolfabriken

V_{etanol} = volymflöde producerad etanol

Ångcykeln mellan Händelöverket och Lantmännen Agroetanol illustreras i *Figur 8* där det syns att massflödet av ånga inte är detsamma till etanolfabriken som genom pannan. Detta då ångan tillförs kondensat som ökar massflödet efter reduceringsventilen. Då ångan lämnar pannan är trycket 110 bar och temperaturen 540°C, trycket reduceras till 16 bar vilket ger överhettad ånga. För att sänka temperaturen och erhålla mättad ånga vid 16 bar tillsätts kondensat som på så vis återcirkuleras. Vid pannan tillsätts också färskvatten på grund av de förluster av kondensat och ånga som sker på Lantmännen Agroetanol, cirka 10% av kondensatet förloras i processen.



Figur 8 Flödesschema för ånga och kondensat mellan etanolfabrik och värmeverket.

För att beräkna bränslebehovet krävs massflödet av ånga i pannan. Massflödet av ånga i pannan beräknas utgående ifrån massflödet av ånga som behövs i fabriken och den mängd kondensat som krävs för mättning av ångan. Denna beräkning möjliggörs genom en energi- och massbalans av ångan. Energiflödet och massflödet vid punkt (1) och (2) måste vara detsamma som energiflödet och massflödet i punkt (3). De tre punkterna kan studeras i *Figur 8* ovan, sambanden mellan punkter åskådliggörs nedan.

$$i_{fabrik} \cdot \dot{m}_{\text{ånga fabrik}} = i_{kondensat} \cdot \dot{m}_{\text{kondensat mättning}} + i_{\text{ö}} \cdot \dot{m}_{\text{ånga panna}}$$

Formel 2 Energibalans för ångan vid mätningspunkten

$$\dot{m}_{\text{ånga fabrik}} = \dot{m}_{\text{kondensat mättning}} + \dot{m}_{\text{ånga panna}}$$

Formel 3 Massbalans för ångan vid mätningspunkten

I Tabell 13 kan resultatet av beräkningarna samt använda entalpier, effekter och massflöden studeras.

Tabell 13 Ångdata och massflöde för de olika delarna av ångcykeln

		Panna 13	Kondensat till temp. sänkning	Ånga till etanolfabriken	Kondensa t	Färskvatte n
Tryck	[bar]	110	2	16	2	1
Temperatur	[°C]	540	110	204	110	10
Entalpi	[kJ/kg]	3 464	461	2 795	461	42
Effekt	[MW]	21,5	0,8	22,3	3,3	0,03
Massflöde	[kg/s]	6,2	1,8	8,0	7,2	0,8

Bränsleförbrukningen i pannan beräknas med följande formel.

$$\dot{m}_f = \frac{\dot{m}_a (i_{oh} - i_{kondensat})}{H_i \eta_p}$$

Formel 4 Beräkning av pannans bränsleförbrukning (Alvarez, 2003)

där :

H_i = Effektivt värmevärde flis

\dot{m}_a = massflöde ånga vid pannan

i_{oh} = entalpi efter pannan

$i_{kondensat}$ = entalpi kondensat

η_p = pannverkningsgrad

För att beräkna bränsleflödet används Formel 4 ovan tillsammans med de resultat som presenterats i Tabell 13 och pannverkningsgrad och värmevärde enligt Tabell 14.

Tabell 14 Beräkningsresultat för bränslebehov och ångbehov

Pannverkningsgrad	[andel]	0,86
Värmevärde flis	[MJ/kg]	9
Bränsleflöde	[kg/s]	2,4
Etanolproduktion	[m ³ /dygn]	178
Etanolproduktion	[m ³ /s]	0,002

Bränsleflödet i pannan kan enkelt räknas om till bränslemängd per kubikmeter producerad etanol då produktionen av etanol per tidsenhet är känd. För produktion

av en kubikmeter etanol åtgår det 3 870 kg ånga och för att producera denna ånga förbrukas 1 188 kg flis från grot.

3.4.2 Elanvändning

På Händelöverket förbrukas el för drift av fläktar, pumpar, transportörer och andra tekniska lösningar för drift av anläggningen. El används dessutom för att bearbeta grot till flis. Den elanvändningen som belastar panna 13 bygger på årsförbrukningen av el på det kraftblock som panna 13 ingår i där också två andra pannor finns. Panna 13 står för cirka 40% av den levererade energin och belastas på detta sätt också av 40% av den totala energiförbrukningen. Tyvärr finns inget bättre mått på elförbrukningen för driften av panna 13. (Andersson, T. pers) Den totala elanvändningen som belastar den grot som använts är 356 MJ/ton flis.

3.4.3 Kemikalier

Som tidigare nämnts förbrukas ammoniak för att reducera utsläppen av kväveoxider. Ammoniak är precis som kvävegödsel väldigt energikrävande att producera. Energiförbrukning vid tillverkning av ammoniak bygger på europeisk genomsnittsproduktion.

Tabell 15 *Energiförbrukning vid ammoniaktillverkning, koncentration 100 % (Davis & Haglund, 1999)*

	[MJ/kg]
Naturgas	26,1
Olja	4,4
Kol	3,3
El	0,3
Totalt	34

För att minska utsläppen av svaveloxider kan kalksten tillsättas direkt i bädden. Kalksten finns naturligt på många platser och för att producera denna krävs endast brytning. Energiförbrukningen vid brytning av kalksten redovisas i tabell nedan.

Tabell 16 *Energiförbrukning vid brytning av kalksten. (Wallén, E. 1999)*

	[MJ/kg]
El	0,008
Olja	0,02
Totalt	0,028

Sand används i pannan som inert bäddmaterial. Den energi som förbrukas vid grustaget där sanden hämtas bortses det från, då det anses vara försumbart. (Miljövarudeklaration, 2001).

3.4.4 Färskvatten och avlopp

Samma antagande som för avlopp och färskvatten i avsnitt 3.3.4 och 3.3.5.

3.4.5 Askhantering

Den aska som bildas vid förbränningen går direkt på deponi i ett bergrum 100 meter från Händelöverket. Bränsleförbrukningen för transporten av denna bortses det från på grund av den korta sträckan.

3.4.6 Förbrukningssiffror för Händelöverket

De resurser som förbrukas på Händelöverket sammanfattas i Tabell 17.

Tabell 17 *Förbrukning av resurser på Händelöverket*

	[kg/ton flis]
Sand	5
Ammoniak 25%	5
Kalk	10
Vatten	272
Avloppsvatten (prod)	237
Aska (prod)	50

I Tabell 18 kan den totala insatsen av hjälpen energi per ton tillfört flis till pannan studeras. Den energiförbrukning som räknats in är vid tillverkning av kemikalier, produktion av färskvatten, rening av avloppsvatten och elanvändning på kraftvärmeverket.

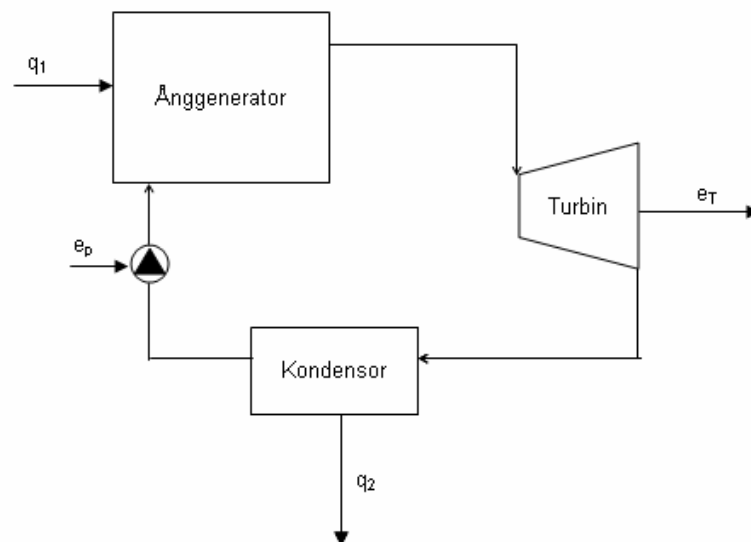
Tabell 18 *Den hjälpen energi som förbrukas vid Händelöverket uttryckt per ton förbränt flis.*

	[MJ/ton flis]
Naturgas	34
El	356
Olja	6
Kol	4
Värme	0,3
Totalt	400

3.5 Elproduktion

Idag reduceras ångan innan den används i etanolprocessen igenom en tryckreduceringsventil. Detta innebär att den högvärdiga energiform som överhettad ånga är inte utnyttjas på det effektivaste sättet. Ett möjligt alternativ är att istället reducera ångtrycket genom en turbin, på detta sätt används först ångan till att producera el och därefter används den som värmekälla i etanolprocessen. Detta medför en positiv effekt för produktionssystemet då en viss del av den el som förbrukas i etanolprocessen ersätts med el producerad på Händelöverket. Eftersom etanolfabriken ska byggas ut med ytterligare en produktionslinje så kommer ångleveransen att behöva ökas till det fyrdubbla mot idag. Då kan det bli aktuellt för Händelöverket att bygga ut med ytterligare en panna som endast ska försörja Lantmännen Agroetanols fabrik med ånga. För att reducera trycket på ångan kommer de i så fall också investera i en ny turbin för att samtidigt producera el. (Jonson A. pers. kom.) Det är därför intressant att se hur mycket el det är möjligt att producera med etanolfabriken som mottrycksunderlag.

Den största delen av världens elproduktion produceras genom den så kallade ångkraftprocessen. Processen benämns Rankineprocessen och de fyra ingående processtegen är matarvattenpumpning, ånggenerering, turbinarbete och kondensering. Vid matarvattenpumpen är mediet i vätskefas och pumpas med ett högt tryck vidare in i ånggeneratoren. Mediet omvandlas där under värmetillförsel från vätskefas till gasfas. Vidare tillåts ångan expandera i turbinen och avger då ett arbete. Ångan kondenseras därefter i kondensorn och avger värme till en yttre kylkrets. I *Figur 9* illustreras förloppet. (Ekroth & Granryd 1999)

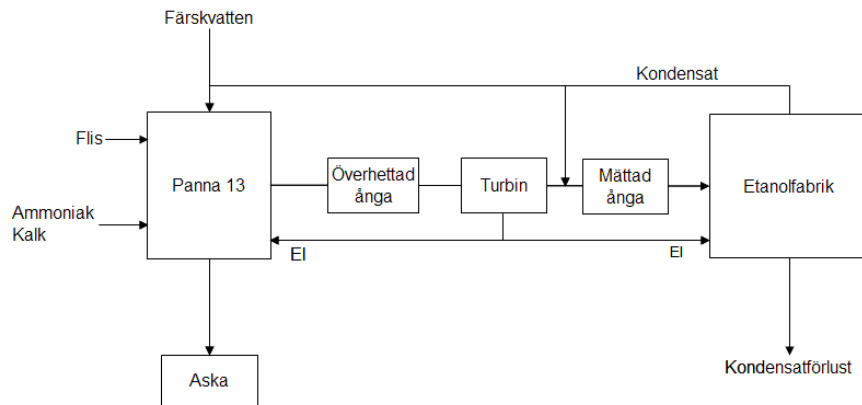


Figur 9 Enkel ångkraftprocess (Ekroth & Granryd 1999)

I denna studie fungerar etanolfabriken som kondensor, så kallat mottryck och Händelöverket står för ånggenerering och elproduktion.

Den mängd el som kan produceras utifrån det mottryck som etanolprocessen utgör beror på turbinens effektivitet. Effektiviteten på turbinen är starkt beroende av flödet av ånga igenom den. Stort ångflöde ger hög effektivitet och litet flöde ger låg effektivitet, på grund av förluster som minskar med ökad storlek. Stort ångflöde är möjligt att få om samma turbin som används för att producera el och fjärrvärme också kan användas för att tappa av 16 bars ånga. De turbiner som idag finns på Händelöverket är inte av den typen att avtappning av ånga är möjlig och en sådan lösning är därför inte aktuell. För att producera el skulle istället en ny turbin behöva installeras. Om bara den nuvarande fabriken med ett behov på runt 7 kg ånga/s skulle fungera som mottryck skulle detta innebära en turbin med tämligen låg isentropisk verkningsgrad. Den isentropiska verkningsgraden är ett mått på hur stor del av det teoretiskt möjliga entalpiskillnanden innan och efter turbinen som kan omvandlas till arbete. I en turbin tillåts ånga expandera och samtidigt utföra ett arbete på detta sätt minskas entalpin i ångan. Det är dock inte möjligt att omsätta all energi i ångan till arbete men desto högre isentropisk verkningsgrad desto mer el i förhållande till värme kan genereras från ångans entalpi. Denna studie bygger på förhållandena i den nuvarande fabriken och det antas därför att en liten enstegsturbin används för att reducera ångtrycket.

För att beräkna hur mycket el det är möjligt att producera utgår jag ifrån den mängd ånga som etanolfabriken förbrukar samt de ångdata som finns för panna 13. En ångturbin som passar för ändamålet är en enstegsturbin från Dresser-Rand med modellnummer CSDS-II (Vinberg, J. pers. kom.). Turbinen klarar av ingående ånga med trycket 110 bar och temperaturen 530°C maximalt ångflöde är 27 300 kg/h eller 7,6 kg/s. Ångan som lämnar turbinen har en temperatur på 348°C och ett tryck på 16 bar. Den isentropiska verkningsgraden blir då 56,4%. Turbinens mekaniska verkningsgrad är 98,2% och generatorverkningsgraden är 95%. Eftersom turbinen är dimensionerad för 530°C antas det att temperaturen på ångan sjunker från 540 till 530°C från det att den lämnar pannan till dess att ångan når turbinen. Turbinen levererar överhettad ånga vid 16 bars tryck och etanolanläggningen är utformad för 16 bars mättad ånga. Därför behöver den överhettade ångan mättas med hjälp av kondensat precis som den befintliga mätningen av ånga fungerar idag. Ett system med ångturbin skulle kunna se ut som i figuren nedan.



Figur 10 Skiss över hur systemet för ånga skulle kunna se ut.

Om en ångturbin används istället för att ångtrycket reduceras i en ventil förändras massflöde och entalpi för ångan. I Tabell 19 nedan kan de entalpierna och massflödena som använts studeras.

Tabell 19 Ångdata och massflöde för de olika delarna av ångcykeln

		Panna 13	Ånga efter turbin	Kondensat till temp sänkning	Ånga till Agroetanol	Kondensat	Vatten
Tryck	[bar]	110	16	2	16	2	1
Temperatur	[°C]	530	348	110	204	110	10
Entalpi	[kJ/kg]	3 438	3 138	461	2 795	461	42
Effekt	[MW]	23,9	21,8	0,47	22,3	3,3	0,03
Massflöde	[kg/s]	6,9	6,9	1,0	8,0	7,2	0,80

För att beräkna mängden el som kan produceras används följande formler.

$$P_m = \eta_m \cdot \dot{m} (i_o - i_{efter})$$

Formel 5 Beräkning av effekten vid turbinaxeln (Alvarez, 2003)

där :

P_m = effekt vid turbinaxel

η_m = turbinens mekaniska verkningsgrad

\dot{m} = massflöde efter turbin

i_o = entalpi vid turbinens inlopp

i_{efter} = entalpi i ånga efter turbin

$$P_b = \eta_g \cdot P_m$$

Formel 6 Beräkning av bruttoeffekten el som produceras av generatoren (Alvarez, 2003)

där :

$P_b =$ Brutto eleffekt

$\eta_g =$ elgeneratorverkningsgrad

De verkningsgrader som använts vid beräkningarna redovisas i Tabell 20 nedan. Den brutto eleffekt som är möjlig att generera utgående ifrån etanolfabrikens behov av ånga redovisas i Tabell 21.

Tabell 20 Verkningsgrader

Entalpi efter turbin (isentropiskt förlopp)	[kJ/kg]	2 904
Isentropisk turbinverkningsgrad	[andel]	0,56
Mekanisk turbinverkningsgrad	[andel]	0,98
Generatorverkningsgrad	[andel]	0,95
Pannverkningsgrad	[andel]	0,86
Värmevärde	[MJ/kg]	9
Bränsleflöde	[kg/s]	2,7

Tabell 21 Den eleffekt som är möjlig att producera för det ångbehov som finns.

Brutto eleffekt	[MW]	1,95
Ångbehov	[kg/m ³ et]	3 870
Etanolproduktion	[m ³ /dygn]	178
Etanolproduktion	[m ³ /s]	0,002

Den bränslemängd som behöver tillföras pannan beräknas på samma sätt som för bränslemängden i föregående avsnitt. Bränsleförbrukningen är större i detta fall eftersom massflödet av ånga genom pannan är högre. Detta för att mer energi måste tillföras då både el och ånga produceras. Elproduktion i samband med ånggenerering innebär att kraftvärmeverket blir självförsörjande på el. Samtidigt förbrukar etanolprocessen mindre el ifrån nätet och på så vis minskar den insatta energin i systemet. Resultatmässigt innebär detta att för varje producerad kubikmeter etanol åtgår det 1 328 kg flis. Från denna mängd flis produceras 262 kWh el som antas användas på värmeverket och i etanolfabriken och 2 554 kWh processånga som används i etanolfabriken. Den el som produceras används för att driva pannan och annan eldriven utrustning på Händelöverket, till detta åtgår det 117 kWh. Överskottet av el som bildas vid produktionen på Händelöverket används i etanolprocessen vilket innebär att elförbrukningen för etanolfabriken minskar med 145 kWh per kubikmeter etanol.

3.6 Biogasproduktion

En del av dranken från etanolproduktionen levereras sedan slutet av år 2006 till en helt ny biogasanläggning som Svensk Biogas har byggt på Händelö. Anläggningen ligger cirka 500 meter från Lantmännen Agroetanols fabrik, transportsträckan dit är dock lite längre cirka 3 km. Från Lantmännen Agroetanol transporteras biprodukterna till biogasanläggningen med lastbil. Varje år ska ca 19 000 ton biprodukter levereras till biogasanläggningen och från detta planeras en produktion på 1 300 000 Nm³ fordonsgas per år. Temperaturen i biogasprocessen är 38°C och dranken som levereras är betydligt varmare, mellan 70-80°C. Det innebär att dranken måste kylas. Den värme som bortförs från dranken används för att värma lokalerna vid biogasanläggningen. Biogasproduktion från drank sker också i Linköping, där blandas dock dranken med andra restprodukter. Det finns därför inga exakta siffror på hur mycket biogas som kan produceras från just dranken. Enligt Jonas Ahlbert på Svensk Biogas kan det dock grovt räknas ha samma utbyte som i anläggningen på Händelö. Till Linköping levereras varje år 6 500 ton biprodukter och utifrån detta har det beräknats att cirka 320 000 Nm³ fordonsgas kan produceras från dranken. Transporten av drank mellan Lantmännen Agroetanol och Linköping sker också den med lastbil. Energi förbrukas i form av el och främst vid uppgraderingen av biogasen till fordonsgas. Elbehovet vid uppgradering av gasen är normalt 5%, uttryckt i procent av den uppgraderade biogasens energiinnehåll. (Berglund & Börjesson 2003). Förutom biogas produceras också cirka 15 000 ton biogödsel varje år från anläggningen på Händelö.

3.7 Transporter

3.7.1 Beskrivning av transporter

De transporter som inkluderas i denna studie är transport av råvaror och kemikalier som sker till de två produktionsanläggningarna. De ämnen och kemikalier som förbrukas i väldigt liten utsträckning bortses det från. Detta då transporterna av kemikalier som används visat sig bidra till en mycket liten del av den totala energibalansen. I systemet ingår heller inte de transporter som behövs för att distribuera foder och biogödsel. Det bortses från dessa transporters bidrag då produkterna ersätter andra motsvarande produkter på marknaden som också hade behövts fraktas. Foderdistributören som hämtar sitt foder på Lantmännen Agroetanol hade i annat fall hämtat sitt foder någon annanstans. Detta transportbehov hade alltså också utan Lantmännen Agroetanols fabrik funnits. Transportavståndet som gäller för lastbilstransporterna beräknas med en karttjänst på Internet (ViaMichelin, 2007). Energiförbrukningen vid tillverkning och underhåll för en lastbil antas vara 4% av den använda dieseln energiinnehåll (Berglund & Börjesson 2003). För båttransporter antas det i denna studie att energibehovet är detsamma som för lastbilar, det vill säga 4% av den förbrukade dieseln energiinnehåll. Den energi som förbrukas vid tillverkning av båtar och lastbilar antas vara el. För bränsleförbrukningen vid lastbilstransporter räknas det med tom returlast och en bränsleförbrukning på 3,05 l/mil utan last och 4,9 l/mil för full last (NTM, 2007). För båttransporter antas ett medelstort fraktfartyg ha

använts 2000-8000 dwt och bränsleförbrukningen för detta är 0,008 l/ton km vid 60% lastutnyttjande (NTM, 2007), för returen används samma bränsleförbrukning.

3.7.2 *Transporter till etanolfabriken.*

För spannmålstransporten antas lastbilar med total lastförmåga på 40 ton användas och normallasten antas vara 37 ton (Beckman B. pers. kom.). De övriga lastbilstransporterna består främst av flytande lösningar och för dessa antas normallasten på lastbilen vara 30 ton.

Spannmål transporteras från odlarna till fabriken i genomsnitt 65 km. (Beckman, B. pers. kom.)

Svavelsyra transporteras med båt från fabrik i Skellefteå till Oxelösund vidare sker leveransen med lastbil till Norrköping. Sträckan för båttransporten är cirka 700 km. Lastbilstransporten mellan Oxelösund och Norrköping bortses det ifrån på grund av det korta avståndet och de små mängderna.

Natriumhydroxiden produceras i Rotterdam, Holland och transporteras till Oxelösund med båt, denna sträcka är cirka 1 900 km. Från Oxelösund sker transport med lastbil till Norrköping, det bortses också i detta fall från lastbilstransporten.

Fosforsyran tillverkas i Polize, Polen. Den körs med lastbil och bilfärja direkt till Norrköping, total transportsträcka är cirka 828 km (ViaMichelin, 2007).

Urea produceras i Rotterdam, Holland. Därifrån sker transporten med båt till Oxelösund i Sverige, sträcka 1900 km

Enzymerna transporteras beroende på märke från Danmark eller Nederländerna. Det antas att hälften transporteras från Danmark och hälften från Nederländerna. Detta ger en genomsnittlig transportsträcka på 1050 km (ViaMichelin, 2007).

3.7.3 *Transporter till Kraftvärmeverket*

Transporten av flis till anläggningen ingår i bränslehanteringskedjan och har behandlats i avsnitt 3.2.3. Transporten av sand och kalk sker med lastbil som varje tur antas transportera 37 ton. Transporten av ammoniak som är flytande sker på lastbil och som antas ha en last på 30 ton. Transportavståndet för kalk är 420 km, sanden transporteras 200 km och ammoniaken transporteras 110 km, alla sträckorna är enkel väg.

3.7.4 Energiförbrukning vid transporter

I Tabell 22 och Tabell 23 är energiförbrukningen för transporterna i systemet sammanställt.

Tabell 22 *Energiförbrukning vid lastbilstransporter till etanolprocessen och kraftvärmeverket.*

	Diesel	El
	[MJ/m ³ etanol]	[MJ/m ³ etanol]
Spannmål	132	5,28
Drank Händelö	1	0,04
Drank Linköping	5	0,20
Fosforsyra	1	0,03
Enzymer	1	0,04
Grot	126	5,03
Ammoniak	1	0,03
Kalk	4	0,16
Sand	1	0,03
Totalt	271	11

Tabell 23 *Energiförbrukning vid båttransporter av kemikalier till etanolprocessen.*

	Fartygsbränsle	El
	[MJ/m ³ etanol]	[MJ/m ³ etanol]
Urea	8	0,3
Svavelsyra	7	0,3
Natriumhydroxid	5	0,2
Totalt	20	1

För fullständiga beräkningar gällande transporter se Bilaga C, Tabell 46 och Tabell 47.

4 Ingående energi

Det förbrukas också energi vid tillverkningen av de olika bränslen och energibärare som används någonstans i produktionssystemet. För att också räkna med de förluster som uppkommer vid produktion och distribution av bränslen och energibärare räknas all använd energi om till primärenergi med hjälp av primärenergifaktorer.

4.1 Bränsle

För drivmedelsförbrukning till lastbilar och traktorer antas det att diesel används med ett effektivt värmevärde på 43,3 MJ/kg eller 35,9 MJ/l och en densitet på 815 kg/m³ (SPI, 2007) Primärenergiförbrukningen antas vara 6% för produktion och distribution (Uppenberg et al. 2001) samt 4% för användning av smörjmedel och olja (Berglund & Börjesson).

För sjötransport antas det att Gas Oil 10 från Preem används. Detta bränsle har ett effektivt värmevärde på 42,7 MJ/kg eller 35,3 MJ/l och en densitet på 840 kg/m³ (Preem, 2007). Det antas att primärenergiförbrukningen är densamma som för diesel, 6% för produktion och distribution och 4% för förbrukning av smörjmedel och olja.

För gasol används ett effektivt värmevärde på 46,1 MJ/kg (Rydh et al, 2002) för förbrukning av energi vid produktion och distribution av gasol antas det att 5,3% av energiinnehållet åtgår (Uppenberg et al, 2001).

För eldningsolja används ett effektivt värmevärde på 42 MJ/kg eller 35,3 MJ/l och en densitet på 840 kg/m³ (Rydh et al. 2002). För produktion och distribution antas det att 4,8% av energiinnehållet åtgår (Uppenberg et al. 2001).

För el antas primärenergifaktorn vara 1,64 dvs. för produktion och distribution åtgår det 64% av energin som levereras (Forsberg et al. 2006).

I Tabell 24 redovisas samtliga primärenergifaktorer som använts.

Tabell 24 *Primärenergifaktorer för de olika bränslena*

Bränsle	Primärenergifaktor	Referens
Diesel	1,100	Uppenberg et al. 2001; Berglund & Börjesson 2003
El	1,640	Forsberg et al. 2006
Stenkol	1,044	Uppenberg et al. 2001
Eldningsolja	1,048	Uppenberg et al. 2001
Naturgas	1,067	Uppenberg et al. 2001
Värmeproduktion	1,200	Antagande
Gasol	1,053	Uppenberg et al. 2001

4.2 Produkter

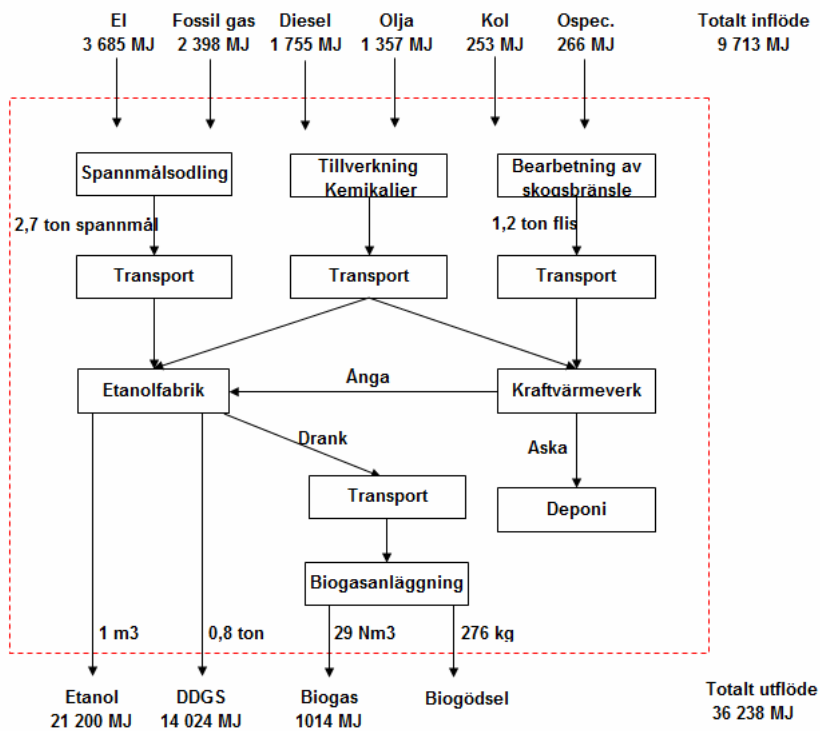
Etanol är en alkohol och dess densitet är 790 kg/m^3 och det effektiva värmevärdet är $21,2 \text{ MJ/l}$ eller $26,8 \text{ MJ/kg}$ (Rydh et al. 2002).

Biogas består till största del av metan (60-70%) och koldioxid (30-40%). Gasen som produceras i de två biogasanläggningarna uppgraderas för att kunna användas som fordonsbränsle. Vid uppgraderingen renas biogasen från koldioxid och andra gaser tills metanhalten är cirka 97%. (Berglund, 2006) Fordonsgasens effektiva värmevärde är $35,2 \text{ MJ/Nm}^3$ (Ahlbert J. pers. kom.)

Det foder som produceras från etanolanläggningen kallas DDGS och håller en torrsbstanshalt på cirka 90%. Det effektiva värmevärdet för DDGS är $17,5 \text{ MJ/kg}$ (Belab, 2002).

5 Resultat för System 1

Ett sätt att redovisa en energianalys är att räkna ut kvoten mellan den producerade energin och den insatta energin. Energibalansen är i det här fallet kvoten mellan etanolens energiinnehåll och den hjälpenergi som förbrukats för att producera etanolen. Det är alltså kvoten mellan den energi som lämnar systemet och den energi som kommer in i systemet. En positiv energibalans betyder att systemet genererar mer energi i produkterna än vad som används för att producera produkterna som lämnar systemet. Detta är möjligt då solens energi räknas som gratis vilket är drivkraften för både spannmålsodling och skogsbruk. Den energi som solen bidrar med ingår alltså *inte* i analysen. Det totala flödet ut och in ur systemet vid produktion av en kubikmeter etanol kan studeras i *Figur 13*. Den energi som anges här är den totala mängden energi som åtgått för att producera 1 m³ etanol, 29 Nm³ fordonsgas och 800 kg DDGS. All energi som redovisas är uttryckt i primärenergi, inklusive förluster vid produktion och distribution.



Figur 11 Här illustreras det totala flödet in och ut ur systemet vid produktion av 1 m³ etanol. Energin är uttryckt i primärenergi, vilket innebär att förluster vid distribution och produktion av den insatta energin är inkluderade.

Tabell 25 *Flödet av energi in och ut ur systemet vid produktion av en kubikmeter etanol, uttryckt i primärenergi.*

	Diesel	Olja	Gas	Kol	El	Ospec	Totalt
Inflöde, MJ	1 755	1 357	2 398	253	3 685	266	9 713
	Etanol	Foder	Biogas				Totalt
Utflöde, MJ	21 200	14 024	1 014				36 238

Systemet genererar flera produkter och insatsen av energi för att producera dessa ska fördelas på något sätt. Då etanolen används som bränsle och likaså biogasen är ett allokeringssätt att fördela insatsen efter den mängd energi som kommer ut ur systemet i form av respektive produkt. Även DDGS har nämligen ett energivärde om den skulle förbrännas. Den mängd biogödsel som produceras bortses det från som produkt, detta då energiinnehållet är okänt och antagligen väldigt lågt. För varje kubikmeter etanol som lämnar etanolanläggningen produceras också 800 kg foder och 29 Nm³ biogas. Om dessa mängder räknas om till energi blir fördelningen enligt Tabell 26. Detta innebär att etanolen endast ska belastas med 58,5% av den använda energin. En annan metod vid allokering är att fördela insatsen av energi enligt det ekonomiska värdet på produkterna. Då kommer etanolen belastas med en större del av den energin som behövs för att driva produktionssystemet.

Tabell 26 *Energibalans vid produktion av 1 kubikmeter etanol, allokering enligt olika principer. Energibalans, kvoten mellan etanolens energiinnehåll och den hjälpenergi som ska belastas etanolen enligt allokeringssättet.*

Allokering	Energibalans
Energi allokering	3,7
Insatsen av energi fördelas mellan produkterna etanol, DDGS och biogas efter energiinnehåll (58,5% belastar etanol)	
Ekonomisk allokering	2,6
Insatsen av energi fördelas mellan produkterna etanol, DDGS och biogas efter deras ekonomiska värde (82,8% belastar etanolen)	
Ingen allokering	2,2
Hela insatsen av energi belastar etanolen (100% belastar etanolen)	

I Tabell 26 kan energibalansen för de olika allokeringssätten studeras och här syns att det blir stor skillnad beroende på vilken allokering som används. Om ingen allokering av den insatta energin görs utan all energi belastar etanolen så blir energibalansen 2,2. Detta innebär att för varje enhet energi som används vid produktion fås 2,2 enheter energi ut i form av etanol. Detta innebär att oavsett hur den använda energin fördelas mellan produkterna så blir energibalansen positiv för etanoltillverkningen i Norrköping. Fördelas den insatta energin efter det ekonomiska värdet blir energibalansen 2,6 vilket är något högre än utan allokering. Fördelas energin enligt energivärdet av produkterna blir energibalansen hela 3,7.

Förutom energibalansen är det också intressant att studera var i produktionskedjan som mest energi förbrukas. Förbrukningen av energi uppdelat på de olika delarna kan studeras i Tabell 27.

Tabell 27 Förbrukad hjälpen energi vid produktion av 1 m³ etanol, 0,8 ton foder och 29 Nm³ biogas. Fördelat på de olika delarna av produktionskedjan.

	Diesel [MJ]	Olja [MJ]	Gas [MJ]	Kol [MJ]	El [MJ]	Ospec. [MJ]	Totalt [MJ]	Andel [MJ]
Odling	1 354	1 318	1 997	234	790	-62	5 631	58%
Transport spannmål	145				9		154	2%
Grot bränslehantering	219				23		242	2%
Övriga transporter	37				2		39	0%
Etanolanläggningen		32	358	14	2 084	327	2 814	29%
Kraftvärmeverket		7	43	5	694		750	8%
Biogasanläggningen					83		83	1%
Totalt	1 755	1 357	2 398	253	3 685	266	9 713	
Andel	18%	14%	25%	3%	38%	3%		

I Tabell 27 syns det att merparten av energin, 58% förbrukas vid spannmålsodling, och det är framför allt naturgas, olja och diesel som används. Etanolanläggningen står för 24% av den totala energiförbrukningen och det är el som används i störst utsträckning. Vad som kan konstateras är att energiinsatsen vid ångproduktion är liten, energiförbrukningen vid kraftvärmeverket och bränslehanteringskedjan står endast för 10% av den totala energianvändningen.

För att se hur energibalansen skulle förändras om det producerades el innan ångan används i etanolprocessen har detta också beräknats. Förändringarna blir att mer energi förbrukas för att förse pannan med den extra mängd flis och kemikalier som behövs. Den positiva effekten blir att mängden el som passerar systemgränsen minskar. Följden blir att den totala elanvändningen av nordisk mix minskar med nästan 50%, och energibalansen förbättras till 3,1 om allokering sker efter det ekonomiska värdet på produkterna. Används ingen allokering hamnar energibalansen på 2,6. I Bilaga D i Tabell 51 kan det totala inflödet vid elproduktion studeras närmare.

Då en energianalys ska vara transparent och enkel att jämföra med andra energianalyser presenteras ett resultat i Bilaga D Tabell 48 där energin inte har omräknats till primärenergi och ingen allokering är genomförd. Detta innebär att inga primärenergifaktorer har använts för de ingående bränslena och energibärarna. På detta sätt kan resultaten enkelt beräknas om med samma primärenergifaktorer och allokering som använts i andra studier och jämföras på ett rättvist sätt.

6 Beskrivning av *System 2*

Om Lantmännen Agroetanol väljer att inte längre köpa ånga från Händelöverket utan istället vara självförsörjande på ånga genom att elda dranken kommer produktionssystemet för etanol förändras till viss del. Energianalysen för *System 2*, med egen ång- och elproduktion från drank bygger till stor del på det redan studerade *System 1*. Mycket förblir nämligen oförändrat jämfört med *System 1*. Odlingen förblir helt oförändrad och etanolfabriken förändras endast avseende på ångtryck och ångbehov i övrigt sker produktionen på samma sätt. Bränslehanteringskedjan för skogsflis försvinner och Händelöverkets ångproduktion ersätts med en egen ångpanna och ångturbin på etanolanläggningen. Transporten av råvaror förändras bara marginellt. Ytterligare en förändring blir produktionen av foder som minskar markant eftersom dranken till största del eldas för att täcka det interna energibehovet.

6.1 Drank används som bränsle istället för som foder

Marknadsvärdet på drank som foder kan de närmaste åren komma att sjunka på grund av ett för stort utbud av DDGS. Ett alternativ till att sälja DDGS som djurfoder är att använda det som bränsle för att producera ånga och el till processen. Drank är på grund av bränslets egenskaper inte lätt att elda. Idag finns nästan ingen erfarenhet av att elda drank i Sverige, därför har litteratur som behandlar liknande bränslen studerats för att kunna identifiera de problem som kan uppstå vid förbränning av drank.

6.2 Förbränning av drank idag

I USA där etanolindustrin har växt enormt de senaste åren har ett arbete inletts för att substituera de stora mängder naturgas som konsumeras vid deras etanolfabriker. Skillnaden mellan den amerikanska och svenska etanolproduktionen är råvaran och energikällan. I USA används framförallt majs som råvara och naturgas för att täcka energibehovet. I övrigt är fabrikerna uppbyggda på i princip samma sätt. En fabrik i Winnebago, Minnesota, som drivs av ett kooperativ kallat Corn Plus har i snart två år eldat den sirap som bildas i processen för att minska naturgasanvändningen. De producerar årligen cirka 200 miljoner liter etanol och de investerade 15 miljoner dollar i en fluidiserande bädd reaktor som förbränner den sirap som bildats i processen. Genom att göra detta så har de minskat energianvändningen i torkarna eftersom sirapen inte torkas innan den eldas. Samtidigt har de minskat användningen av fossil energi eftersom en del av processången istället kan produceras från sirap. Biprodukten DDGS har eftersom ingen sirap tillsätts blivit DDG (dried distillers grain), genom att inte tillsätta sirapen minskar volymen producerat foder. Fodret blir mer proteinrikt eftersom ingen sirap tillsätts och kan då säljas som ett mer högvärdigt foder på grund av den högre proteinhalten. Detta innebär att intäkterna från foderförsäljning inte minskat så mycket trots att en mindre kvantitet foder produceras. Genom förbränningen av sirap i fluidbäddsreaktorn har etanolfabriken minskat naturgasförbrukningen med 54%. Den aska som bildas vid förbränningen ska pelleteras och levereras som gödsel till odlarna. (Ethanol Producer Magazine, 2004; 2006)

6.3 Torkning av drank till bränsle

Drankens torrs substanshalt är när den lämnar dekantrarna och indunstningen cirka 33%. Efter detta steg finns två alternativ, antingen förbränns dranken som den är eller så torkas den till en viss torrs substanshalt. De fördelar som finns för att elda blöt respektive torr drank behandlas i detta avsnitt. Det går att elda fuktiga bränslen i många typer av anläggningar men vid förbränning av ett fuktigt bränsle så måste först vattnet i bränslet förångas. Förbränning av ett bränsle genomgår fyra olika faser, först förångas vattnet därefter förgasas kolväten och sedan sker förbränningen av gaserna och sist förbränning av den fasta återstoden. (Alvarez, 2003) Detta innebär att innan själva oxidationen sker så torkas bränslet. Det kan dock vara fördelaktigt att torka bränslet innan det matas in i pannan. Torkning av ett bränsle ger fördelar när det gäller lagring, transport och distribution. (Wimmerstedt & Linde, 1998) Då Lantmännen Agroetanol inte kommer att transportera bränslet blir transportfrågan oväsentlig. Det är däremot viktigare att bränslet går att lagra utan svamptillväxt och nedbrytning som orsakar kvalitetsförsämring och hälsorisker vid hanteringen. Torra bränslen kan lagras mycket längre tid än blöta bränslen utan risk för kvalitetsförsämring.

När ett fuktigt bränsle förbränns avgår fukten och det vatten som bildas från bränslets väteinhåll med avgaserna i form av vattenånga. Normalt kyler man nämligen inte avgaserna lägre än till 130°C och då kondenserar inte vattnet. Av konvention räknas inte den energi som åtgått för förångning av vattnet in i avgasförlusterna utan istället minskas värmevärdet med avseende på fukthalten.

Vid en viss fukthalt förbrukas så mycket energi till att förångna vattnet att förbränningen avtar, bränslet är alltså för blött att elda det har inget positivt värmevärde längre. Praktiskt ligger det en gräns på cirka 65% fukthalt vid förbränning av ett bränsle. Skillnaden mellan att elda ett fuktigt och ett torrt bränsle är att mängden bränsle och mängden avgaser ökar med ökad fukthalt. Avgasmängden ökar kraftigt med ökad fukthalt och detta innebär att en panna för förbränning av fuktigt bränsle måste vara större än en panna för förbränning av torrt bränsle. Detta för att kunna hantera det ökade rökgasflödet. Utöver detta så sjunker också temperaturen vid förbränningen med en ökad fukthalt. Den minskade förbränningstemperaturen på grund av fukthalten leder till mindre värmeupptagning i eldstaden och en minskad temperaturdifferens över hela pannan. För att kompensera för detta måste panna göras större vid en hög fukthalt på bränslet. Om ett bränsle med hög fukthalt väljs kan dock den energi som finns i avgaserna tas tillvara med hjälp av rök-gaskondensering. Den energi som kan utvinnas i en rök-gaskondensator är lågvärdig och kan användas som fjärrvärme. När det inte finns någon avsättning för lågvärdig energi i form av fjärrvärme är det bättre att elda ett torrt bränsle och på så sätt minska avgasförlusterna. Utöver detta ger normalt ett fuktigt bränsle högre mängd brännbara komponenter i askan och en större panna har också större strålningsförluster. Sammantaget kan detta ge en skillnaden i pannverkningsgrad på så mycket som drygt 10% mellan ett bränsle med 15% fukthalt och 65% fukthalt räknat på det effektiva värmevärdet. (Wimmerstedt & Linde, 1998)

Att elda dranken torr kan ge fördelen att det blir mindre problem med lågtemperaturkorrosion. Vattendaggpunkten som till viss del är avgörande för lågtemperaturkorrosion sjunker nämligen med minskad fukthalt i rök-gaserna. En låg fukthalt minskar därför risken att vatten kondenserar på kalla ytor i pannan och att lågt koncentrerad svavelsyra bildas där på grund av svavelinnehållet i bränslet. (Goldschmidt, 2004; Alvarez, 2003)

Fukthalten kan minskas i dranken genom torkning i ångtorkar precis som idag. Det finns också möjlighet att minska fukthalten på mekanisk väg eller genom indunstning. Ett franskt företag utvecklar just nu en teknik för att minska fukthalten i dranken genom att pressa bort vattnet med filter. (Nimrodsson, P. pers. kom.; Kindblom, Ö. pers. kom.) Skulle detta lyckas är det betydligt mer energieffektivt än att torka bort vattnet med ånga. Utvecklingsarbete förekommer också för att konstruera en mer effektiv indunstning som kan hantera sirap med lägre fukthalt än 65%. Normalt blir det problem med viskositeten när fukthalten minskar under denna nivå. Det finns en nyutvecklad teknik som just nu testas i USA på flera etanolanläggningar. Denna teknik skulle också fungera på Lantmännen Agroetanols fabrik. Ett problem med denna teknik är att sirap med fukthalt på 50% inte kan säljas som foder på grund av att proteinerna blir brända i indunstningen. Istället skulle i så fall den drank som inte behövs på den egna anläggningen behöva säljas som bränsle. Det antas i denna studie att all drank som inte eldas på den egna anläggningen säljs som foder, därför antas dranken torkas med de befintliga ångtorkarna.

Ur systemperspektiv finns det både fördelar och nackdelar att elda blöt respektive torr drank. De fördelar som finns vid förbränning med torrt respektive blött bränsle sammanfattas nedan.

Fördelar med eldning av blöt drank jämfört med torr drank

- Mindre elbehov på anläggningen då torkning och pelletering till stor del undviks
- Mindre ångbehov på anläggningen då torkbehovet minskar
- Gasolförbrukning minskar på grund av minskat torkgasflöde
- Pannans termiska effekt blir mindre

Fördelar med eldning av torr drank jämfört med blöt drank

- Större elproduktion på grund av det större mottrycksunderlaget i form av ånga
- Bättre förbränningsegenskaper då fukthalten är låg (mindre mängd oförbrända partiklar)
- Mindre rökgasflöde
- Mindre risk för lågtemperaturkorrosion på grund av lägre vattendaggpunkt
- Högre pannverkningsgrad
- DDGS kan lagras utan problem

6.4 Bränsleegenskaper drank

En bränsleanalys av DDGS har utförts på uppdrag av Lantmännen Agroetanol. Vad som då konstaterades var att bränslet innehåller höga halter av svavel, klor, natrium och kalium. Höga halter av dessa ämnen kan orsaka betydande problem vid förbränning. Den höga halten av alkalimetaller (Na, K) ger en mycket låg asksmälttemperatur runt cirka 700-800°C. Vid förbränning av bränsle frigörs de askbildande ämnena och oxideras. Det bildas då bland annat lättflyktiga kalium- och natriumföreningar som har låg smälttemperatur. Vilka föreningar som bildas och vilka egenskaper dessa har beror på flera faktorer; innehållet av svavel, klor och fukt, om alkalimetallerna är hårt eller löst bundna, vilket bäddmaterial som används och vilka övriga ämnen som finns i askan. (Gyllenhammar et al., 2003) Förbränning av vetekärna ger liknande symptom som för drank med låg asksmälttemperatur. Det har tidigare utförts fullskaliga försök med eldning av vetekärna i en CFB-panna bland annat av Rudling (1991). Genom att tillsätta kalk i bädden höjdes asksmälttemperaturen till sådan grad att inga problem med sintring uppstod i pannan.

Då det endast är en bränsleanalys som har gjorts på drank finns inte tillräckligt underlag för att dra några generella slutsatser om bränslesammansättningen. Då egenskaperna för asksmältning är tämligen komplex krävs antagligen proveldning under olika betingelser för att avgöra hur sintring och slaggbildning i pannan ska kunna undvikas. På grund av de likheter i bränslesammansättning som finns mellan vetekärna och drank antas det i denna studie att kalk kan höja asksmälttemperaturen. Förutom att höja asksmälttemperaturen har tillsats av kalk i bädden den fördelen att svaveloxidutsläppen kan begränsas. Svaveloxid reagerar

nämligen med kalk och bildar kalciumsulfat. Normalt behövs ett molförhållande på 1-4 för Ca/S Detta innebär i praktiken 3,12 kg kalksten per kilo svavel i bränslet. (Alvarez, 2003)

Halten av klor och kalium påverkar risken för överhettarkorrosion. (Strömberg, 2004) Högtemperaturkorrosion på överhettare är ett känt problem vid eldning av halm (Van Loo & Koppejan 2002). Halm har liknande bränslesammansättningen som drank och det kan alltså finnas risk för överhettarkorrosion även vid drankeldning.

Ett enkelt sätt att minska de problem som eldning av drank innebär kan vara att samelda dranken med andra bränslen. Det är möjligt att detta skulle lösa de problem som finns med höga halter av alkali. Torv eller flis har visat sig fungera som goda inblandningsbränslen för andra besvärliga bränslen. (Moqvist, C. pers. kom.)

6.5 Förbränningsmöjligheter

För närvarande studeras ång- och elproduktion vid etanolfabriker i USA vid Minnesota University avdelningen för Biosystems and Agricultural Engineering. Syftet med deras studie är att identifiera vilken teknik och vilka biobränslen som kan bli aktuella för etanolfabriker att använda för egen energiförsörjning. Framförallt studeras de biprodukter som produceras vid etanolfabrikerna. Det är DDGS, DWG, DDG och sirap. Det finns likheter med den DDGS som Lantmännen Agroetanol producerar. Bränsleanalyser på dessa olika bränslen visar samstämmighet med bränsleanalyser som gjorts på DDGS från Lantmännen Agroetanols fabrik. Därför antar jag att liknade slutsatser som dras för majsbaserade restprodukter kan dras för vetebaserade restprodukter. En första rapport från Minnesota behandlar vilka tekniker som kan bli aktuella och vad som behöver utvecklas för att de ska fungera. De har valt att studera 4 olika förbränningstekniker; förbränning i fluidiserande bädd, förgasning i fluidiserande bädd, förbränning av flytande bränsle och förbränning med pulverbrännare. Förgasningsalternativet är intressant då gasen kan ersätta den naturgas som förbrukas idag i befintliga anläggningar i USA. För Lantmännen Agroetanol som bara använder ånga som värmekälla i sin process är detta alternativ inte av intresse då det skulle krävas investeringar i förbränningsutrustning för gas. Gällande de tre andra teknikerna konstateras det i studien att förbränning av sirap i vätskebaserade brännare skulle vara en kostnadseffektiv och enkel lösning. Problem skulle dock kunna uppstå i munstycken, matningssystem och lagringsenheter. På grund av den höga fukthalten kan inte sirap lagras för länge utan angrepp av svampar. Sirapen innehåller också längre kolkedjor än naturgas och kan inte förväntas förbrännas lika lätt. Partiklar skulle bildas som skulle kunna orsaka problem i förbränningen och ånggenereringen. Den relativt höga halten av alkalimetaller skulle orsaka påslag och asksmältning i pannan. Den höga halten av svavel skulle också kunna orsaka problem med utsläpp och korrosion. Att tillsätta kalk i detta förbränningssystem för att motverka utsläpp och asksmältning ses som svårt eller till och med ogenomförbart. Nackdelen med denna typ av förbränning är också att det inte skulle gå att förbränna något annat än just sirap. De andra restprodukterna

i form av DDG, DWG och DDGS skulle inte kunna användas i samma system. Dessa nackdelar gör att inte heller denna teknik skulle vara aktuell för Lantmännen Agroetanol.

De två andra teknikerna pulverförbränning och fluidbäddsförbränning är de alternativ som är mest intressanta. Med pulverbrännare skulle de fasta restprodukterna sönderdelas för att kunna blåsas in i en pulverbrännare och i denna skulle också sirap kunna blåsas in. Problemen för denna typ av förbränning är dock liknande som de som beskrevs ovan för förbränning av bara sirap. För att detta alternativ ska bli aktuellt krävs utveckling av de förbränningstekniska detaljerna. Det alternativ som förespråkas i studien från Minnesota är fluidbäddstekniken, detta är också den enda teknik som idag används vid förbränning av drank, i form av sirap. (Vance Morey R., 2006) Fluidbäddsförbränning av drank är också den teknik som förespråkas av två olika panntillverkare (Moqvist, C. pers. kom.; Furberg, J. pers. kom.). De kontaktades i samband med denna studie och ansåg båda att fluidbäddstekniken är den mest användbara och den teknik som troligen skulle fungera bäst. Därför undersöks en lösning med en fluidbäddspanna närmare. Framför allt för att det finns goda möjligheter att tillsätta kalk direkt i bädden vilket kan minska asksmältproblemen.

En fluidiserande bädd består av en cylindrisk förbränningskammare med en perforerad botten där luft kan blåsas in, den är fylld med ett inert bäddmaterial som ofta är sand. Sanden utgör ofta mellan 90-98% av blandningen av bränsle och inert material. Den primära förbränningsluften blåses in i botten och får på så sätt bädden att bubbla och bete sig som en fluid. Bädden håller tack vare fluid egenskaperna en jämn temperatur och består av små partiklar där värmeöverföringen är stor. Blandningen av bränsle och bäddmaterial i pannan är god och ger bra förutsättningar för en fullständig förbränning med lågt luftöverskott. Förbränningstemperaturen måste normalt hållas ganska låg för att undvika sintring av bädden. Låg förbränningstemperatur går att uppnå genom rökgascirkulering som är lätt gjort i fluidbäddspanna. (Van Loo & Koppejan, 2002)

Utsläppen av kväveoxider från en fluidbäddspanna är ofta små tack vare den låga förbränningstemperaturen, den goda blandningen i pannan och det låga luftöverskottet. Till fördelarna med en fluidbäddspanna hör också möjligheten att tillsätt kalk vid förbränningen då detta reducerar svaveloxidutsläppen. Det låga luftöverskottet ger också en hög pannverkningsgrad och ett litet rökgasflöde. En nackdel med fluidbäddsförbränning är den höga halten av partiklar i rökgaserna som gör att det krävs bra reningsutrustning. Förbränning i en bubblande fluidiserande bädd är normalt inte aktuell för pannor som är mindre än 30 MW_t. (Van Loo & Koppejan, 2002) En CFB-panna som är en vidareutveckling av BFB-pannan är i storleksklassen 20-30 MW_t för dyr för att bli ekonomiskt lönsam. (Moqvist, C. pers. kom.)

I Strömberg (2004) anger i bränslehandboken att fluidbäddsteknik kan hantera bränslen från 5 MJ/kg till torra bränslen och en fukthalt på mellan 5-60% beroende

på design av pannan. Det skulle dock vara bra om dranken kunde hålla cirka 50% fukthalt om den ska förbrännas blöt istället för 67% fukthalt som den har efter dekantrarna. Ska dranken eldas torkad till 9% fukthalt måste dranken antagligen pelleteras precis som idag. Annars kan det eftersom dranken är finfördelad bli problem med att bränsle ryker med upp i rökgaserna innan det har förbränts. Blir det aktuellt med en större panna kan en modell av typen CFB väljas då är det inget problem att dranken ryker med rökgaserna då oförbrända partiklar återförs. (Moqvist, C. pers. kom.)

6.6 Användningsområde för askan

Dranken har som tidigare nämnts en hög halt av kalium men även fosforhalten är hög. Detta innebär att askan kanske kan fungera bra som ersättning av handelsgödsel för kalium och fosfor. Innehållet av fosfor och kalium är enligt bränsleanalysen cirka 8 kg/ton torrsubstans bränsle av båda mineralerna. Produktionen av DDGS är 0,72 ton torrsubstans/m³ etanol. Vid förbränning av denna mängd DDGS skulle cirka 6 kg fosfor och 6 kg kalium finnas i den bildade askan. Skulle denna aska spridas på den mark som använts vid odling av spannmålen hade behovet av fosfor nästan helt täckts och cirka halva behovet av kalium om gödning sker efter Jordbruksverkets rekommendationer. Detta är dock rent hypotetiskt då det inte gjorts någon analys av askan utan bara av bränslet. Därför lämnas detta resonemang med följande slutsats, om det blir aktuellt med förbränning av drank finns det goda chanser att askan kan användas som gödsel för att ersätta fosfor och kalium. Det antas i denna studie att askan deponeras och belastas inte med någon energiförbrukning för detta moment precis som askan från Händelöverket idag.

7 Ång- och elproduktion med drank som bränsle

Då osäkerheterna är många kring både teknikval och förbehandling av bränslets utförs det i denna studie en energianalys både för torr respektive blöt drank som bränsle. Detta då det idag inte funnits tillräckligt med information för att utreda vilket som är bäst att elda. Den del av produktionssystemet som förändras mest och där nya beräkningar måste utföras är ång- och elproduktion.

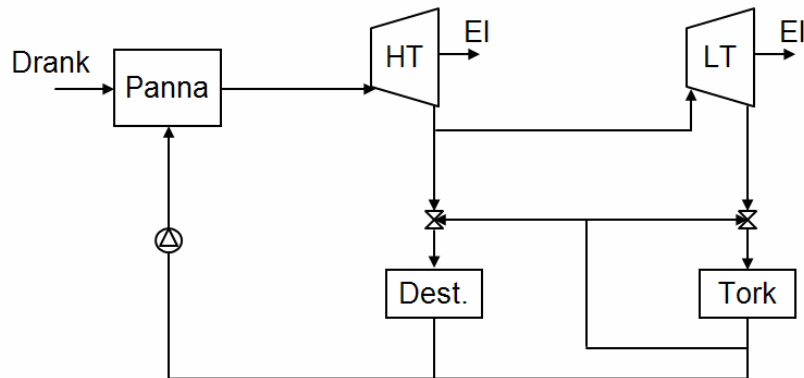
7.1 Ångtryck i process och panna

Lantmännen Agroetanols nuvarande fabrik är konstruerad för att ta emot mättad ånga vid 16 bars tryck. I fabriken används dock ånga med högst 10 bars tryck. I destilleriet sänks trycket på ångan i en tryckreduceringsventil från 16 bar till ca 9-10 bars tryck innan den används i destillationskolonnerna. I destilleriet förbrukas som tidigare nämnt cirka 45% den totala mängden ånga på anläggningen. I torkarna förbrukas i princip resten av ångan men här används ett lägre tryck, endast 5 bars ånga behövs. Detta innebär att om Lantmännen Agroetanol skulle bygga en egen panna för att producera ånga skulle det högsta mottrycket av ånga vara 10 bar. Detta innebär att turbinen kan producera mer el än om 16 bars tryck skulle användas som mottryck. Kondensattemperaturen antas även vid egen ångproduktion vara 110°C precis som idag.

Tryck- och temperaturval i pannan är avgörande för vilka problem som kan tänkas uppkomma i samband med förbränningen. Det går att göra tekniska lösningar för att lyckas hålla höga temperaturer och tryck men dessa lösningar är oftast bara ekonomiskt lönsamma på större pannor. Den trycknivå som antagligen kommer att bli aktuell är 90 bar och 480°C. Detta för att undvika problem med högtemperaturkorrosion. I denna studie används därför 90 bar och 480°C vid beräkningarna. (Moqvist, C. pers. kom.)

7.2 Val av turbin

En turbinlösning som skulle fungera för att producera el med både 10 bars och 5 bars nivån som mottryck är en högtrycksturbin och en lågtrycksturbin som kopplas i serie. Detta innebär att först reduceras trycket från 90 bar till 10 bar därefter avtappas den mängd ånga som behövs vid 10 bar i destilleriet. Den mängd ånga som inte används vid 10 bar skickas vidare till en lågtrycksturbin där ångtrycket reduceras från 10 bar till 5 bar. Förloppet illustreras i *Figur 12* där också mätningen av ånga syns, kondensat återcirkuleras för att mätta den överhettade ångan efter turbinerna.



Figur 12 Skiss över ångcykeln med två turbiner.

Då massflödet av ånga är ganska litet nås som bäst en isentropisk verkningsgrad på 55% i denna typ av turbiner. (Vinberg, J. pers. kom.) Turbinen kommer att optimeras efter ångbehovet och därför antas det att den isentropiska verkningsgraden är 55% för det massflöde av ånga som genomsnittsanvändningen ligger på. Det antas att turbinens mekaniska verkningsgrad och generatorverkningsgrad är samma som för den turbin som använts vid beräkningarna för elproduktion i föregående avsnitt nämligen $\eta_m=98,2$ och $\eta_g=95\%$. För eldning av blöt drank behövs mindre ånga vid 5 bars tryck därför antas istället bara en högtrycksturbin användas och ångan som behövs vid 5 bars tryck reduceras med en ventil. Turbinen antas ha samma verkningsgrader som tidigare.

7.3 Antagande för framtida energiförsörjning

7.3.1 Antagande gällande eldning av både blöt och torr drank

Då osäkerheterna är många kring hur dranken kan eldas utförs en energianalys för både eldning av fuktig (45%-ts) och torr (90%-ts) drank. Den mängd drank som inte förbrukas i pannan för att tillgodose det interna behovet av värme och el på etanolanläggningen antas användas till foderproduktion. Då syftet inte är att utreda exakt vilken teknik och hur anläggningen ska utformas görs ett antal antagande angående de två alternativen. I denna studie antas det att en BFB-panna används för förbränning av drank. Pannverkningsgraden antas i båda fallen vara 90% (Moqvist, C. pers. kom.). Hjälpffekten för att driva pumpar och fläktar till en BFB-panna i 30 MW_t storleken antas vara 1 MW eleffekt (Moqvist, C. pers. kom.). Eftersom pannan inte kommer att vara på exakt 30 MW skalas hjälpffekten och antas vara 3,3% av den termiska effekten på pannan. Den kalkmängd som antas behövs för att undvika slaggbildning och sintring är 2% av bränslemängden, detta antagande bygger på en något högre mängd än vad som behövs vid spannmålseldning. Kalk antas också användas för svavelrening enligt tidigare avsnitt krävs en dosering på 3,12 kg kalk per kilo svavel i bränslet. Behovet av ammoniak för att minska kväveoxidutsläppen antas vara detsamma

som för panna 13 på Händelöverket där flis eldas. (Kindblom, Ö. pers. kom.) Behovet där är 2,1 kg ammoniak per MWh tillfört bränsle och koncentrationen på ammoniakerna är 25%. Förbrukningen av sand antas vara densamma som för panna 13 på Händelöverket där 1,8 kg sand förbrukas per MWh tillfört bränsle.

7.3.2 Antagande för eldning med blöt drank

Både våtkaka och sirap har en fukthalt på 67%, ska dranken eldas fuktig så bör den torkas till cirka 50% fukthalt. Idag finns två torkar på etanolfabriken och de torkar all producerad drank till 9% fukthalt. Om dranken ska eldas med en fukthalt på cirka 50% kommer behovet av ånga för att torka dranken sjunka betydligt. Om dranken eldas vid en fukthalt på 55% blir behovet av ånga precis halverat. Detta innebär att en av torkarna inte behöver köras alls. Därför antas dranken eldas med en fukthalt på 55%. Den drank som inte behövs som bränsle på fabriken torkas till 9% fukthalt och används till foderproduktion. Det effektiva värmevärdet för drank med en fukthalt på 55% är 6,7 MJ/kg (Belab, 2002)

7.3.3 Antagande för eldning med torr drank

Om dranken eldas torkad sker produktionen av etanol och DDGS precis som idag på fabriken. För att undvika medrykning i pannan antas dranken pelleteras trots att den ska eldas. Inga ytterligare antagande behöver göras. Det effektiva värmevärdet för DDGS är 17,5 MJ/kg (Belab, 2002)

7.4 Beräkningar för eldning av torr drank

Vid eldning av torkad drank med 90% torrsubstanshalt kommer energibehovet att förbli det samma som för den nuvarande fabriken. Då det används 10 bars tryck på ångan till destilleriet och 5 bars tryck på ånga till torkarna kommer ångflödet till etanolprocessen förändras. Likaså mängden använd ånga per kubikmeter etanol då 10 bars och 5 bars ånga har lägre entalpi än 16 bars ånga vilket måste kompenseras av ett större flöde. För att beräkna mängden ånga som behövs per kubikmeter används följande formel.

$$m_{\text{ånga}} = \frac{E}{(i_{\text{fabrik}} - 0,9 \cdot i_{\text{kondensat}} - 0,1 \cdot i_{\text{färskvatten}})}$$

Formel 7 Beräkning av mängden ånga som behövs i etanolprocessen

E = energibehov per kubikmeter etanol

$m_{\text{ånga}}$ = mängd ånga per m^3 etanol

i = entalpin för ångan vid de olika momenten

Energibehovet av ånga är 2,55 MWh/ m^3 etanol och fördelar sig på 56% vid 5 bars tryck och 44% vid 10 bars tryck. Utgående ifrån detta beräknas det att vid 10% kondensatförlust behövs 1 716 kg ånga vid 10 bars tryck och 2 204 kg ånga

vid 5 bars tryck för att producera en kubikmeter etanol. Den genomsnittliga produktionen av etanol antas precis som tidigare vara 178 m³ per dygn. En mass- och energibalans ger precis som tidigare massflödet av ånga vid turbiner och panna, resultatet från beräkningarna kan studeras i Tabell 28.

Tabell 28 Ångdata för olika delar av ångcykeln.

	Panna	Efter HT	Dest.	Efter LT	Tork
Flöde, kg/s	7,4	7,4	3,5	4,2	4,5
Temperatur, °C	480	292	180	232	159
Tryck, bar	90	10	10	5	5
Entalpi, kJ/kg	3 337	3 030	2 778	2 919	2 757

Den möjliga elproduktionen beräknas med Formel 5 och Formel 6 precis som tidigare i avsnitt 3.5.

Tabell 29 Sammanställning över den el som är möjlig att producera.

Eleffekt brutto	[MW]	2,6
Producerad el brutto	[kWh/m ³ etanol]	347
Producerad el till etanolfabrik	[kWh/m ³ etanol]	239

Bränslebehovet av drank beräknas precis som tidigare med *Formel 4* och är 668 kg DDGS/m³ etanol. Mängden kalk, ammoniak och sand som kommer att behövas vid förbränningen av drank beräknas utgående från de antagande som gjorts angående detta i avsnitt 7.3.1. Färskvatten behöver tillföras pannan på grund av den förlust av ånga som sker i etanolprocessen. Mängden färskvatten beräknas utgående ifrån flödet av färskvatten som tillsätts i pannan. Förbrukning av de råvaror som behövs för att elda drank kan studeras i Tabell 30.

Tabell 30 Förbrukningssiffror för pannan

Mängd råvara	[kg/m ³ etanol]
Kalksten	28,9
Ammoniak	6,8
Sand	5,9
Färskvatten	392

7.5 Beräkningar för eldning med blöt drank

Drank antas eldas med en fukthalt på 55% vilket innebär att ångförbrukningen på fabriken minskar eftersom anläggningen inte längre körs på samma sätt som tidigare. Istället för att torka all drank till 9% fukthalt kommer en viss andel torkas till 55% fukthalt för att sedan eldas. Hur stor mängd som behöver torkas till 55% och användas som bränsle är beroende av hur stort ångbehovet på anläggningen är. Detta innebär att för att kunna beräkna mängden drank som ska användas som bränsle måste ångbehovet på fabriken vara känt. Ångbehovet på anläggningen är dock inte känt utan måste beräknas utgående ifrån hur mycket drank som torkas till 55% fukthalt respektive 9% fukthalt. De två variablerna är alltså beroende av varandra. Detta problem kan lösas genom att testa olika värden tills de två parametrarna får de två ekvationerna att gå ihop, metoden för detta kallas iteration. De två formlerna som ligger till grund för iterationen är följande.

$$E_{\text{ånga}} = E_{\text{ånga dest}} + E_{\text{ånga tork}} \cdot m_{\text{vatten}}$$

Formel 8 Beräkning av det totala energibehovet på etanolanläggningen beroende på hur mycket vatten som torkas bort.

$$m_{\text{vatten}} = m_{\text{bränsle}} \left(\frac{TS_{\text{bränsle}}}{TS_{\text{våtkaka, sirap}}} - 1 \right) + m_{\text{DDGS}} \left(\frac{TS_{\text{DDGS}}}{TS_{\text{våtkaka, sirap}}} - 1 \right)$$

Formel 9 Beräkning av mängden vatten som behöver torkas bort beroende av mängden drank som används till bränsle respektive DDGS.

där :

$E_{\text{ånga}}$ = Det totala energibehovet av ånga

$E_{\text{ånga dest}}$ = Energibehovet av ånga i destilleriet

$E_{\text{ånga tork}}$ = Energibehovet per mängd borttorkat vatten

m_{vatten} = Mängd borttorkat vatten

$m_{\text{bränsle}}$ = Mängd drank som torkas till 55% fukthalt

m_{DDGS} = Mängd drank som torkas till 9% fukthalt

TS = torrsustanshalten

Behovet av ånga i torkarna är 0,87 MWh/ton förångat vatten (2006). Med hjälp av *Formel 7* och *Formel 8* beräknas mängden 10 bars ånga per kubikmeter till 2 985 kg. I övrigt görs beräkningarna för detta scenario på precis samma sätt som för eldning med torkad drank, med enda skillnaden att endast en turbin antas användas för att reducera ångtrycket. Detta då flödet av 5 bars ånga är så litet att elproduktion inte ansetts gångbart. Bränslebehovet vid eldning av fuktig drank (55% fukthalt) är 1 302 kg/m³ etanol. Mängden kalk, ammoniak och sand som

kommer att behövas vid förbränningen av drank beräknas utgående från de antagande som gjorts angående detta i avsnitt 7.3.1. Förbrukning av de råvaror som behövs för att elda drank kan studeras i Tabell 31.

Tabell 31 Förbrukningssiffror för pannan

Mängd råvara	[kg/m ³ etanol]
Kalksten	28
Ammoniak	5
Sand	4
Färskvatten	298

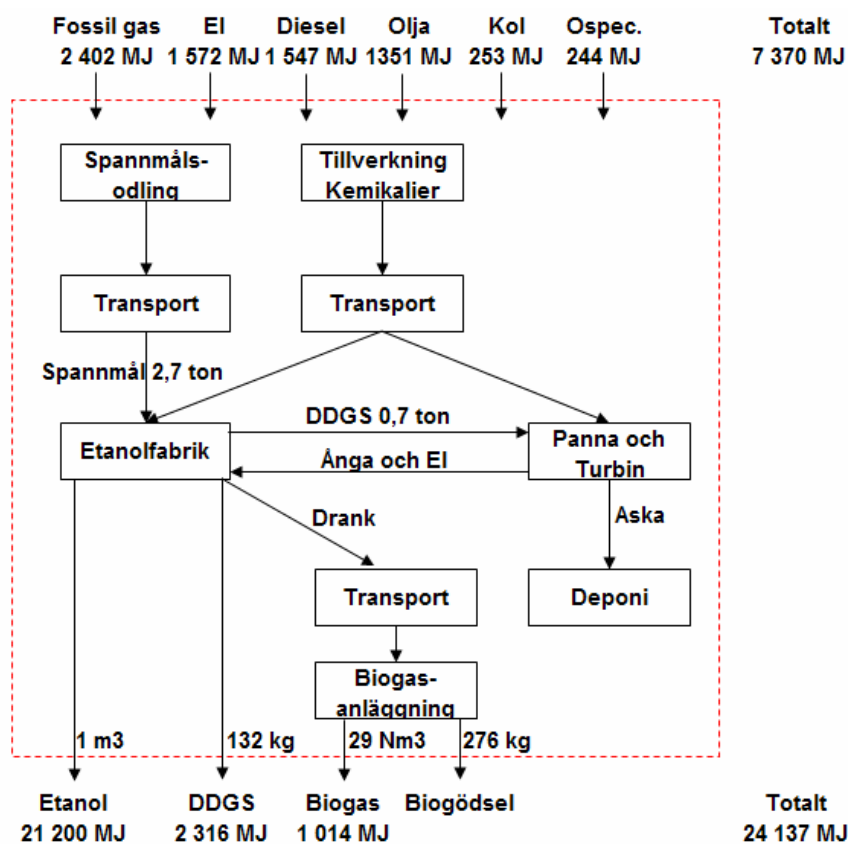
7.6 Förändringar gällande transporter

Transporterna för *System 2* förändras endast marginellt jämfört med det tidigare produktionssystemet *System 1*. Transportbehovet för grot försvinner samtidigt som transporterna för kemikalier ökar något.

8 Resultat för System 2

8.1 Resultat från produktionssystem med eldning av torr drank (DDGS)

Om Lantmännen Agroetanol satsar på egen el- och ångproduktion med torkad drank (DDGS) som bränsle skulle energiinsatsen förändras något jämfört *System 1*. Totalt sett minskar energiinsatsen för systemet. Detta beror främst på den el som produceras innanför systemgränsen, vilket minskar tillförseln av el utifrån systemet. Vad som också har minskat den använda energin för detta system är att flis inte längre används som bränsle, ingen energi förbrukas därför i detta system för insamling, transport och bearbetning av grot. Istället används DDGS som bränsle och detta innebär att ingen energiförbrukande bränslehantering krävs eftersom DDGS är färdigt att förbränna som det är. De produkter som lämnar systemet minskar i omfattning, eftersom DDGS eldas istället för att säljas som djurfoder. I detta system produceras förutom 1 m³ etanol också 132 kg DDGS och 29 Nm³ biogas. Det totala inflödet och utflödet av energi från *System 2* vid produktion av en kubikmeter etanol kan studeras i *Figur 13* och *Tabell 32*



Figur 13 Flödesschema för den använda energin vid eldning av DDGS. Energin är uttryckt i primärenergi vilket innebär att produktions och distributionsförluster är inkluderade.

Tabell 32 Totalt in och utflöde ur System 2, vid eldning av DDGS. Energin är uttryckt i primärenergi.

	Diesel	Olja	Gas	Kol	El	Ospec	Totalt
Inflöde, MJ	1 547	1 351	2 402	253	1 572	244	7 370
	Etanol	DDGS	Biogas				Totalt
Utflöde, MJ	21 200	2 316	1 014				24 530

Eftersom det inte längre produceras så stora mängder DDGS blir detta system ett mer renodlat system för etanolproduktion. Biogas och DDGS produceras dock inte av obetydlig mängd och insatsen av energi ska fördelas mellan dessa biprodukter och etanolen. Detta görs precis som tidigare med allokering av den insatta energin enligt olika principer. I Tabell 33 syns att energibalansen inte förändras särskilt mycket vid olika allokeringssprinciper, detta eftersom de två biprodukterna inte produceras i så stor omfattning jämfört med etanolen. Även om all insatt energi

belastar bara etanolen så blir energibalansen hela 2,9. Detta värde är högre än för motsvarande energibalans för *System 1*. Den stora skillnaden ligger i den el som produceras internt i detta system.

Tabell 33 *Energibalans vid produktion av en kubikmeter etanol, allokerat enligt olika principer. Energibalansen är kvoten mellan etanolens energiinnehåll och den hjälpenergi som ska belastas etanolen enligt allokeringsprincipen.*

Allokering		Energibalans
Energi allokering	Insatsen av energi fördelas mellan produkterna etanol, DDGS och biogas efter energiinnehåll (86,4% belastar etanol)	3,3
Ekonomisk allokering	Insatsen av energi fördelas mellan produkterna etanol, DDGS och biogas efter deras ekonomiska värde (se 4.2) (92,3% belastar etanolen)	3,1
Ingen allokering	Hela insatsen av energi belastar etanolen (100% belastar etanolen)	2,9

Den ingående energin i systemet kan studeras mer detaljerat i Bilaga E i Tabell 53.

Energibalansen för olika allokeringprinciper kan studeras i Tabell 35. Där syns att energibalansen är 2,9 för detta system när ekonomisk allokering använts. Det totala inflödet av energi i systemet kan studeras mer ingående i Bilaga E i Tabell 54.

Tabell 35 *Energibalansen för olika allokeringprinciper för system 2 med eldning av fuktig drank.*

Allokering		Energibalans
Energi allokering	Insatsen av energi fördelas mellan produkterna etanol, DDGS och biogas efter energiinnehåll (85,4% belastar etanol)	3,2
Ekonomisk allokering	Insatsen av energi fördelas mellan produkterna etanol, DDGS och biogas efter deras ekonomiska värde (se 4.2) (92,0% belastar etanolen)	2,9
Ingen allokering	Hela insatsen av energi belastar etanolen (100% belastar etanolen)	2,7

9 Sammanfattande diskussion

Syftet med en energianalys av ett alternativt drivmedel är normalt att utvärdera energieffektiviteten vid produktion dvs. om det förbrukas mer energi att ta fram drivmedlet än vad som fås ut av det. Detta är dock ingen enkel fråga att besvara när det i produktionssystemet produceras mer än en produkt. Vid etanolproduktion fås två biprodukter i form av drank och biogas. Hur dessa ska värderas jämfört med etanolen är inte självklart. Beroende på hur de värderas kan väldigt skilda resultat fås för hur bra etanolproduktion är ur energisynpunkt.

I denna studie har flera olika allokeringssprinciper använts. Detta har inneburit att energibalansen (energin i etanolen dividerat med den använda hjälpenergin i produktionssystemet) för *System 1* skiljer sig mellan 2,2 och 3,7 beroende på allokering. Energibalansen ska vara större än 1 för att mer energi ska genereras än som använts, desto högre energibalans desto bättre är produktionen ur energisynpunkt. Vilket av dessa tal är då det mest representativa resultatet för hur mycket mer energi som fås ut i form av etanol jämfört med den hjälpenergi som har förbrukats? Genom att inte allokera för biprodukterna överhuvudtaget fås en energibalans på 2,2, vilket ger en orättvis bild av etanolproduktionen. På detta sätt anses nämligen både biogas och djurfoder produceras gratis då ingen av den insatta energin belastar dem. Produktionen av biprodukterna borde inte ses som helt gratis då de faktiskt kommer till användning. Trots detta kan denna metod vara bra att använda för att få ett referensmått att jämföra med när väl allokering används. Genom att inte använda någon allokering fås en uppfattning av hur beroende etanolproduktionen är av biprodukterna för att få en bra energibalans.

Allokering efter energiinnehållet i produkterna kan också vara intressant att genomföra eftersom det är en energianalys som utförts och det i denna är energiflöden som studerats. Genom att räkna med energiinnehållet i produkterna fås ett energiflöde av djurfoder precis som ett energiflöde av drivmedel i form av biogas och etanol. Denna typ av allokering är väldigt fördelaktig för etanolen då fodret värderas nästan lika högt som drivmedlet och därmed belastas med nästan halva energiinsatsen. Jag tycker inte det är rimligt att 1 MJ DDGS värderas på samma sätt som 1 MJ etanol och biogas. Energiallokering används i andra studier (Bernesson, 2004) och DDGS har ett energiinnehåll som faktiskt kan utnyttjas vid förbränning i till exempel ett värmeverk. Därför har det i denna studie också angivits ett värde för energibalansen efter allokering på energiinnehållet i produkterna. Ekonomisk allokering sätter ett faktiskt värde på produkterna utan att ta hänsyn till vad de kan användas till. Detta tycker jag är den mest rättvisa metoden att fördela insatsen av energi mellan de tre produkterna. I slutändan är det alltid ekonomin som avgör om något ska produceras eller inte. Etanol är den produkt som belastas med störst del av energin, vilket den också borde då hela systemet är uppbyggt för att producera just etanol. Använts denna allokeringssmetod genereras 2,6 gånger mer energi i form av etanol än vad som har använts i hela produktionssystemet. Detta innebär att etanolen kan anses vara producerad på ett hållbart sätt. Därmed står det klart att det vid produktion av

etanol på detta vis *inte* förbrukas mer energi än vad som produceras i form av drivmedel.

Syftet med denna studie var också att analysera energieffektiviteten i produktionssystemet. Det har i rapporten visats att genom att producera el samtidigt som ånga förbättras energibalansen avsevärt, från 2,6 till 3,1 vid ekonomisk allokering. Ett högt värde innebär högre energieffektivitet i processen. Detta anser jag vara det enklaste sättet att förbättra energieffektiviteten i produktionssystemet. Odlingen av spannmål står för den största energiinsatsen i systemet, påverkas energianvändningen här får det stor genomslagskraft på energibalansen. De mest energikrävande delarna vid odling av spannmål är tillverkning av handelsgödsel, drivmedelsförbrukning vid odlingsoperationer och torkning av spannmål. Gödselframställning är energiintensivt och speciellt då kväveinnehållet produceras. Idag används stora mängder naturgas för att producera den ammoniak som behövs vid tillverkningen av handelsgödsel. Ett framtida alternativ skulle kunna vara att använda biogas istället för naturgas vilket då skulle minska den fossila energianvändningen vid tillverkning. Det finns också stora möjligheter att ersätta fossil energi vid torkning av spannmål. Idag används framförallt olja i torkarna, att ersätta detta med ett bränsle som halm, spannmål eller flis skulle minska användningen av fossil energi i systemet. De ovan nämnda förändringarna skulle dock inte minska den totala energianvändningen utan bara den fossila delen av energianvändningen.

Ett alternativ för att verkligen minska energiinsatsen vid odling är att minska mängden kvävegödsel. Minskad mängd kväve ger minskad avkastning men det kan trots detta vara bra vid spannmålsodling till etanol då en minskad mängd kvävegödsel ger ökad stärkelsehalt i spannmålen. Hög stärkelsehalt i spannmålen ger ett bättre utbyte av etanol per ton spannmål. Genom att utveckla nya sorter av vete, rågvete och korn som ger hög stärkelsehalt och avkastning trots låg kvävegödning kan energianvändningen i systemet minskas. Nya och bättre sorter av spannmål som blir mogna tidigare på sommaren skulle också vara fördelaktigt då detta ger möjlighet till tidigare skörd med lägre vattenhalt i kärnan. Om spannmålen skördas med en lägre vattenhalt krävs mindre energi för att torka bort vattnet. Så det finns mycket energi att spara genom att utveckla nya bättre sorter av spannmål specialiserade för etanolproduktion.

Energibalansen från denna studie är starkt kopplat till vilket bränsle som används i kraftvärmeverket för att producera ågan. Den ånga som Lantmännen Agroetanol köper är bibränslebaserad och denna analys har därför studerat skogsflis som bränsle. På Händelöverket används också kol som bränsle för att producera fjärrvärme. Skulle Händelöverket istället producera ånga till Lantmännen Agroetanol ifrån kol är en grov uppskattning att energiinsatsen i systemet skulle fördubblas. Energieffektiviteten i systemet är alltså extremt beroende av att bränslet är bibränsle annars försämras energibalansen då fossil energi måste tas in utifrån systemet och passerar då systemgränsen och räknas som insats av energi.

Att använda dranken som bränsle för att producera ånga och el är bra då man undviker att använda skogsflis som då kan användas till fjärrvärmeproduktion. Produktionssystemet blir också mer enkelspårigt då det framför allt blir en produkt som produceras, nämligen etanol. Energibalansen när DDGS används som bränsle blir 3,1 detta är bättre än vad energibalansen är för dagens produktionssystem som är 2,6. Det skulle alltså ur energisynpunkt vara bättre att elda dranken vid den egna anläggningen än som idag sälja den som djurfoder. Detta gäller under förutsättning att ingen el produceras på Händelöverket, skulle de däremot investera i en turbin blir energibalansen 3,1 för båda produktionssystemen. Produktionssystemen blir då lika energieffektiva.

Turbinen som använts vid beräkningarna för elproduktion är relativt liten och har en låg isentropisk verkningsgrad. Det bör poängteras att om Händelöverket bygger ut med en ny panna och en ny turbin för att producera el och ånga till den utbyggda fabriken blir massflödet av ånga större. En turbin som har en högre isentropisk verkningsgrad kan då användas för att producera mer el än vad som beräknats i denna studie. Men då denna studie bygger på de nuvarande förhållandena i fabriken har det inte beräknats någon elproduktion med en större och effektivare turbin. Ett sätt att förbättra energibalansen för den befintliga fabriken inklusive utbyggnaden är att Händelöverket väljer att investera i en ny panna och en turbin som har avtappning av ånga vid både 10 bar och 5 bar. Detta skulle leda till elproduktion med högre verkningsgrad och högre alfa-värde än vad som kan uppnås vid leverans av 16 bars ånga.

Många av problemen vid eldning av drank beror på hur förbränningssystemet utvecklas och vilka additiv som kommer att användas. Det finns en mängd rapporter och studier om förbränning av besvärliga bränslen innehållande höga halter av alkali. (Strömberg 2004; Rudling 1991; Gyllenhammar et al. 2003) Det var därför en allt för stor uppgift att i denna studie gå igenom exakt vilka tekniker som kan bli användbara. Om det blir aktuellt att förbränna dranken så måste bränsleegenskaper studeras mer ingående. Att det finns tekniska lösningar för eldning av drank är jag helt övertygad om då det idag eldas sopor och slam som innehåller höga halter av bland annat metaller.

10 Slutsats

Vid etanolproduktion i Lantmännen Agroetanols fabrik i Norrköping fås mer energi ut i form av etanol än vad som använts i hela produktionssystemet. Vid ekonomisk allokering av den insatta energin fås 2,6 gånger så mycket energi ut ur systemet i form av etanol än vad som satts in. För att öka energieffektiviteten i systemet kan etanolanläggningen användas som mottryck för elproduktion. Genom att producera el och ånga samtidigt på Händelöverket skulle energibalansen för systemet öka till 3,1.

Det är odlingen som står för den största energianvändningen med cirka 60% av det totala behovet i systemet. Den del av odlingen som står för störst energianvändning är tillverkning av handelsgödsel och det är främst naturgas som används vid produktionen. Etanolanläggningen belastas till största del av den el som används i processen, totalt sett står etanolanläggningen för 30% av den använda energin i systemet.

Används torkad drank (DDGS) som bränsle för att producera el och ånga vid etanolfabriken fås en energibalans på 3,1. Genom samtidig produktion av både el och ånga med två ångturbiner kan 70% av elbehovet på anläggningen täckas. Dranken räcker mer än väl för att täcka behovet av ånga och för varje producerad kubikmeter etanol skulle det fortfarande produceras cirka 130 kg foder (DDGS).

Drank bör studeras närmare gällande bränsleegenskaper. Drank har hög alkalihalt och även hög svavel- och klorhalt, vilket kan innebära problem vid förbränning. Drankens bränsleegenskaper bör fastställas med bättre underlag än vad som finns idag och hur de problem som kan tänkas uppstå kan undvikas.

11 Slutord

Jag vill avslutningsvis tacka alla er som har hjälpt mig på vägen och som gjort detta examensarbete möjligt.

Framförallt vill jag tacka *Helena Stavklint* på Lantmännen Agroetanol för all din handledning och dina viktiga synpunkter på mitt arbete. Jag vill också tacka *Peter Nimrodsson* på Lantmännen Agroetanol för att jag fick möjlighet att genomföra examensarbetet samt för våra givande diskussioner. Tack, *Örjan Kindblom* och *Börje Beckman* på Lantmännen Agroetanol för svaren på alla mina frågor. Tack också alla ni andra på Lantmännen Agroetanol som jag har fått fråga och diskutera mitt arbete med.

Per-Anders Hansson som har varit ämnesgranskare vill jag tacka för alla synpunkter och goda råd som du gett mig. Tack, *Kristian Baurne* för att du läst, kommenterat och givit förslag på förbättringar på min rapport.

Tack till alla er som svarat på mina frågor och som gjort att jag tagit mig framåt och fått större insikt i de delar av systemet som ni arbetar med. Framförallt vill jag tacka *Anders Jonson* och *Tobias Andersson* på E.ON Värme Sverige, *Jonas Ahlbert* på Svensk Biogas och *Claes Moqvist* på Foster Wheeler Energi.

Tack, *Anna* för att du läst, kommenterat och stöttat mig när det känts tungt utan dig vet jag inte var hur det hade slutat. Tack, *Far* för dina kritiska synpunkter på rapporten och våra diskussioner om etanolproduktion och jordbruk. Slutligen vill jag också tacka alla andra nära och kära för all uppmuntran och hjälp på vägen.

