



# CHALMERS

---



## **Bioetanolproduktion**

### **Ur ett hållbart och tekniskt perspektiv**

Examensarbete inom Sjöingenjörsprogrammet

ARVID DYVERMARK  
JOHAN ANDERSSON



RAPPORTNR. SI-17/207

# Bioetanolproduktion

Ur ett hållbart och tekniskt perspektiv

ARVID DYVERMARK

JOHAN ANDERSSON

Institutionen för sjöfart och marin teknik  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige, 2017

## **Bioetanolproduktion**

Ur ett hållbart och tekniskt perspektiv

Bioethanol production

From a sustainable and technical perspective

ARVID DYVERMARK

JOHAN ANDERSSON

© ARVID DYVERMARK, 2017.

© JOHAN ANDERSSON, 2017.

Rapportnr. SI-17/207

Institutionen för sjöfart och marin teknik

Chalmers tekniska högskola

SE-412 96 Göteborg

Sverige

Telefon + 46 (0)31-772 1000

Omslag:

Jürgen from Sandesneben (2005). *Wind turbines in a rapeseed field in Sandesneben, Germany*  
[Elektronisk bild].

Hämtad från: [https://www.commons.wikimedia.org/wiki/File:Alternative\\_Energies.jpg](https://www.commons.wikimedia.org/wiki/File:Alternative_Energies.jpg)

Tryckt av Chalmers

Göteborg, Sverige, 2017

## **Bioetanolproduktion**

Ur ett hållbart och tekniskt perspektiv

ARVID DYVERMARK

JOHAN ANDERSSON

Institutionen för sjöfart och marin teknik

Chalmers tekniska högskola

## **Sammanfattning**

Fossila bränslen har sedan flera århundraden tillbaka varit människans kanske viktigaste tillgång till energi, men nyttjandet av fossila bränslen har också bidragit till att miljön tagit stor skada. För att minska människans negativa påverkan på miljön har forskning kring förnybara bränslen utförts för att hitta ett bränsle som både kan tillgodose den energikonsumtion som kommer från fossila bränslen idag och minska utsläpp av växthusgaser.

Bioetanol är ett förnybart bränsle som genom biologiskt nedbrytbara råvaror kan utvinnas och användas som motorbränsle. Processen för att utvinna bioetanol är avancerad och forskning kring ämnet har medfört flera olika utvinningsmetoder. Problematiken kring bioetanolframställning är huruvida energieffektivt och miljöanpassat de olika framställningsmetoderna är för att det ska vara lönsamt att tillämpa. Syftet med denna studie är att utreda bioetanolframställning från livsmedelssvinn i form av spannmålsbaserade råvaror, med hänsyn till energibalans, miljövänlighet samt teknisk utformning för att erhålla en effektiv produktion.

Rapportens resultat baseras på tidigare forskning kring ämnet samt en fallstudie på en fullskalig bioetanolanläggning hos Företag AB. Genom att inhämta information från tidigare forskning och jämföra teoretiska data med verkliga data ger det ett underlag för att besvara rapportens forskningsfrågor.

Resultatet visade att bioetanolproduktion från spannmålsbaserade råvaror, mer specifikt kasserade bageriprodukter, inte är en miljömässigt hållbar metod med avseende på energikonsumtion och utsläpp av växthusgaser innan och efter produktion.

**Nyckelord:** bioetanol, bioetanolproduktion, brödsvinn, förnybara bränslen, växthusgaser

## **Abstract**

Fossil fuels have, since several centuries ago, been mankind's primary energy resource, but the use of fossil fuels also has contributed to large-scale damage to the environment. To reduce mankind's negative impact on the environment, research into sustainable fuels have been done to find a fuel that is able to provide both to the current energy consumption from fossil fuels as well as reduce greenhouse gas emissions.

Bioethanol is a renewable fuel which can be produced by biologically degradable raw materials and then be used as fuel. It is an advanced process to produce bioethanol and earlier research has resulted in several different production methods. The problem with bioethanol production is how energy efficient and environmentally friendly the different production methods are to maintain a profitable application. The purpose of this study is to investigate bioethanol production from waste originating from the food industry in the form of cereal based raw materials, regarding energy balance, environmental friendliness and technical design to maintain an efficient production.

The result in this study is based on earlier research on the subject as well as a case study on a full-scale bioethanol production facility at Företag AB. By gathering information from earlier research and comparing theoretical data with real data, a reliable comparison is given to answer the studies research questions.

The result indicated that bioethanol production from cereal based raw materials, more specifically discarded bakery products, is not sustainable with regard to energy consumption and greenhouse gas emissions both before and after production.

**Keywords:** bioethanol, bioethanol production, bread waste, renewable fuels, greenhouse gas emissions

## **Förord**

Författarna skulle vilja tacka handledaren Henrik Pahlm för vägledning och stort engagemang under arbetets gång. Ett stort tack riktas också till personal på Företag AB för att ha givit författarna chansen att skriva denna studie hos dem och för alla hjälpmedel de har bidragit med under arbetets gång.

# Innehållsförteckning

Sammanfattning .....	i
Abstract .....	ii
Förord .....	iii
Innehållsförteckning .....	iv
Figurförteckning .....	vi
Tabellförteckning .....	vii
Ekvationsförteckning .....	viii
<b>1 Introduktion/Inledning.....</b>	<b>1</b>
1.1 Syfte .....	2
1.2 Frågeställning .....	2
1.3 Avgränsningar .....	2
<b>2 Bakgrund.....</b>	<b>3</b>
2.1 Bioetanolens historik .....	3
2.2 Introduktion till bioetanol.....	4
2.2.1 Bioetanol som motorbränsle och dess miljöpåverkan.....	5
2.2.2 Bioetanol inom sjöfarten.....	5
2.3 Framställningsmetoder .....	6
2.3.1 Första generationens bioetanolanläggning .....	6
2.3.1.1 Hydrolys.....	6
2.3.1.2 Fermentering.....	6
2.3.1.3 Destillation .....	7
2.3.2 Andra generationens bioetanolanläggning.....	7
2.3.2.1 Förbehandling .....	7
2.3.2.2 Hydrolys.....	7
2.3.2.3 Fermentering.....	8
2.3.2.4 Destillation .....	8
2.4 Bioetanolanläggning hos Företag AB.....	9
2.4.1 Produktionsflöde .....	9
2.4.1.1 Råvarumottagning – punkt 1.....	9
2.4.1.2 Råvarukomprimator – punkt 2 .....	10
2.4.1.3 Plastseparator – punkt 3 .....	10
2.4.1.4 Hydrolystank – punkt 4 .....	10
2.4.1.5 Transportpump till fermentering – punkt 5.....	10
2.4.2 Drift.....	11
2.5 Brödproduktion i Sverige .....	11
<b>3 Metod .....</b>	<b>15</b>
3.1 Rapportens metodval och tillvägagångssätt .....	15
3.2 Datainsamling .....	15



3.3	<i>Metoder för beräkningar</i> .....	16
3.3.1	Beräkningar för bioetanolproduktion av kasserade bageriprodukter .....	16
3.3.1.1	Beräkningar av kasserade bageriprodukter och bioetanolproduktion.....	16
3.3.1.2	Beräkningar av energiinnehåll och energiförbrukning.....	17
3.3.1.3	Beräkningar av utsläpp.....	18
3.3.2	Beräkningar för bioetanolproduktion av spannmålsprodukter .....	19
3.3.2.1	Beräkningar av mjölproduktion och bioetanolproduktion .....	19
3.3.2.2	Beräkningar av energiinnehåll och energiförbrukning .....	20
3.3.2.3	Beräkningar av utsläpp.....	20
3.4	<i>Fallstudie av bioetanolanläggning hos Företag AB</i> .....	20
<b>4</b>	<b>Resultat</b> .....	<b>21</b>
4.1	<i>Resultat av beräkningar av bioetanol baserat på kasserade bageriprodukter</i> .....	21
4.1.1	Kasserade bageriprodukter och bioetanolproduktion.....	21
4.1.2	Energiinnehåll och energiförbrukning.....	22
4.1.3	Utsläpp .....	23
4.2	<i>Resultat av beräkningar av bioetanol baserat på spannmål</i> .....	23
4.2.1	Spannmålsproduktion och bioetanolproduktion.....	23
4.2.2	Energiinnehåll och energiförbrukning.....	24
4.2.3	Utsläpp .....	25
4.3	<i>Jämförelse mellan olika råvaror</i> .....	25
4.4	<i>Resultat av fallstudie av bioetanolanläggning hos Företag AB</i> .....	26
4.4.1	Mottagningstank till plastseparator.....	26
4.4.2	Plastseparator till hydrolystank .....	26
4.4.3	Hydrolystank till fermentering .....	26
<b>5</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>27</b>
5.1	<i>Resultatdiskussion</i> .....	27
5.2	<i>Metoddiskussion</i> .....	29
<b>6</b>	<b>Slutsatser</b> .....	<b>30</b>
6.1	<i>Vilket råvarumaterial är att föredra för att uppnå en miljömässigt hållbar bioetanolproduktion?</i> .....	30
6.2	<i>Till vilken grad kan bioetanol från överproduktion av bröd konkurrera mot fossila bränslen som motorbränsle?</i> .....	30
6.3	<i>Vilka tekniska orsaker ligger till grund för driftstörningar i bioetanolanläggningen hos Företag AB?</i> .....	30
6.4	<i>Förslag på vidare forskning</i> .....	30
	<b>Referenser</b> .....	<b>31</b>

## Figurförteckning

<b>Figur 1: Schematisk bild över mottagningssteg .....</b>	<b>9</b>
<b>Figur 2: Energiförbrukning vid brödproduktion. A-D Industriell skala, färdigt bröd, nationella marknader. E-F Mindre skala, färdigt bröd, lokal marknad.....</b>	<b>12</b>
<b>Figur 3: Klimatpåverkan vid brödproduktion. A-D Industriell skala, färdigt bröd, nationella marknader. E-F Mindre skala, färdigt bröd, lokal marknad.....</b>	<b>12</b>
<b>Figur 4: Jämförande diagram mellan bioetanol baserat på de olika råvarorna.....</b>	<b>25</b>

## Tabellförteckning

Tabell 1: Energiförbrukning vid brödproduktion. Fritt taget ur Figur 2.....	13
Tabell 2: Utsläpp vid brödproduktion. Fritt taget ur Figur 3.....	13
Tabell 3: Direktkonsumtion av livsmedel .....	13
Tabell 4: Sammansättning av bröd .....	14
Tabell 5: Mängd konsumerad och icke konsumerad bröd .....	21
Tabell 6: Beräknad mängd bröd baserat på mjölsort.....	21
Tabell 7: Beräknad mängd bioetanolproduktion från bröd.....	22
Tabell 8: Beräknat energiinnehåll i den producerade mängden E85, brödbaserat.....	22
Tabell 9: Beräknad mängd fordon som kan drivas av E85 producerat av kasserade bageriprodukter .....	22
Tabell 10: Beräknad energiförbrukning vid brödproduktion.....	23
Tabell 11: Beräknat utsläpp av CO <sub>2</sub> -ekvivalenter från bioetanolproduktion av bröd .....	23
Tabell 12: Beräknad mängd mjöl .....	23
Tabell 13: Beräknad mängd bioetanolproduktion från mjöl .....	24
Tabell 14: Beräknat energiinnehåll i den producerade mängden E85, mjölbaserat .....	24
Tabell 15: Beräknad energiförbrukning vid mjölproduktion .....	24
Tabell 16: Beräknat utsläpp av CO <sub>2</sub> -ekvivalenter från bioetanolproduktion av mjöl .....	25

## Ekvationsförteckning

Ekvation 1.....	4
Ekvation 2.....	4
Ekvation 3.....	16
Ekvation 4.....	16
Ekvation 5.....	16
Ekvation 6.....	16
Ekvation 7.....	17
Ekvation 8.....	17
Ekvation 9.....	17
Ekvation 10.....	17
Ekvation 11.....	18
Ekvation 12.....	18
Ekvation 13.....	19
Ekvation 14.....	19
Ekvation 15.....	19
Ekvation 16.....	20

# 1 Introduktion/Inledning

Människans negativa påverkan på miljön har ökat avsevärt sedan upptäckten och nyttjandet av fossila bränslen. En stor bidragande faktor till att miljön tar skada är de växthusgaser som släpps ut varje dag genom användning av fossila bränslen. Miljöfrågan har debatterats politiskt i många år, men är idag mer aktuell än någonsin. Detta har medfört en ökad efterfrågan av förnybara bränslen (US Energy Information Administration [EIA], 2017a). FN har studerat miljöfrågan djupare och deras miljöprogram UNEP från 2009, visar att den globala uppvärmningen på jorden kan komma att stiga uppemot 4,3 grader fram till år 2100. En av de största bakomliggande orsakerna till den globala uppvärmningen är utsläpp av växthusgaser. Dessa utsläpp påverkar jordens atmosfär vilket resulterar i smältande isar, stigande havstemperaturer och obalans i vädret (Andrews & Sjölander, 2009, s. 3). Genom att visa forskningsfakta på den rådande miljöpåverkan ger det människan konkreta bevis på att något måste förändras. Varje individ har ansvar till att minska sin negativa påverkan på miljön. Ett enkelt sätt är att ändra sina vardagliga rutiner, t.ex. genom sin konsumtion, ta vara på alla livsmedel och använda ett bränsle som är bättre för miljön. Förnybara bränslen har varit aktuellt ett tag och ett av dessa bränslen som påverkar miljön mindre negativt är bioetanol.

Ett företag i Sverige, som författarna har valt att kalla Företag AB, har tagit steget mot mindre miljöpåverkan genom att integrera en fullskalig bioetanolanläggning i ett konventionellt raffinaderi. Där framställs bioetanol med hjälp av spannmålsbaserade restprodukter, mer specifikt kasserade bageriprodukter, från livsmedelsindustrin som råvarumaterial. Bioetanolanläggningen har en råvarumottagning dit biomassan levereras och där processen startar. Därefter transporteras det vidare till stegen hydrolys, fermentering och till sist destillation.

Bioetanol är ett förnybart bränsle som redan idag används i många olika typer av applikationer världen över, bl. a som alternativt bil- och lastbilsbränsle (E85 & ED95). Bioetanol har visat sig vara ett mycket miljövänligare alternativ, när det kommer till koldioxidutsläpp, än de fossila bränslen som dominerar världsmarknaden (Lundell, 2009). För att utvinna bioetanol med hög kvalitet krävs en avancerad processanläggning. Råvarumaterialet är en viktig faktor i framställning och utvinning av bioetanol. Produktionen baseras på ett biologiskt nedbrytbart material med ett högt innehåll av kolhydrater i form av socker, stärkelse eller lignocellulosa (Cardona & Sánchez, 2007, s. 2417). Valet av råvara är en viktig faktor för att uppnå en miljömässigt hållbar produktionsmetod, där bland annat energiinnehåll, energiförbrukning samt utsläpp spelar en stor roll. Rapporten syftar på just dessa faktorer och hur detta kan påverka den svenska bioetanolproduktionen.

## **1.1 Syfte**

Denna rapport avser att utreda om framställning av bioetanol från spannmålsbaserade råvaror är en miljömässigt hållbar produktionsmetod med avseende på total mängd utsläpp av växthusgaser och energiåtgång, till vilken grad bioetanol från överproduktion av bröd kan konkurrera mot de fossila bränslen som finns idag samt vilka tekniska orsaker som ligger till grund för driftstörningar i bioetanolproduktionen hos Företag AB.

## **1.2 Frågeställning**

Rapporten har behandlat följande tre forskningsfrågor.

- Vilket råvarumaterial är att föredra för att uppnå en miljömässigt hållbar bioetanolproduktion?
- Till vilken grad kan bioetanol från överproduktion av bröd konkurrera mot fossila bränslen som motorbränsle?
- Vilka tekniska orsaker ligger till grund för driftstörningar i bioetanolanläggningen hos Företag AB.

## **1.3 Avgränsningar**

Studien har avgränsats till att avhandla huruvida bioetanolproduktion från spannmålsbaserade råvaror, huvudsakligen kasserat matbröd, är miljömässigt hållbart inom Sveriges gränser. Vid beräkning av energibalanser har studien bortsett från den energi som förbrukas av den anläggning som producerar bioetanol. För att kunna redogöra för vilka tekniska orsaker som ligger till grund för driftstörningar i bioetanolanläggningen hos Företag AB innehåller rapporten en fallstudie som behandlar endast mottagningssteget i denna bioetanolanläggning.

## 2 Bakgrund

*I detta kapitel redogörs det för bioetanolens historik, bakgrunden till utvecklingen av bioetanol och hur bioetanol framställs.*

### 2.1 Bioetanolens historik

Framställning av bioetanol har förekommit sedan flera århundraden tillbaka. Bioetanol användes i sin tidigaste historia främst som alkoholtillsats i bland annat vin och öl. Sockerrör var huvudingrediensen till bioetanolframställningen då det var enklare att odla och användes både till sötningsmedel och alkohol. Saften som blev över efter skördning av sockerrören fermenterades, vilket resulterade i framställning av alkohol. Allteftersom teknikens utveckling gick framåt började människan förstå potentialen av bioetanol till andra användningsområden än som rusdryck (de Souza, Grandis, Leite et al. 2014).

Bioetanol användes bland annat som lampbränsle men redan under tidigt 1900-tal tog Henry Ford fram en bil som var speciellt anpassad för att kunna använda bioetanol som bränsle. I samma era fick bioetanol ett uppsving vilket bidrog till minskning av import av dyra petroleumprodukter till USA. Kunskapen om att bioetanol var ett miljövänligare alternativ än fossila bränslen var inte särskilt omfattande på den tiden utan det var den ekonomiska aspekten som vägde tyngst. Efter att omvärlden fått upp ögonen för bioetanolens potential som fordonsbränsle var Brasilien tidiga med att implementera bioetanolproduktion i stor skala. Brasilien byggde upp stora industrier för framställning av bioetanol från sockerrör och efterfrågan av ett billigare fordonsbränsle än fossila bränslen ökade därefter (de Souza, Grandis, Leite et al. 2014).

När bioetanol började massproduceras fick även oljeindustrin ett rejält uppsving med nya oljeresurser och nya destillationsmetoder. I takt med detta gick spannmålspriserna upp avsevärt vilket gjorde det icke ekonomiskt hållbart att producera bioetanol i stor skala. Oljeindustrin fortsatte expandera och priserna för fossila bränslen sjönk. Detta medförde att bioetanolproduktionen stod stilla under en längre tid, men under 1970-talet nådde oljeproduktionen sin topp vilket medförde att oljepriserna sköt i höjden. Samtidigt sjönk priserna för spannmål igen vilket gav bioetanolproduktionen en nystart (Carolan, 2010, s. 45).

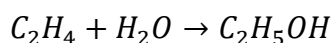
Sedan dess har bioetanolproduktionen ökat avsevärt i många länder. Den globala produktionen av bioetanol var ungefär 1,6 miljoner fat per dag år 2014, vilket motsvarar en årlig produktion på ungefär 92,8 miljoner m<sup>3</sup>. De största producenterna för bioetanol är i nuläget Nord-, Syd- och Centralamerika som dominerar marknaden med en marknadsandel på över 80% (EIA, 2017b).

## 2.2 Introduktion till bioetanol

Den negativa miljöpåverkan av fossila bränslen har bidragit till att forskning på alternativa bränslen har ökat. Under en lång tid var fossila bränslen en av de största energikällorna för Sverige, men de senaste 50 åren har det förändrats drastiskt. Den stora efterfrågan på energi har drivit utvecklingen framåt och nya metoder till att utvinna energikällor har tagits fram (Kander, 2002). Med ett mål från Europaparlamentets och rådets direktiv 2009/28/EG om främjande av användningen av energi från förnybara energikällor och om ändring och ett senare upphävande av direktiven 2001/77/EG och 2003/30/EG [2009] EUT 140/16 att 20% av all energi i Europa ska komma från förnybara källor år 2020. Även i Sverige finns direktivet; Fossiloberoende fordonsflotta – ett steg på vägen mot nettonollutsläpp av växthusgaser 2012:78 om en fossiloberoende fordonsflotta till år 2030. Dessa direktiv och mål sätter stor press på utvecklingen av potentiella förnybara bränslen. Ett av dessa förnybara bränslen är bioetanol.

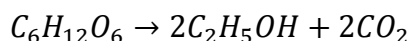
Etanol, även kallad etylalkohol, tillhör den kemiska gruppen alkoholer och har den kemiska formeln  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ , eller förkortad till  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ . Dess densitet är  $0,789 \text{ kg/dm}^3$  med en kokpunkt på  $78,3^\circ\text{C}$  (Kosaric, Duvnjak, Farkas, Sahn, Bringer-Meyer, Goebel & Mayer, 2002, ss. 334–335). Etanol kan produceras på två sätt; antingen genom hydrering av eten, vilket resulterar i syntetisk etanol. Eller genom fermentering av socker vilket blir en biologisk etanol, även kallat bioetanol. Etanolframställning genom fermentering är det vanligaste sättet att producera etanol.

Hydrering av eten:



*Ekvation 1*

Fermentering av socker:



*Ekvation 2*

(Ebersson. u.d)

Fermentering av bioetanol kan göras av diverse råvaror såsom vete, råg, majs, sockerrör, maniok och alla produkter som baseras på dessa råvaror. Anläggningar som nyttjar spannmålsbaserade råvaror till att producera bioetanol kallas för första generationens bioetanolanläggningar, medan anläggningar som nyttjar lignocellulosisk biomassa (trädbaserade råvaror) kallas för andra generationens bioetanolanläggningar.

Bröd har länge varit en av de främsta källorna till intag av kolhydrater hos människan, vilket innebär en enorm produktion men också en massiv överproduktion. Den globala produktionen av bröd under 2014 har uppmätts till ungefär 86.9 miljoner ton och den förväntas öka årligen med cirka 0,9% fram till år 2019 (MarketLine, 2015, s. 9 & 16). Konsekvensen av överproduktionen blir att en stor andel av slutprodukten inte konsumeras, utan istället kasseras.



Hur stor andel av det som produceras som sedan slängs är svårt att mäta, men Jordbruksverket (2011, s. 5) gjorde en undersökning där det redogörs för att 21% av allt bröd som produceras inte blir konsumerat. Istället för att låta allt detta bröd brytas ned av naturen eller tas hand om på återvinningsanläggningar kan det användas till att producera bioetanol.

Att använda bröd som primär råvara till bioetanol är mycket effektivt. Den ursprungliga anledningen till att bröd började tillverkas var för att människan lättare skulle kunna smälta spannmål, vilket också gör brödet mer fermenterbart (Kovessa & Webb, 2013, s. 66). Vid bioetanolproduktion är det stärkelsen i brödet som är den primära källan till att producera bioetanol. Stärkelse är en energirik polysackarid och innehåller två typer av glukos; amylos och amylopektin (Stärkelse:NE). Det är detta socker som jästen sedan omvandlar till etanol under fermenteringen.

### **2.2.1 Bioetanol som motorbränsle och dess miljöpåverkan**

Bioetanol har många olika typer av användningsområden som motorbränsle. Den marknad som dominerar användandet av bioetanol som motorbränsle är personbilar och lastbilar. Som nämnts tidigare blandas bioetanol in i fossila bränslen, vilket görs dels för att minska växthusgasutsläpp från avgaser men även för att höja oktantalet hos bränslet (Bajpai, 2013, s. 55). Den bioetanol som idag används som bränsle i Sverige för förbränningsmotorer innehåller inte 100% ren bioetanol. Två huvudsaker till detta är den höga alkoholskatten som skulle tillkomma men framförallt förbränningsegenskaperna hos bränslet. Det bioetanolbränsle som säljs på tankstationer heter E85, vilket är det vanligaste bränslet för personbilar med så kallad Flex-fuel-kompatibilitet. E85 innehåller upp till 85% ren bioetanol och 15% bensin. De motorer som lämpar sig bäst för att köra på bioetanolbaserade bränslen är så kallade ottomotorer, eller tändstiftsmotorer i mer dagligt tal. Bensin tillsätts för att underlätta kallstarter och uppvärmning av motorn då bioetanol har sämre förbränningsegenskaper än bensin (US Department of Energy [DOE], 2013, s. 3).

### **2.2.2 Bioetanol inom sjöfarten**

Bioetanol som motorbränsle lämpar sig även bra för större motorer än de som finns i personbilar. Detta visar en forskningsstudie gjord av Ellis och Tanneberger (2015) där bioetanol och metanol som motorbränsle hos fartyg undersökts. Då sjöfarten bidrar till en stor del av de miljöfarliga partiklar och växthusgaser som släpps ut årligen så har kraven för minskade utsläpp från fartyg skärpts hårt under de senaste åren. Kraven som ställs för fartygens bränslen är främst svavelhalten i bunkerbränslet ombord och dessa krav implementeras enligt Annex VI i IMO:s konvention MARPOL. Svavelhalten i bränslet kontrolleras inom speciella områden till havs och får inte överstiga 0,1%, 1,5 % eller 3,5 % i respektive område (International Maritime Organization [IMO], 2017).

Dessa regler ger incitament till många rederier att hitta alternativa fartygsbränslen för att klara av de skärpta utsläppskraven. I studien gjord av Ellis och Tanneberger (2015) listas olika forskningsprojekt som stöd för att minska utsläpp, där bland annat beräkningar på bioetanol

som motorbränsle hos mindre fartyg visat sig vara ett bra alternativ. Men enligt studien så har ingen tidigare information om test av bioetanol som bränsle i marina motorer funnits. Den information som finns tillgänglig om bioetanol som motorbränsle är från landbaserade applikationer som exempelvis tunga transportfordon. I den studien användes information om bioetanoldrift i tunga transportfordon på land som referens när beräkningar om hur bioetanol drift till sjöss hade sett ut. Enligt uträkningar på miljöfarliga utsläpp från fartyg med olika bränslen visar det att bioetanoldrift skulle bidragit till ett mindre utsläpp av kväveoxider, svaveloxider och växthusgaser (Ellis, Tanneberger, 2015).

## **2.3 Framställningsmetoder**

### **2.3.1 Första generationens bioetanolanläggning**

Processen för bioetanolproduktion ser olika ut beroende på vilken råvara som används. I första generationens bioetanolanläggningar baseras råvarumaterialet på spannmålsprodukter. Grundprincipen bygger på tre steg; hydrolys, fermentering och slutligen destillation.

#### **2.3.1.1 Hydrolys**

Enligt processbeskrivningar från Företag AB är detta steg en så kallad förbehandling av biomassan innan fermenteringsprocessen. Hydrolysstegets är en kemisk nedbrytningsprocess som gör biomassan mer fysisk tillgänglig för behandling. I hydrolysreaktionen uppstår en spjälkning mellan sockermolekyler och stärkelsen i biomassan. Spjälkningen sker effektivast genom att tillsätta varmt vatten till processen. Det varma vattnet tillför rätt mängd väte och syre så att biomassan löses upp och blir till mindre partiklar i flytande form. För att uppnå en optimal hydrolys kan inblandning av enzymer även tillämpas. Detta hjälper vattnet att avskilja den syrebindning som fordras mellan sockermolekylerna i biomassan. Med hjälp av en roterande blandare i kärlet blandas den flytande massan med det varma vattnet tills erforderlig kvalitet är uppnådd. I detta skede benämns vätskan som mäsik (Företag AB, 2016).

#### **2.3.1.2 Fermentering**

Fermentering innebär extrahering av alkohol med hjälp av jäsning av en organisk massa. För att uppnå en fullständig fermentering tillsätts jäst till processen. Den jäst som vanligtvis används är *Saccharomyces cerevisiae* (vanlig bakjäst), *S. uvarum* eller *Candida utilis* (Kosaric et al. 2002, s. 343). När jästen tillsätts i fermenteringen reagerar det med vattnet och den organiska massan genom så kallad knoppning (förökning). För att jästen skall kunna upprätthålla sin molekylstruktur krävs kväve, vilket den oftast får genom tillsättning av urea eller från det kväve som brödet redan innehåller. Jästens uppgift i fermenteringen är att omvandla glukosen som biomassan innehåller till etanol. För att omvandla glukos till etanol tar jästen tillvara på all energi som sockret innehåller för att binda två kolmolekyler och en alkoholmolekyl. Detta resulterar i en kemisk reaktion som bildar en etanolmolekyl (Företag AB, 2014).

### **2.3.1.3 Destillation**

Destillation är en separeringsmetod där en vätskeblandning värms upp till kokpunkten för det ämne som ska separeras varvid detta ämne övergår till gasform som sedan kondenseras till vätskeform (Destillation:NE). Efter fermenteringen pumpas mäsken vidare till ett destillationstorn för destillering. I fallet vid etanolproduktion värms mäsken upp till 78°C varvid etanolen i mäsken börjar att förångas. Ångan som bildas är en etanol-vattenblandning med en komposition på ungefär 90% etanol och 10% vatten. Blandningen leds sedan till en kondensator där den kondenseras till flytande form som sedan pumpas vidare till dehydreringssteget. Dehydrering innebär att vattenmolekyler avlägsnas från andra molekyler. Under dehydreringssteget förångas och överhettas vätskeblandningen igen och flödar genom membran, i vilka dehydrering sker och därmed bildar 99,8%-ig etanol (Hallström. u.d). Restprodukten som blir kvar efter destillering är ett mycket näringsrikt djurfoder som kallas för drank (Drank:NE).

### **2.3.2 Andra generationens bioetanolanläggning**

I andra generationens bioetanolproduktion baseras råvarumaterialet på produkter från skogsriket. Dessa råvaror benämns som lignocellulosisk biomassa och byggs upp genom cellulosa (dos Santos et al. 2016 s.45).

#### **2.3.2.1 Förbehandling**

Lignocellulosisk biomassa är uppbyggt av cellulosa, hemicellulosa och lignin. Dessa ämnen ger biomassan sin molekylstruktur, men fungerar även som ett skydd mot kemisk nedbrytning. Eftersom lignocellulosa har detta skyddande hölje runt sig krävs det en speciell förbehandling av biomassan för att göra den kemiskt och fysisk tillgänglig. Förbehandlingen är till för att separera cellulosan från de två oönskade ämnena; hemicellulosa och lignin. Detta medför att biomassans cellväggar bryts ner så att materialet kan öka sin area och därmed öka sin kemiska mottaglighet under hydrolyssteg. Det finns flera olika förbehandlingsmetoder som utvecklats för just denna typen av biomassa och ändamål. De mest erkända metoderna delas in i fyra olika kategorier (dos Santos et al., 2016, s.45):

- Kemisk förbehandling
  - Med hjälp av syror och alkaliska ämnen.
- Fysisk förbehandling
  - Med hjälp av krossning, pyrolys och mikrovågor.
- Fysikalisk-kemisk förbehandling
  - Med hjälp av ånga, ammoniak och CO<sub>2</sub>.
- Biologisk förbehandling
  - Med hjälp av svampkultur, bakteriekultur och enzymtillsatser

#### **2.3.2.2 Hydrolys**

Efter förbehandlingen består cellulosan till stor del av polysackarider och oligosackarider och måste därför genomgå en hydrolys för att bryta ner dessa polymerer (sammansättningar av flera sockermolekyler) till monomerer (enstaka sockermolekyler), vilket möjliggör fermentering. Hydrolys kan göras genom antingen tillsättning av proteiner, även kallat "enzymatisk cocktail",

eller tillsättning av starka syror som t.ex. svavelsyra. Tillsättning av enzymer istället för syra är det vanligaste och mest effektiva sättet att utföra hydrolys. Det ger en minskad bildning av ämnen som förhindrar fermentering, men ger också ett högre utbyte av etanol. De enzymer som tillsätts bryter ner cellulosan till glukos, xylos, arabinos och andra monosackarider (dos Santos et al. 2016, s.47).

### **2.3.2.3 Fermentering**

Fermentering är som tidigare nämnts omvandling av biomassa med sockerinnehåll till alkohol med hjälp av jäsnings. Under fermentering av lignocellulosiskt råvarumaterial tillkommer en del svårigheter vid omvandlingen av socker till etanol då lignocellulosa innehåller sockerarter som inte går att fermentera utan en modifierad jästkultur. Jästen som används i fermenteringen är en genetiskt modifierad version av *Saccharomyces cerevisiae* (dos Santos et al. 2016, s.48). Fermenteringsprocessen sker under anaerobiska förhållanden, vilket innebär att inget syre tillsätts i processen. Detta tvingar jästen att ta all energi från sockerarterna i biomassan vid omvandlingen till etanol. När biomassan genomgått en kontrollerad fermentering har etanol av låg alkoholprocent framställts som sedan transporteras till destillationssteget för vidare behandling (dos Santos et al. 2016, s.48).

### **2.3.2.4 Destillation**

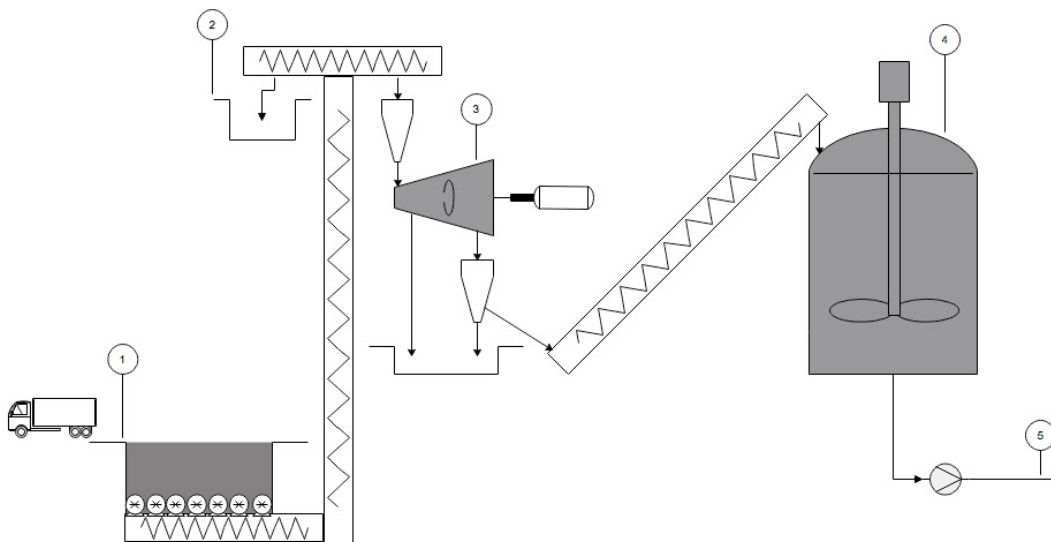
Destillationsprocessen vid etanolframställning från lignocellulosa ser likadan ut som för stärkelsebaserade råvaror, vilket har redogjorts för tidigare i rapporten (se sektion 2.3.1.3).

## 2.4 Bioetanolanläggning hos Företag AB

Arbetets uppdrag av Företag AB är att utföra en fallstudie på en första generationens bioetanolanläggning som producerar bioetanol från spannmålsbaserade råvaror. Anläggningen byggdes med syftet att kunna ta vara på kasserade bageriprodukter från livsmedelsindustrin för att kunna producera bioetanol. Anläggningen har en maximal produktionskapacitet på 5000 m<sup>3</sup> ren bioetanol per år men klarar i nuläget endast av att producera 1000 m<sup>3</sup> per år.

### 2.4.1 Produktionsflöde

Figur 1 nedan illustrerar en schematisk bild på hur produktionsflödet ser ut i råvarumottagningssteget hos Företag AB. Ett antal punkter är markerade i figuren för att visa vilka delar i processen som är kritiska för produktionen.



(Dyvermark, 2017. Författarnas egna figur)

**Figur 1: Schematisk bild över mottagningssteg**

#### 2.4.1.1 Råvarumottagning – punkt 1

I detta steg levereras kasserat bageriavfall från livsmedelsindustrin till en lagringstank i storleken 44 m<sup>3</sup>. Leverans av bageriavfall sker med hjälp av lastbilar och är uppdelat på 5 veckodagar med en genomsnittlig mottagningskapacitet på 82 t/dag. Mottagningssteget har en maxkapacitet på 20 500 ton råämne/år och råämnet antas bestå av 66% förpackat och oförpackat bröd, 21% torra rester samt 13% deg. I botten av mottagningstanken sitter ett antal skruvtransportörer som ska mata råvaror vidare in i processen, dessa skruvtransportörer består av långa spiralskruvar kopplad via en växellåda till en elmotor som drivkälla. Efter att råvaran har matats vidare från mottagningstanken går materialet vidare till nästa skruvtransportör som leder till två valbara vägar i processen.

#### **2.4.1.2 Råvarukomprimator – punkt 2**

Efter att råvaran har transporterats från mottagningstanken kan två alternativa vägar väljas, en till komprimator och en till plastseparator, beroende på råvarubehovet i hydrolyssteg. Om hydrolyssteg inte kräver mer råvaror transporteras materialet till en råvarukomprimator som fungerar som en buffert till processen.

#### **2.4.1.3 Plastseparator – punkt 3**

Om processen väljer att ta den andra alternativa vägen matas materialet in i en plastseparator. Plastseparatorn har i uppgift att separera brödet från den plastförpackning som omsluter brödet. Plastseparatorn består av en stor metalltrumma med fastmonterade stålpadddlar runt sin axel. Metalltrumman roterar i hög hastighet med hjälp av en kraftig elmotor som är monterad vid sidan av och drivs genom remdrift. Brödet med sitt plasthölje matas in i plastseparatorn från ena sidan av separatorn och slås sedan sönder i bitar av stålpaddlarnas kraft. När brödet slås sönder i bitar/smulor faller det sedan ner i botten av plastseparatorn där ett grovt filter sitter monterat så att endast bröd kan falla igenom.

På grund av stålpaddlarnas vinkel och utformning tvingas plastförpackningarna följa trummans riktning tills att det faller ner i ett uppsamlingshål för plasten. För att förhindra att metallspill som brödklämmor och dylikt fortsätter vidare i processen går materialet igenom två stycken kraftiga magnetiserade uppsamlare både innan och efter plastseparatorn.

#### **2.4.1.4 Hydrolystank – punkt 4**

Detta steget utgör grunden till vilken kvalitet bioetanol kommer att erhållas. Här transporteras det krossade brödet från plastseparatorn in i hydrolystanken för att genomgå en förbehandling. Hydrolystanken består av ett stort slutet kärl med en toppmonterad blandare inuti. Efter att brödet matats in i tanken tillsätts vatten med en temperatur på 80–88°C som blandas med brödet och bildar en flytande massa. Under hydrolysen tillsätts enzymer kontinuerligt i rätt proportion gentemot den flytande massan, vilket sker genom doseringspumpar.

#### **2.4.1.5 Transportpump till fermentering – punkt 5**

Efter att hydrolysisprocessen är slutförd transporteras den flytande massan vidare genom en pump till en hackningsmaskin. Den har som uppgift att öka utbytet av bioetanol genom att hacka sönder massan ytterligare för att öka den kemiska mottagligheten. Därefter är massan redo för nedkylning och fermentering.

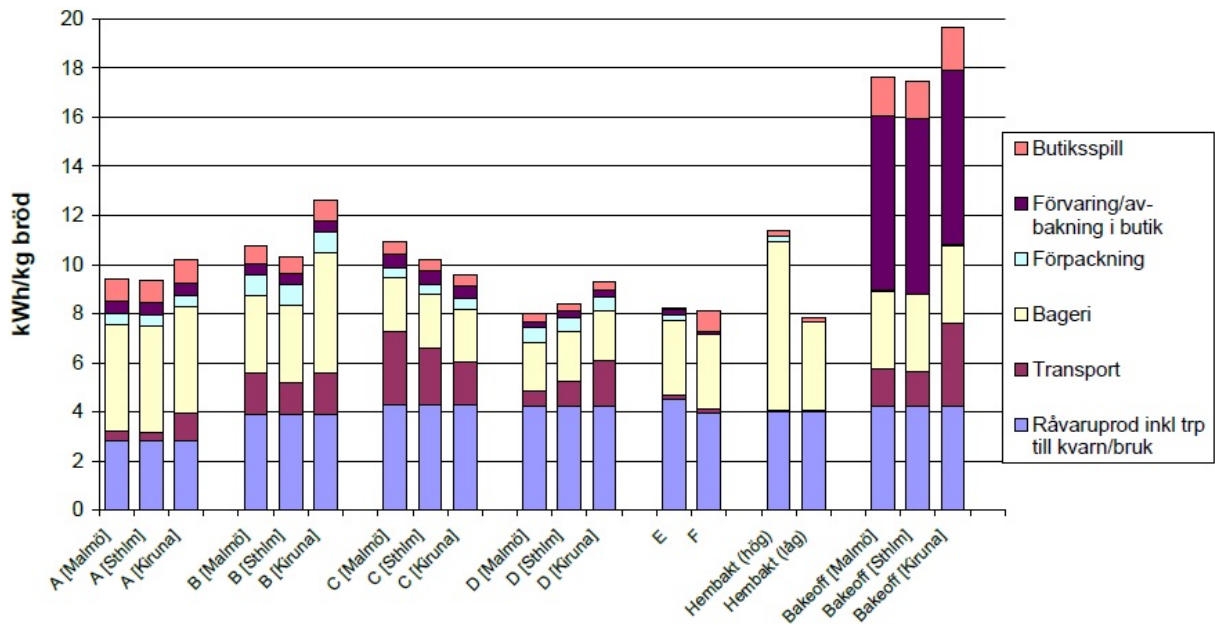
### **2.4.2 Drift**

Bioetanolanläggningen har en teoretisk produktionskapacitet på 5000 m<sup>3</sup> per år beräknat på att fermentering sker 8000 timmar per år och mottagning och hydrolyssteg är i drift 2730 timmar per år. På grund av driftsstörningar i mottagnings- och hydrolyssteg har destillationssteget inte haft möjlighet att producera den mängd bioetanol som anläggningen är dimensionerad för.

Efter inkörningsperioden av bioetanolanläggningen uppmärksammade personal hos Företag AB att produktionskapaciteten var kraftigt reducerad i processen. Mottagnings- och hydrolyssteg i anläggningen levererade inte tillräcklig mängd förbehandlad råvara till fermenterings- och destillationssteget för att uppnå den teoretiska produktionskapacitet som anläggningen är konstruerad för. Ett försök till att åtgärda problemet gjordes genom att göra mottagningstanken djupare och därmed öka mängden råvarumaterial men detta ledde till driftsstörningar i form av transportskruvar som inte orkade med det vridmoment som uppkom genom den ökade massan hos råvarumaterialet i mottagningstanken.

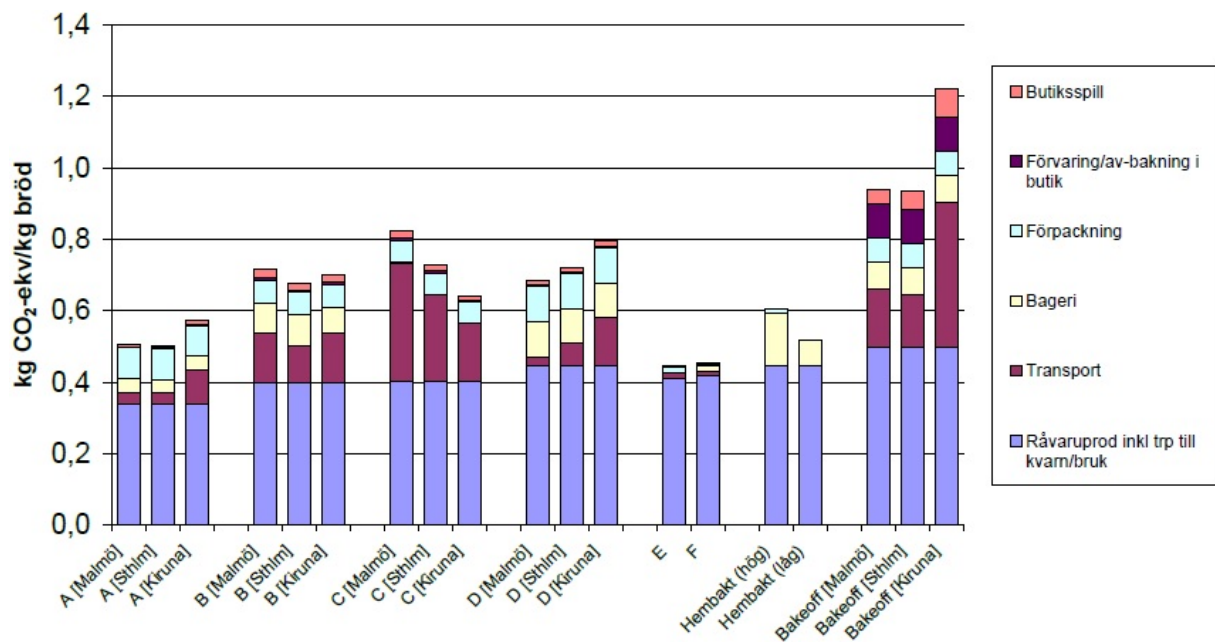
## **2.5 Brödproduktion i Sverige**

En forskningsstudie gjord av Angervall & Sonesson togs fram år 2011 för att upplysa allmänheten om miljöpåverkan från brödproduktion i Sverige. Studien togs fram på Institutet för Livsmedel och Bioteknik AB i samarbete med flera brödtillverkare. I studien samlades data in från industriella brödproducenter, mindre brödproducenter samt hembakning. Efter att en analys av all rådata gjorts, sammanställdes två stapeldiagram som visar hur stor miljöpåverkan var i g CO<sub>2</sub>-ekvivalenter/kg bröd samt hur mycket energi som gick åt vid brödtillverkning i kWh/kg bröd. I figurerna nedan redovisas denna data.



(Angervall & Sonesson, 2011)

**Figur 2: Energiförbrukning vid brödproduktion. A-D Industriell skala, färdigt bröd, nationella marknader. E-F Mindre skala, färdigt bröd, lokal marknad.**



(Angervall & Sonesson, 2011)

**Figur 3: Klimatpåverkan vid brödproduktion. A-D Industriell skala, färdigt bröd, nationella marknader. E-F Mindre skala, färdigt bröd, lokal marknad.**



I nedanstående tabeller redovisas den totala energiförbrukningen och de totala utsläppen vid brödproduktion samt den energiförbrukning och de utsläpp som endast sker vid transport. Den data som används är fritt tagen ur figur 2 samt figur 3 och är uppskattad utefter diagrammen i figurerna.

**Tabell 1: Energiförbrukning vid brödproduktion. Fritt taget ur Figur 2**

*Energiförbrukning vid brödproduktion, kWh/kg*

<u>Producent</u>	<u>Energiförbrukning</u>	<u>Energiförbrukning vid transport</u>
Industribageri Malmö	9,7	3,78
Industribageri Stockholm	9,6	3,75
Industribageri Kiruna	10,4	3,76
Hembakat	8,8	4
Bakeoff	18,4	4,3

(Andersson & Dyvermark, 2017)

**Tabell 2: Utsläpp vid brödproduktion. Fritt taget ur Figur 3**

*Utsläpp vid brödproduktion, kg CO<sub>2</sub>-ekv./kg bröd*

<u>Producent</u>	<u>Totalt utsläpp</u>	<u>Utsläpp vid transport</u>
Industribageri Malmö	0,67	0,39
Industribageri Stockholm	0,65	0,39
Industribageri Kiruna	0,67	0,39
Hembakat	0,55	0,45
Bakeoff	1,02	0,5

(Andersson & Dyvermark, 2017)

Som tidigare nämnt i rapporten når mycket av det bröd som produceras inte fram till konsumenterna utan istället slängs. Jordbruksverket har i samarbete med Statistiska Centralbyrån [SCB] redogjort statistik för hur mycket bröd och konditorivaror, hädanefter benämnt enbart som *bröd*, som har konsumerats under de senaste åren. Nedanstående tabell visar denna statistik i kg per person samt befolkningmängden i miljoner som fanns under samma period.

**Tabell 3: Direktkonsumtion av livsmedel**

*Direktkonsumtion av livsmedel, kg per person*

	<u>2013</u>	<u>2014</u>
<u>Befolkningstal, milj.</u>	9,600	9,696
<u>Varugrupp</u>		
Mjukt matbröd (MM)	52,2	51,8
Bullar, vetelängder och annat mjukt kaffebröd (BKV)	5,7	5,9
Bakelser, tårtor, sockerkakor och övriga bakverk (BTSB)	8,3	8,4
Summa	66,2	66,1

(SCB, 2016, s.234)

I tidigare forskning gjord av Ačanski, Pastor, Razmovski, Vučurović och Psodorov (2014) är det möjligt att se hur mycket bioetanol som kan produceras från avfall i form av bröd. Experimentet baseras på bröd med olika sammansättning av vete och rågvete. I nedanstående tabell redovisas den vilken sammansättning av mjöl som har använts per prov, den totala torrsubstansen (TS), vilken koncentration av stärkelse som har uppmätts samt hur mycket bioetanol som producerades per gram TS av bröd.

**Tabell 4: Sammansättning av bröd**

*Sammansättning av bröd, torrsubstans samt bioetanolutvinning*

<u>Prov</u>	<u>Vete, %</u>	<u>Rågvete, %</u>	<u>TSs, %</u>	<u>Bioetanol, g/g TS</u>
1	100	0	59,93	0,4081
2	0	100	59,18	0,3032
Medel	50	50	59,56	0,3556

(Ačanski, M., Pastor, K., Razmovski, R., Vučurović, V., Psodorov, Đ. (2014))

### **3 Metod**

*Detta kapitel redogör för vilka forskningsmetoder som arbetet har valt att använda för att besvara rapportens forskningsfrågor. Kapitlet beskriver även tillvägagångssättet i rapportens arbete.*

#### **3.1 Rapportens metodval och tillvägagångssätt**

Författarna till detta arbete valde att använda en metodkombination. En metodkombination innebär att rapporten är uppbyggd på både ett kvalitativt och ett kvantitativt sätt. En kvalitativ metod består utav datainsamling baserad på ord och beskrivningar och en kvantitativ metod består utav datainsamling baserad på siffror och tabeller. En metodkombination har valts då det genom denna är möjligt att kompensera de olika metodernas svagheter med den andra metodens styrkor (Denscombe, 2009).

Rapporten är utformad efter en deskriptiv metod vilket innebär en beskrivande studie. Deskriptivitet handlar om att beskriva ett fenomen genom ett så brett perspektiv som möjligt. Genom att undersöka olika aspekter och samband hos fenomenet erhålls en helhetsbild vilket ger stöd för att kunna besvara forskningsfrågorna (Lindfeldt, 2003).

För att kunna redovisa vilka orsaker som ligger till grund för företaget reducerade bioetanolproduktion har en fallstudie utförts. En fallstudie är en forskningsmetod som fokuserar på förekomster av ett särskilt fenomen i avsikt att tillhandahålla en djupgående redogörelse för händelser, förhållanden, erfarenheter eller processer som förekommer i detta särskilda fall (Denscombe, 2009). Genom att utföra en fallstudie har författarna möjlighet att studera bioetanolanläggningen hos Företag AB för att kunna analysera och redovisa de brister som finns i anläggningen.

#### **3.2 Datainsamling**

I studien har både primär- och sekundärdata samlats in. Primärdata innebär att författarna samlar in data som är specifikt för ämnesområdet medan sekundärdata är data som redan forskats om inom ämnet. Primärdata har samlats in genom muntliga källor och datablad från Företag AB för att kunna få en bra uppfattning om hur deras bioetanolanläggning är uppbyggd. Sekundärdata har samlats in genom studie av tidigare forskning i ämnet för att kunna skapa en relevant förståelse för ämnet och en relevant grund för de beräkningar som utförs.

De databaser som författarna har använt för att hitta sekundärdata är Chalmers söktjänst "Summon", Google Scholar och Web of Science.

### 3.3 Metoder för beräkningar

#### 3.3.1 Beräkningar för bioetanolproduktion av kasserade bageriprodukter

##### 3.3.1.1 Beräkningar av kasserade bageriprodukter och bioetanolproduktion

För att kunna beräkna den teoretiska bioetanolproduktionen från kasserade bageriprodukter i Sverige har följande antaganden gjorts. Dessa antaganden är relaterade till tabell 3.

1. Knäckebröd och flatbröd räknas ej in
2. Varorna mjukt matbröd samt bröd och konditorivaror delas upp på följande sätt: 75% är bakat på 100% vetemjöl och 25% är bakat på 100% rågmjöl.
3. Resterande bröd är bakade på 100% vetemjöl.

För att kunna beräkna den totala konsumtionen baserat på den data som redovisas i tabell 3 har följande ekvation använts där,  $B_{kons}$  är den totala mängden konsumerat bröd,  $P$  är befolkningens mängden omräknat i miljoner och  $m_{kons}$  är mängden bröd som konsumerats per person.

$$B_{kons} = \frac{P \times 10^6 \times m_{kons}}{10^6} = P \times m_{kons}$$

*Ekvation 3*

Tidigare i rapporten redogörs det för att 21% av alla bageriprodukter som produceras inte blir konsumerat utan istället kasseras. För att kunna beräkna hur mycket bageriprodukter som slängs har följande ekvation använts där  $B_{kons}$  är den totala mängd bageriprodukter som konsumerats, uträknat utefter ekvation 3 och  $IK$  är mängden icke konsumerat bröd.

$$IK = \frac{B_{kons}}{79} \times 21$$

*Ekvation 4*

För att kunna beräkna den totala mängden bageriprodukter har följande ekvationer använts där,  $B_V$  och  $B_R$  är bröd baserat på de olika mjölsorterna,  $MM$ ,  $BKV$  och  $BTSB$  är de olika brödsorterna (tagna ur tabell 3) och  $\%_{ant}$  är taget ur de antaganden gjorda i kapitel 3.3.1.1. Eftersom mängden bröd baserat på rågmjöl bara räknas in i mjukt matbröd bortses variablerna  $BKV$  och  $BTSB$  vid denna uträkning.

$$B_V = MM \times \%_{ant} + BKV \times \%_{ant} + BTSB$$

*Ekvation 5*

$$B_R = MM \times \%_{ant}$$

*Ekvation 6*

För att kunna beräkna den mängd torrsubstans som är möjlig att utvinna ur den mängd bröd som har beräknats utefter ekvation 5 & 6 har följande ekvation använts där TS är mängden torrsubstans,  $B_x$  är bröd baserat på de olika mjölsorterna och  $\%_{TS}$  är den procentandel baserad på vilken sorts mjöl brödet innehåller och är tagen ur tabell 4.

$$TS = B_x \times \%_{TS}$$

*Ekvation 7*

När mängden torrsubstans är känt är det nu möjligt att kunna beräkna den teoretiska mängden bioetanol som går att framställa ur denna. Med den data som finns i tabell 4 är det känt hur mycket bioetanol som går att framställa per gram torrsubstans och följande ekvation har använts för att beräkna detta där  $BE_t$  är den teoretiska mängden bioetanol,  $TS_{\text{år}}$  är den mängd torrsubstans som producerades per år,  $BE_{TS}$  är den mängd bioetanol som är möjlig att utvinna per gram torrsubstans och  $\rho$  är densiteten för etanol.

$$BE_t = \frac{TS_{\text{år}} \times 10^3 \times BE_{TS}}{\rho}$$

*Ekvation 8*

Det redogörs även för hur mycket av bränslet E85 som kan produceras av den uträknade mängden bioetanol med följande ekvation där  $E85_{\text{btot}}$  är den totala mängden E85 som kan produceras från bröd. Procentdelarna som har använts är den mängd etanol och bensin som används i E85. Dessa procentandelarna är redogjorda för tidigare i rapporten, se sektion 2.2.1.

$$E85_{\text{btot}} = \frac{\text{delen}_{\text{bioetanol}}}{\text{procentandelen}_{\text{bioetanol}}} \times \text{procentandelen}_{\text{bensin}} + \text{delen}_{\text{bioetanol}}$$

*Ekvation 9*

### 3.3.1.2 Beräkningar av energiinnehåll och energiförbrukning

E85 har ett energiinnehåll på 6 300 kWh/m<sup>3</sup> (Svenska Petroleum & Biodrivmedel Institutet [SPBI], 2016) och med detta känt är det möjligt att beräkna hur mycket energi den totala mängden E85 innehåller. Detta är gjort med följande ekvation där  $E_{\text{itot}}$  är den totala mängden energi,  $E85_{\text{år}}$  är den mängd producerad E85 per år,  $E_{E85}$  är energiinnehållet i en m<sup>3</sup> E85. Denna produkt divideras sedan med 10<sup>6</sup> för att få resultatet i GWh.

$$E_{\text{itot}} = \frac{E85_{\text{år}} \times E_{E85}}{10^6}$$

*Ekvation 10*

För att kunna beräkna den totala energiförbrukningen vid produktionen av de olika brödsorterna har författarna valt att göra följande antaganden. Se figur 2 för referens.

1. Mjukt matbröd: 90% bakat på industribagerier och jämnt uppdelat på varje ort. 10% är bakeoff.
2. Resterande brödsorter antas vara bakade på närliggande bagerier och då ingen data har hittats på energiförbrukningen för närliggande bagerier används datan på energiförbrukningen från hembakning.
3. Endast det slängda brödet kommer att ingå i beräkningarna.

För att kunna beräkna den totala energiförbrukning vid brödproduktionen har följande ekvation använts där  $E_{ftot}$  är den totala mängden förbrukad energi,  $m_{bröd}$  är mängden bröd som producerat genom varje produktionssätt i tton och  $E_{förbrukning}$  är förbrukningen för varje produktionssätt. Beräkningarna från varje produktionsort har summerats ihop.

$$E_{ftot} = \sum m_{bröd} \times E_{förbrukning}$$

*Ekvation 11*

Enligt SPBI (2010) räcker 1 MWh till att köra en bensindriven personbil ca 130 mil och enligt Trafikanalys (2014) redogör för att, under 2014, medelkörsträckan för en vanlig personbil var ungefär 1 222 mil samt att den totala mängden personbilar i drift var 4 585 519 stycken. Under 2013 var medelkörsträckan 1 223 och den totala mängden personbilar i drift var 4 495 473 stycken (Trafikanalys, 2013).

För att kunna beräkna hur många personbilar som energiinnehållet i den totala mängden producerad E85 räcker till har följande ekvation använts där  $Fordon_{tot}$  är den totala mängden fordon som energiinnehållet i den beräknade mängden E85 räcker till,  $E_{itot}$  är energiinnehållet i den producerade mängden E85, uträknat med ekvation 10, och MK är medelkörsträckan per år.

$$Fordon_{tot} = \frac{E_{itot}}{\frac{MK}{130}}$$

*Ekvation 12*

### **3.3.1.3 Beräkningar av utsläpp**

Vid bioetanolproduktion är en av restprodukterna CO<sub>2</sub>. I ekvation 2 redogörs det för att det produceras lika många CO<sub>2</sub>-molekyler som etanolmolekyler. Med denna information känd är det möjligt att beräkna den totala mängden CO<sub>2</sub> som produceras vid bioetanolproduktion. Följande ekvation har använts där CO<sub>2u</sub> är den totala mängden CO<sub>2</sub> som släppts ut, V är den totala volymen producerad bioetanol under år 2013 och 2014,  $\rho_{etanol}$  är densiteten för etanol och M är molmassan för etanol och CO<sub>2</sub>.

$$CO_{2u} = \frac{V_{bioetanol} \times \rho_{etanol} \times M_{etanol}}{M_{CO_2}} \times 10^{-3}$$

*Ekvation 13*

Den totala mängd CO<sub>2</sub> som släppts ut under brödproduktionen har beräknats enligt ekvation 11 med undantaget att E<sub>förbrukning</sub> är ersatt med värdena på utsläpp från figur 2. Dessa värden har behandlats likadant som E<sub>förbrukning</sub>.

### **3.3.2 Beräkningar för bioetanolproduktion av spannmålsprodukter**

#### **3.3.2.1 Beräkningar av mjölproduktion och bioetanolproduktion**

Istället för att producera bröd som sedan kasseras hade det varit möjligt att producera bioetanol direkt från de spannmålsprodukter som brödet innehåller. Detta spannmål kommer att benämnas som *mjöl*. Ačanski et al. (2014, s. 42) redogör för hur mycket bioetanol som kan produceras från de olika brödsorterna. Enligt deras forskning ger bröd baserat på rågveten en utdelning som är 25,7% lägre än bröd baserat på vetemjöl. Med detta känt är det möjligt att göra antagandet att detta också gäller för om det skulle produceras bioetanol direkt från spannmål. Det har även gjorts fler antaganden och dessa presenteras nedan:

1. Vid produktionen av bröd har följande andel av ingredienser använts:
  - a. 70% mjöl
  - b. 25% vatten
  - c. 5% diverse ingredienser såsom salt, jäst etc.
2. Andel ingredienser är likadana för alla brödsorter
3. Tillfört socker bortses från

När dessa antaganden har gjorts är det möjligt att beräkna hur mycket mjöl som ingått i den producerade mängden bröd som sedan slängs. Följande ekvation har använts där M<sub>V</sub> och M<sub>R</sub> är den totala mängden vete- och rågmjöl, B<sub>x</sub> är den totala brödmängden taget ur tabell 6.

$$M_V = B_V \times \%_{mjöl}$$

*Ekvation 14*

$$M_R = B_R \times \%_{mjöl}$$

*Ekvation 15*

I en forskningsartikel skriven av Gadonna-Widehem, Debiton, Marier, Rhazi och Branlard (2011, s. 988) redogörs det för hur mycket bioetanol som är möjlig att producera ur olika sorters vete. Resultatet av artikeln visar att medelvärdet på den producerade mängden bioetanol är 463,93 L/ton vete. Med antagandet som gjorts i tidigare i kapitlet blir då den teoretiska bioetanolproduktionen från rågveten 355,69 L/ton.

Med detta känt är det nu möjligt att beräkna hur mycket bioetanol som är möjlig att producera från den mängd mjöl som använts vid brödproduktionen. Detta har gjorts enligt följande ekvation där  $E85_{mtot}$  är den totala mängden E85 som kan produceras från mjöl,  $m_{mjöl}$  är massan mjöl i ton och  $BE_{mjöl}$  är den teoretiska bioetanolproduktionen per ton mjöl för de bägge mjölsorterna.

$$E85_{mtot} = \frac{m_{mjöl} \times 10^3 \times BE_{mjöl}}{10^3} = m_{mjöl} \times BE_{mjöl}$$

*Ekvation 16*

### **3.3.2.2 Beräkningar av energiinnehåll och energiförbrukning**

Energiinnehållet och energiförbrukningen har beräknats med ekvation 10 & 11, med undantag för att hembakning och bakeoff inte räknas med.

### **3.3.2.3 Beräkningar av utsläpp**

Eftersom det inte har producerats bröd av detta mjöl uppstår endast utsläpp under transport samt bioetanolproduktion. Beräkningarna är utförda med ekvation 12, med undantaget att hembakning och bakeoff inte räknas med. Mjölproduktionen är likgiltigt uppdelat utefter de tre olika produktionsorterna.

## **3.4 Fallstudie av bioetanolanläggning hos Företag AB**

För att fallstudien av bioetanolanläggningen var möjlig att utföra har det varit av stor vikt att samla in relevant data. Genom att ha gått igenom datablad och anläggningsbeskrivningar hos Företag AB har författarna kunnat samla in en stor mängd data för att kunna redogöra för och analysera de orsakerna till att bioetanolanläggningen inte fungerar optimalt. Genom att också kunna observera både anläggningen i naturlig miljö samt trender för hur driften ser ut idag och jämföra detta med anläggningsbeskrivningar har det varit möjligt att upptäcka de potentiella orsakerna till de driftstörningar som bioetanolanläggningen hos Företag AB har idag.

Fallstudien har utförts på mottagningssteget i anläggningen. Anläggningens mottagningssteg delas upp i följande steg:

1. Mottagningstank → plastseparator
2. Plastseparator → hydrolystank
3. Hydrolystank → fermentering

För att analysera varför driftstörningar uppstår har observationer gjorts i form av visuella inspektioner och observationer, informationsutbyte med driftansvarig personal samt kontroll av driftstrender.



## 4 Resultat

I detta kapitel redogörs det för de teoretiska beräkningar samt resultatet av de observationer som gjorts av bioetanolanläggningen hos Företag AB. Resultaten redovisas utefter forskningsfrågornas följd.

### 4.1 Resultat av beräkningar av bioetanol baserat på kasserade bageriprodukter

#### 4.1.1 Kasserade bageriprodukter och bioetanolproduktion

Tabell 5 presenterar den totala konsumtionen av bröd under 2013 och 2014 från tabell 3 omräknat i tusen ton (tton) per år samt den beräknade mängd icke konsumerat (IK) bröd per år baserat uträkningar efter ekvation 4.

*Tabell 5: Mängd konsumerad och icke konsumerad bröd*

*Mängd konsumerad och icke konsumerad bröd, tton*

<u>Varugrupp</u>	<u>2013</u>	<u>IK 2013</u>	<u>2014</u>	<u>IK 2014</u>
Mjukt matbröd (MM)	501,12	133,21	497,28	132,19
Bullar, vetelängder och annat mjukt kaffebröd (BKV)	54,72	14,55	56,64	15,06
Bakelser, tårter, sockerkakor och övriga bakverk (BTSB)	79,68	21,18	80,64	21,44

(Andersson & Dyvermark, 2017)

Tabell 6 presenterar den totala mängd bröd, räknat i tton, som är tillverkat på de två olika mjölsorterna baserat på data i tabell 5 och på de antaganden som gjordes tidigare i rapporten, samt den totala mängden torrsbstans som är möjlig att utvinna från detta bröd baserat på värdena i tabell 3.

*Tabell 6: Beräknad mängd bröd baserat på mjölsort*

*Beräknad mängd bröd baserat på mjölsort i tton samt mängden torrsbstans i tton*

<u>Varugrupp</u>	<u>2013</u>	<u>TS 2013</u>	<u>2014</u>	<u>TS 2014</u>
Bröd med vetemjöl (B <sub>V</sub> )	135,63	81,29	135,63	81,29
Bröd med rågmjöl (B <sub>R</sub> )	33,30	19,81	33,06	19,56

(Andersson & Dyvermark, 2017)

Tabell 7 presenterar den beräknade mängden bioetanol som det teoretiskt sett skulle vara möjlig att framställa under år 2013 och 2014 samt den mängd E85 som är möjlig att producera från den uträknade mängden bioetanol. Datan redovisas i m<sup>3</sup>.

**Tabell 7: Beräknad mängd bioetanolproduktion från bröd**

*Beräknad mängd bioetanolproduktion från bröd, m<sup>3</sup>*

<u>Varugrupp</u>	<u>2013</u>	<u>2014</u>
Bioetanol från TS baserat på vetemjöl	42 043,67	42 043,67
Bioetanol från TS baserat på rågmjöl	7 573,58	7 515,54
Totalt	49 617,24	49 559,21
E85	58 373,23	58 304,95

(Andersson & Dyvermark, 2017)

#### **4.1.2 Energiinnehåll och energiförbrukning**

Tabell 8 presenterar det totala energiinnehållet, räknat i GWh, i den beräknade mängden E85 som skulle vara möjlig att producera av den brödbaserade bioetanol som kunde produceras under år 2013 och 2014.

**Tabell 8: Beräknat energiinnehåll i den producerade mängden E85, brödbaserat**

*Beräknat energiinnehåll i den producerade mängden E85, brödbaserat, GWh*

<u>Varugrupp</u>	<u>2013</u>	<u>2014</u>
Energiinnehåll	367,75	367,32

(Andersson & Dyvermark, 2017)

Tabell 9 presenterar den beräknade mängden fordon som skulle kunna drivas av det energiinnehåll som den beräknade mängden E85 producerat från kasserade bageriprodukter.

**Tabell 9: Beräknad mängd fordon som kan drivas av E85 producerat av kasserade bageriprodukter**

*Beräknad mängd fordon som kan drivas av E85 producerat av kasserade bageriprodukter, antal*

<u>Varugrupp</u>	<u>2013</u>	<u>2014</u>
Antal personbilar	39 090	39 077
Andel av totalt antal personbilar	0,9%	0,9%

(Andersson & Dyvermark, 2017)

Tabell 10 presenterar den beräknade energiförbrukningen som sker vid brödproduktion, räknat i GWh.

**Tabell 10: Beräknad energiförbrukning vid brödproduktion**

*Beräknad energiförbrukning vid brödproduktion, GWh*

<u>Varugrupp</u>	<u>2013</u>	<u>2014</u>
Mjukt matbröd	1 186,89	1 177,80
Bakeoff	245,10	243,23
Bullar, vetelängder och annat mjukt kaffebröd	128,00	132,49
Bakelser, tårtor, sockerkakor och övriga bakverk	186,39	188,64
Totalt	1 746,39	1 742,16

(Andersson & Dyvermark, 2017)

### 4.1.3 Utsläpp

Tabell 11 presenterar den beräknade mängden utsläpp av CO<sub>2</sub> som sker vid både bioetanolproduktion och brödproduktion. Utsläppen från brödproduktion är baserat på den mängd som krävs för att producera den mängd bioetanol redovisat i tabell 7. Datan redovisas i ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter.

**Tabell 11: Beräknat utsläpp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter från bioetanolproduktion av bröd**

*Beräknat utsläpp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter från bioetanolproduktion av bröd, ton*

<u>Varugrupp</u>	<u>2013</u>	<u>2014</u>
Mjukt matbröd	79,53	78,92
Bakeoff	13,59	13,48
Bullar, vetelängder och annat mjukt kaffebröd	8,00	8,28
Bakelser, tårtor, sockerkakor och övriga bakverk	11,65	11,79
Bioetanolproduktion	40,98	40,93
Totalt	153,74	153,40

(Andersson & Dyvermark, 2017)

## 4.2 Resultat av beräkningar av bioetanol baserat på spannmål

### 4.2.1 Spannmålsproduktion och bioetanolproduktion

Tabell 12 presenterar den totala mängd mjöl, räknat i tton, som det bröd som slängs innehåller.

**Tabell 12: Beräknad mängd mjöl**

*Beräknad mängd mjöl, tton*

<u>Varugrupp</u>	<u>2013</u>	<u>2014</u>
Vetemjöl	94,94	94,94
Rågmjöl	23,31	23,13

(Andersson & Dyvermark, 2017)

Tabell 13 presenterar den totala mängd bioetanol samt den mängd E85 som kan produceras av denna bioetanol, räknat i m<sup>3</sup>.

**Tabell 13: Beräknad mängd bioetanolproduktion från mjöl**

*Beräknad mängd bioetanolproduktion från mjöl, m<sup>3</sup>*

<u>Varugrupp</u>	<u>2013</u>	<u>2014</u>
Bioetanol från vetemjöl	44 047,09	44 047,09
Bioetanol från rågmjöl	8 291,70	8 228,16
Totalt	52 338,79	52 275,25
E85	61 575,05	61 500,30

(Andersson & Dyvermark, 2017)

#### 4.2.2 Energiinnehåll och energiförbrukning

Tabell 14 presenterar det totala energiinnehållet, räknat i GWh, i den beräknade mängden E85 som skulle vara möjlig att producera av den spannmålsbaserade bioetanol som kunde produceras under år 2013 och 2014.

**Tabell 14: Beräknat energiinnehåll i den producerade mängden E85, mjölbaserat**

*Beräknat energiinnehåll i den producerade mängden E85, mjölbaserat, GWh*

<u>Varugrupp</u>	<u>2013</u>	<u>2014</u>
Energiinnehåll	387,92	387,45

(Andersson & Dyvermark, 2017)

Tabell 15 presenterar den beräknande energiförbrukningen som sker vid brödproduktion, räknat i GWh.

**Tabell 15: Beräknad energiförbrukning vid mjölproduktion**

*Beräknad energiförbrukning vid mjölproduktion, GWh*

<u>Varugrupp</u>	<u>2013</u>	<u>2014</u>
Vetemjöl	357,30	357,30
Rågmjöl	87,73	87,06
Totalt	445,03	444,36

(Andersson & Dyvermark, 2017)

### 4.2.3 Utsläpp

Tabell 16 presenterar den beräknade mängden utsläpp av CO<sub>2</sub> som sker vid både bioetanolproduktion och brödproduktion. Utsläppen från mjölproduktionen är baserat på den mängd som krävs för att producera den mängd bioetanol redovisat i tabell 12. Datan redovisas i ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter.

**Tabell 16: Beräknat utsläpp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter från bioetanolproduktion av mjöl**

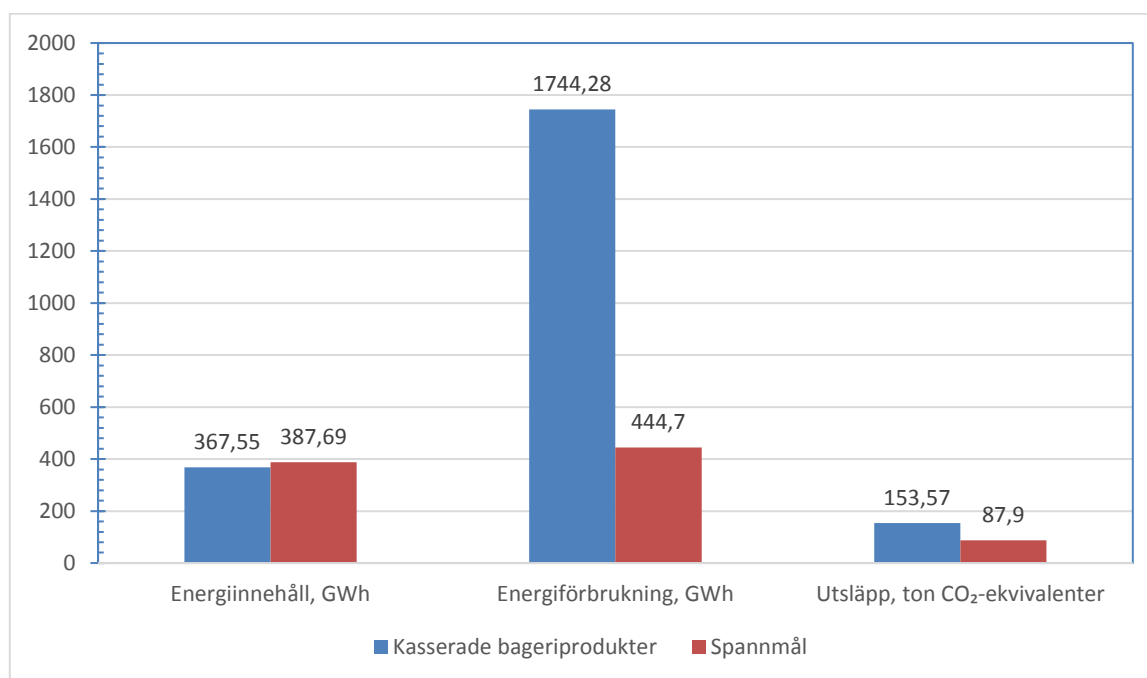
Beräknat utsläpp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter från bioetanolproduktion av mjöl, ton

Varugrupp	2013	2014
Vetemjöl	37,03	37,03
Rågmjöl	9,09	9,02
Bioetanolproduktion	42,33	41,29
Totalt	88,45	87,34

(Andersson & Dyvermark, 2017)

### 4.3 Jämförelse mellan olika råvaror

Figur 4 presenterar en jämförelse mellan vilket energiinnehåll, energiförbrukning samt utsläpp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter som de två olika råvarorna har.



**Figur 4: Jämförande diagram mellan bioetanol baserat på de olika råvarorna**

#### **4.4 Resultat av fallstudie av bioetanolanläggning hos Företag AB**

Resultaten från fallstudien visar en sammanställning av de uppmärksammade observationer som författarna har åstadkommit genom visuell inspektion, konversationer med ansvarig driftspersonal samt överblick av driftstrender. De observationer som listas nedan förklaras utförligare i diskussionskapitlet.

##### **4.4.1 Mottagningsstank till plastseparator**

- Stora och grova plastförpackningar i mottagningscontainer leder till igensättning av transportskruvar, rör och metallavskiljare.
- Stopp av transportskruvar vid för högt vridmoment som följd av övervikt i mottagningscontainer vid för mycket råvara.
- Brist på redundans i anläggningen som leder till onödigt långa driftstopp vid driftstörningar då hela mottagningssteget måste stoppa.

##### **4.4.2 Plastseparator till hydrolystank**

- Driftstopp av plastseparator som följs av igensättning av centrifugtrumma vid grova plastförpackningar.
- Högt vridmoment och igensättning hos transportskriv från plastseparator till hydrolystank som följd av fuktigt bröd och degrester efter separering.

##### **4.4.3 Hydrolystank till fermentering**

- Driftstopp av omrörare i hydrolystank då vattentillförsel stryptes och endast torr bröds substans transporterats in i tanken som följd av programfel.

## 5 Diskussion

*I detta kapitel diskuteras de resultat som framkommit i rapporten samt tillvägagångssättet författarna har använt för att få fram resultaten.*

### 5.1 Resultatdiskussion

Genom att framställa bioetanol från kasserade bageriprodukter förlängs livscykeln för råvaran och energi omvandlas till något användbart istället för att kasseras och förmultnas. Eftersom överproduktionen av livsmedel visats vara hög på grund av konsumenternas efterfrågan går mycket av det livsmedel som produceras till spillo. Att ta vara på det svinn från livsmedelsindustrin och använda detta till att producera bioetanol kan ses som en väldigt miljövänlig och hållbar metod. Men vägen från bonde till producent och vidare till konsument är lång. Tabell 8 och 10 visar tydligt hur energiförbrukningen samt utsläppen av växthusgaser går hand i hand med hur mycket råvarorna bearbetas.

Rapportens resultat visar att den totala mängden energi som kan nyttjas genom bioetanol (E85) från kasserade bageriprodukter hade kunnat tillgodose bränsle till ca 39 100 bilar både under år 2014 och år 2013, vilket motsvarar ca 1% av alla personbilar under samma period. Detta kanske inte låter mycket vid första anblick men ses det i ett hållbart perspektiv så hade CO<sub>2</sub>-utsläppen från dessa 39 000 bilar minskat med över 80 %. Som tidigare nämnt blir kraven på farliga utsläpp i miljön alltmer hårdare för varje år, vilket innebär att varje åtgärd mot en grönare miljö är viktig. Bioetanolproduktionen som Företag AB fördriver är ett steg i rätt riktning där de tänkt ett steg längre genom att genom forskning och teknisk utveckling tagit fram ett sätt att ta vara på en del av de kasserade bageriprodukterna som existerar i Sverige.

Om bioetanolproduktion från kasserade bageriprodukter skulle vara hållbart rent miljö- och energimässigt hade råvaran till produktionen behövas tas ett steg bakåt i processen. Alltså hade råvaran behövt komma direkt från bonden då spannmålet är rått och inte processat i en kvarn och bageri. Men då överproduktionen av bröd ser ut som den gör idag så grundas problemet i konsumenternas händer. Eftersom befolkningen i Sverige köper mer bröd än vad de konsumerar så kommer bagerierna fortsätta hålla en överproduktion av bröd. Att ta vara på kasserade bageriprodukter och framställa bioetanol är självklart en mer hållbar metod än att kassera och låta det förmultna.

Under fallstudien har författarna observerat mottagnings- och hydrolyssteg i bioetanolanläggningen hos Företag AB under normal drift. De observationer som gjorts har visat på att råvaran som transporteras in i anläggningen från mottagningstanken ofta fastnar och sätter igen flödet i vissa kritiska punkter. Genom att observera driftstrender och normalvärden på massflöden i anläggningen ger det en tydlig bild på att de teoretiska driftvärdena skiljer sig långt ifrån de verkliga. Eftersom massflöden innan och efter varje komponent inte gick att tillgå samt att driftstörningar var så varierande så gav observationerna inget tydligt resultat på att det var en enstaka felorsak som ledde till de driftstörningar som observerades. Under

fallstudiens gång observerades råvarumaterialet som levererades till anläggningen och det visade tydligt att kvaliteten och förpackningen på råvaran varierade ofta. Under dessa observationen följdes även driftsvärden upp på hur massflöden och eventuella driftstopp påverkades vid olika fall av råvarukvalitet och förpackningssätt. Resultaten visade att förpackningar av grövre slag hade en stor inverkan på anläggningens drift i form av igensättning.

De driftstopp som uppstod vid igensättning skedde på flera olika ställen i anläggningens flödesriktning men ett vanligt förekommande fel var att plastseparatorn sattes igen av grova plastförpackningar. Då klarade inte separatorn att utföra en full separering då plastförpackningarna lindade in sig i sig själva och fastnade runt separatorns rotationsaxel. Detta medförde att driftpersonal stänga av hela mottagningssteget för att öppna upp och rengöra separatorn. Ett driftstopp av denna typ kunde ske upp till tre gånger per dag vid dålig råvarukvalitet, vilket innebar ett driftstopp på 30 minuter per rengöring och 90 minuter per dag.

Andra driftstopp som observerades var transportskruvar som sattes igen både innan och efter plastseparatorn, då råvarumaterialet transporterades kunde förpackningar av udda form fastna emot plåtkanter och sätta stopp för flödet. Eftersom transportskruvarnas kapacitet var hög byggdes det fort upp alltmer råvarumaterial innan flödesstoppet, vilket resulterade i att transportskruvarnas momentgivare larmade på för högt moment och därmed stannade mottagningsprocessen upp för rengöring. Alla olika driftstopp som observerades under fallstudiens gång tyder på att anläggningskomponenterna i mottagningssteget inte är kompatibla till att bearbeta råvarumaterial av onormal kvalitet.

Eftersom råvarumaterialet är livsmedelssvinn är det svårt för den person som ansvarar för inköp av råvarumaterialet att veta vilken typ av kvalitet som levereras. Resultaten av fallstudien visade att de råvarumaterial som anläggningen klarade av att bearbeta bäst var kasserade bageriprodukter med plastförpackning som inte var förpackade i grova sopsäckar, alltså precis som det ser ut på hyllan i affären. Denna observation stärks av att enligt de specifikationer på anläggningens komponenter är det råvarumaterial endast av denna sort som anläggningen klarar av att bearbeta.

Efter att observationer har gjorts på anläggningen syns det att en tydlig redundansbrist fanns. För att uppnå en effektiv drift av en process med flera steg så är en hög redundans ett bra val, då ökar man processens tolerans mot fel och avvikelser. I detta fall med anläggningen hos Företag AB hade ett enkelt sätt till att öka redundansen kunnat vara att öka antalet transportskruvar i början av processen där problem ofta uppstår. På så sätt hade inte igensättning av en transportskriv påverkat driften i resten av anläggningen då en annan transportskriv skulle avlasta kontinuerligt, vilket hade resulterat i en jämnare drift av anläggningen och antal driftstopp skulle minskat.



När en anläggning av denna storlek inte fungerar optimalt så går det inte att avgöra exakt vad som är fel utan det krävs en djupare undersökning både på mjukvarunivå samt komponentnivå för att få en helhetsbild över problemet.

## **5.2 Metoddiskussion**

Grundidén till detta arbete väcktes till liv när författarna fick en förfrågan av Företag AB om att genomföra en teknisk analys av en fullskalig bioetanolanläggning för att öka produktionsvolymen hos denna. Författarna tackade ja till förfrågan, men valde att utveckla idén och göra en bredare forskning om bioetanolframställning i Sverige. För att säkerhetsställa reliabiliteten och relevansen av vetenskapliga källor har författarna kontrollerat årtal, citeringar och referenser. Under studiens gång har författarna säkerhetsställt att datainsamling och observationer som utförts har haft god validitet genom att kontrollera den data som samlats in med sekundära källor.

Då tidigare forskning kring ämnet fanns tillgängligt lämpade sig rapportens val av metod bra för undersökningen. Insamling av sekundärdata gav en bred och tydlig grund till att besvara forskningsfrågor och ett reliabelt resultat. Författarna anser dock att de värden som samlats in för beräkning av den teoretiska produktionen av bioetanol skulle kunna ge ett ännu mer reliabelt resultat om ett mer fördjupat fältexperiment utfördes.

Detta fältexperiment skulle i så fall utföras genom att göra provtagning på olika leveranser av kasserade bageriprodukter till Företag AB och framställa bioetanol i en laboratoriemiljö. Vid undersökningen av fallstudien så hade intervjuer hos andra företag med liknande processer lämpat sig bra. Då hade författarna kunnat jämföra olika produktionsmetoder och behandlingssätt mellan processerna och få en tydligare bild över hur en optimal process hade kunnat se ut.

## 6 Slutsatser

*I detta kapitel redovisas de resultat som framkommit ur rapporten i ett förkortat format. Det redogörs även för olika ämnen som författarna anser är relevanta att göra vidareforskning på.*

### 6.1 Vilket råvarumaterial är att föredra för att uppnå en miljömässigt hållbar bioetanolproduktion?

Kasserade bageriprodukter är inte en miljömässigt hållbar råvara att producera bioetanol på. Bioetanolproduktion från rent spannmål har en energiförbrukning som är avsevärt mycket mindre, ger mindre utsläpp och ger en högre utdelning gentemot kasserat bageriavfall, vilket bevisar att rent spannmål är en miljömässigt hållbar råvara för bioetanolproduktion.

### 6.2 Till vilken grad kan bioetanol från överproduktion av bröd konkurrera mot fossila bränslen som motorbränsle?

Då energimängden från den bioetanol som kan produceras från kasserade bageriprodukter under 2014 endast kan tillgodose cirka 1% av Sveriges bensindrivna bilar hade denna bioetanol inte kunnat konkurrerat mot fossila bränslen i någon större utsträckning under samma tidsperiod.

### 6.3 Vilka tekniska orsaker ligger till grund för driftstörningar i bioetanolanläggningen hos Företag AB?

Råvarans kvalitet och förpackningssätt är direkt relaterat till det minskade produktionsflöde som har uppstått då de komponenter som ingår i anläggningen har specifikationer och driftskrav som kräver uppföljning för att fungera optimalt. För att minska de driftstopp som sker kan det vara nödvändigt att upprätta ytterligare ett förbehandlingssteg för att öka anläggningens mottaglighet av onormal råvarukvalitet. Att inrätta redundans i anläggningens mest kritiska komponenter kan minska antalet driftstopp genom ökad tolerans mot driftstörningar.

### 6.4 Förslag på vidare forskning

- Utredda om bioetanolproduktion från lignocellulosisk biomassa är miljömässigt hållbart i längden och till vilken grad bioetanol från lignocellulosisk biomassa skulle kunna konkurrera mot fossila bränslen i Sverige.
- Fördjupad undersökning av bioetanolanläggning hos Företag AB för att utreda om kvaliteten på de kasserade bageriprodukterna påverkar de kemiska reaktioner som uppstår under hydrolys och fermentering.

## Referenser

Andrews, A-L., Sjölander, K. (2009). *FN:s klimatförhandlingar* [Faktablad]. Hämtad från <http://fn.se/wp-content/uploads/2016/08/Faktablad-Klimat.pdf>

Angervall, T., Sonesson, U. (2011). *Förenklad metod för klimat-/GWP-beräkningar av livsmedel (Slutrapport, Ver 1)*. Institutet för livsmedel och bioteknik. Hämtad från <http://www.jordbruksverket.se/download/18.5df17f1c13c13e5bc4f8000105/1370042502106/Förenklad+metod+för+klimatberäkningar+av+livsmedel+ve.pdf>

Ačanski, M., Pastor, K., Razmovski, R., Vučorović, V., Psodorov, Đ. (2014). Bioethanol production from waste bread samples made from mixtures of wheat and buckwheat flours. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 18(1), 40-43. Hämtad från <http://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/1821-4487/2014/1821-44871401040A.pdf>

Cardona, A. C., Sánchez, J. Ó. (2007). Fuel ethanol production: Process design trends and integration opportunities. *Bioresource Technology*, 98(12), 2415-2457. doi: 10.1016/j.biortech.2007.01.002

Carolan, M. S. (2010). *Sociological Look at Biofuels*. Hämtad från <http://ebookcentral.proquest.com/lib/chalmers/detail.action?docID=3018841>

Denscombe, M. (2009). *Forskningshandboken: för småskaliga forskningsprojekt inom samhällsvetenskaperna* (Vol. II). Lund: Studentlitteratur AB

Destillation. (u.d). I *Nationalencyklopedin*. Hämtad från <http://www.ne.se/lång/destillation> (2017-02-16)

de Souza, A.P., Grandis, A., Leite, D.C.C. et al. (2014). Sugarcane as Bioenergy Source: History, Performance, and Perspectives for Second-Generation Bioethanol. *BioEnergy Research*, 7(1), s-s. 24-35. doi:10.1007/s12155-013-9366-8

dos Santos, L. V., de Barros-Grassi, M. C., Gallardo J. C. M., Pirolla R. A. S., Calderón L. L., de Carvalho-Netto O. V., ... Pereira G. A. G. (2016) Second-Generation Ethanol: The Need is Becoming a Reality. *Industrial Biotechnology*, 12(1), 40-57. doi:10.1089/ind.2015.0017

Drank. (u.d). I *Nationalencyklopedin*. Hämtad från <http://www.ne.se/lång/drank> (2017-05-02)

Ebersson, L. (u.d). Etanol. I *Nationalencyklopedin*. Hämtad från <http://www.ne.se/lång/etanol> (2017-02-17)

Eidstedt, M., Wixe, E. (2016). *Livsmedelskonsumtion och näringsinnehåll* (Statistiska Meddelanden, JO 44 SM 1601) Statens Jordbruksverk. Hämtad från

[http://www.scb.se/contentassets/999ec4d420ce43f69cd557767fd11b3a/jo1301\\_2015a01\\_sm\\_jo44sm1601.pdf](http://www.scb.se/contentassets/999ec4d420ce43f69cd557767fd11b3a/jo1301_2015a01_sm_jo44sm1601.pdf)

Ellis, K., Tanneberger, K. (2015). *Study on the use of ethyl and methyl alcohol as alternative fuels in shipping*. Hämtad från <http://www.emsa.europa.eu/news-a-press-centre/external-news/item/2726-study-on-the-use-of-ethyl-and-methyl-alcohol-as-alternative-fuels-in-shipping.html>

Företag AB. (2016). *Operation Manual 10: Hydrolysis*. Opublicerat manuskript.

Företag AB. (2014). *Bruksanvisning 11: Fermentering*. Opublicerat manuskript.

Gadonna-Widehem, P., Debiton, C., Marier, D., Larbi, R., Branlard, G. A Laboratory Protocol for Determining Glucose and Maximum Ethanol Production from Wheat Grain: Application to a Complete Genetic Set of Near-Isogenic Waxy Lines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(4), 985-990. doi: 10.1021/jf204383u

Hallström, B. (u.d) I *Nationalencyklopedin*. Hämtad från [http://www.ne.se/lång/dehydrering-\(torkning-av-livsmedel\)](http://www.ne.se/lång/dehydrering-(torkning-av-livsmedel)) (2017-02-17)

IMO. (2017). *Sulphur oxides (SOx) – Regulation 14*. Hämtad från [http://www.imo.org/en/OurWork/environment/pollutionprevention/airpollution/pages/sulphur-oxides-\(sox\)-%E2%80%93-regulation-14.aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/environment/pollutionprevention/airpollution/pages/sulphur-oxides-(sox)-%E2%80%93-regulation-14.aspx)

Jordbruksverket. (2011). *Matsvinn – ett slöseri med resurser*. (Hållbar konsumtion av jordbruksvaror, 2011:20) Jordbruksverket. Hämtad från <http://webbutiken.jordbruksverket.se/sv/artiklar/hallbar-konsumtion-av-jordbruksvaror-3.html>

Kander, A. (2002). Economic growth, energy consumption and CO2 emissions in Sweden 1800-2000. Almqvist & Wiksell International. Hämtad från <https://lup.lub.lu.se/search/ws/files/4913240/1789938.pdf>

Kosaric, N., Duvnjak, Z., Farkas, A., Sahm, H., Bringer-Meyer, S., Goebel, O., Mayer, D. (2011). Ethanol. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 333-404 Hämtad från [https://doi.org/10.1002/14356007.a09\\_587.pub2](https://doi.org/10.1002/14356007.a09_587.pub2)

Kovessa, Maria R., Webb, C. (2013). *Food Industry Wastes: Assessment and Recuperation of Commodities*. Hämtad från <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpFIWARCOE/food-industry-wastes/food-industry-wastes>

Lindfelt, M. (2003). *Kompendium i Vetenskapligt-tekniskt skrivande i systematisk teologi*. Hämtad från <http://www.users.abo.fi/mlindfel/vetteknmat.doc>

Lundell, D. (2009). Ethanol's GHG reduction compared to gasoline seen growing to 55%: IEA report. *Ethanol & Biodiesel News*, 13. Hämtad från <http://search.proquest.com.proxy.lib.chalmers.se/docview/211515431?pq-origsite=summon>

MarketLine (2015). *Global Bread and Rolls*. MarketLine Industry Profile. Hämtad från <http://web.a.ebscohost.com.proxy.lib.chalmers.se/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&sid=fbe70542-1ac4-4c7b-a727-ba415f7d3aca%40sessionmgr4006&hid=4112t>

Statistiska Centralbyrån. (2016). *Jordbruksstatistik sammanställning 2016 med data om livsmedel – tabeller*. Hämtad från <http://www2.jordbruksverket.se/download/18.40bf03f155b59eb32ed8860/1467814436106/JO02BR1601.pdf>

Stärkelse. (u.d). I *Nationalencyklopedin*. Hämtad från <http://www.ne.se/lång/stärkelse> (2017-02-14)

Svenska Petroleum & Biodrivmedel Institutet. 2016. *Energiinnehåll, densitet och koldioxidemission*. Hämtad från <http://spbi.se/blog/faktadatabas/artiklar/berakningsmodeller/> (2017-02-27)

Svenska Petroleum & Biodrivmedel Institutet. 2010. *Jämförelsefaktorer*. Hämtad från <http://spbi.se/blog/faktadatabas/artiklar/jamforelsefaktorer/> (2017-05-25)

Svenska Petroleum & Biodrivmedel Institutet. 2017a. *Utlevererad volym av oljeprodukter och förnybara drivmedel*. Hämtad från <http://spbi.se/statistik/volymer/> (2017-02-27)

Trafikanalys. 2013. *Fordon 2013*. Hämtad från [http://www.trafa.se/globalassets/statistik/vagtrafik/fordon/fordon\\_2013.pdf](http://www.trafa.se/globalassets/statistik/vagtrafik/fordon/fordon_2013.pdf) (2017-05-25)

Trafikanalys. 2014. *Fordon 2014*. Hämtad från [http://www.trafa.se/globalassets/statistik/vagtrafik/fordon/fordon\\_2014.pdf](http://www.trafa.se/globalassets/statistik/vagtrafik/fordon/fordon_2014.pdf) (2017-05-25)

United Minds. (2013). *Bröd så in i Norden, en rapport om brödvänor, brödtrender och brödsvinn i de nordiska länderna. [Undersökning]*, 30–37. Hämtad från <https://pagen.se/globalassets/visste-du-att/pagen-brodrappporten.pdf>

US Department of Energy. (2013). *Handbook for Handling, Storing, and Dispensing E85 and Other Ethanol-Gasoline Blends*. Hämtad från [http://www.afdc.energy.gov/uploads/publication/ethanol\\_handbook.pdf](http://www.afdc.energy.gov/uploads/publication/ethanol_handbook.pdf)

US Energy Information Administration. (2017a). *Renewable Energy Production and Consumption by Source*. Monthly Energy Review. Hämtad från [http://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/pdf/sec10\\_3.pdf](http://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/pdf/sec10_3.pdf)

US Energy Information Administration. (2017b). *Fuel Ethanol Production*. International Energy Statistics. Hämtad från [https://www.eia.gov/beta/international/data/browser/#/?pa=000001&tl\\_id=79-A&vs=INTL.80-1-AFRC-TBPD.A&vo=0&v=H&start=1980&end=2014](https://www.eia.gov/beta/international/data/browser/#/?pa=000001&tl_id=79-A&vs=INTL.80-1-AFRC-TBPD.A&vo=0&v=H&start=1980&end=2014) (2017-03-02)