

## **Drank från spannmålsbaserad etanolproduktion - alternativa sätt att tillvarata dess ekonomiska och energimässiga potential**

### **Bakgrund**

Under år 2010 förbrukades 4,6 milj m<sup>3</sup> bensin i Sverige. Fem procent etanolinblandning betyder 230 000 m<sup>3</sup> etanol per år, dvs. ca 1,1 Norrköpingsanläggningar. Sedan tillkommer den etanol som används i miljöbilar som går på E85-bränsle (innehåller ca 85 % etanol och ca 15 % bensin) och i bussar som dieseletanolbränslet ED95 (innehåller ca 95 % etanol). Totalt 400 000 m<sup>3</sup> etanol förbrukades i de ovan nämnda drivmedlen 2010. Antalet bilar som kan köra på E85-bränsle ökar kraftigt, och dessutom tillåter EU numera i bränslekvalitetsdirektivet att upp till 10 volymprocent etanol ingår i bensinen. De flesta av dagens bilar klarar av att gå på bensin som innehåller 10 % etanol.

När spannmål används som råvara vid produktion av etanol mals denna först till mjöl. Detta mjöl blandas med vatten till en ”gröt” innan enzymer tillsätts och stärkelsen (ca 60 % av innehållet) bryts ner till socker varvid en s.k. mäske erhålles. Till denna sockerlösning (mäske) sätts jäst och då omvandlas sockret till etanol och koldioxid. Drank är den del av mäskan som ej dunstats bort som etanol i mäskekolonnerna vid tillverkning av etanol från lämpliga växtmaterial, t.ex. spannmål.

Vid produktion av etanol används huvudsakligen mjöl från höstvetete som råvara. 1 kg av detta mjöl innehåller 12-13 % råprotein och 64-72 % stärkelse av ts. Den drank som återstår, ca 0,32 kg, då etanolen tagits tillvara innehåller 32-41 % råprotein och 1,2-1,8 % stärkelse av ts. Vete till etanolproduktion kommer från sorter med högt innehåll av stärkelse. Detta vete innehåller mindre protein än bagerivete, och dess kvävebehov ligger därför ca 15 kg/ha lägre vid odling i södra Sverige.

Det sädeslag som oftast används som råvara vid tillverkning av etanol i Sverige är höstvetete. Åren 2007-2009 odlades höstvetete med en genomsnittlig avkastning på 6 130 kg/ha på ca 320 000 ha. I Sverige finns drygt 2,6 miljoner hektar brukad åkermark. På Agroetanolns fabrik i Norrköping produceras årligen 210 000 m<sup>3</sup> etanol och 175 000 ton proteinfoder (drank). Produktionen baseras på 550 000 ton spannmål (huvudsakligen vete), vilket motsvarar 89 700 ha med den ovan angivna avkastningen för höstvetete.

Spannmålsdrank används huvudsakligen till utfodring. Den kan utfodras antingen i blöt form (flytande med 8,5 eller 28 % ts), eller i torr form (med 90 % ts). Vanligen utfodras nötkreatur och grisar med drank, men även andra djurslag inom jordbruket kan utfodras. Dranken kan även användas som biogasråvara, bränsle eller som organiskt gödselmedel. Efter jäsningen återstår spannmålets smältbara protein i dranken i huvudsakligen oförändrad form, medan nästan all stärkelse gått bort. Dranken blir därför ett proteinfoder.

Då etanolen har ett högre marknadsvärde (ca 5,4 SEK/liter = ca 6,9 SEK/kg) jämfört med drankens (ca 1,6 SEK/kg) är det av intresse att om möjligt öka utbytet av etanol. Då mer än 99 % av spannmålets stärkelse förbrukas i nuvarande etanolprocess betyder detta att en extra process måste omvandla något annat än stärkelse i spannmålen till etanol. För höstvetete och även andra spannmålsslag är detta cellulosa och hemicellulosa.

Höstvetete innehåller ca 14 % av ts NDF-fiber som huvudsakligen består av cellulosa och hemicellulosa. Detta att jämföras med ett stärkelseinnehåll på ca 64 % av ts i samma höstveteprov. Flera artikelförfattare anger att etanolutvinningen från majs kan ökas med 12-14 % om denna

behandlas så att även fiberpolysackarider (cellulosa och hemicellulosa) kan utnyttjas för produktion av etanol. Detsamma borde gälla andra spannmålsslag såsom t.ex. höstvetete. Detta under förutsättning att både hexoser och pentoser kan jäsas till etanol.

Livscykelanalyser och energibalanser av odling av spannmål till etanol under svenska förhållanden har under senare år främst gjorts av Pål Börjesson m.fl. vid Lunds universitet. Dessa studier har gjorts på liknade sätt som den här studien, och i ett fall har man i en känslighetsanalys studerat vad som händer med växthusgaser avseende etanol när andelen sojamjöl och foderkorn som ersätts av drank varierar vid systemutvidgning.

### ***Syfte***

Arbetets syfte var att utvärdera hur spannmålsdrank kan användas i olika applikationer, samt att beräkna dess ekonomiska värde och produktionskostnader vid dessa användningar. Vidare att ta fram miljöbelastning såsom bl.a. emissioner av växthusgaser och energibehov för de olika användningarna vid produktion av etanol och drank. Syftet var vidare att belysa de olika problem som finns för varje användningsområde, samt att peka på kunskapsluckor där framtida forskning behövs. Vidare att analysera betydelsen av att dranken behandlas med ytterligare en process där en del av spannmålets cellulosa omvandlas till etanol, och sekundärdrank erhålles.

### **Material och metoder**

Studien bygger till stor del på litteraturuppgifter som i många fall bearbetas i egna beräkningar samt tolkas i enlighet projektets syfte. En del av de ekonomiska uppgifterna, samt en del uppgifter om utfodring av de olika djurslagen, har tagits fram genom intervjuer av nyckelpersoner. I studien ingick både konventionell drank och drank efter råvara där etanolutbytet ökats med 13 % genom att en del av drankens cellulosa omvandlats till etanol med ett extra processteg, s.k. sekundärdrank.

I litteraturstudier görs en grundlig genomgång av hur etanol kan produceras från spannmål och vilka processer som tillkommer om man vill öka etanolutbytet genom att även nyttja den cellulosa och/eller hemicellulosa som ingår i spannmålen. Inverkan på drankens sammansättning, möjliga problem och processer studeras.

Omfattande ekonomiska beräkningar görs av drankens värde vid olika användning, samt den för dessa användningar resulterande produktionskostnaden för etanol till fordonsbränsle. På liknande sätt görs livscykelanalyser, med utvidgade system, på olika användningar av dranken, t.ex. som foder till nötkreatur, grisar, fjäderfän och hästar, eldning för värme, gödselmedel och biogasråvara. Denna livscykelanalys begränsades till miljöpåverkanskategorierna: växthusgaser (GWP), försurande ämnen (AP), gödande ämnen (EP), fotokemiskt smogbildande ämnen (POCP) och insatt energi. Utsläpp av dessa ämnen till både luft och vatten ingick i studien. Slutligen görs uppskattningar av hur stor andel av den drank som är möjlig att producera inom Sverige som kan konsumeras vid olika användning.

## Resultat

Idisslare, som nötkreatur och får, kan utfodras med en stor del av proteinet i fodret som vetedrank. Protein från andra källor kan behövas för att den totala mängden protein ska bete sig på önskat sätt vid matsmältningen. Till grisar och fjäderfä kan drygt 10 % respektive ca 10 % av fodret bestå av vetedrank. Smågrisar är känsliga för fodrets smaklighet, och det är viktigt att de får ett gott foder. Det är därför inte säkert att de alltid kan äta foder som innehåller vetedrank. Till fjäderfä kan man få begränsa inblandningen av drankprodukter i fodret om gödseln skulle bli blöt och kladdig. Till hästar kan ca 10 %, i bästa fall uppåt 20 %, av kraftfodret bestå av vetedrank om man ej drabbas av smaklighetsproblem. Vissa hästar kan vara kräsna.

Foderstatsberäkningar har visat att generellt så har mjölkande/digivande och snabbt växande djur störst behov av protein och därmed spannmålsdrank. Långsamt växande och mer lätt arbetande djur som bara behöver underhållsprotein har ett mindre behov av protein och är därför inte beroende av tillskott av proteinfoder. Dessa behöver endast lite eller ingen drank.

Behovet av sekundärdrank (drank efter process där ca 13 % mer etanol utvunnits från även en del av spannmålets cellulosa) minskar då denna innehåller ungefär 30 % mer råprotein än primärdrank (ordinär drank där endast spannmålets stärkelse nyttjats för etanolproduktionen). Till mjölkkor kan sekundärdrank ersätta annat proteinfoder och då behöver inte mängden sekundärdrank minska så mycket i förhållande till primärdrank. Till kraftfodertjurar, får och hästar som fått större delen av sitt proteinbehov, utöver grovfodrets protein, täckt med primärdrank minskar behovet av sekundärdrank i samma storleksordning som dess råproteininnehåll ökat i förhållande till det i primärdrank. Till grisar och fjäderfä kan man välja andra ingående ingredienser i fodret för att kompensera det lägre innehållet av essentiella aminosyror, bl.a. lysin, i sekundärdrank. Detta gör att mängden sekundärdrank i fodret, till dessa djurslag, inte behöver bli mindre än vad den varit med primärdrank. I tabell 1 ges en sammanställning av den omsättbara energin i olika typer av drank till olika djurslag. Värdena för sekundärdrank är beräknade utifrån hur sammanställningen hos dessa fodermedel kan förväntas bli utifrån den cellulosa som förbrukas i processen som ökar etanolutbytet med 13 %.

Tabell 1. Beräknad omsättbar energi i vetedrank där även en del av cellulosan och hemicellulosan använts för etanolproduktionen vid utfodring av nötkreatur, hästar, grisar och fjäderfä

Biprodukt	Djurslag, omsättbar energi (MJ/kg torrs substans)			
	Nötkreatur	Hästar	Grisar	Fjäderfä
Vetedrank, primärdrank <sup>a</sup> (Agroetanol) (torr)	13,3	12,9	10,8 <sup>b</sup>	10,9
Vetedrank, sekundärdrank (Agroetanol) <sup>c</sup> (torr)	12,6	12,1	9,0 <sup>b</sup>	9,1
Vetedrank, primärdrank <sup>a</sup> (Nöbbelöv) (blöt)	13,9	13,2	11,9	
Vetedrank, sekundärdrank (Nöbbelöv) <sup>c</sup> (blöt)	13,4	12,5	10,3	

<sup>a</sup> Drank från spannmål jäst med ordinär process som nyttjar endast spannmålets stärkelse.

<sup>b</sup> Agrodrank 27 (Sirap).

<sup>c</sup> Beräknade värden.

Spannmålsdrank kan eldas antingen blöt eller torkad beroende på eldningsutrustningen. Drank med ursprung i spannmål innehåller höga halter alkalimetaller, som ger en aska med låg smältpunkt, vilket gör att den troligen sintrar lätt. Höga halter av svavel och klor kan ge problem med

korrosion. Mängden aska är ganska stor, ca 5 % av torrsubstansen. Det höga innehållet av kväve (ca 6 % av ts) gör att kväveoxidemissionerna sannolikt blir höga, och då i nivå med vad som erhållits vid eldning av rapsexpeller med ungefär samma kvävehalt, 2-3,6 gånger jämfört med kvävefattiga bränslen. Utnyttjas även en del av cellulosan för produktion av etanol, koncentreras de ämnen som ger problem vid eldningen, vilket ökar sannolikheten för problem. Dessutom blir askhalten högre medan det totala värmevärdet minskar i takt med att cellulosa blir till etanol.

Som gödselmedel innehåller drankens torrsubstans ca 5,7 % kväve, 0,8-1,5 % fosfor och 0,9-1,9 % kalium. Beräkningar ger att sekundärdranks torrsubstans bör innehålla ca 7,4 % kväve, 1,0-2,0 % fosfor och 1,2-2,4 % kalium. Det organiskt bundna kvävet mineraliseras (frigörs) troligen långsamt, såsom hos t.ex. rapsexpeller. Drankens låga pH kan göra att växter ”bränns”, vilket gör att drank bör användas med stor försiktighet som gödselmedel, och kanske helt undvikas i växande gröda.

Drank går bra att röta till biogas. Växtnäringen i rotad drank blir sannolikt mer växttillgänglig efter rötningen. Drank är ett kväverikt substrat som kan ge problem med hög halt av ammoniumkväve i biogasreaktorn. Detta gäller i högre utsträckning för sekundärdrank där näringsämnen koncentreras då en del av cellulosan blivit till etanol. Utbytet i processen borde kunna bli 60-70 %, vid goda förhållanden kanske 80 %. I tabell 2 anges potentialer för produktion av metan från primärdrank och från sekundärdrank. Den potentiella gasproduktionen är beräknad med två olika metoder. Beräkningar utifrån det gasutbyte på 330-340 m<sup>3</sup> metan/ton tillförd organisk substans som anges i litteraturen, tyder på ett utbyte på ca 60 % vid beräkning utifrån de kemiska formelerna, och på ca 70 % vid beräkning utifrån innehållet av kolhydrat, fett och protein. Det beräknade gasutbytet vid rötning av vetedrank blir som synes i samma storleksordning som det från rapsmjöl med ett lågt fettinnehåll.

Tabell 2. Potential för produktion av biogas från vetedrank, volym CH<sub>4</sub>/kg torrt material (m<sup>3</sup>)

Beståndsdel	Vetedrank <sup>a</sup>		Vetedrank <sup>b</sup>		Rapsmjöl <sup>b</sup>
	Primärdrank	Primärdrank	Sekundärdrank	Sekundärdrank	
Kolhydrat		0,25		0,20	0,20
Fett		0,04		0,06	0,04
Protein		0,16		0,21	0,20
Summa		0,46		0,47	0,45
Summa (kg)	0,37	0,32	0,40	0,33	0,32
Effektivt värmevärde (MJ)	18,6	16,2	19,7	16,6	15,8
Om 80 % utbyte antas					
Summa (kg)	0,30	0,26	0,32	0,27	0,25
Effektivt värmevärde (MJ)	14,9	12,9	15,8	13,3	12,7
Om 60 % utbyte antas					
Summa (kg)	0,22	0,19	0,24	0,20	0,19
Effektivt värmevärde (MJ)	11,1	9,7	11,8	9,9	9,5

<sup>a</sup> Beräknat med kemiska formler för biogasproduktion utifrån elementarsammansättningen.

<sup>b</sup> Beräknat utifrån innehållet av kolhydrater, fett och protein och metangasproduktionen från dessa substrat.

Kostnadsberäkningar har gjorts där det ekonomiska värdet hos spannmålsdrank beräknats utifrån de ekonomiska värdena hos korn och sojamjöl (omsättbar energi och råprotein till nötkreatur och hästar eller lysin till grisar och fjäderfä eller metionin till fjäderfä) vid utfodring, skogsflis vid eldning (effektiva värmevärdet), kväve, fosfor och kalium vid användning som gödselmedel, samt försäljning av el och fjärrvärme från en större gårdsanläggning inklusive värdet av kväve, fosfor och kalium i rötresten vid rötning. Vid rötningen studerades fall med både 60 och 80 %:s

utbyte, samt fall exklusive och inklusive rötningskostnaderna. Kostnaderna studerades för åren 2005-2010.

Resultaten (tabell 3) visar att produktionskostnaderna blir lägst och lönsamheten bäst om dranken (både primärdrank och sekundärdrank) används som foder till nötkreatur och hästar och till fjäderfän om metionin är den dimensionerande aminosyran. Användning som foder till grisar och fjäderfän (lysin) samt som råvara till biogasprocesser där man ej behöver betala för rötningen intar ett mellanläge, sämst är biogas där man måste betala för rötningen, gödselmedel och förbränning. Sekundärdrank ger lägre produktionskostnader och bättre lönsamhet än primärdrank utom vid användning som foder till grisar och fjäderfän beroende på att lysin och metionin bryts ner i processen för att öka etanolutbytet. Detta är orsaken till att foder till fjäderfä (metionin) blir lönsammast för primärdrank (tabell 3) medan foder till hästar och nötkreatur blir lönsammast för sekundärdrank. Förändring av kostnaderna för olika produktionsfaktorer påverkar i de flesta fall inte vilken användning av dranken som blir lönsammast, undantag är el och värme som påverkas mindre då dranken ej behöver torkas till biogas, gödselmedel och förbränning. El och värme påverkas även mer för sekundärdrank än för primärdrank då ett el- och värmekrävande processteg tillkommer. Världsmarknadspriserna på korn och sojamjöl har en stor inverkan på drankens värde, liksom utbyte m.m. från biogasanläggningen. Priserna på skogsflis och gödselmedel hade något mindre inverkan på resultatet då dessa produkter hade ett lägre värde från början.

*Tabell 3. Värde hos primärdrank och sekundärdrank (SEK/kg ts) vid olika användning beräknat utifrån genomsnittspriserna på korn, sojamjöl, träflis till värmeverk, gödselmedel och el och värmepris från biogas år 2005-2010 samt känslighetsanalys baserad på 2009 års priser.*

*Dranken antas torr vid utfodring av samtliga djurslag och blöt till alla andra användningar.*

*Värden inom parentes anger ordningsföljd vad gäller drankens värde*

Typ av drank / Användningsområde	Primärdrank Snitt 2005-2010	Sekundärdrank Snitt 2005-2010
Foder till nötkreatur	2,24 ( 3)	2,568 ( 2)
Foder till grisar	1,51 ( 7)	1,196 ( 8)
Foder till fjäderfä (lysin)	1,59 ( 6)	1,198 ( 7)
Foder till fjäderfä (metionin)	2,57 ( 1)	2,567 ( 3)
Foder till hästar	2,33 ( 2)	2,72 ( 1)
Eldning för uppvärmning	0,90 ( 9)	0,97 (10)
Gödselmedel	0,92 ( 8)	1,203 ( 6)
Biogas 80 % utvinning <sup>a</sup>	0,85 (10)	1,17 ( 9)
Biogas 60 % utvinning <sup>a</sup>	0,52 (11)	0,83 (11)
Biogas 80 % utvinning <sup>b</sup>	2,21 ( 4)	2,53 ( 4)
Biogas 60 % utvinning <sup>b</sup>	1,89 ( 5)	2,19 ( 5)

<sup>a</sup> Räknat under antaganden som om rötningen skett i en större tysk gårdsanläggning (investeringskostnader m.m.) under svenska förhållanden (löner m.m.).

<sup>b</sup> Exkl. rötningskostnader.

Livscykelanalyser har gjorts av produktionen av etanol, med systemutvidgning, där dranken ersätter andra produkter beroende på dess användning. Följande produkter ersätts beroende av drankens användning: sojamjöl och korn vid utfodring (råprotein till nötkreatur och hästar, lysin till grisar och fjäderfä, metionin till fjäderfä); skogsflis vid eldning; konstgödsel NPK vid gödsling; vall till biogas och överskotts-konstgödsel vid biogasråvara. I tabell 4, nedan, visas resultaten av livscykelanalysen. Resultaten redovisas för produktion av etanol (absolut, 100 %)

för flera olika användningar av primärdrank, samt av sekundärdrank där 13 % mer etanol utvunnits ur spannmålen med en extra process där etanol även utvunnits från en del av den i spannmålen ingående cellulosa. Som en referens är ingen allokering och fysisk allokering efter produkternas energiinnehåll (effektiva värmevärde) inlagt överst i tabell 4 och ingen allokering i figur 1. Då bensin är ett fossilt bränsle, och i alla andra fall jordbruks- eller skogsbruksgrödor ersätts, blir den globala uppvärmningen i dessa fall mycket lägre än i alla andra fall. Även andra miljöpåverkanskategorier påverkas, t.ex. blir energiåtgången och fotokemiskt smogbildande ämnen lägre än i alla övriga alternativ. Då biogasen ersätter den fossila bensinen direkt gör detta att skillnaderna mellan biogasutvinningsgraderna på 60 och 80 % blir större än i något annat fall (se tabell 4) till den högre utvinningsgradens fördel. Detta gäller båda de studerade dranktyperna (primär- och sekundärdrank). Dessutom blir skillnaderna mellan de båda studerade dranktyperna större än i något annat fall av samma orsak till primärdrankens fördel (här finns ju mer cellulosa kvar att röta). Detta visar även att det då ett fossilt bränsle ska ersättas direkt kan vara fördelaktigare, vad gäller växthusgaser, att ersätta detta med biogas istället för med etanol. Vissa mindre skillnader i beräkningssätt och systemgränser, då biogasen ersätter bensin, finns mot de övriga fallen. Dessutom har ej beräkningarna gjorts på detta sätt för den cellulosa som blir till etanol i fallet med extraprocess för produktion av 13 % mer etanol. Därför redovisas här efter och jämförs mot varandra de fall där dranken ersätter jordbruks- och skogsbruksprodukter, då syftet med den här studien i första hand är att studera miljöeffekter då dranken ersätter sådana produkter vid produktion av etanol och drank.

Nedan följer en sammanfattning av resultaten i de olika miljöpåverkanskategorierna för drank som ersätter jordbruks- och skogsbruksprodukter som rangordnats från lägre till högre påverkan för primärdrank och sekundärdrank (se tabell 4). För global uppvärmning blir ordningsföljden från lägst påverkan: fjäderfä (metionin), hästar och nötkreatur, fjäderfä och grisar (lysin), biogas (80 % och 60 %), gödselmedel och sämst eldning. Ordningsföljderna blir ungefär desamma för försurning och eutrofiering (gödande verkan). För energiåtgång kastas ordningsföljden om och blir från lägsta (se tabell 4): biogas (80 % och 60 %), gödselmedel, eldning, fjäderfä (metionin), hästar och nötkreatur och sist fjäderfä (lysin) och grisar. För sekundärdrank blir för global uppvärmning ordningsföljden från lägst påverkan: hästar och nötkreatur, fjäderfä (metionin), biogas (80 % och 60 %), grisar och fjäderfä (lysin), gödselmedel och sist eldning. För energiåtgång blir ordningsföljden från lägsta: biogas (80 % och 60 %), hästar och nötkreatur, fjäderfä (metionin), gödselmedel, eldning, och sist grisar och fjäderfä (lysin).

Vid en jämförelse mellan primär- och sekundärdrank vad gäller miljöpåverkan av växthusgaser ser man att skillnaderna är små. Då dranken används som foder till nötkreatur och hästar samt som biogasråvara (och även vid ingen allokering) blir påverkan något större för primärdrank, och i alla övriga fall störst för sekundärdrank (se figur 1a). I samtliga fall (utom för ingen allokering pga. mer etanol att fördela påverkan på) blir energiåtgången störst för sekundärdranken, vilket inte är oväntat då denna kräver en extra energikrävande process vid produktionen (se figur 1b). För övriga miljöpåverkanskategorier är förhållandena mer komplicerade om primärdrank eller sekundärdrank ska ge lägst påverkan (se tabell 4).

I de flesta fallen har det nästan inte blivit någon skillnad i emissionerna av växthusgaser om dranken torkats eller inte torkats (se figur 2a). Orsaken till detta är att emissionerna av växthusgaser blivit lika stora vid torkningen som vid den extra transportinsatsen för tyngre blöt drank. Torkningen antas kunna ske med förnybar energi men det gör inte transporten.

Tabell 4. Livscykelanalys av produktion av etanol med systemutvidgning för olika användning av dranken med olika antaganden. Miljöpåverkan mäts i g/MJ<sub>etanol</sub> eller i MJ/MJ<sub>etanol</sub>

Typ av process etanolproduktion Miljöpåverkanskategori/ allokering	Etanol från enbart spannmålets stärkelse						Etanol (+13 %) från spannmålets stärkelse och en del av spannmålets cellulosa					
	GWP	AP	EP	POCP	Energi	Energi <sup>j</sup>	GWP	AP	EP	POCP	Energi	Energi <sup>j</sup>
Ingen allokering	45,5	0,201	0,236	0,0072	0,878	41144	40,7	0,186	0,210	0,0068	0,867	45909
Allokering enl. energi innehåll (effektiva värmevärdet)	26,2	0,112	0,136	0,0039	0,435	20373	26,7	0,121	0,138	0,0044	0,547	28942
Nötkreatur (Flysjö) <sup>a</sup>	22,0	0,032	0,086	-	0,561	26275	21,6	0,032	0,098	-	0,580	30731
Nötkreatur (Jungk) <sup>b</sup>	32,1	0,079	0,042	0,0043	0,704	32968	31,7	0,079	0,055	0,0044	0,725	38386
Nötkreatur (Flysjö) blöt <sup>ac</sup>	21,8	0,015	0,083	-	0,288	13505	21,5	0,020	0,097	-	0,396	20959
Nötkreatur (Jungk) blöt <sup>bc</sup>	31,9	0,061	0,039	0,0034	0,431	20198	31,6	0,067	0,053	0,0038	0,540	28614
Gris (Flysjö) <sup>ad</sup>	32,0	0,122	0,137	-	0,727	34047	31,0	0,119	0,146	-	0,741	39225
Gris (Jungk) <sup>bd</sup>	35,6	0,138	0,122	0,0055	0,778	36436	34,9	0,136	0,130	0,0056	0,795	42107
Gris (Flysjö) lysin <sup>ae</sup>	-	-	-	-	-	-	33,9	0,149	0,158	-	0,797	42208
Gris (Jungk) lysin <sup>be</sup>	-	-	-	-	-	-	35,2	0,155	0,152	0,0059	0,816	43221
Gris (Flysjö) blöt <sup>acd</sup>	31,8	0,104	0,134	-	0,454	21277	30,9	0,107	0,144	-	0,556	29453
Gris (Jungk) blöt <sup>bcd</sup>	35,4	0,121	0,119	0,0046	0,505	23666	34,7	0,124	0,128	0,0049	0,611	32335
Gris (Flysjö) lysin blöt <sup>ace</sup>	-	-	-	-	-	-	33,8	0,137	0,156	-	0,613	32436
Gris (Jungk) lysin blöt <sup>bce</sup>	-	-	-	-	-	-	35,1	0,144	0,150	0,0053	0,632	33449
Fjäderfä (Flysjö) lysin <sup>ae</sup>	31,2	0,121	0,129	-	0,724	33918	33,5	0,149	0,153	-	0,796	42136
Fjäderfä (Jungk) lysin <sup>be</sup>	34,5	0,136	0,114	0,0054	0,772	36152	34,7	0,154	0,148	0,0058	0,813	43062
Fjäderfä (Flysjö) metionin <sup>af</sup>	20,2	0,011	0,080	-	0,521	24417	23,2	0,046	0,107	-	0,606	32100
Fjäderfä (Jungk) metionin <sup>bf</sup>	32,1	0,065	0,028	0,0041	0,690	32331	32,4	0,088	0,068	0,0046	0,737	39025
Häst (Flysjö) <sup>a</sup>	21,0	0,024	0,080	-	0,546	25559	20,4	0,021	0,092	-	0,561	29687
Häst (Jungk) <sup>b</sup>	31,6	0,073	0,034	0,0042	0,696	32622	31,3	0,072	0,045	0,0043	0,716	37925
Förbränning skogsflis	42,9	0,225	0,241	0,0055	0,844	39530	38,8	0,203	0,213	0,0055	0,842	44576
Förbränning skogsflis blöt <sup>c</sup>	42,7	0,206	0,237	0,0046	0,570	26699	43,7	0,214	0,239	0,0055	0,742	34755
Gödselmedel	34,2	0,161	0,233	0,0062	0,813	38069	30,7	0,150	0,208	0,0058	0,809	42834
Gödselmedel blöt <sup>c</sup>	34,2	0,145	0,231	0,0053	0,543	25433	34,7	0,157	0,232	0,0059	0,708	33152
Biogas (80 %) stor <sup>gc</sup>	32,8	0,118	0,210	0,0042	0,470	22043	29,7	0,120	0,191	0,0045	0,575	30433
Biogas (80 %) liten <sup>hc</sup>	33,4	0,118	0,209	0,0040	0,431	20206	30,1	0,120	0,191	0,0044	0,548	28993
Biogas (80 %) bensin <sup>ic</sup>	1,5	0,129	0,230	-0,0053	0,150	7009	7,9	0,127	0,205	-0,0021	0,352	18639
Biogas (60 %) stor <sup>gc</sup>	33,8	0,127	0,215	0,0046	0,508	23820	30,4	0,127	0,195	0,0047	0,601	31827
Biogas (60 %) liten <sup>hc</sup>	34,3	0,127	0,215	0,0044	0,479	22442	30,7	0,126	0,195	0,0046	0,581	30747
Biogas (60 %) bensin <sup>ic</sup>	10,3	0,135	0,231	-0,0026	0,268	12544	14,1	0,132	0,206	-0,0002	0,434	22982

<sup>a</sup> Systemutvidgning sojamjöl från (Flysjö m.fl., 2008), samt korn (egen beräkning).

<sup>b</sup> Systemutvidgning sojamjöl från (Jungk m.fl., 2000), samt korn (egen beräkning).

<sup>c</sup> Blöt drank som primärdrink eller sekundärdrink.

<sup>d</sup> Vid extra process för 13 % högre etanolutbyte antas mängden lysin i sekundärdranken ej påverkats.

<sup>e</sup> Vid extra process för 13 % högre etanolutbyte antas mängden lysin i sekundärdranken minskat med 50 %.

<sup>f</sup> Vid extra process för 13 % högre etanolutbyte antas mängden metionin i sekundärdranken minskat med 20 %.

<sup>g</sup> Biogas som ersätter biogas producerad från vall i en stor anläggning.

<sup>h</sup> Biogas som ersätter biogas producerad från vall i en liten anläggning.

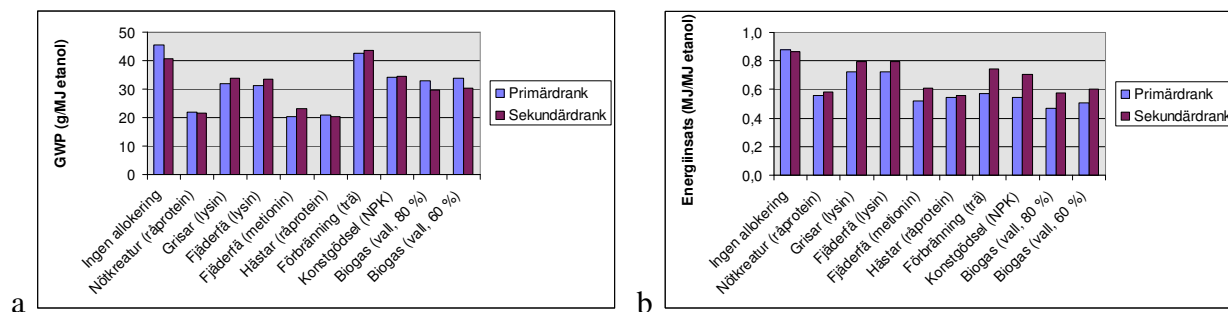
<sup>i</sup> Biogas som ersätter bensin till fordonsbränsle.

<sup>j</sup> Energiinsats efter allokering eller systemutvidgning mätt som MJ/ha (1 ha åkermark med etanolhöstvete).

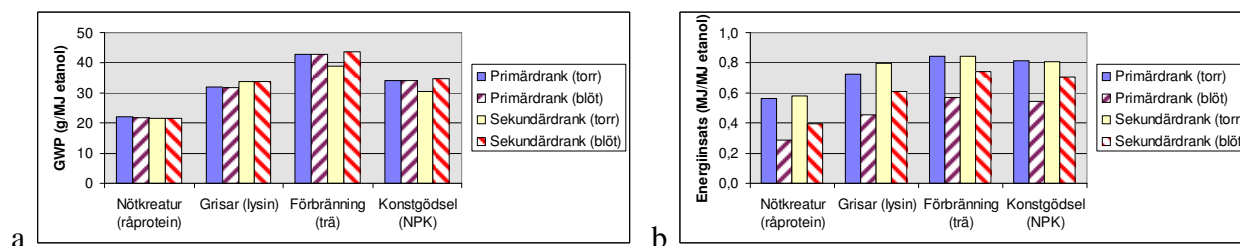
Energiinsatsen har blivit lägre för blöt drank i jämförelse med torr drank (se figur 2b) beroende på att energiinsatsen för transporten av den blöta (tunga) dranken (110 km) är lägre än energiinsatsen för att torka den blöta dranken.

Emissionerna av försurande ämnen (AP) och fotokemiskt smogbildande ämnen (POCP) minskar om dranken inte torkas (se tabell 4), medan emissionerna av gödande ämnen (EP) endast påverkas i ringa grad. Orsaken till detta är att emissionerna av försurande ämnen (AP) och fotokemiskt

smogbildande ämnen (POCP) är förhållandevis små vid transport av blöt drank 110 km jämfört med torkning av dranken.



Figur 1. Emissioner av växthusgaser (GWP) (delfigur a) och energiinsats (delfigur b) vid LCA av etanolproduktion med olika användning av primärdrank och sekundärdrank för några viktiga fall från tabell 4. Dranken antas torr vid utfodring av samtliga djurslag och blöt till alla andra användningar. Sojämjölet för beräkning av fodrets miljöpåverkan är hämtat från Flysjö m.fl. (2008).



Figur 2. Emissioner av växthusgaser (GWP) (delfigur a) och energiinsats (delfigur b) vid LCA av etanolproduktion med olika användning av primärdrank och sekundärdrank där torkad drank jämförs med blöt drank. Sojämjölet för beräkning av fodrets miljöpåverkan är hämtat från Flysjö m.fl. (2008).

Vid en jämförelse av författarna (Flysjö m.fl., 2008 och Jungk m.fl., 2000) ser man att GWP, AP och behovet av energi blir betydligt lägre för Flysjö m.fl. (2008), medan EP är högre för Jungk m.fl. (2000). Skillnaderna är störst för GWP. POCP ingår ej i Flysjö m.fl.:s studie. Orsaken är att i Flysjö m.fl.:s (2008) studie har emissionerna av GWP, AP samt behovet av energi för produktionen av sojämjöl bedömts vara högre än i Jungk m.fl.:s (2000) studie, vilket medför att mer av dessa miljöpåverkanskategorier kunnat ersättas i systemexpansionen, och därmed blir påverkan från dessa miljöpåverkanskategorier vid produktionen av etanol lägre. Påpekas bör här att Flysjö m.fl.:s (2008) studie är nyare än Jungk m.fl.:s (2000) studie, vilket kan vara en indikation på att dessa värden kan vara mer korrekta. Skillnaderna är störst för GWP vid utfodring av nötkreatur och hästar samt vid utfodring av fjäderfä (metionin), alltså de användningar som redan befunnits ge lägst miljöpåverkan för etanolen.

Vid jämförelse av användning av primärdrank och sekundärdrank som foder till fjäderfä, där man antingen räknat på lysin eller metionin i fodret (i extra processen som ger 13 % mer etanol har 50 % av lysinet, respektive 20 % av metioninet antagits brutits ner) ser man att samtliga miljöpåver-



kanskategorier i samtliga fall (både Flysjö m.fl., 2008 och Jungk m.fl., 2000) blir högre då man räknar på lysin (se tabell 4, men även figur 1a och 1b). Detta beroende på att det går åt mer drank för att ersätta det sojamjöl som tidigare ingått i fodret i dessa fall, beroende på att dranken innehåller mindre lysin än metionin i förhållande till sojamjöl.

Energibalanser har beräknats där energiåtgången ingår i alla steg för hela kedjan, från odlingen av höstvetet, tills dess att det färdiga etanolbränslet är färdigt att tanka, och dranken är transporterad till gården och då är färdig att utfodra. Utgående energi har beräknats som etanolens och drankens energiinnehåll som effektivt värmevärde. Kvoten mellan dessa energimängder ger en energibalans på 1,96 och 1,75 för produktion av etanol och primärdrank respektive etanol (+13 %) och sekundärdrank. Om dranken inte torkas förbättras energibalanserna till 2,84 respektive 2,22. Om höstvetehalmen får ingå i energibalanserna förbättras dessa ytterligare till 3,15 respektive 2,83 för torr drank, och till 4,53 respektive 3,57 för blöt drank. Det är naturligt att energibalansen blir lägre då sekundärdrank produceras i och med att en hel del extra energi åtgår då även en del av höstvetets cellulosa ska bli till etanol. Observera att i beräkningarna här har energiinnehållet i blöt drank satts lika med det i torr drank. Detta kan motiveras med att man vid eldning av blöt drank med hjälp av rökgaskondensering kan få ut ungefär lika mycket värme som vid eldning av torr drank. Dessutom, då dranken används som foder kan djuren utnyttja blöt drank lika bra som torr drank, och detsamma gäller en biogasprocess och växternas utnyttjande av de växtnäringsämnen som ingår i dranken.

Om halva arealen av vete, korn och rågvete (knappt 400 000 ha) används till etanol skulle knappt 600 000 ton drank erhållas. Nuvarande djurbestand kan konsumera ungefär två tredje-delar av denna, varav mjölkorna en tredjedel och slaktsvinen knappt en sjättedel. Om även en del av spannmålens cellulosa används för etanolproduktion erhålls ca 470 000 ton drank av vilken nuvarande djurbestand kan konsumera ca tre fjärdedelar, varav mjölkorna knappt två femtedelar och slaktsvinen knappt en femtedel. Det finns inget som direkt begränsar hur mycket spannmålsdrank som kan användas till förbränning eller som gödselmedel mer än dess ekonomiska värde vid dessa applikationer. Till förbränning är en avgörande faktor att värmeverken kan acceptera ett bränsle som sintrar (ger beläggningar i pannorna) och kan orsaka korrosion i rökgaskanalerna. Potentialerna från maximal mängd enligt ovan är 2,9 TWh för primärdrank och 2,5 TWh för sekundärdrank. Om drankerna enligt ovan rötas med 80 % utvinningsgrad blir potentialerna 2,4 respektive 2,1 TWh (mätt som det effektiva värmevärdet hos producerad metangas). Detta är betydligt mer än vad som kan rötas i potentiella biogasanläggningar för andra substrat, särskilt då drankprodukterna har ett högt kväveinnehåll.

## **Diskussion och slutsatser**

Sammantaget tyder det som kommit fram att man i första hand bör satsa på drank som foder till nötkreatur (både primär- och sekundärdrank). Emellertid så ligger både kostnaderna och miljövinsten något bättre till för primärdrank till fjäderfä (metionin), men dessa kan bara äta mindre mängder. Lönsamheten, miljöbelastningen och avsättningsmöjligheterna talar för slutsatsen i styckets första mening. Det är både lönsamt samt positivt för miljöbelastningen att utvinna mer etanol ur veteråvaran om ej dranken ska användas som foder till grisar eller fjäderfän. Rötning av dranken är på grund av ekonomin i första hand aktuellt i rötprocesser där dranken har ett mer värde, och ej behöver bekosta själva biogasanläggningen. I annat fall kan drankrötningen bli dyr. Förbränning av dranken bör undvikas.

De studier som gjorts av Pål Börjesson vid Lunds universitet visar en god överensstämmelse med resultaten från den här studien vad gäller energibalanser och emissioner av växthusgaser. Det finns emellertid en mindre avvikelse vad gäller försurande ämnen och en större avvikelse vad gäller gödande ämnen och ämnen som bidrar till bildning av marknära ozon. Troligen ligger den största delen av dessa skillnader i hur källdata vad gäller emissioner för dragkraft, mark och el m.m. beräknats i de båda studierna. I den här studien är de absoluta talen inte det viktigaste utan rangordningen mellan de olika användningarna av dranken, då syftet med den här studien i första hand är att finna de bästa användningsområdena för dranken. Avvikelserna mot Börjesson m.fl.:s studier för dessa miljöpåverkanskategorier blir då av mer underordnad betydelse.

Utifrån områden där det finns ont om data kan förslag på vad som bör undersökas i kommande forskningsprojekt bli: Egenskaperna hos sekundärdrank studeras mer ingående vid utfodring; Dranks potential som biogasråvara studeras mer ingående vid samrötning med andra substrat; Dranks egenskaper vid eldning ensamt och tillsammans med andra bränslen studeras i praktiska försök; Sirapsfraktionens egenskaper som bindemedel bör vid tillverkning av foderpellets, bränslepellets och briketter utredas mer ingående; Livscykelanalyser görs där biogas från drank ersätter olika drivmedel i olika fordonsflottor; Med livscykelanalyser och ekonomiska kalkyler jämföra olika potentiella grödors ekonomi och miljöpåverkan vid antingen produktion av etanol eller produktion av biogas.

## **Publikationer**

Bernesson S., Strid I. 2011. Svensk spannmålsbaserad drank - alternativa sätt att tillvarata dess ekonomiska, energi- och miljömässiga potential. Swedish distillers' spent grains - alternatives for realizing its economic, energy and environmental potentials. Rapport 032, Inst. f. energi och teknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. ISSN 1654-9406.

Bernesson S., Strid I. 2011. Drank och rapsexpeller. Kostnader och miljöbelastning vid olika användning. Fakta jordbruk, SLU. (manuskript).

Bernesson S., Strid I. 2011. Environmental impact of Swedish fuel ethanol – distiller's spent grains to dairy cows, horses, pigs or poultry? Abstract no. A113, Book of Abstracts of the 24:th NJF Congress: Food, Feed, Fuel and Fun; Nordic Light on Future Land Use and Rural Development, Nordic Association of Agricultural Scientists, Uppsala, Sweden, June 14–16, 2011 and of the 2:nd Nordic Feed Science Conference, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden, June 15–16, 2011. NJF Report vol. 7, no. 3, year 2011. ISSN 1653-2015.

## **Övrig resultatförmedling till näringen**

Föredrag, SLF – seminariedag om Stiftelsen Lantbruksforskningens bioenergiprogram må 21 december 2009. Föredragshållare: Ingrid Strid.

Föredrag, NJF Congress: Food, Feed, Fuel and Fun 14 juni 2011. Föredragshållare: Sven Bernesson.

Publikationslista, Inst. f. energi och teknik: <http://www.slu.se/sv/fakulteter/nl/om-fakulteten/institutioner/institutionen-for-energi-och-teknik/publikationer-fran-energi-och-teknik/>.

Bioenergiportalen: <http://www.bioenergiportalen.se/?p=1368&m=865&page=bibliotek>.