



Fakulteten för teknik- och naturvetenskap
Avdelningen för kemiteknik

Veronica Sundberg

Projektering av en etanolfermenteringsanläggning i pilotskala med Biostilteknologi

Design of a pilot-scale ethanol fermentation plant
applying the Biostil technology

Examensarbete 20 poäng
Civilingenjörsprogrammet i kemiteknik

Datum/Termin: 07-05-18
Handledare: Lars Stenmarck
Examinator: Lars Nilsson

Sammanfattning

Detta examensarbete gjordes i samarbete med Chematur Engineering i Karlskoga.

Många av dagens miljöproblem kommer från biltrafiken. Förbrukning av fossila bränslen som exempelvis olja skadar vår miljö genom de utsläpp som bildas i form av koldioxid och andra växthusgaser. För att kunna få bukt med våra miljöproblem krävs det att substitut till olja hittas som är både kostnadseffektiva och miljövänliga.

Etanol har länge använts som drivmedel för fordon, det är ett mer miljövänligt alternativ samtidigt som det också har hög effektivitet.

5,75 % av de drivmedel som används i Sverige år 2010 ska vara förnyelsebara enligt EUs direktiv. Etanol är det förnyelsebara drivmedel som används mest internationellt och importerats till högsta grad. I Sverige idag tillverkas ca 70 miljoner liter om året och Lantmännens anläggning i Norrköping står för den största delen. Etanolen som produceras i Sverige kommer främst från spannmål som vete och korn, medan etanolproduktionen i ex. USA mestadels är majsbaserad.

Etanol kan framställas med fermentering från alla material innehållande socker eller någon form av kemisk sammansättning som kan omvandlas till socker. De råvaror som används vid etanolframställning via fermentering delas in i tre typer: socker, stärkelse och cellulosamaterial.

Biostil är en process utvecklad för att göra etanolproduktion så billig och miljövänlig som möjligt. Processen används för att tillverka både bränsleetanol och teknisk sprit och man använder sig av socker eller stärkelseinnehållande råvaror.

Chematur Engineering har utvecklat ett eget koncept inom Biostil kallat Biostil® 2000. Biostil går i kort ut på att få ut så mycket etanol som möjligt ur biomassa genom recirkulation och andra åtgärder för att minska exempelvis vattenanvändningen. Tanken är att Chematur Engineering ska bygga en biostil pilotanläggning på Kilsta industriområde för att kunna utveckla processen ytterligare.

Abstract

This degree thesis was made in cooperation with Chematur Engineering in Karlskoga.

Many of the environmental issues of today are a result of the motor traffic. Consumption of fossil fuels harms our environment through formation of carbon dioxide and other greenhouse gases. To get under control with our environmental issues it's important to find substitutes for oil that are both cheap and environmentally friendly. Ethanol has a long history as a motor fuel and is both environmentally friendly and has a high efficiency.

According to the EU commissions directives for motor fuels, 5, 75 % of all the fuels in Sweden should be renewable in 2010. Ethanol is international the most widely used and imported renewable fuel. 70 millions litres of ethanol is manufactured in Sweden yearly and the majority comes from the factory in Norrköping owned by Lantmännen. In order to make the Swedish ethanol more competitive the import duty has been increased in 2007. The ethanol produced in Sweden mainly is made from wheat and grain, while the production in USA mainly is corn based.

Ethanol can be manufactured by fermentation from all materials containing sugar or some form of chemical composition that can be transformed into sugar. The raw material used for ethanol production can be divided into three groups: sugar, starch and cellulose.

BioStil is a process developed in order to make ethanol production as cheap and environmentally friendly as possible. This method is used to manufacture both fuel and technical ethanol. The raw material used is all kinds of starch containing material.

Chematur Engineering has developed their own concept within BioStil called BioStil® 2000. BioStil is a recycling concept that gives a high ethanol yield and lower water consumption. To be able to develop the BioStil further, Chematur Engineering aims to build a pilot plant on Kilsta industrial estate.

Förord

Jag vill framförallt tacka Lars Stenmark för utmärkt handledning.

Också ett stort tack till Magnus Sjöstrand som tog sig tid att svara på mina frågor och ge mig värdefulla råd. Jag vill också tacka alla andra på Chematur Engineering som hjälpt mig med olika delar av examensarbetet.

Slutligen ett tack till min handledare Lars Nilsson på Karlstad Universitet.

Veronica Sundberg
Karlstad, februari 2007

Sammanfattning.....	0
Abstract	1
Förord.....	2
1. Inledning	1
1.1 Bakgrund.....	2
1.2 Syfte.....	2
2. Etanol	3
2.1 Etanol som drivmedel.....	4
2.2 Etanol och miljön	4
3. Etanolframställning.....	6
3.1 Historia.....	7
3.2 Tillverkningsmetoder	7
3.3 Fermentering	9
3.3.1 Jäst.....	10
3.3.2 Sidoreaktioner vid fermentering	12
3.3.3 Etanolutbyte.....	12
3.4 Enzymteknologi.....	12
3.5 Råvaror	13
3.5.1 Spannmål.....	13
3.5.2 Sulfitlut.....	13
3.5.3 Potatis	13
3.5.4 Energiskog.....	13
3.6 Destillering	14
3.7 Framställning av Etanol från stärkelse	14
3.7.1 Råvara.....	15
3.7.2 Kokning	15
3.7.3 Likvifiering.....	15
3.7.4 Försockring.....	16
3.8 Framställning av Etanol från cellulosa.....	17
3.9 Framställning av etanol från eten	18
3.10 Etanolframställning enligt Biostil.....	18
4. Förprojektering av Biostil Pilot.....	21
4.1 Processbeskrivning.....	21
4.1.1 Malning	21
4.1.2 Mjöl-vatten blandning	21
4.1.3 Likvifiering.....	22
4.1.4 Försockring	22
4.1.5 Propagering.....	22
4.1.6 Fermentering.....	22
4.1.7 Fiberseparation.....	23
4.1.8 Jäståtervinning	23
4.1.9 Destillering	23
4.2 Processutrustning	24
4.2.1 Tankar.....	24

4.3.2 Pumpar	24
4.3.3 Värmeväxlare.....	25
4.3.4. Separatorer.....	26
4.3.5. Omrörare.....	27
5. Chemcad Modell	28
6.1 Gaskromatograf.....	28
6.2 Jästcellsräknare.....	28
6.3 NIR	29
7. Tillstånd.....	30
8. Kostnads kalkyl.....	31
8.1 Processutrustning	31
8.2 El och instrument	32
8.3 Labb	33
8.4 Råvaror.....	33
9. Slutsatser	34
Källförteckning.....	36

1. Inledning

Sverige och större delen av världen tampas idag med stora miljöproblem som följd av den enorma energianvändning vår moderna livsstil kräver. Vår komplexa livsstil kräver konstant tillförsel av billig energi och man kan påstå att vår livsstil idag möjliggjorts genom upptäckten av fossila bränslen. Huvuddelen av den energi som förbrukas av transportsektorn i Sverige idag kommer från olja. Olja är en fossil energiform, vilket innebär att den bildas under en process som tar flera hundra tusen år. Många forskare hävdar att oljan nybildas i ca 1 % av den takt som den förbrukas i dagsläget. Förbrukning av fossila bränslen som exempelvis olja skadar vår miljö genom de utsläpp som bildas i form av koldioxid och andra växthusgaser. På senare år har man kunnat påvisa en märkbar klimatförändring som följd av den ökande konsumtionen av olja. Klimatförändringarna är vår tids största utmaning på miljöområdet. De flesta miljöforskare är eniga om att klimatsystemet är på väg att förändras och något måste göras för att bromsa utvecklingen. Regeringen har satt ett mål som innebär att Sverige ska bli först med att bryta oljeberoendet. Man hoppas att Sverige ska kunna göra sig fritt från oljeberoendet till 2020, vilket också skulle innebära en stor konkurrensfördel för Sverige som land.

Våra olika transporter har en stor inverkan på miljön, ca 2/3 av vår totala oljeanvändning går dit. Man tror att 40 % av de ämnen som släpps ut i atmosfären som leder till bildande av ozon kommer från just transportsektorn. För att kunna komma i bukt med våra miljöproblem krävs det att substitut till olja hittas, som är både kostnadseffektiva och miljövänliga.

Etanol har länge använts som drivmedel för fordon, det är ett mer miljövänligt alternativ än bensin samtidigt som det också har hög effektivitet. I Brasilien har det sedan i början av 70-talet varit mycket vanligt med etanol, där finns ungefär 4 miljoner bilar som är etanoldrivna. Även i USA är det vanligt med etanol, men där främst som låginblandning som alla bilar kan köra på. Sverige har också kommit långt när det gäller användning av etanol som drivmedel. Bara USA och Brasilien förbrukar större volymer per capita. Sverige är också det enda land där bussar i reguljärtrafiken kör på etanol. Etanolkonsumtionen i Sverige fortsätter att öka, en förklaring är att försäljningen av etanolbilar ökar. 2005 fanns ungefär 21 000 etanolbilar i Sverige enligt vägverket. En siffra som dubblerades under 2006.

Etanol ger renare avgaser än bensin eftersom den inte innehåller svavel eller cykliska kolväten. Den största delen av de oförbrända ämnena i en etanolmotor är ren etanol som inte bidrar till miljöbelastning eftersom det redan finns i det naturliga kretsloppet. Användning av etanol är ett bra alternativ till bensin och minskar trafikens utsläpp på växthusgaser och leder till mindre smog och en minskning i ozonbildning.

Drivmedelsetanol distribueras huvudsakligen genom låginblandning i bensin, vilket innebär att man tillsätter etanol motsvarande cirka 5 % av den totala volymen. Att blanda in små mängder etanol gör det enklare att tillföra förnyelsebara bränslen utan att behöva ändra någonting på fordonet.

Idag finns en mängd fordon på marknaden som kan köras på en blandning innehållande 85% etanol såkallad E85. Det finns idag också bilar som kan köras på både bensin och etanol såkallad FFV, vilket står för Flexi Fuel Vehicle. I USA finns uppåt 10 miljoner FFV bilar. Bilar som går på E85 är idag delvis befriade från koldioxidskatt och energiskatt. Bilar som drivs på etanol har också andra skattefördelar. I Stockholm slipper förare med en

miljöbil att betala trängselskatt.

Användningen av E85 år 2006 uppgick till ca 40 000 kubikmeter och det finns numera ca. 450 bensinstationer runt om i Sverige där man kan tanka E85.

5,75 % av de drivmedel som används i Sverige år 2010 ska vara förnyelsebara enligt EUs direktiv. Etanol är det förnyelsebara drivmedel som används mest internationellt och importerats till högsta grad

I Sverige idag tillverkas ca 70 miljoner liter om året och Lantmännens anläggning i Norrköping står för den största delen. Etanolen som produceras i Sverige kommer främst från spannmål som vete och korn, medan etanolproduktionen i ex. USA mestadels är majsbaserad. I Brasilien används socker som råvara.

Etanolen är på stark utbyggnad i Sverige just nu och en mängd svenska etanolfabriker planeras. Man tror att den svenska etanolproduktionen kan ha ökat med 500 % inom två år.

För att etanol ska kunna bli slagkraftigt i kampen för att ersätta bensinen krävs det tillverkningsprocesser som är kostnadseffektiva och miljövänliga.

1.1 Bakgrund

För att kunna öka effektiviteten vid etanolproduktion har Chematur Engineering arbetat med ett nytt koncept kallat Biostil. Chematur Engineering har utvecklat ett eget koncept inom Biostil kallat Biostil[®] 2000. Biostil går i korthet ut på att få ut så mycket etanol som möjligt ur biomassa genom recirkulation. Processen innefattar även andra åtgärder för att minska exempelvis vattenanvändningen. Tanken är att Chematur Engineering ska bygga en Biostil pilotanläggning på Kilsta industriområde för att kunna utveckla biostilprocessen ytterligare.

1.2 Syfte

Det främsta syftet med detta arbete är att ta fram nödvändigt underlag för att Chematur Engineering ska kunna ta ett beslut angående ett bygge av en pilotanläggning baserad på Chematurs Biostil-teknologi. Anläggningen ska projekteras för installation i Chematur Engineers Miljötekniska Centrum beläget på Kilsta industriområde. Förutom själv anläggningen ska också design av ett laboratorium med specifikation av lämplig utrustning ingå. Som bas för arbetet ska en befintlig fermentor med diverse kringrustning användas.

De delar som ska behandlas av detta examensarbete är:

- Uppritande av process- och instrumentdiagram (PID) för anläggningen
- Upprättande av processflödesdiagram (PFD) med tillhörande mass- och energibalans
- Dimensionering av nyckelutrustning
- Upprättande av preliminär layoutritning för anläggningen med tillhörande laboratorium
- Specifikation, marknadsundersökning av lämplig nyckelutrustning som behöver köpas in, både för pilotanläggningen och laboratoriet
- Utredning av vilka tillstånd som krävs för anläggningen och vilka krav som ställs avseende hantering/kvittblivning av den etanol som produceras
- Preliminär beräkning av investeringskostnad

Jag vill också i detta examensarbete belysa de grundläggande delarna i fermentering och olika metoder att framställa etanol.

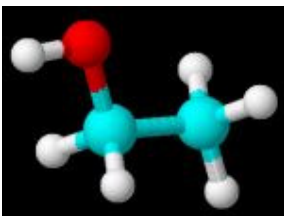
2. Etanol

Etanol är en av mänsklighetens äldsta kemikalier och har framställts i flera tusen år. Konsten att genom jäsning framställa alkohol av vindruvor och andra frukter är känt sedan 6000 år tillbaka. Produktion av etanol genom fermentering av socker och säd är en av de äldsta kända organiska reaktionerna. Redan i det gamla testamentet kan man läsa om att vin konsumerades. Konsten att bereda ren sprit uppfanns lång senare, under medeltiden. Under 1500-talet användes etanol som läkemedel. Man ansåg att etanol var bra för hälsan eftersom det skingrade ångest och oro.

Etanol har flera olika användningsområden. Från början användes etanol som konserveringsmedel och ingrediens i drycker. På senare tid har etanolen kommit till stor användning inom industrin under namnet teknisk sprit, på grund av dess egenskaper som lösningsmedel. Några exempel på användningsområden är läkemedel, vattenbaserade färger samt rengöringsprodukter. Det verkar också konserverande i t.ex. livsmedel, kosmetik och andra kemiska produkter

Etanol används också till stor del inom sjukvården för dess antibakteriella egenskaper och benämns då som läkarsprit. På senare tid har etanol blivit allt mer aktuellt som fordonsbränsle för att ersätta bensinen.

Etanol, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ eller etylalkohol är en primär alkohol.



Figur 1. Etanol molekyl (bilden från <http://www.quiprocura.net/etanol.htm>)

Etanol består av en kort kolkedja, vilket ger den en hög vattenlöslighet och är fullständigt blandbar. Etanol är också den av alkoholerna som har lägst giftverkan och utgör den rusframkallande komponenter i drycker såsom vin och öl. Långvarig användning kan dock ge allvarliga skador på vissa inre organ, framförallt på levern. Etanol är en av de mest använda organiska kemikalierna beroende på dess unika kombination av egenskaper. Det är också en viktig synteskemikalie för framställning av bl.a. ättiksyra och acetaldehyd.

2.1 Etanol som drivmedel

Etanol har använts som drivmedel sedan början av 1900-talet, då Ford Modell T kunde modifieras till att gå på bensin eller enbart etanol. Henry Ford designade Modell T Forden för detta syfte, eftersom han ansåg att etanol var framtidens bränsle. Hans planer om etanol som drivmedel kördes snabbt över av den redan då framgångsrika oljeindustrin. Efter diverse oljekriser och en ökad kunskap om oljans negativa effekter på miljön har de alternativa bränslena blivit mycket mer intressanta som drivmedel.

Olja är idag den största energikällan och transportsektorn konsumerar den största delen av den. Ungefär 97 % av den energi som våra transporter använder kommer från oljan. Vår användning av fossila bränslen såsom olja har stor påverkan på miljö och klimat. Målet att minska användningen av olja kan uppnås genom effektivare transporter, bränslesnålare motorer samt att ersätta oljan med förnybara mer miljövänliga alternativ. Etanol är ett bränsle med stor potential för att bli ett storskaligt fordonsbränsle. Idag används etanol till största del genom utblandning med vanlig bensin eller diesel, men kan också användas i ren form. Etanolens energiinnehåll är ungefär 2/3 av värdet på bensen, beräknat per volymenhet. Etanol kan användas i en vanlig förbränningsmotor på grund av dess höga oktantal. Nästan all bensin som säljs i Sverige innehåller 5% etanol, det motsvarar ungefär 340 000 kubikmeter etanol.

Driftskostnaderna för etanolbilar är ungefär densamma som för bensinbilar tack vare total skattebefrielse. Många bussar i Sverige drivs idag med etanol, bland annat i Stockholm och i Umeå. Etanolbränslet innehåller dock 15 % bensin för att underlätta vid kallstarter. Den 85 % etanollösningen benämns vanligtvis som E85. Eftersom etanol har högre oktantal än bensin och därmed brinner långsammare kan motorn få en högre verkningsgrad vid etanoldrift.

Antalet etanolfordon i Sverige under år 2006 uppgick till ca 50 000, vilket innebär en dubbling från året innan då ca 20 000 etanolbilar fanns registrerade. Andel av energileverans till vägtransporterna i Sverige år 2006 var 2 % för etanol som låginblandning och 0,4 % som E85.

2.2 Etanol och miljön

Växthuseffekten kallas det fenomen där långvågig strålning från solen hindras att lämna jordens atmosfär på grund av växthusgaser. Till växthusgaserna tillhör freoner, koldioxid, kväveoxid, metan samt ozon. Effekten av ett överskott av dessa gaser i vår atmosfär leder till en långsam temperaturstigning på jorden. En temperaturökning kan leda till omfattande följder, såsom förändring i nederbördsmonster. Detta kan i sin tur leda till naturkatastrofer som exempelvis översvämningar och häftiga orkaner. Problemet med att använda olja är att den koldioxid som bildas vid förbränning inte kan tas upp av växterna i samma takt som den avges. Detta leder till ett nettoöverskott av koldioxid.

Anledningen att etanol är ett mer miljövänligt alternativ är att den koldioxid som bildas tas upp av växterna i samma takt som den bildas. Växterna som tagit upp koldioxiden utgör sedan råvaran för nya drivmedel, man kan säga att det är ett naturligt kretslopp. Idag är det

ungefär 30 % mer koldioxid i luften jämfört med innan vi började använda fossila bränslen. All koldioxid leder till att växthuseffekten påskyndas. Även om koldioxiden är den största boven till växthuseffekten så bidrar också många av de andra växthusgaserna som kommer från användning av olja. Nettotillskottet av koldioxid minskar med 80 % vid en övergång från bensin till etanol.

3. Etanolframställning

Idag produceras drivmedletsetanol i huvudsak på biokemisk väg. Brasilien och USA är de länder som har den högsta produktionen. I Brasilien tillverkas ca 18 miljarder ton/år av och i USA produceras ca 27 miljarder ton/år. Huvuddelen av den etanol tillverkad i Brasilien kommer från sockerrör. I USA är majs den vanligast råvaran för etanolproduktion.

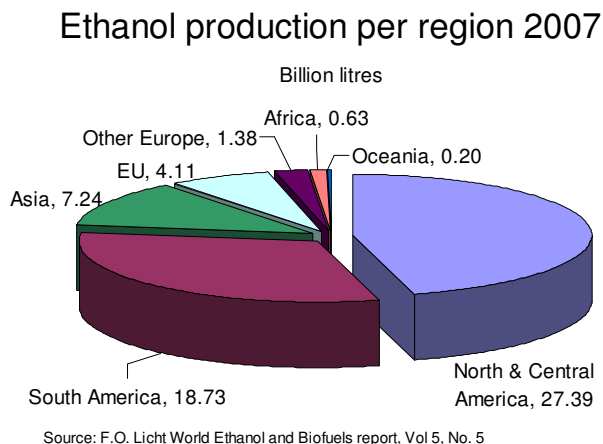


Fig. 2 Etanolproduktion runt om i världen

Inom EU produceras det etanol i 23 fabriker och man räknar med att ytterligare 40 anläggningar ska tillkomma inom loppet av två år. Etanolbranschen är alltså en industri på stark uppgång. Totalt tillverkas ca 60 miljoner liter etanol i Sverige årligen, varav den största delen kommer från Agroetanols anläggning i Norrköping som tillverkar etanol från spannmål fabriken. Företaget Sekab i Örnsköldsvik framställer ca 16 miljoner liter etanol av restprodukter från pappersmassa.

Etanol för drivmedel i svenska fordon produceras för närvarande av fyra typer av råvaror: svensk skogsråvara, svenskt vete, europeiska jordbruksgrödor och brasilianskt sockerrör. Den brasilianska tillverkningen dominerar världsmarknaden men tullbestämmelser gör att en stor del av importen till Sverige görs från länder inom EU. Under 2005 importerade Sverige hela 250 miljoner liter etanol från Brasilien, drygt 80 % av landets konsumtion.

Etanol kan produceras av en mängd råvaror inklusive petroleum. En uppskattning är att ca 5 % är syntetisk etanol (baserad på petroleum), 1 % tillverkad av skogsprodukter, 54 % av sockergrödor och 40 % av spannmål. Den etanol som används som bränsle kommer i största utsträckning från spannmål och majs.

I Sverige förbrukades 2004 drygt 360 000 m³ etanol. Ca 1/3 var tillverkad i Sverige och ca 2/3 delar var importerad. Ökningen av förbrukningen har sedan dess legat runt 100 000 m³ per år.

3.1 Historia

Människan upptäckte, troligtvis genom en slump, att druvsaft förändrades då den förvarades en tid. Man tror att man började brygga vin för runt 7000 år sedan, man visste vad som skedde men man visste inte hur det till gick till. Jäsning uppfattades som en reningsprocess där bottensatsen, som huvudsakligen bestod av döda jästceller var orenheter som avsöndrats från druvsaften och det kvarvarande vinet för den rena druvsaften. På medeltiden ansåg man jäsningen vara en magisk företeelse. Dricksvattnet som gjorde att många blev sjuka kunde användas till ölbryggning och resulterade inte i några sjukdomar hos dem som drack ölen. Idag vet man att bakterierna dog i bryggingsprocessen. Det var i slutet av medeltiden som vetenskapsmän började undersöka jästen noggrant.

Gasutvecklingen som sker vid fermentering orsakades enligt alkemisterna av en okänd naturkraft som kallades "fermentum" från latinets fevere som betyder sjuda eller jäsa. Man tolkade alltså jäsningsförloppet som en mekaniskt förlopp där inga levande organismer var inblandade. Det var först i slutet av 1700-talet som forskningen om fermentering tog ny fart då kemisten Gay-Lussac tog fram summaformel för alkoholjäsning. Han var också den som myntade det franska ordet ferment. På 1800-talet fortsätta man experimentera och kom fram till att det måste vara levande mikroorganismer som livnär sig på socker som skulle stå bakom fermenteringen. Teorin om mikroorganismer förkastades totalt av många kemister eftersom det skulle innebära att mikroorganismerna under loppet av 18 timmar skulle producera 66 gånger sin egen vikt av etanol, vilket man ansåg omöjligt. På 1850-talet visade Louis Pasteur experiment som visade att jäsning uteblir om man hindrar jästceller från att komma i kontakt med sockerlösningen. Han visste att jäsningen var knuten till jästsvamparnas liv men han kunde inte förklara hur. Det var långt senare som bevisen att jäsning är ett resultat av enzyms verkan kom.

3.2 Tillverkningsmetoder

Huvudsakligen kan etanol framställas med två olika typer av process: Fermentering och kemisk framställning från eten. Tyngden i detta arbete kommer att ligga på framställning genom fermentering och främst då från stärkelse.

Etanol kan framställas med fermentering från alla material innehållande socker eller någon form av kemisk sammansättning som kan omvandlas till socker. De råvaror som används vid etanolframställning via fermentering delas in i tre typer: socker, stärkelse och cellulosamaterial.

Det enklaste sättet att tillverka etanol är genom att jäsa socker och sedan destillera av etanolen. Stärkelse- och cellulosa innehållande råvaror måste först genomgå hydrolys för att en nedbrytning till enkla sockerarter ska ske. Dessa sockerarter fermenteras sedan på samma sätt som råvaror innehållande socker. Den metod där man använder socker eller stärkelsesrika råvaror såsom majs, vete och potatis nämns ofta som första generationens etanol. Andra generationens etanol är den etanol som utvinns från råmaterial innehållande cellulosa. Det är en betydligt mer komplicerad mekanism eftersom råvaran är kemiskt mer komplicerat sammansatt. Både dessa metoder går ut på att genom nedbrytning till korta sockerkedjor utvinna etanol genom fermentering. Skillnaden är alltså bara sättet som man bryter ned dem till enkla sockerarter.

All etanol som ex. drycker och mycket av den etanol som används i industrin produceras genom fermentering. Det finns också metoder där inte fermentering används. Industriell

etanol produceras ibland genom hydroxylering av eten. Att använda eten som råvara är den tekniskt enklaste metoden, men eten är dock en kemisk mellanprodukt vars pris styrs av oljesituationen.

Etanolframställning genom fermentering sker kortfattat enligt följande steg:

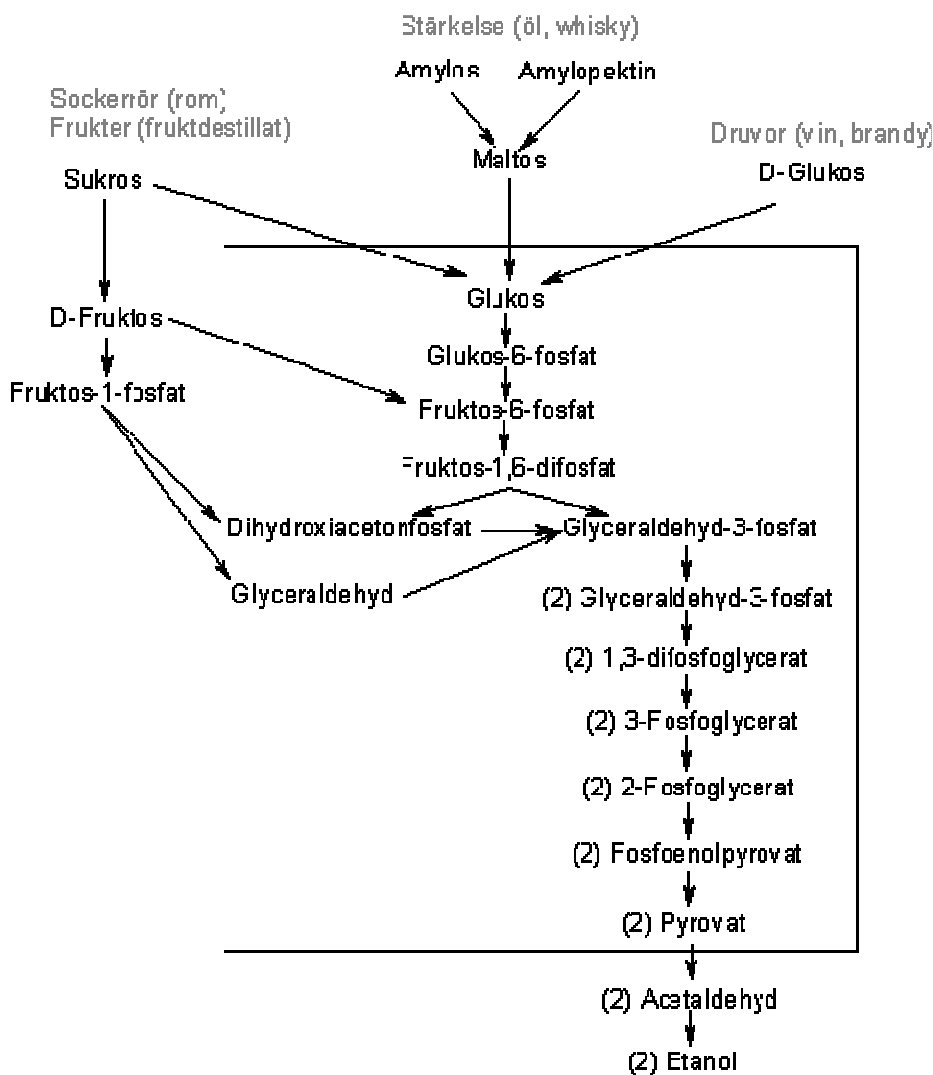
1. Preparera råvaran
2. Fermentering av enkla sockerarter
3. Destillering för att avskilja etanolen
2. Omhändertagande av restmaterial (drank)

I Sverige framställs etanol till största del från spannmål. Idags läget forskas det på att man ska kunna på ett effektivt sätt använda energiskog som råvara. Den största delen av etanolen i Sverige idag importeras fortfarande, men den svenska produktionen av etanol är på uppgång och många nya etanolanläggningar planeras runt om i landet.

3.3 Fermentering

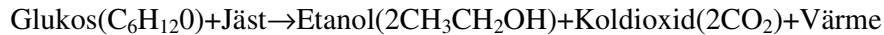
Fermentering, som är en av de äldsta kemiska processerna som mänskligheten känner till används för att göra en mängd olika produkter: Livsmedel, drycker, läkemedel samt kemikalier.

Fermentering, eller jäsning som det också kallas, är en biologisk process där mikroorganismer växer och konsumerar näringsämnen i sin omgivning. Glukos eller druvsocker bryts ned, via flera reaktionssteg i den så kallade glykolysen till pyruvat. Ordet glykolys kommer från glykos som betyder sött och lysis som betyder klyvning. De flesta djur, svampar och vissa vattenlevande växter kan bryta ned hexoser och utvinna energi. Hos ex. vindruvor finns D-glukos naturligt, medan spannmål först måste genomgå en förbehandling för att frigöra D-glukos med hjälp av enzymer.



Figur 3. Anaerobisk fermentering.
<http://www.geocities.com/svalbardifast/spritskola/jasning.html>

Glukos är en enkel sockerart som även är en av byggstenarna i cellulosa. Fermentering av glukos kan kortfattat beskrivas enligt följande:



Som kan ses i figur 2 så omvandlas inte glukos direkt till etanol utan flera mellansteg är inblandade.

Pyruvat kan ge tre olika produkter beroende på vilka förhållanden som finns i fermentorn.

Reaktion 1. Glukos \rightarrow Pyruvat \rightarrow Jästbiomassa + Koldioxid (Aerobisk-tillgång till syre)

Reaktion 2. Glukos \rightarrow Pyruvat \rightarrow Etanol + Koldioxid (Anaerobisk- utan tillgång till syre)

Reaktion 3. Glukos \rightarrow Pyruvat \rightarrow Mjölksyra (Anaerobisk med mjölksyrabakterier närvarande)

I en luftad fermentor sker både reaktion 1 och 2. Luftning av en fermentor gör förstås att reaktion 2 sker i mindre utsträckning, men för att ha en god etanolproduktion krävs att man har en den jästbiomassa som krävs. Oftast har man flera fermentorer kopplade i serie och luftar då endast den första som också fungerar som en tillväxttank för jästen. I resterande fermentorer sker till största del reaktion två.

Tre huvudsakliga faktorer i fermenteringen spelar in när det gäller etanolutbyte. Den första faktorn är temperaturen. Den optimala temperaturen för fermentering med jäst (*Saccharomyces Cerevisiae*) är 32 °C. Mängden *Lactobacillus*, som är den andra faktorn, påverkar genom att konsumera glukos för att producera mjölksyra. *Lactobacillus* växer om temperaturen är för hög. Den tredje faktorn är alkoholvivån. En mäsik med för hög etanolkoncentration gör att fermenteringen avstannas.

3.3.1 Jäst

Jäst är encelliga eukaryota organismer, som klassificeras som svamp. Ungefär 1500 olika arter av jäst är kända idag. *Saccharomyces Cerevisiae*, mer känd som vanlig bagerijäst är den vanligaste jästen idag och den som används i störst utsträckning vid etanolproduktion. Det är också den jäst som är den mest ekonomiska och mest studerade. *Saccharomyces cerevisiae* har använts till bakning och fermentering i flera tusen år. Andra jästsorter som används vid fermentering är *S. Uvarum*, *Schizosaccharomyces pombe*, and *Kluyveromyces*. En fördel som *Saccharomyces Cerevisiae* har är att den inte är så kräsen, den kan ta inte ta till vara på solljus som växter, utan bryter ned organiska molekyler i sin närhet som ex. socker. *Saccharomyces Cerevisiae* förökar sig inte genom delning som bakterier utan genom knoppning. Knoppning fungerar så att från huvudcellen bildas en liten knopp som sedan växer och när den blivit lika stor som huvudcellen delas cellkärnan mellan huvudcellen och knoppen.

För att jästen ska kunna växa behövs näringsämnen tillsättas. Näringsämnena måste innehålla kol, syre, kväve och väte. Ett vanligt näringsämne att tillsätta är urea.

För hög etanolkoncentration i en fermentor hindrar jästen från att växa. Redan vid en etanolkoncentration på 10 % så har tillväxthastigheten nästan helt avstannat. Normalt kan

mikroorganismerna bara använda sig av sockerarter innehållande 6 st kolatomer, som den vanligast förekommande sockerarten glukos. Det är därför stärkelse och cellulosa först måste konverteras till enkla sockerarter. Då *Saccharomyces Cerevisiae* dör genomgår de autolys, cellens egna enzym börjar bryta ned cellen till enkla beståndsdelar. Detta brukar resultera i en ganska frän doft som kan förstöra vin-eller öljäsning.

3.3.2 Sidoreaktioner vid fermentering

Vid fermentering sker alltid oönskade reaktioner, som man jobbar hårt med att minska så mycket som möjligt för att erhålla ett bra etanolutbyte. Ättiksyrajäsning är en av dem, där acetalaldehyd bildas efter dekarboxylering av pyruvat. Acetalaldehyden kan i sin tur oxideras till acetat eller ättiksyra. Acetat bildas först och främst när det finns mycket syre tillgängligt samt bakterier i mäsken. En annan sidoreaktion är glyceroljäsning där en av produkterna i glykolysen kan omvandlas till glycerol. Höga halter av glycerol är ett tecken på att jästcellerna förökas hellre än de producerar etanol.

Andra oönskade ämnen är:

- Metanol
- Finkeloljor

3.3.3 Etanolutbyte

Teoretiskt sett ger glykolysen 51,1 % etanol och 48,9 % koldioxid. Ett kilo socker ger under idealiska förhållanden 538,2 g etanol, vilket motsvarar 700 ml 96 % etanol. Rent praktiskt är utbytet inte så stort utan ligger snarare runt 48 % för etanol och 47 % för koldioxid. Orsakerna till detta är att viss avdunstning sker samtidigt som en del oönskade sidoreaktioner alltid uppstår. Mikroorganismerna använder även en del av glukosen för tillväxt.

3.4 Enzymteknologi

Enzymer är naturligt förekommande växt proteiner som hjälper vissa reaktioner att ske

Produktion av etanol kräver en kolhydratkälla. De kolhydrater som används existerar i form av fermenterbara sockerarter, eller som komplexa kolhydrater som måste konverteras till enkla sockerarter. Stärkelse är den källa av komplexa kolhydrater som är vanligast då det gäller etanolproduktion. Substrat innehållande sukros och/eller fruktoser som t.ex. sockerbetar kan fermenteras direkt. Stärkelseinnehållande substrat måste genomgå likvifiering och försockring innan de kan fermenteras. Stärkelsehydrolyserande enzymer faller i tre kategorier: α amylas, β amylas samt amyloglukosidas. Både bakteriella och svampamylaser används industriellt. Svampamylaserna som är vanligast, produceras från olika *Aspergillus*arter. Amylas från bakterier tas vanligtvis från *Bacillus*arter.

Just nu forskas det på genetiskt modifierade enzymer. För att förenkla produktion av etanol från cellulosa forskas det på genmodifierade enzymer som klarar av att bryta ned cellulosa. För att etanol ska kunna bli en ekonomiskt hållbar produkt krävs det att man finner ett ekonomiskt sätt att omvandla komplexa kolhydrater till fermenterbara sockerarter. Ett kostnadsbesparande steg vore om man kunde modifiera enzymer som löser stärkelse direkt vid låga temperaturer.

3.5 Råvaror

Man kan tillverka Etanol från en mängd olika stärkelse, socker eller cellulosa innehållande råvaror. Vilka råvaror man använder sig av beror till stor del på geografi. I Sverige är spannmål, som vete, och sulfitlut vanligt.

3.5.1 Spannmål

Det behövs cirka 135 000 ton vete för att producera 50 000 m³ etanol, vilket gör att med en avkastning för vete i mellansverige på 5,5 ton per ha, krävs en odling av 25 000 ha. Spannmål innehåller till största delen stärkelse och måste därför förbehandlas innan fermentering kan ske. Stärkelsen omvandlas till glukos under inverkan av enzymet amylas, till sockret maltos som sedan hydrolyseras till glukos.

3.5.2 Sulfitlut

Ett vanligt sätt att framställa etanol är från sulfitluten som erhålls som biprodukt från papperstillverkningen. I Sverige framställs drygt 10 000 ton etanol årligen genom jäsnings av avluten från sulfitprocessen i MoDos sulfitfabrik i Östersund som också är den största i sitt slag. Sulfitmassa framställs av träflis samt en kokvätska. Under kokningen sönderdelas träflisen till cellulosa fibrer och en del av cellulosan till enklare sockerarter. Den frigjorda cellulosan tas till vara på för fortsatt massa- och pappersproduktion och den kvarvarande svarta vätskan kallas sulfitlut. Sulfitlut innehåller 3-4 % socker och ett ton sulfitmassa ger ungefär 70-130 liter 96 % etanol.

3.5.3 Potatis

Potatisen innehåller stärkelse och är lämplig att framställa etanol från. Problemet med att använda potatis är att de innehåller mycket vatten och därmed ger ett utspätt system. Potatis används nästan bara till dryckessprit. Stärkelsen i potatis finns inneslutna inom cellväggar och för att frigöra den kokar man potatisen i tryckkokare. Då kokningen avbryts och trycket återgår till normalt atmosfärstryck så spricker cellväggarna och stärkelsen frigörs. Sedan används enzymet amylas för att omvandla stärkelsen till enkla sockerarter som sedan kan fermenteras.

3.5.4 Energiskog

Maximal energi från en åker uppnås vid plantering av skog. Energiskog består främst av snabbväxande videarter (Salix). En energiskog skördas ungefär var fjärde år då längden på skotten är 5-7 meter. Att få fordonsbränsle ur skog är dock inte lika enkelt som för spannmål. Cellulosa är kemiskt mer komplicerat och kräver mer avancerade metoder jämfört med stärkelse för att kunna omvandlas till socker. Mer om etanolframställning från cellulosa finns att läsa om under punkt 3.8.

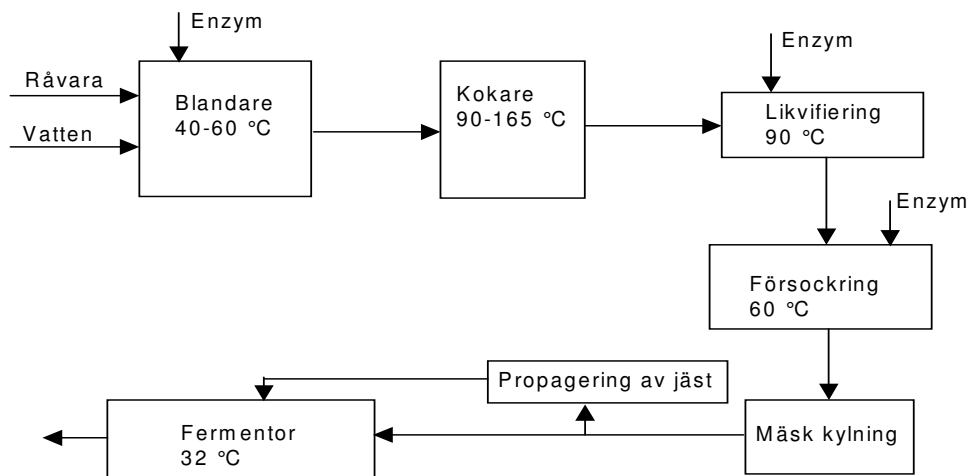
3.6 Destillering

Etanolhalten i fermentorn bör alltså inte överstiga 10 % eftersom jästcellerna då riskerar att dö. Vill man uppnå högre etanolhalt måste mäsken destilleras. Destillering är baserat på att två väskor har olika kokpunkt och separeras efter denna. De flesta destillationssystem som används idag är kontinuerliga innehållande multipla steg.

Etanol har en kokpunkt på 78 °C och vatten vid 100 °C. Mäsken värms och vid 78 °C börjar etanolen avdunsta tillsammans med en liten del av vattnet. Först destilleras alkoholen till en 30-40% etanollösning och skickas sedan vidare för ytterligare destillering, för att kunna erhålla högre etanolkoncentration. Etanol-vatten blandningen är tyvärr inget idealiskt system vilket innebär att den bildar en azeotrop med vatten vid ca 96% etanolhalt. Den vanligaste varianten på destillationskolonner är med ett antal bottnar.

3.7 Framställning av Etanol från stärkelse

Framställning av Etanol från stärkelseinnehållande råvaror är idag den vanligaste metoden.



Figur 4. Etanolproduktion från stärkelseinnehållande råvaror

Processen kan utföras kontinuerligt eller satsvis. För ett batchsystem finns oftast bara en tank som används till alla steg fram till fermenteringen.

3.7.1 Råvara

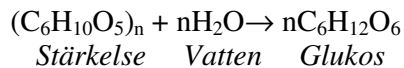
Råvaran som används beror på vilken tillgång man har. Här i Sverige används mycket spannmål, främst vete och korn, medan man i USA använder mycket majs.

Stärkelseinnehållet i olika råvaror varierar.

Råmaterial	% Stärkelse
Majs	60-68
Vete	60-65
Potatis	10-25
Ris	70-72
Havre	50-53

Figur 5. Stärkelseinnehåll

Stärkelse är en blandning av två kolhydratspolymerer, amylos och amylopektin. De båda polymererna är sammansatta av kedjor med glukos monomerer. Kedjorna kan bestå av linjära kedjor (amylos) eller grenade kedjor (amylopektin). Spannmålen måste först genomgå malning. För att sedan kunna bilda etanol från stärkelsen måste den konverteras till fermenterbara sockerkejdor med låg molekylvikt. Reaktionen kallas hydrolys eftersom vatten kombinerat med stärkelse ger mindre sockermolekyler.



För att reaktionen ska kunna ske behövs ett enzym.

3.7.2 Kokning

Spannmål lagrar sin energi i form av stärkelsegranuler. I denna form är det svårt att nå stärkelsen för enzymerna. Det första steget i hydrolys av stärkelse är därför att förstöra granulerna och lösa upp stärkelsen genom värmning. Man tillsätter också α -amylas för att förhindra retrogradering, vilket innebär att stärkelsen blir olöslig. Om en molekyl blir retrograderad kan den ej medverka i etanolproduktion.

3.7.3 Likvifiering

I likvifieringen behandlar man stärkelsen med α -amylas som depolymeriserar stärkelsemolekylen. Detta leder till att viskositeten minskar hos stärkelseslösningen. En reducering av viskositeten är nödvändig för att man ska kunna hantera den kokade stärkelsen under resten av processen. Alkali adderas till tanken för att pH ska ligga vid α -amylas optimum.

3.7.4 Försockring

Vid försockringen sker en reaktion mellan stärkelse och vatten för att bryta ner stärkelsen till sockerarter som sedan kan fermenteras. Mäsken från likviferingen kyls till 60-65 °C och transporteras till en försockringstank. Enzymet som används för detta ändamål kallas glukoamylas. Glukoamylas katalyserar borttagning av glukosenheter från ändarna på stärkelsemolekylen. Försockringen sker under ca. 45-90 minuter.

3.8 Framställning av Etanol från cellulosa

Etanol framställs vanligtvis från stärkelseinnehållande råvaror, men kan också tillverkas från cellulosa. Cellulosaetanol är just nu under stark utveckling och man benämner den ofta som andra generationens etanol. Jämfört med produktion från stärkelse så skiljer sig processen åt i hur man behandlar råvaran fram till fermentering.

Cellulosa är huvudbeståndsdelen hos växtceller och är en sammansättning mellan lignin, hemicellulosa och cellulosa och är den vanligaste organiska föreningen på jorden. Hydrolys bryter ned cellulosakedjorna till enkla sockerarter som sedan kan fermenteras.

Nedbrytning av cellulosa till fermenterbara sockerarter är mer komplext än degraderingen av stärkelse. Eftersom cellulosa har en mer komplex sammansättning kan inte försockringen göras på samma sätt som vid nedbrytning av stärkelse. Möjligheten att tillverka etanol från cellulosa expanderar typerna och mängden material som kan användas för etanolproduktion. Många material som går till spillo från exempelvis skogsindustrin kan användas som råmaterial till cellulosaetanol. Andra råmaterial kan vara returfiber, halm och energiskog. De billiga råvarorna ger denna metod en fördel jämfört med den etanol producerad från stärkelse eller socker som oftast kräver dyra råmaterial. Det finns idag en del nackdelar med denna process. Även om råmaterialet är billigt så är kostnaden för själva processen fortfarande relativt hög. Det finns också problem med bildande av giftiga ämnen som stör fermenteringen.

Det finns två huvudsakliga metoder för produktion av etanol från cellulosa - kemisk eller enzymatisk hydrolys följt av fermentering

Kemisk hydrolys sker genom att man använder syra för att bryta ner cellulosakedjorna. Det finns två typer av syraprocesser - utspädd syra och koncentrerad syra. Utspädd syra används under hög värme och högt tryck, men det förekommer även att man använder en mer koncentrerad syra vid låg temperatur och tryck.

Produkten som erhålls från denna typ av hydrolys neutraliseras före fermenteringen. Vid användning av syra är effektiviteten begränsad till 50 %. Det beror på att minst två reaktioner pågår under denna process. Första reaktionen omvandlar cellulosan till socker och den andra konverterar sockret till andra kemikalier. Så fort cellulosamolekylerna bryts ned påbörjas degradering av sockret, mestadels till furfural. Bildande av biprodukter minskar inte bara utbytet utan förgiftar även mikroorganismerna i fermentorn. Låga tryck och temperaturer leder till en minskning i degradering av socker, vilket gör metoden med koncentrerad syra mer effektiv när det gäller utbyte. Det är tyvärr en väldigt långsam process, vilket gör att den ännu inte ersatt metoden med lågkoncentrerad syra helt.

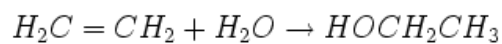
Enzymatisk hydrolys förekommer genom att cellulosakedjorna bryts ner genom cellulasezymer. För att enzymerna ska fungera krävs det att de kommer i kontakt med de molekyler som ska hydrolyseras. Detta görs med förbehandling av cellulosa materialet genom att bryta upp den kristallina strukturen hos lignocellulosan och ta bort ligninet. Beroende på biomaterialet så kan man använda sig av fysisk eller kemisk förbehandling. Vid de fysiska metoderna kan man använda sig av hög temperatur och tryck, malning eller strålning. Den kemiska metoden använder sig av en lösning som bryter upp den kristallina strukturen.

Detta är en reaktion som sker i magen på ex. kor och får, där enzymet produceras av en bakterie.

Idag produceras fortfarande den största mängden etanol från socker eller stärkelse. Etanol från lignocellulosa är i princip inte kommersiell ännu.

3.9 Framställning av etanol från eten

Syntetisk etanol tillverkad från eten står för en väldigt liten del av den totala produktionen. Anledningen till att denna framställningsmetod är så pass vanlig är att eten är relativt billigt att införskaffa. Framställningen sker genom en syrakatalyserad hydroxlering av eten. Reaktionen ser förenklat ut så här:



3.10 Etanolframställning enligt Biostil

Biostil är en process utvecklad för att göra etanolproduktion så billig och miljövänlig som möjligt. Processen används för att tillverka både bränsleethanol och teknisk sprit och man använder sig av stärkelseinnehållande råvaror. Biostil är en kontinuerlig metod med fermentering och jäståtervinning integrerat i systemet.

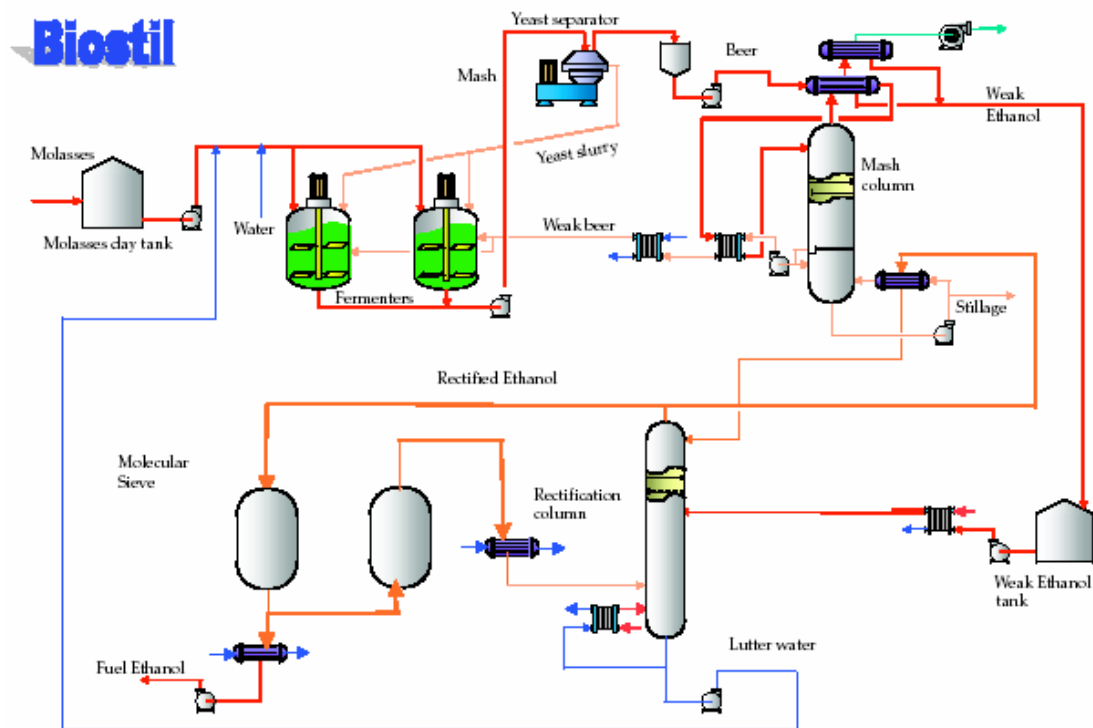


Fig. 6 Biostil process

Stärkelse konverteras kontinuerligt till glukos i försockringstankarna och matas sedan vidare till fermentorn. Glukosen omvandlas i fermentorn till etanol och koldioxid. Etanolkoncentrationen i fermentorn hålls konstant runt 6 % genom att etanol kontinuerligt förs bort från fermentorn vidare till en fiberseparation. I fiberseparatorn separeras de fibrer som kommer från råvaran bort. Den fermenterade vätskan även kallad mäsken matas sedan vidare till en jästseparator där jästen separeras bort och återförs till fermentorn. Den jästfria mäsken skickas till destillationskolonnen och ungefär 90 % av etanolen fås ut i form av en 40 wt % etanollösning. Den 40 procentiga etanolen skickas vidare till en rektifieringskolonn för att koncentreras ytterligare. Mäsken som blir kvar efter det att största delen av etanolen tagits bort pumpas genom värmväxlare och återförs till fermentorn för att erhålla maximalt utbyte. Den del av mäsken som inte kan fermenteras tas ut ur botten på destillationskolonnen i form av en koncentrerad drank. En ofta mycket kostsam faktor i etanolproduktion är föroreningar. Biostil innebär att risken för kontaminering är liten på grund av ett högt osmotiskt tryck i fermentorn som minskar risken för bakterietillväxt, kombinerat med ytterst lite socker närvarande. Systemet är designat så att om en infektion trots allt skulle ske i fermentorn så finns en reservfermentor som istället tas i bruk. Detta leder till ett system som kan köras kontinuerligt hela tiden utan några stopp. Ett annat kännetecken för Biostil är att vattenbalansen är optimerad för att minska användningen av vatten. Varje droppe vatten som tillsätts till processen måste i slutändan tas bort, vilket är en energikrävande process. Till följd av detta så ger Biostil en koncentrerad drank innehållande ca 30 % torrs substans. Denna drank används ofta som djurföda och har ett väldigt bra näringsinnehåll. Som nämnts tidigare så ger Biostil ett högt etanolutbyte. Många faktorer bidrar till detta höga utbyte:

- Minimal jästproduktion
- Steady-state operation
- Tvåfermentor system
- Effektiv kontroll av fermenteringstemperatur
- Etanolåtervinning från koldioxiden som lämnar fermentorn (används av alla processer)

Anledningen till att jästproduktionen kan minimeras är p.g.a. att den största delen av jästen förs tillbaka till fermentorn, vilket leder till en stor population med jästceller. Återvinning av jäst gör att det finns stora mängder jäst i fermentorn, vilket leder till en hög produktivitet. Vitaliteten hos jästen har därför inte lika stor betydelse som i traditionella system. I traditionella system krävs en hög jästcellsproduktion för att uppnå bra utbyte, detta leder till att mer socker krävs för att producera jäst. En fermentor med hög andel socker i leder till att etanolproduktionen och utbytet blir mindre.

Fermentorn i en biostilanläggning drivs vid steady state. Alla processparametrar är konstanta och noga kontrollerade. Etanolkoncentrationen kontrolleras kontinuerligt genom att avlägsna den producerade etanolen och cirkulera mäsken genom mäskkolonnen. Under drift är etanolkoncentrationen konstant runt 6 wt-% etanol. I traditionella system ändras förhållandena ständigt inuti fermentorn. Vid användning av batchsystem är sockerkoncentrationen hög och etanolkoncentrationen låg i början och omvänt mot slutet. Detta tillstånd kan leda till att biprodukter såsom glycerol och högre alkoholer bildas. Denna skillnad gör att de traditionella systemen använder sig av mer socker för att bilda biprodukter, vilket ger ett lägre etanolutbyte.

Anledningen till att Biostil har två fermentorer är att stopptiden ska minimeras. En fermentor är i produktionen medan den andra fungerar som reserv. Detta leder till att anläggningen bara behöver stå stilla under kortare underhållsperioder. För att erhålla ett högt årligt etanolutbyte är det viktigt med en anläggning med ständig drift. Ett stopp på tre dagar leder till en minskning av etanolutbytet med ca 1%. Själva fermenteringen skiljer inte mycket i utbyte jämfört med traditionella metoder, utan det är just det att anläggningen kan vara i ständig drift som leder till ett högt totalutbyte. I Biostil använder man sig inte heller av antibiotika i sin fermentor eftersom infektioner undertrycks och en infektion inte leder till driftstopp. I en traditionell anläggning, utan parallellkopplade fermentorer är ett stopp i produktionen oerhört kostsamt. Man använder sig då oftast av antibiotika just för att man inte har råd att stå still.

Temperaturen i fermentorn är en annan viktig faktor för att kunna få ett högt utbyte. Rätt temperatur fås genom att konstant cirkulera mäsken genom en extern kylare.

All koldioxid som lämnar fermentorn tvättas, detta fyller två funktioner: återvinning av etanol och av miljömässiga skäl. Att tvätta koldioxiden i en skrubber leder till en ökning på 1% i utbyte. En annan del i biostilanläggningen man sparar in en hel del energi på är torkning av dranken. Torrsubstanshalten på dranken i Biostil ligger runt 30 wt %, medan en vanlig anläggning har en torrsubstanshalt på 8-15 wt %. I en biostilanläggning går det därför åt ungefär 15-35% mindre ånga för att torka dranken. För beräkningar se bilaga xx.

4. Förprojektering av Biostil Pilot

Pilotanläggningen kommer att byggas upp och fungera på liknande sätt som en fullskalig anläggning. Det man måste tänka på är att det ska vara praktiskt genomförbart i liten skala och att man tar hänsyn till de ekonomiska aspekterna.

En fullskalig biostilanläggning användes som mall och skalades ned för att passa de önskade måtten på pilotanläggningen
Den Fermentor som pilotanläggningen ska byggas på har en arbetsvolym på 120 liter. Storleken jämfördes med en fullskalig fermentor och detta gav en skalfaktor som användes. För beräkning av skalfaktor se bilaga 3. Chematur har god erfarenhet av att bygga fullskaliga anläggningar och dessa ritningar användes som grund för pilotanläggningen.

Skillnaderna mellan en fullskalig anläggning och en pilotanläggning är dock många och ritningarna fick modifieras för att passa en pilotanläggning.

4.1 Processbeskrivning

För PFD (process flow diagram) och PID (Pipe&Instrument Diagram) se bilaga 1 och 2.

4.1.1 Malning

Den huvudråvara som kommer användas är vete. Vetet kommer att malas till lämplig kornstorlek med en kvarn. Även andra typer av råvaror kommer att kunna testas och utvärderas. Det kommer att vara möjligt att mala olika kornstorlek för att se hur det påverkar processen. Mer information om den kvarn som rekommenderas för detta ändamål kan hittas i bilaga 5.

Vetekornen kan köpas från leverantör inom kommunen och levereras på pall med 18 säckar á 30 kg. Kvarnen har en kapacitet på 120 kg/h och den mängd vete som behövs för ett helt dygn kommer att malas på en gång. Mjölet förvaras sedan i en silo ovanför mjöl-vatten blandaren. För att producera önskad mängd etanol krävs 2,5 kg mjöl/timme, vilket ger ett dygnsbehov på 59 kg. Personalen kommer att dagligen mala denna mängd.

Beräkningar kan hittas i bilaga 4.

4.1.2 Mjöl-vatten blandning

Mjölet från silon T2004 blandas via en cellmatare med processvatten. Vattenanvändningen i denna anläggning skiljer sig markant från en fullskalig anläggning, där man återanvänder mycket av vattnet. Eftersom flödena i denna anläggning är såpass små så använder man sig hela tiden av färskt vatten, men en möjlighet finns att återföra weak beer. som först passerar genom CO₂ skrubbern och sedan till mjöl-vatten blandningen. För att rätt mängd mjöl ska kunna tillsättas kommer mjölsilon att monteras på vågceller. Till blandningen tillsätts också

Enzym 1 via en mixer M2071. Till skillnad från en fullskalig anläggning kommer ingen värmning ske i detta steg. Värmning i detta steg skulle göra att ånga bildas och risk finns att stopp i utloppet för mjölet bildas. Mjöl-vatten blandningen förs sedan över till likviferingen med hjälp av gravitation.

4.1.3 Likvifering

Likviferingen sker i tank T2001. Temperaturen höjs till 90-95 °C med hjälp av ånga som tillförs. pH-värdet hålls konstant runt 6-6,5 genom att addera natriumhydroxid till vätskeströmmen in till Mjöl-vatten tanken T2003. Uppehållstiden i likviferingstanken är ca. två timmar. Vätskenivån i T2001 kontrolleras genom P2007.

4.1.4 Försockring

Från likviferingssektionen pumpas materialet vidare av P2004 och kyls till 60 °C i värmväxlaren E2060. Effekten på värmväxlaren är endast xx och det räcker därför med ett mantlat rör med kylvatten. En plattvärmväxlare skulle vara överflödig. Försockringen sker i tre tankar kopplade i serie och uppehållstiden i varje tank ligger runt sex till sju timmar. Enzym 2 tillsätts till mixer M2070, som är placerad på röret före den första försockringstanken. Detta enzym bryter ned den likvifierade stärkelsen till fermenterbara sockerarter. Ett tredje enzym tillsätts till samma tank med syfte att bryta ned cellulosa-fibrerna i vetet för att sänka viskositeten hos det försockrade substratet. Det är viktigt att PH värdet hålls mellan 4-4,5 och det justeras genom tillsats av 96 % svavelsyra till mixer M2070. Den försockrade stärkelsen pumpas vidare till fermentorn med hjälp av P2008, som också justerar nivån i tank T2022.

4.1.5 Propagering

Propagering är ett viktigt steg för att få en bra jästkultur. Den jäst som kommer användas är vanlig bagerijäst som förs över till propageringskärlet T3202. Till propageringskärlet tillförs också näringsämnen och luft för att jästen ska kunna förökas. Den kultiverade buljongen förs sedan över till fermentorn som redan laddats med försockrad stärkelse från försockringsdelen. En liten del av mäskan från försockringen pumpas in i propageringskärlet, medan resten tillsätts direkt till fermentorn.

4.1.6 Fermentering

I fermentorn T3201 sker omvandling av stärkelse till etanol och koldioxid. En omedelbar omvandling till etanol sker och sockerkoncentrationen bör alltid ligga under 0,2 wt%. Etanol koncentrationen hålls konstant på 6-6,5 wt% genom kontinuerlig bortförsel. I fermentortanken bildas gaser, främst koldioxid som innehåller en mindre mängd etanol som tvättas bort i en skrubbar C3250 placerad ovanför fermentorn. Skrubbern består av ett långt smalt rör med fyllkroppar. Vattnet som används i skrubbern är färskvatten och förs sedan vidare till mjöl-vatten tanken T2003. Syre måste hela tiden tillsättas till fermentorn för att kunna erhålla en levande jästpopulation. Tanken är också att man ska kunna göra tester där man bara tillsätter syre i propageringskärlet och endast erhåller en jästtillväxt där. I fermentorn kommer då endast reaktionen från glukos till etanol ske. (se reaktionerna under avsnitt 3.3)

Varje kilo etanol som bildas genererar 1200 kJ värme. För att kunna få en stabil fermentering måste det finnas någon typ av temperaturkontroll. I pilotanläggningen

kommer all överflödlig värme kylas bort genom en kylmantel på fermentorn. Optimal fermenteringstemperatur är 32 °C.

4.1.7 Fiberseparation

Mäsken pumpas ut från fermentorn med pump P3203 till fiberseparatoren S3510. I fullskaliga anläggningar separeras fibrerna från mäsken med en bågsil. Flödena i pilotanläggningen är så små att en bågsil inte skulle fungera rent praktiskt. Spalten skulle bli alldeles för smal för att den ska kunna konstrueras.

Fiberseparationen har fortfarande en del frågetecken runt sig, men i nuläget finns två alternativ som ska testas och utvärderas: hydrocyklon och trumfilter. Det alternativet jag tittat lite närmare på är hydrocyklon som är ett nytt koncept som även skulle kunna bli användbart i fullskaliga anläggningar för att erhålla en högre fiberseparation än vad som är möjligt med bågsil.

Fiberfasen från fiberseparatoren pumpas sedan till destillationskonnen via fiberfastank T3508 och slamtank T3535.

4.1.8 Jäståtervinning

För att kunna erhålla en hög jästcellskoncentration i fermentorn är det nödvändigt med jäståtervinning. Den fiberfria vätskefasen från Separator Feed Tank T3503 förs med hjälp av gravitation till jästseparatoren. I jästseparatoren separeras jästen bort och återförs till fermentorn. Den jästfria mäsken pumpas till destillationskolonnen C4002.

4.1.9 Destillering

Alkohol tas kontinuerligt bort med samma hastighet som den bildas i fermentorn. Destillationskolonnen består av tre sektioner med totalt 20 stycken klockbottnar. Den jästfria mäsken tillförs i toppen av kolonnen, där den mesta av etanolen (ca 90 %) strippas av direkt och fås ut i form av ånga som kondenserar med värmväxlare E4009. Etanolen pumpas sedan till en etanoltank T4020. Vätskefasen som blir kvar efter det att etanolen strippats av i toppen rinner nedåt i kolonnen tills det att den når botten mellan den nedre och mitten sektionen. Där samlas vätskan upp och förs bort till Week Beer Tank T4008. Den etanolfria mäsken delas sedan upp i två strömmar varav den ena går till slamseparator S3513 och den andra direkt till fermentorn T3201. I slamseparatorn tas det mesta av slammet i form av olika proteiner bort. Slamseparatorn förhindrar att slam och fibrer ansamlas i systemet och orsakar stopp. Oftast har man inte kapacitet att köra allt genom slamseparatorn, syftet med denna pilotanläggning är att man ska ha en möjlighet att testa olika alternativ. Den klara fasen från slamseparatorn förs tillbaka till fermentorn medan slamfasen pumpas till destillationskolonnen för att man ska kunna erhålla ett högt utbyte av etanol. I den nedre sektionen på kolonnen strippas den kvarstående etanolen av. Pump P4003 pumpar dranken till Värmväxlare E4005 som värms med ånga. Denna värmeförsel driver hela destillationen. För att hålla nivån konstant i återkokaren tas drank ut till tank T4021. Den totala torrsubstanshalten i stillagen ligger runt 25-30%. Vanligtvis används dranken efter torkning som djurfoder på grund av dess höga proteinhalt.

4.2 Processutrustning

En del av utrustningen kommer att köpas och resten att ligga under egen tillverkning.

4.2.1 Tankar

Den enda tank som är befintlig är fermentorn, de resterande kommer tillverkas av lokala verkstäder på specifikation från Chematur. All information om tankarna finns att tillgå i utrustningslistan nedan. Storleken är baserad på en fullskalig anläggning.

Item No	Comments	Nominal
		Volume L
T 1027	Grain Reception Bin	50
T 1029	Flour Reception Bin	60
T 2001	Liquefaction Tank	20
T 2003	Flour Water Mixing Tank	5
T 2004	Flour Bin	150
T 2020	Saccharification Tank	70
T 2021	Saccharification Tank	70
T 2022	Saccharification Tank	70
T 2030	Enzyme 1 Storage Tank	1
T 2031	Caustic Storage Tank	1
T 2032	Enzyme 3 Storage Tank	1
T 2033	Enzyme 2 Storage Tank	1
T 2061	Sulphuric Acid Tank	1
T 3201	Fermenter Tank, befintlig	150
T 3202	Yeast Propagation Vessel	5
T 3204	Tank for Urea	1
T 3503	Separator Feed Tank	5
T 3504	Mash Column Feed Tank	5
T 3508	Fibre Phase Tank	5
T 3535	Sludge Tank	5
T 4008	Week Beer Tank	5
T 4013	Ethanol Vacuum Tank	5
T 4020	Ethanol Tank	10
T 4021	Stillage Tank	20

För mer information angående tankarna se bilaga 6.

4.3.2 Pumpar

Eftersom alla flödena kommer att vara relativt små, räcker det med enkla membranpumpar till de flesta strömmar. En excenterskruvpump kommer att användas till rundpumpningen i den nedre delen av kolonnen, eftersom det kommer vara ett relativt högt flöde där med hög torrsubstanshalt. Målet har varit att kunna eliminera så många pumpar som möjligt, genom att använda gravitationen. Pilotanläggningen har därför färre pumpar än den ursprungliga anläggningen.

Item No	Comment
P 2007	Saccharification Feed Pump
P 2008	Saccharified Starch Pump
P 2038	Enzyme 1 Dosing Pump
P 2039	Caustic Dosing Pump
P 2040	Enzyme 2 Dosing Pump
P 2041	Enzyme 3 Dosing Pump
P 2062	Sulphuric Acid Dosing Pump
P 3262	Urea Dosing Pump
P 3203	Fermenter Discharge Pump
P 3507	Mash Column Feed Pump
P 3512	Sludge Pump
P 4003	Feed Pump
P 4010	Wash Return Pump
P 4016	Ethanol Transfer Pump
P 4017	Vacuum Pump

Mer information om pumpar se bilaga 7.

4.3.3 Värmeväxlare

För beräkningar på värmeväxlare se bilaga 9. Kylmediet i alla värmeväxlare kommer att vara vatten.

Item No	Comment
E 2022	Liquefied Starch Cooler
E 3205	Week Beer Cooling
E 4005	Mash Column Reboiler
E 4009	Mash Column Condenser
E 4022	Beer Heater

För mer information se bilaga 8.

4.3.4. Separatorer

Item No	Comment
S	3505 Yeast Separator
S	3513 Sludge Separator
S	3510 Fibre Separator

Slamseparatorn som kommer användas är utlånad till ALFA-LAVAL, men kommer återfås i upprustat skick. Jästseparatorn är av liknande modell och kommer att köpas in från ALFA-LAVAL. Ett alternativ för fiberseparationen är hydrocykloner. Hydrocykloner är formade som en uppochnedvänd kon och vätskan förs in i övre delen av apparaten, den vida delen av konen och går i en virvelrörelse nedåt. När vätskan når den smalare delen bakas fibrerna samman och släpps ut i botten. Den renade vätskan förs uppåt för att sedan släppas ut genom det övre utloppet.



Fig. 7 Hydrocyklon från Biovortex

4.3.5. Omrörare

Item No	Comment
M 2001,1	Liquefaction Tank Agitator
M 2003,1	Flour Water Mixer Agitator
M 2020,1	Saccharification Tank Agitator
M 2021,1	Saccharification Tank Agitator
M 2022,1	Saccharification Tank Agitator
M 2070	Static Mixer
M 2071	Static Mixer
M 3201,1	Stirrer In Fermenter

Mer information finns i bilaga 10.

5. Chemcad Modell

Modellen konstruerades med grunddata och strömmar från en fullskalig anläggning. Den nedskalningsfaktor som användes är 13333. Chemcadmodellen med tillhörande flöden finns att tillgå i bilaga 11.

6. Laboratorium och analys

I lokalen tänkt för biostil piloten finns även ett laboratorium tillgängligt. I dagsläget innehåller laboratoriet ej tillräckligt med utrustning för att man ska kunna genomföra önskade tester. För att kunna följa processen och hur sammansättningen ändras vill man mäta:

- Etanolkoncentration
- Glukoshalt
- Jästceller
- Acetaldehyd
- Metanol
- Glycerol
- Ättiksyra
- Högre sockerarter som ej kan fermenteras

Utrustning för att täcka detta behov skulle kunna vara:

- Gaskromatograf
- Jästcellsräknare
- NIR (Near infrared)
- HPLC

6.1 Gaskromatograf

GC är en analysmetod för organiska föreningar. En gaskromatograf separerar de organiska föreningarna beroende av deras egenskaper som exempelvis molekylstorlek och polaritet. Vandringshastigheten är en information om vilket ämne det är. För att detektera de olika ämnena behövs en detektor av något slag. Vanligt är masspektrometri som identifierar föreningarna efter det att de separerats till fraktioner i gaskromatografen. Den gaskromatograf rekommenderad för vårt ändamål består av en kapillär kolonn med split/split injektor och FID, som är en flamjonisationsdetektor.

6.2 Jästcellsräknare

Det är viktigt att kunna övervaka jästcellspopulationen i fermentorn för att kunna vidhålla god fermentering. Även i andra delar av processen är det intressant att veta mängden jäst. Nukleocounter YC-100 är ett relativt nytt instrument på marknaden som används för att kunna räkna jästceller per automatik. Detta är ett instrument man önskar att testa i samband

med pilotanläggningen. Nucleocounter YC-100 utvecklat av företaget Chemometec och instrumentet fungerar som ett integrerat fluorescens mikroskop som detekterar små signaler från individuella jästceller. Resultaten visar direkt cellkoncentration, vilket ger större noggrannhet än indirekta metoder. Nucleocounter systemet består av ett fluorescens mikroskop, nucleokassetter innehållande bläck som märker cellerna och reagent Y100 för förberedning av prover. Mjukvaran till systemet, Nucleoview PC erbjuder dokumentering, bildvisning och data processning. Nucleocounter passar för snabba analyser av många lika jästtyper.

6.3 NIR

NIR står för Near Infra Red och är en spektroskopisk metod som mäter ett materials förmåga att absorbera NIR-ljus (1200-2400 nm). Metoden är baserad på molekylers övertoner och kombineringsvibrationer. Absorptionsförmågan i NIR området är ganska låg, men fördelen är att NIR har en förmåga att penetrera långt in i provet.

Med NIR är det möjligt att testa en mängd olika faktorer. Man kan testa fukthalt och stärkelseinnehåll i råmaterialet. Både fukt- och stärkelsehalt är två faktorer som bestämmer etanolutbytet. Mjölksyra kan som jag tidigare tagit upp vara ett stort problem vid fermentering. Med NIR kan man mäta mjölksyrakoncentrationen och snabbt upptäcka om en infektion skett.

Höga nivåer av högre sockerarter betyder att försöckringen inte är fullständig. Jästen kan inte konvertera dessa sockerarter till alkohol. Att ha koll på dessa ofermenterbara sockerarter är oerhört viktigt och kan enkelt göras med NIR. Andra saker man önskar testa med NIR är:

- Etanolkoncentration
- Glukos
- Glycerol
- Ättiksyra

7. Tillstånd

För att producera etanol krävs det att man har tillstånd och att man uppfyller vissa kriterier. Tillstånd hos länsstyrelsen krävs om anläggningen producerar mer än 1 ton årligen. Motsvarar anläggningen mer än 1 ton är anläggningen anmälningspliktig till Karlskoga Kommuns Miljö-och Byggnadsförvaltning. Biostilpiloten kommer uppskattningsvis att producera mindre än 1000 liter etanol årligen och man måste då endast erhålla ett godkännande från läkemedelsverket. Ett tillverkningsstillstånd ger endast rätt att tillverka dryckerna. Alkohollagen kräver lämplighet för den som ska få sitt tillstånd och det är sökande som ska visa upp sin lämplighet. Förutsättningar som tillstånd omfattar:

- Krav på att företaget betalar skatter och avgifter
- Krav på företagets rutiner
- Krav på att företrädare för bolaget har god personlig vandel, det vill säga inte är brottsligt belastad
- Krav på att företrädare för bolaget har god skötsamhet beträffande skatter, avgifter m.m.
- Krav på betryggande skydd mot tillgrepp för tillverkningslokalerna i Sverige

Ansökan görs till Statens folkhälsoinstitut och handläggningstiden för en ansökan beräknas till en månad. Tillståndshavaren måste rapportera tillverkade volymer. Dessa rapporteringar ligger sedan till grund för statistik samt för debitering av tillsynsavgifter. Tillsynsavgiften baseras på den tillverkade volymen och tas ut för varje slag av alkoholdryck som tillståndet omfattar. För tillverkning av teknisk sprit är grundavgiften 20 000 kr. Enligt läkemedelsverket måste all teknisk sprit denatureras så att den blir otjänlig för förtäring. Den tekniska spriten får inte heller förvaras på något annat ställe än det som angetts i ansökan. Den ska förvaras oåtkomlig för obehöriga och under betryggande kontroll så att den inte används till annat ändamål än det som angetts i ansökan.

8. Kostnadskalkyl

För att kunna uppskatta priser på den utrustning som ska tillverkas samt el- och instrumentutrustning har jag fått hjälp av anställda på Chematur som har stor erfarenhet av liknande kostnadskalkyler. Priserna på den processutrustning som måste införskaffas är baserat på marknadsundersökning. Antalet ingenjörstimmar har även det uppskattats.

8.1 Processutrustning

Item No	Active	Item Name	Description 1 (PID & LoFSI)	Pris SEK	Pris SEK
T 1027	Yes	Grain Reception Bin			
T 1029	Yes	Flour Reception Bin			5.300
T 2001	Yes	Liquefaction Tank			15.000
T 2003	Yes	Flour Water Mixing Tank			10.000
T 2004	Yes	Flour Bin	Silo		40.000
T 2020	Yes	Saccharification Tank			23.000
T 2021	Yes	Saccharification Tank			23.000
T 2022	Yes	Saccharification Tank			23.000
T 2030	Yes	Enzyme 1 Storage Vessel			8.000
T 2031	Yes	Caustic Storage Tank			8.000
T 2032	Yes	Enzyme 3 Storage Vessel			8.000
T 2033	Yes	Enzyme 2 Storage Vessel			8.000
T 2061	Yes	Sulphuric Acid Tank			8.000
T 3201	Yes	Fermenter Tank	Befintlig		
T 3202	Yes	Yeast Propagation Vessel			10.000
T 3204	Yes	Tank for Urea			10.000
T 3503	Yes	Separator Feed Tank			10.000
T 3504	Yes	Mash Column Feed Tank			10.000
T 3508	Yes	Fibre Phase Tank			10.000
T 3535	Yes	Sludge Funnel			10.000
T 4008	Yes	Week Beer Tank			10.000
T 4013	Yes	Ethanol Feeding Tank With Vacuum			10.000
T 4020	Yes	Ethanol Tank			13.000
T 4021	Yes	Stillage Tank			15.000
P 2007	Yes	Saccharification Feed Pump			2.800
P 2008	Yes	Saccharified Starch Pump			2.800
P 2038	Yes	Enzyme 1 Dosage Pump			1.500
P 2039	Yes	Caustic Dosing Pump			1.500
P 2040	Yes	Enzyme 2 Dosing Pump			1.500
P 2041	Yes	Enzyme 3 Dosing Pump			1.500
P 2062	Yes	Sulphuric Dosing Pump			1.500
P 3203	Yes	Fermenter Discharge Pump			2.800
P 3207	Yes	Mash Column Feed Pump			2.800
P 3262	Yes	Urea Dosing Pump			1.500
P 3512	Yes	Sludge Pump			2.800
P 4003	Yes	Reboiler Pump			17.000
P 4010	Yes	Wash Return Pump			2.800
P 4016	Yes	Ethanol Transfer Pump			2.800
P 4017	Yes	Vacuum Pump			2.800
E 2060	Yes	Liquefied Starch Cooler			

E	3205	Yes	Week Beer Cooling		
E	4005	Yes	Mash Column Reboiler		10.500
E	4009	Yes	Mash Column Condenser		10.500
E	4022	Yes	Beer Heater		
S	3210	Yes	Fiber Separator	Hydrocyklon	79.000
S	3213	Yes	Sludge Separator		156.400
S	3505	Yes	Yeast Separator	Återfås från Alfa Laval	
G	1028	Yes	Grain Mill	Inkl. Vibrator matare	86.250
C	3250	Yes	CO2 Scrubber	Glasrör med fyllning	
C	4002	Yes	Mash Column		Bottnar: 300.000
					Glas: 150.000
M	2001.1	Yes	Liquefaction Tank Agitator		4.000
M	2003.1	Yes	Flour Water Mixer Agitator		1.000
M	2020.1	Yes	Saccharification Tank Agitator		5.000
M	2021.1	Yes	Saccharification Tank Agitator		5.000
M	2022.1	Yes	Saccharification Tank Agitator		5.000
M	2070	Yes	Static Mixer		1.000
M	2071	Yes	Static Mixer		1.000
M	3201.1	Yes	Stirrer In Fermenter	Befintlig	
L	2072	Yes	Cell Feeder		

Totalt: 1,129,050 kr

Priserna är hämtade genom marknadsundersökning och uppskattningar.

8.2 El och instrument

Listan för el och instrument finns att tillgå i bilaga 12. Den totala kostnaden för den delen har beräknats till **2,809,500 kr**.

8.3 Labb

Item	Pris
Gaskromatograf, GC 3900	Factor Four Kapillär Kolonn: 120.000 SEK Dator och Mjukvara: 40.000 SEK Ev. Provväxlare: 89.000 SEK
Labfermentor	96.500 SEK inkl två pumpar, programvara och installation
Jästcellsräknare	€ 12.000 inkl. extra PC mukvara "Nucleoview" Nucleocassetter: Vid beställning av upp till 9 frp á 100 stk.: € 200 per frp Vid beställning av 10 - 49 frp á 100 stk.: € 180 per frp Vid beställning av över 49 kasser á 100 stk.: € 155 per frp Reagens Y-100 á 0,5 liter € 49 (nog til ca. 5000 mätningar)
HPLC	265.000
NIR	450.000

8.4 Råvaror

Den råvara som kommer att användas i störst utsträckning är vete. Vete kan köpas på pall från granngården. Varje pall innehåller 18 säckar á 30 kg. Priset per pall är 1800 kr. Dygnsförbrukningen av vete kommer uppgå till cirka 60 kg.

9. Slutsatser

Det finns en hel del problem ihopkopplat med att skala ned en fullstor anläggning till en pilotanläggning. Pilotanläggningen är tänkt att vara cirka 13 tusen gånger mindre än en av de fullskaliga biostilanläggningarna. Detta skapar förstås en hel del problem. En svårighet är att gå från teoretiskt tänkande till praktiskt och fråga sig: är detta praktiskt genomförbart. Utan någon som helst erfarenhet av detta är det naturligtvis svårt. Som student har man hittills inte behövt tänk på huruvida teorin är praktiskt genomförbar.

Under arbetets gång har en del frågor retts ut angående tekniska lösningar, men många har också dykt upp. Ett stort problem med att direkt skala ned en anläggning är att all utrustning inte fungerar med för små flöden. Fiberseparationen kom att bli ett stort frågetecken eftersom det inte var tekniskt möjligt att tillverka en bågsil för såpass små flöden. Istället får man då börja titta sig runt efter fler alternativ. Två alternativ som kom upp är att antingen bygga en egen konstruktion eller testa en hydrocyklon. Under tiden denna anläggning ska projekteras så kommer med all säkerhet de båda metoderna testa och utvärderas. Det är också av intresse att kunna testa olika alternativ på pilotanläggningen och se hur olika typer av fiberseparation och effektivitet påverkar slutresultatet. Denna konstruktion på pilotanläggningen är säkerligen ingen slutgiltig utan man kommer under arbetets gång antagligen göra många ändringar.

Ett mål var också att till så stor del som möjligt förenkla konstruktionen så att både kostnaden och felfrekvensen sänks. Man vill samtidigt att det ska vara en så verklig bild av en fullskalig anläggning som möjligt. Det är viktigt att tänka på att pilotanläggningen ska ge en verklig bild på hur en fullskalig anläggning fungerar, för att sedan kunna göra omvandlingen från en pilotanläggning till en fullskalig.

De priser jag tagit fram är ungefärliga inköpspriser. Beroende på vart man väljer att köpa in utrustningen ifrån varierar priset naturligtvis.

Labbutrustningen har getts som förslag på vad som skulle kunna ingå i ett laboratorium. Vad Chematur sedan väljer att införskaffa kommer att bestämmas senare i projektet. Jag väljer att inte sammanställa någon total investeringskostnad, eftersom många delar bara är förslag och inget slutgiltigt. Det som beräknats är investeringskostnaden, sedan tillkommer ju rörliga kostnader som bemanning, råvarukostnad etc.

Appendix A Nomenklatur

CDO	Koldioxid
CW	Cooling Water, kylvatten
CWR	Cooling Water Return, kylvatten retur
Drank	Den alkoholfria mäsken
E	Värmeväxlare
FC	Flow Control
FIC	Flow Indication Control
FL	Flour, mjöl
FWM	Flour Water Mix, mjöl-vatten blandning
LIC	Level Indication Control
LSTA	Liquified Starch, likvifierad stärkelse
LT	Level Transmitter
M	Mixer
MSH	Mash, mäske
Mäsk	Socketlösning
NIR	Near Infrared
P	Pump
PFD	Process Flow Diagram
PID	Process Indication Diagram
S	Separator
SA	Svavelsyra
Slam	Mestadels bestående av proteiner
SSTA	Saccharified Starch, försockrad stärkelse
T	Tank
Ti	Temparture Indication
TIC	Temperature Indication Controll
TT	Temperature Transmitter
WBR	Week Beer, jästfri mäske som genomgått destillering
YC	Yeast Cream, jästkräm

Källförteckning

Hoseney, R.C. (1990), Cereal Science and Technology, ISBN-0-913250-43-0, American Association of Cereal Chemists, USA

Kelsall, D.R. (2003), The Alcohol Textbook, ISBN-1-897676-13-1, Nottingham University Press, U.K

Kristiansen, B. (1994), Integrated Design of a Fermentation Plant-The Production of Baker's Yeast, ISBN 3-527-30029-5, VCH Weinheim Germany

McMurry, J. (1999), Organic Chemistry, ISBN-0-534-36274-5, Thomson Learning, USA

Nelson, D.L. (2005), Principles of Biochemistry fourth edition, ISBN-0-7167-4339-6

Wyman, C.E. (1996), Handbook on Bioethanol, ISBN-1-56032-553-4, Taylor & Francis, USA

www.agroetanol.se, Lantmännen Agroetanol, 2007-01-15,

www.baff.info/index.cfm, Bioalcohol Fuel Foundation, 2007-01-10

www.chematur.se, Chematur Engineering AB, 2006-11-20