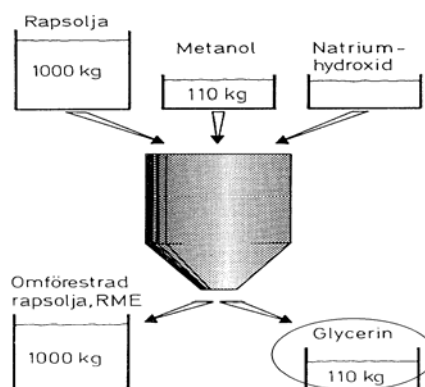
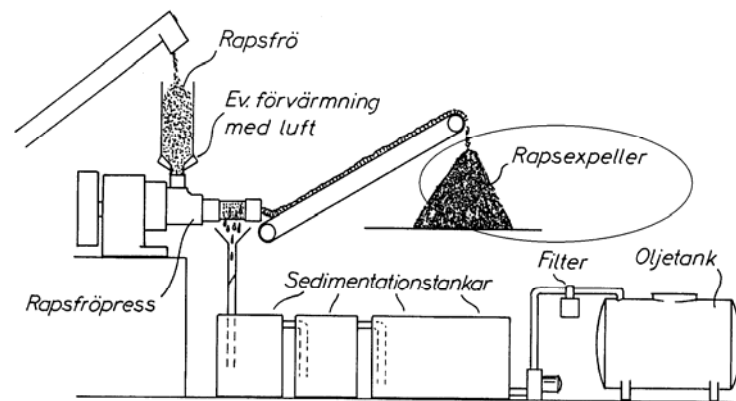


## Användningsområden för biprodukterna vid pressning och omförestring av rapsolja

Fields of application for the by-products of extraction and transesterification of rapeseed oil

Sven Bernesson

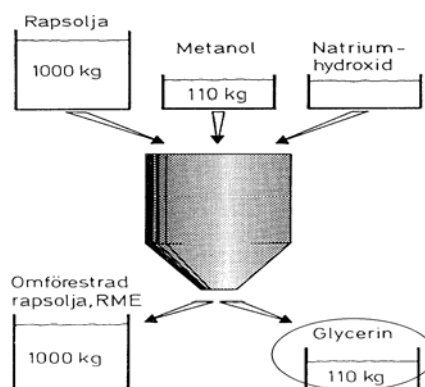
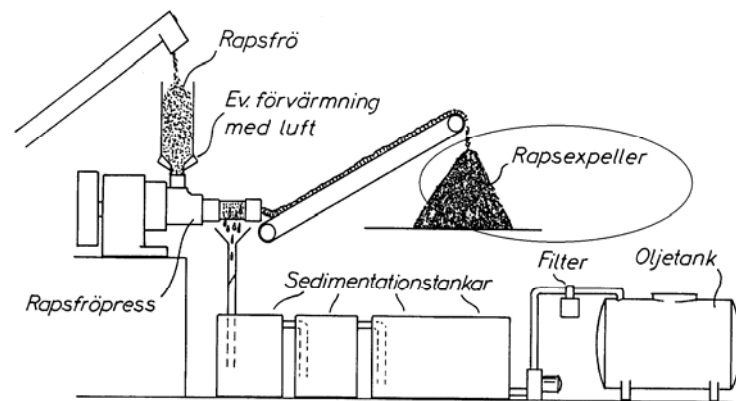




## Användningsområden för biprodukterna vid pressning och omförestring av rapsolja

Fields of application for the by-products of extraction and transesterification of rapeseed oil

Sven Bernesson





## SAMMANFATTNING

Rapsfrö innehåller normalt 40-50 % olja som kan utvinnas vid pressning och en eventuell extraktion. Pressåterstoden, rapskaka eller rapsexpeller, innehåller normalt 10-25 % olja, medan rapsmjölet som även utsatts för extraktion endast innehåller ett par procent olja. Rapsexpeller och rapsmjölet kan användas till utfodring, som bränsle, råvara till biogas eller som gödselmedel. Om den utvunna oljan ska användas som fordonsbränsle så omförestas denna normalt till rapsmetylater (RME) och då erhålls glycerin som en biprodukt. Glycerin kan användas till utfodring, som bränsle, som råvara till biogas eller inom den kemiska industrin som råvara eller tillsats i en mängd olika produkter.

Arbetets syfte var att utvärdera hur rapsexpeller och rapsmjöl, samt glycerin från omförestring av rapsolja, kan användas i olika applikationer, samt att beräkna dessa produkters ekonomiska värde vid dessa användningar.

Vid utfodring av idisslare kan hela tillskottet av proteinfoder tillgodoses med dagens rapssorter. Till grisar, fjäderfä och hästar kan ca 10 % av fodret respektive kraftfodret bestå av rapsfoder. Till smågrisar och hästar kan smakligheten begränsa fodergiven. Utfodringen av rapsexpeller begränsas av att djuren ej kan äta hur mycket fett som helst. Vanligen räknar man med att idisslare klarar 5 % och hästar ca 2 % fett i kraftfodret, medan grisar klarar 5 % och fjäderfä 1-1,5 % fett av den totala foder mängden. Glycerin kan ingå som en energikomponent i foder. Nötkreatur, får och grisar har framgångsrikt utfodrats med kraftfoder som innehåller 5-10 % glycerin, och fjäderfä med foder som innehåller 5 %. Glycerin har fungerat bra som bindemedel vid tillverkning av foderpellets vid inblandning av 2-3 % och då givit fastare pellets. Glycerinet är hygroskopiskt och tar upp vatten från luften vid för stor inblandning i fodret. Detta försämrar hållbarheten.

Rapsexpeller och rapsmjöl kan eldas, men ger en aska med relativt låg smältpunkt vilket gör att den lätt sintrar och bildar klumpar och beläggningar i pannan. Mängden aska är ganska stor, ca 6 %. Det höga innehållet av kväve (4-6 % av TS) gör att kväveoxidemissionerna blir höga, ofta 2-3,6 gånger högre än vid eldning av bränslen med lågt kväveinnehåll. Den höga oljehalten i rapsexpeller gör att dessa får ett förhållandevis högt värmevärde. Glycerin är svårt att elda ensamt, men går bra att elda blandat med finfördelade fasta biobränslen som sågspån eller kutterspån. Det kan sannolikt fungera som bindemedel vid tillverkning av bränslepellets eller briketter från fasta biobränslen.

Rapsexpeller och rapsmjöl går att använda som organiska gödselmedel. Exempelvis innehåller rapsexpeller 4-6 % kväve, 0,4-2 % fosfor och 0,3-1 % kalium. Det organiskt bundna kvävet frigörs långsamt. Glycerin har inte något växtnäringvärde, såvida det inte innehåller kaliumrester från den katalysator (ca 0,6 %) som används vid omförestringen, samt fosforrester (ca 0,16 %) från den fosforsyra som eventuellt använts till att neutralisera katalysatorn.

Rapsexpeller, rapsmjöl och glycerin går bra att röta. Växtnäringssämna i rapsexpeller och rapsmjölet blir mer lättillgängliga efter rötningen. Rapsexpeller och rapsmjöl är dock kväverika substrat som kan ge för hög halt ammoniumkväve i biogasreaktorn. Fettet i rapsexpeller kan ge ökat gasutbyte från andra substrat såsom t.ex. stallgödsel. Liknande observationer har gjorts vid rötning av glycerin där metangasutbytet ökat vid rötning tillsammans med proteinrika substrat. Glycerin går att använda som kolkälla i biogasprocesser.

Kostnadsberäkningar har gjorts där det ekonomiska värdet hos rapsexpeller, rapsmjöl och glycerin beräknats utifrån de ekonomiska värdena hos korn och sojamjöl vid utfodring, skogsflis vid förbränning, värdet hos kväve, fosfor och kalium vid användning som gödselmedel, samt försäljning av el och fjärrvärme från en större gårdsanläggning vid rötning. Produkterna fick störst värde vid användning som foder, följt av förbränning och biogas med högt utbyte.

Sämst värde hade produkterna om de användes som gödselmedel eller rötades med lågt utbyte. Världsmarknadspriset på korn, sojamjöl och foderfett (rapsolja) har en stor inverkan på produkternas värde liksom utbyte m.m. från biogasanläggningen. Priset på skogsflis och gödselmedel hade något mindre inverkan på resultatet då dessa produkter hade ett lägre värde från början.

Det rapsmjöl och den rapsexpeller som kan produceras inom landet kan med god marginal ätas upp av våra inhemska djur. Mjölkkor kan konsumera stora mängder. Vad gäller glycerin så kan betydligt större kvantiteter konsumeras som foder av inhemska djur än vad som kan produceras vid omförestning av rapsolja med svenskt ursprung. Detta gör att glycerin från en betydande mängd importerad rapsolja skulle kunna användas till utfodringsändamål. Det finns inget som direkt begränsar hur mycket rapsmjöl, rapsexpeller och glycerin som kan användas till förbränning eller som gödselmedel mer än dess ekonomiska värde vid dessa applikationer. Glycerinet kan få ett mervärde om det framgångsrikt kan användas som bindemedel vid tillverkning av foderpellets, bränslepellets och briketter. I befintliga biogasanläggningar kan endast en begränsad mängd av den möjliga produktionen av rapsmjöl och rapsexpeller rötas. Det bör inte vara några problem att röta hela den möjliga produktionen av glycerin och mer därtill i befintliga biogasanläggningar. Dessutom kan glycerinet få ett mervärde på grund av en ökad metangasproduktion från andra substrat vid samrötning med dessa.

I kommande studier bör bl.a. glycerinets egenskaper som bindemedel vid tillverkning av foderpellets, bränslepellets och briketter utredas mer ingående. Dessutom bör glycerinets egenskaper som kolkälla vid rötning, för produktion av biogas, tillsammans med andra substrat utredas. Det finns även ett behov av växtförädling av rapsen så att halterna av antinutritionella kolhydrater i fröet kan sänkas liksom skalhalten i detta. Detta för att möjliggöra utfodring av större mängder rapsmjöl och rapsexpeller till främst enkelmagade djur.

## ABSTRACT

Rapeseed contains 40-50% oil that can be extracted by pressing and possibly subsequent extraction. The residue, rapeseed cake, normally contains 10-25% oil, but rapeseed meal subjected to extraction only contains a few percent oil. Rapeseed cake and rapeseed meal can be used as animal feed, fuel, biogas substrate or fertiliser. If the extracted oil is used as a vehicle fuel it is normally transesterified to rapeseed oil methyl ester (RME) and then glycerol is produced as a by-product. Glycerol can be used for animal feed, fuel, biogas substrate or in the chemical industry as a raw material or additive in several products.

The main purpose of this work was to evaluate how rapeseed cake and rapeseed meal, together with glycerol from transesterification of rapeseed oil, could be used in different applications, and to calculate their economic values in these uses.

Used as a ruminant feed, current rapeseed cultivars can provide the entire dietary protein requirement. Up to 10% of the feed or concentrate mix for pigs, poultry and horses can comprise rapeseed feed. For piglets and horses, the palatability may limit the amount fed. The amount of rapeseed cake fed is restricted by its oil content. Normally, ruminants can manage 5% fat and horses about 2% fat in concentrate, and pigs 5% and poultry 1-1.5% fat in the overall diet. Glycerol can be an energy component of the feed mix. Cattle, sheep and pigs have been successfully fed a mixture containing 5-10% glycerol, and poultry a mixture containing 5%. Glycerol works well as a binding agent in feed pellet manufacture, with an admixture of 2-3% giving a more solid pellet. Glycerol is hygroscopic and absorbs water from the air if too much is added to the feed mixture. This impairs feed storage qualities.

Rapeseed cake and rapeseed meal may be incinerated, but produce an ash with a relatively low melting-point, causes sintering and deposits to form in the furnace. The amount of ash is rather high, about 6%. The high nitrogen content (4-6% of dry matter) gives high nitric oxide emissions, often 2-3.6 times the emissions of fuels deficient in nitrogen. The high oil content in rapeseed cake gives it a comparatively high heat of combustion. Glycerol is difficult to incinerate alone, but can be incinerated when mixed with disintegrated solid biofuels such as sawdust or wood shavings. It would probably act as a binding agent in solid biofuel pellets or briquettes.

Rapeseed cake and rapeseed meal can be used as an organic fertiliser, with 4-6% nitrogen, 0.4-2% phosphorus and 0.3-1% potassium. Organically bound nitrogen is released slowly. Glycerol has no value as a fertiliser unless it contains potassium residues from the catalyst (about 0.6%) used for transesterification, and possibly also phosphorus residues (about 0.16%) from the phosphoric acid that may be used to neutralise the catalyst.

Rapeseed cake, rapeseed meal and glycerol are very suitable for anaerobic digestion. Rapeseed cake and rapeseed meal are nitrogen-rich media that may cause too high a content of ammonium nitrate in the biogas reactor. The oil in rapeseed cake may cause other substrates such as farmyard manure to give a higher gas yield. There are similar observations of methane gas yield increasing when glycerol is digested together with protein-rich media. Glycerol can be used as a carbon source in biogas processes. The plant nutrients in rapeseed cake and rapeseed meal are more easily available after biodigestion.

The economic value of rapeseed cake, rapeseed meal and glycerol has been calculated on the basis of the replacement value of barley and soybean meal for feed, forest wood chips for incineration, nitrogen, phosphorus and potassium for fertiliser, or sales of electricity and district heating from a large farm-scale biogas plant. Rapeseed by-products were most valuable when used as feed, followed by use for combustion and biogas with a high gas yield. They were least valuable when used as fertilisers and for biogas with a low gas yield. The world market

values of barley, soybean meal and feed fat (rapeseed oil) had a large influence on the value of the by-products and on the gas yield etc. from the biogas plant. The price of forest wood chips and fertilisers had a smaller influence on the results, since these products had a lower initial value.

Domestic animals can by far consume all the rapeseed cake and rapeseed meal that can be produced in Sweden. Dairy cows can consume large quantities. Much larger quantities of glycerol can be consumed by domestic animals than can be produced through transesterification of rapeseed oil of Swedish origin. This means that the glycerol from a considerable proportion of imported rapeseed oil could be used for feeding purposes. There is nothing that limits the amount of rapeseed cake, rapeseed meal and glycerol that can be used for combustion or as fertilisers, other than their economic value in these applications. Glycerol may have added value if it can be used successfully as a binding agent in feed pellets, biofuel pellets or briquettes. It is only possible to digest a limited proportion of the potential production of rapeseed cake and rapeseed meal in domestic biogas plants. However, there is no problem with digesting the possible production of domestic glycerol and more in existing biogas plants. Furthermore, the glycerol may have added value because it can increase the methane gas yield from other substrates during co-digestion.

Future studies should examine in detail the properties of glycerol as a binding agent in production of feed pellets, biofuel pellets and briquettes. The properties of glycerol as a carbon source for production of biogas when co-digested with other substrates should also be investigated. There is also a need for plant breeding of the rapeseed to decrease the content of anti-nutritional carbohydrates and proportion of husk in the seed. This would allow larger amounts of rapeseed cake and rapeseed meal to be used in animal feed, mainly for monogastric animals.



## **FÖRORD**

Föreliggande kunskapssammanställning om läget för användning av biprodukterna rapsexpeller, rapskaka och rapsmjöl då oljan utvunnits från rapsfrö genom pressning och eventuellt en efterföljande extraktion, samt för biprodukten glycerin då den erhållna rapsoljan omförestaras till rapsmetylester, har tagits fram som ett underlag för hur dessa produkter bäst kan användas i mer lantbruksnära tillämpningar. För att underlätta bedömningen av vilka tillämpningsområden som passar bäst har ekonomiska kalkyler tagits fram. Dessutom pekas ett antal forskningsområden ut där insatser behövs för att underlätta användningen av biprodukterna. Studien har genomförts av Sven Bernesson. Under projektet intervjuades forskare, entreprenörer och lantbrukare som sysslar med de aktuella biprodukterna. Författaren tackar dessa för sin insats. Slutligen tackar författaren Stiftelsen Lantbruksforskning (SLF) som finansierat studien.

Uppsala i oktober 2007

Sven Bernesson



## INNEHÅLL

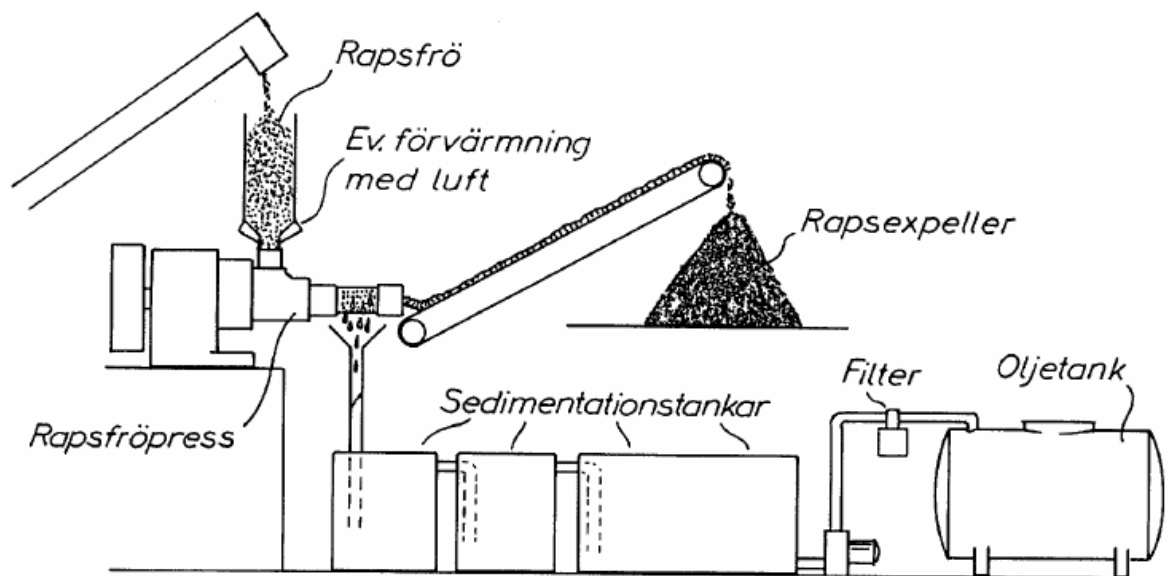
1 INLEDNING .....	9
2 SYFTE.....	11
3 METODIK .....	11
4 UTVINNING AV RAPSOLJA, PRESSRESTERNAS EGENSKAPER .....	12
4.1 Rapsexpeller och rapskaka .....	12
4.2 Rapsmjöl .....	13
5 SEDIMENT FRÅN SMÅSKALIG KALLPRESSNING .....	14
5.1 Sedimentets användning.....	14
6 GLYCERINET.....	15
6.1 Användning av glycerin allmänt .....	15
6.1.1 Glycerinfraktionen.....	15
6.1.2 Användningsområden för glycerinet.....	16
6.1.3 Rening av råglycerinet.....	16
6.1.4 Omhändertagande av återvunnen alkohol.....	17
7 UTFODRING.....	17
7.1 Utfodring, allmänt .....	17
7.1.1 Energi i foder.....	17
7.1.2 Proteiner.....	18
7.1.3 Foderfett.....	18
7.2 Utfodring av rapsexpeller och rapsmjöl, allmänt .....	20
7.2.1 Protein i rapsmjöl och rapsexpeller .....	20
7.2.2 Glukosinolater.....	20
7.2.3 Skalthaltens betydelse.....	22
7.2.4 Tanniner och andra antinutritionella ämnen.....	23
7.3 Teknik för behandling av rapsexpeller och rapsmjöl som ska utfodras.....	23
7.3.1 Värmebehandling av rapsexpeller/rapsmjöl, effekt på glukosinolater, fett och protein.....	23
7.3.2 ExPro.....	24
7.3.3 Tekniska problem p.g.a. av den höga fetthalten i rapsfrö och ev. rapsexpeller .....	25
7.3.4 Blötutfodring av rapsexpeller.....	26
7.4 Utfodring med glycerin, allmänt .....	26
7.5 Utfodring av olika djurslag.....	26
7.5.1 Idisslare.....	27
7.5.1.1 Utfodring av idisslare med rapsexpeller och rapsmjöl.....	27
7.5.1.2 Utfodring av fett till idisslare.....	30
7.5.1.3 Foderstatsberäkningar, utfodring av idisslare .....	33
7.5.1.4 Utfodring av idisslare med glycerin.....	34
7.5.2 Grisar .....	36
7.5.2.1 Utfodring av grisar med rapsexpeller och rapsmjöl.....	36
7.5.2.2 Foderstatsberäkningar, utfodring av grisar .....	39
7.5.2.3 Utfodring av grisar med glycerin .....	40
7.5.3 Fjäderfä.....	41
7.5.3.1 Utfodring av fjäderfä med rapsexpeller och rapsmjöl.....	41
7.5.3.2 Foderstatsberäkningar, utfodring av fjäderfä.....	43
7.5.3.3 Utfodring av fjäderfä med glycerin.....	44
7.5.4 Hästar.....	44
7.5.4.1 Utfodring av hästar med rapsexpeller och rapsmjöl .....	44
7.5.4.2 Foderstatsberäkningar, utfodring av hästar.....	47
7.6 Sammanställning, utfodring av olika djurslag .....	48
7.6.1 Sammanställning, utfodring med rapsexpeller, rapsmjöl och rapsolja .....	48
7.6.2 Sammanställning, utfodring med glycerin.....	49
8 ANVÄNDNING TILL FÖRBRÄNNING .....	50
8.1 Eldning av rapsexpeller och rapsmjöl .....	50
8.1.1 Beräkningar av värmeverdet hos rapsexpeller och rapsmjöl.....	52
8.2 Eldning av glycerin .....	53
9 ANVÄNDNING SOM GÖDSELMEDEL .....	54
9.1 Gödsling med rapsexpeller .....	54
9.2 Glycerin som gödselmedel .....	57

10 RÖTNING .....	57
10.1 Rötning allmänt .....	57
10.2 Rötningsteori .....	58
10.2.1 De olika stegen vid anaerob nedbrytning .....	58
10.2.2 Reaktionsformler .....	59
10.2.3 Metangaspotentialer och rötningshastighet .....	61
10.2.4 Biogasens sammansättning och energiinnehåll .....	63
10.3 Rötning av rapsexpeller .....	63
10.3.1 Beräknade gasutbyten vid rötning av rapsexpeller och rapsmjöl .....	64
10.4 Rötning av glycerin .....	65
10.4.1 Beräknade gasutbyten vid rötning av glycerin .....	66
11 ANDRA ANVÄNDNINGSSOMRÅDEN FÖR RAPSBIPRODUKTERNA .....	66
11.1 Rapsexpeller och rapsmjöl .....	66
11.1.1 Möjlig användning mot ogräs och insekter m.m. ....	66
11.2 Glycerinet .....	66
11.2.1 Råvara till vätgas och Fischer-Tropsch-bränsle .....	66
11.2.2 Råvara till sprängmedel .....	67
12 KOSTNADSBERÄKNINGAR .....	67
12.1 Förutsättningar .....	67
12.1.1 Förutsättningar, användning som foder .....	68
12.1.2 Förutsättningar som bränsle .....	69
12.1.3 Förutsättningar som gödselmedel .....	70
12.1.4 Förutsättningar som råvara till biogas .....	70
12.2 Resultat .....	71
12.2.1 Resultat, rapsexpellerernas och rapsmjölets värde vid olika användning .....	71
12.2.2 Resultat, glycerinets värde vid olika användning .....	76
13 MÖJLIG PRODUKTION OCH KONSUMTION AV RAPSPRODUKTER .....	78
13.1 Möjlig konsumtion av rapsprodukter till foder .....	79
13.2 Möjlig konsumtion av glycerin till foder .....	80
13.3 Möjlig konsumtion av rapsmjöl och glycerin till förbränning, biogas eller gödsel .....	81
14 DISKUSSION OCH SLUTSATSER .....	82
14.1 Slutsatser .....	85
15 REFERENSER .....	86
15.1 Tryckta referenser .....	86
15.2 Internetreferenser .....	99
15.3 Personliga meddelanden .....	100

## 1 INLEDNING

Raps- och rybsfrö innehåller 40-50 % olja. Den fasta delen av rapsfröet innehåller knappt 40 % protein med en välbalanserad aminosyrasammansättning. Rapsoljan är uppbyggd av glycerol (glycerin) och fettsyror. Vid omförestring erhålles rapsmetylester (RME) eller rapsetylester (REE).

Vid utvinning av rapsoljan genom pressning (se figur 1) får man en pressåterstod (rapsexpeller eller rapskaka) som ofta innehåller 10-25 % olja (Widmann, 1988; Norén, 1990; Bernesson, 1993; 2005; Norén m.fl., 1993; Remmele & Stotz, 2003). I större anläggningar utvinns denna kvarvarande olja ofta i ett andra processteg genom extraktion med hexan, och då erhålles rapsmjöl som innehåller endast ett par procent rapsolja. Restoljan i rapsexpellererna eller rapskakan kan vålla en hel del problem vid användningen: t.ex. tål inte våra husdjur utfodring med för stora mängder av ett alltför fettrikt foder. Vid användning som bränsle bör man tänka på att expellernas stora innehåll av olja gör att deras värmevärde blir högre än för t.ex. träpellets (Bernesson, 1993; 2004a; Praks, 1993; Norén, 1993). Det är då viktigt att pannan kan ställas om för att klara detta bränsle samt att pannan tål den större värmelasten. Expellernas värmevärde varierar kraftigt beroende på deras innehåll av olja. Vid rötning kan en stor andel olja i ingående material leda till att processen går sur (Gujer & Zehnder, 1983), likaväl som att gasubytet ökar hos det substrat med vilket samrötning sker (Mladenovska m.fl., 2003). Pressåterstoden kan även användas som gödselmedel (Fridefors, 1991). Överskott av olja i expellern kan då ej nyttjas.



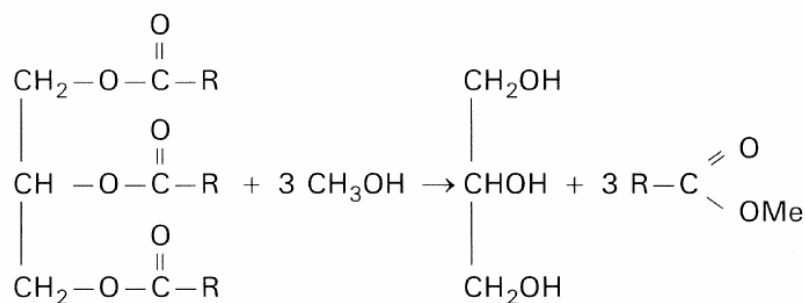
Figur 1. Schematisk bild av en liten anläggning för framställning av rapsolja (Bernesson, 1993).

Pressåterstoden innehåller en liten mängd svavelhaltiga glukosföreningar, så kallade glukosinolater (Josefsson, 1979; Olsson, 1981; Rasmusson, 1983; Elwinger, 1985a; 1985b; Thompke, 1985a; 1985b; Elwinger & Thompke, 1985; Thompke & Göransson, 1985; Frank, 1986a; Björklund, 1988a; Olsson, 1988; Emanuelson, 1989; Emanuelson & Wiktorsson, 1990; Norén, 1990; Håkansson m.fl., 1994; Simonsson & Thompke, 1995; Lärn-Nilsson m.fl., 1997; Schumann, 2004; Elwinger, 2005). Vid användning som foder är dessa oönskade och kan medföra att den utfodrade mängden till vissa djurslag bör begränsas.

Vid pressning av rapsolja står expellern för en betydande andel av produkternas totala ekonomiska värde, vid småskalig produktion ofta 40 % av det totala värdet (Bernesson, 2004a). Det är därför viktigt att man finner en meningsfull användning för denna produkt. De användningsområden som man då i första hand tänker sig är till fodermedel, uppvärmning eller som råvara till rötning.

Rapsolja, RME och REE kan användas med gott resultat som drivmedel i de förbränningsmotorer som finns i t.ex. personbilar, lastbilar, bussar och traktorer (Bernesson, 1993; 2004a; 2004b; 2005; Journey to Forever, 2005; Knothe m.fl., 2005; Mittelbach & Remschmidt, 2005; Mittelbach m.fl., 1983; Norén, 1990; Norén m.fl., 1993; Tickell, 2000). Rapsolja kräver i de flesta fall en måttlig ombyggnad av motorerna och deras bränslesystem. Vid omförestning förändras rapsoljans egenskaper så att de blir mycket lika de hos traditionell dieselolja och därför kan RME och REE vanligen användas som bränsle direkt i befintliga motorer.

Rapsoljan är uppbyggd av tre stycken fettsyror som binds ihop av en glycerinmolekyl med esterbindningar, se figur 2. Vid omförestningen byts den trevärda alkoholen glycerin (glycerol) ut mot tre stycken envärda alkoholer såsom t.ex. metanol eller etanol. Kemiskt förlöper reaktionen enligt reaktionsformeln i figur 2 (Mittelbach m.fl., 1983) och resultatet blir en ester (t.ex. rapsmetylester) med en tredjedel så stora molekyler som i den ursprungliga rapsoljan. Viskositeten blir även betydligt lägre och blir efter omförestningen i ungefär samma nivå som hos traditionell dieselolja. Glycerin erhålls som biprodukt. Något starkt alkaliskt (basiskt) ämne såsom natriumhydroxid (NaOH) eller kaliumhydroxid (KOH) kan användas som katalysator. Rapsolja kan även användas som livsmedel, olika tekniska ändamål (t.ex. hydraulolja, sågkedjeolja, skärolja och vissa smörjoljor), råvara för framställning av tvål, tvätt- och rengöringsmedel, medicin, kosmetika m.m.



triglycerid            metanol    glycerol    metylester

R = alkylgrupp från fettsyror, Me = metylgrupp

Figur 2. Reaktionsformel vid omförestning av rapsolja (Norén, 1990).

Glycerinet från småskaliga anläggningar har ibland haft svårt att hitta till lämpliga användningar, då glycerinet måste hålla en hög renhet för att kunna säljas till industriella användningar. Mer lantbruksnära användningar för glycerinet är utfodring som energifoder (Kijora, 1996; Schröder & Südekum, 1999; Löwe, 2000; Freistaat Sachsen, 2001; Bodarski m.fl., 2005; Ogborn, 2006; Cerrate m.fl., 2006; Spörndly & Åsberg, 2006; Plaetner Kjeldsen, 2007; van Heugten, 2007; Lammers m.fl., 2007b; Honeyman m.fl., 2007; Waldrup, 2007), eldning (Patzner m.fl., 2007; Journey to Forever, 2007), inblandning i flytgödsel (Norén m.fl., 1993; Bernesson, 2005) eller råvara till biogas (Kryvoruchko m.fl., 2004; Amon m.fl., 2004; 2006).

Ett viktigt motiv till att pressa rapsolja och även att omförestra denna är att man visat att försäljning av rapsolja och RME med biprodukter kan ge ett bättre ekonomiskt utbyte för lantbrukarna än enbart försäljning av rapsfrö (Bernesson, 2004a; 2004b). Förbrukningen av omförestrade vegetabiliska oljor, biodiesel, har de senaste åren fördubblats flera gånger om inom EU med Tyskland som den ledande nationen (EBB, 2007). I Sverige har produktionen mer än 10-dubblats under det senaste året. Detta gör att stora mängder biprodukter från pressningen av rapsfröna och omförestringen av oljan erhålles och måste avyttras.

I vetenskaplig litteratur behandlas ofta biprodukterna vid produktionen av rapsoljedrivmedel mycket översiktligt, vilket gör att det finns ett behov av litteratur som behandlar dessa mer ingående.

## **2 SYFTE**

Arbetets syfte var att utvärdera hur rapsexpeller och rapsmjöl, samt glycerin från omförestring av rapsolja, kan användas i olika applikationer samt att beräkna dessa produkters ekonomiska värde vid dessa användningar. Syftet var vidare att belysa de olika problem som finns för varje användningsområde, samt att peka på kunskapsluckor där framtida forskning behövs.

## **3 METODIK**

Den metod som i huvudsak används under projektet är litteraturstudier. En del nyckelpersoner intervjuas. I utfodringsdelen görs beräkningar av foderstater för flera olika djurslag för bedömning potentialen för rapsfoder. Den potentiella biogasproduktionen för rapsexpeller och rapsmjöl beräknas teoretiskt utifrån deras sammansättning. För glycerin beräknas den potentiella biogasproduktionen utifrån dess kemiska formel.

I speciellt utfodringsdelen har källorna angivits separat med namn och årtal på ett sådant sätt att en läsare ska kunna bedöma källan utifrån dess ålder. Detta på grund av att vid utfodring är källornas ålder av intresse då man med tiden sänkt glukosinolathalten i rapsfröet. Dessutom har man blivit bättre på att behandla foderråvaran så att den skadliga effekten från glukosinolaterna kunnat minskas. Detta underlättar för läsaren att själv bedöma litteraturuppgifterna i förhållande till det växtmaterial som finns idag.

I kalkyler studeras det ekonomiska värdet hos rapsexpeller, rapsmjöl och glycerin utifrån de ekonomiska värdena hos korn och sojamjöl vid utfodring, skogsflis vid förbränning, värdet hos kväve, fosfor och kalium vid användning som gödselmedel, samt försäljning av el och fjärrvärme från en större gårdsanläggning vid rötning. Slutligen görs känslighetsanalyser, där inverkan av prisförändringar hos korn, sojamjöl, skogsflis, gödselmedel, el och fjärrvärme på värdet hos rapsexpeller, rapsmjöl och glycerin studeras för de ovan nämnda tillämpningarna.

Först behandlas utfodring följt av förbränning, användning som gödselmedel, rötning till biogas och sist de ekonomiska kalkylerna. Egna beräkningar följer inom respektive ämnesområde direkt efter litteraturstudien för att lättare kunna knytas ihop med detta.

## 4 UTVINNING AV RAPSOLJA, PRESSRESTERNAS EGENSKAPER

Den olja som oljeväxternas frö innehåller kan utvinnas antingen genom enbart pressning eller genom pressning följt av extrahering. Värms fröet före pressningen kallas det varmpressning annars kallpressning. Varmpressning sker vanligen i kombination med extrahering. För småskalig produktion är det enbart aktuellt med kallpressning. Varmpressning i kombination med extrahering är en relativt komplicerad process som bäst lämpar sig för storskalig industriell verksamhet.

### 4.1 Rapsexpeller och rapskaka

Rapsexpeller eller rapskaka är den restprodukt som erhålles då rapsfröna pressas mekaniskt i en oljepress (se figur 1). Oljepressarna kan ha ett flertal olika utformningar och ger en restprodukt som vanligen innehåller 10-20 % olja, och ibland upp till 25 % olja (Remmele & Stotz, 2003). Restprodukten kan ha formen av tunnare eller tjockare flak av varierande storlek eller pelletar med varierande diameter och längd, beroende på den använda oljepressen. Den temperatur som materialet utsätts för varierar med den valda pressutrustningen. Eftersom fetet i rapsexpeller lätt härsknar måste dessa betraktas som en färskvara med begränsad lagringsduglighet (Planck & Rundgren, 2005). Det är viktigt att den hygieniska kvaliteten noga beaktas.

Vanligen kan 65-80 % av frönas olja utvinnas vid mekanisk kallpressning (Widmann, 1988; Norén, 1990; Bernesson, 1993; 1994; 2004a; 2005; Head m.fl., 1995; Kaltschmitt & Reinhardt, 1997). Om fröet är dåligt rensat eller är av låg kvalitet av andra orsaker kan oljeutvinningsgraden bli lägre. Även det sätt som oljepressen körs på samt dess inställningar, fröets vattenhalt och temperatur har stor inverkan på oljeutpressningsgraden och pressens avverkning. Oljeutvinningsgraden kan öka om fröet värms upp och/eller valsas (krossas) före pressningen såsom i stora pressanläggningar (Norén, 1990). Vid extraktion, som endast tillämpas i stora pressanläggningar, löses det mesta av den återstående oljan ut från pressåterstoden med hjälp av teknisk hexan (s.k. extraktionsbensin). Vid oljepressning följt av extraktion kan ca 98 % av oljan i fröna utvinnas (Norén, 1990; Kaltschmitt & Reinhardt, 1997; Bernesson, 2004a; 2005), se kapitel 4.2.

I en förhållandevis ny tysk undersökning fann man att 52-88 % av oljan i rapsfröet utvanns i mindre anläggningar som pressade rapsfrö (Remmele & Stotz, 2003). Medianvärdet låg på 80 % och medelvärdet på 79 %. Det pressade fröets torrsubstans innehöll 47 % olja i genomsnitt med en spridning på 41-50 % och en vattenhalt på 2-8 % med ett medelvärde på 5,6 %. Under dessa förhållanden blev den genomsnittliga oljehalten i rapsexpellererna 15 % (medianvärde 14 %) med en spridning från 9-28 %. Man kan härav se att oljeutvinningsgraden ökat en del under senare år beroende på att större och mer effektiva oljepressar används i större utsträckning. En följd av detta blir mindre fett i rapsexpellererna.

Den framställda oljan innehåller en del fasta föroreningar och måste därför renas före användning (Bernesson, 1993; 2005; Norén m.fl., 1994). Detta kan ske genom sedimentation, centrifugering eller filtrering. Reningen av oljan underlättas av att den är ganska varm då den lämnar pressen, vid kallpressning vanligen 35-50°C. Reningen av oljan underlättas om denna höga temperatur kan bibehållas så länge som möjligt i reningsprocessen. Vid reningen av oljan erhålles ett sediment vars användning behandlas i kapitel 5.

Sammanställningen hos rapsfrö, kallpressad rapsexpeller och rapsmjöl anges i tabell 1. Förutom oljan (råfett) ingår råprotein, växttråd, kvävefria extraktivämnen (restprodukt som erhålles då man från den organiska substansen (torrsubstans minus aska) subtraherar råfett, råprotein och växttråd) (Norén m.fl., 1994; Bernesson, 1995; Spörndly, 2003; Planck & Rund-



gren, 2005). Kvävefria extraktivämnen består av lättlösliga kolhydrater såsom t.ex. enkla sockerarter, stärkelse, samt för en del fodermedel den cellulosa och hemicellulosa som lösts ut vid växtrådsanalysen (Planck & Rundgren, 2005). Siffrorna i tabell 1 är ett exempel och variationer förekommer mellan olika partier. Det i tabell 1 redovisade exemplet kan även gälla rybsfrö.

Proteinet i fröna har en välbalanserad aminosyrasammansättning (se tabell 1) som gör det väl lämpat som foder (kan jämföras med sojamjöl (Simonsson, 2006) som innehåller: 3,0 % lysin; 0,6 % metionin; 1,9 % treonin; 0,7 % cystin; och 0,6 % tryptofan per kg torrs substans). Kolhydraterna i rapsfröet karakteriseras av ett stort innehåll av fiber samt frånvaro av stärkelse.

Tabell 1. Exempel på sammansättning (% av torrs substansen) hos rapsfrö, kallpressad raps-expeller och rapsmjöl (efter Norén m.fl., 1994; Spörndly, 2003; Simonsson, 2006)

Beståndsdel	Frö <sup>a</sup>	Rapsexpeller, andel olja urpressad <sup>a</sup>			Rapsmjöl <sup>b</sup>
		60 %	70 %	75 %	
Råfett	45	24,7	19,7	17,0	4,5
Råprotein	23	31,5	33,6	34,7	40,0
aminosyran lysin <sup>c</sup>	1,3	1,7	1,8	1,9	2,2
aminosyran metionin <sup>c</sup>	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8
aminosyran treonin <sup>c</sup>	1,0	1,4	1,5	1,5	1,8
aminosyran cystin <sup>c</sup>	0,6	0,8	0,8	0,9	1,0
aminosyran tryptofan <sup>c</sup>	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5
Växttråd	7	9,6	10,2	10,6	12,3
Kvävefria extraktionsämnen	20	27,4	29,2	30,2	35,5
Aska	5	6,8	7,3	7,5	7,7

<sup>a</sup> Källa: Norén m.fl. (1994).

<sup>b</sup> Källa: Spörndly (2003).

<sup>c</sup> Källa: Simonsson (2006).

Ett exempel på hur en liten anläggning för pressning av rapsfrö kan utformas visas schematiskt i figur 1. Fröet tillförs pressen via en buffertficka (Norén m.fl., 1994). Den urpressade oljan rinner ner i ett uppsamlingskärl där även en stor del av de fasta pressrester som följer med oljan sedimenterar. Om detta kärl har en konisk botten med en kran av grov dimension monterad nedtill kan sediment lätt tappas ut. Om oljan fortsatt ska renas via ett sedimentationsförfarande låter man den passera genom ett antal kärl kopplade i serie vartefter den kan pumpas över till en lagerbehållare. Expellerna förs sedan över till ett planlager eller en silo med speciell bottenutformning. Det är viktigt att expellerna kyls ner till omgivande temperatur. Onödig hantering av expellerna bör undvikas, liksom att dessa i onödan utsätts för solljus.

Pressarna är vanligen så driftsäkra att de kan arbeta dygnet runt med tillsyn endast ett par gånger per dag (Norén m.fl., 1994). De är emellertid känsliga för främmande föremål, t.ex. metalldelar, stenar etc. Det måste därför finnas en effektiv avskiljare strax innan fröet når fram till pressen. Eftersom anläggningen arbetar utan tillsyn måste den förses med automatisk övervakningsutrustning som stoppar anläggningen vid driftsstörningar, t.ex. om fröet skulle ta slut, om pressen stannar, om något sedimentationskärl blir fullt etc.

## 4.2 Rapsmjöl

Med rapsmjöl avses vanligen resten med lågt olje-/fettinnehåll som fås efter extraktion. Liknande produkter kan erhållas genom extraktion av andra olje-/fettrika frö- och bönväxter såsom t.ex. sojamjöl. Rapsmjöl är en av de viktigaste inhemska proteinråvarorna. Rapsmjöl in-

nehåller 35-40 % råprotein (Elwinger, 1985b; Bertilsson, 1990a; Spörndly, 2003; Elwinger, 2005; Simonsson, 2006; Livsmedelssverige, 2007) (se tabell 4). Proteinkvaliteten, definierad som innehållet av essentiella (livsnödvändiga) aminosyror (främst lysin men även vissa svavelhaltiga aminosyror till fjäderfä) är hög (Elwinger, 1985b; Thomke & Göransson, 1985; Rundgren m.fl., 1985; Spörndly, 2003). Rapsmjöl innehåller mindre lysin och mer metionin jämfört med sojamjöl (Thompke m.fl., 1983; Spörndly, 2003; Elwinger, 2005; Simonsson, 2006; Livsmedelssverige, 2007) (se tabell 1). Lysinhalten är högre än i spannmål och kompletterar därför detta protein på ett bra sätt (Lärn-Nilsson m.fl., 1997; Spörndly, 2003; Elwinger, 2005; Simonsson, 2006; Livsmedelssverige, 2007). Proteinfodermedel, såsom rapsmjöl, är lagringskänsliga och bör betraktas som färskvaror (Jansson, 2004).

## 5 SEDIMENT FRÅN SMÅSKALIG KALLPRESSNING

Vid gravimetrisk sedimentering i sedimentationskärl uppmätte Bernesson (1993) mängden sediment till 1,3-2,2 % av det inmatade fröets vikt. Detta betyder att den totala mängden sediment kommer att uppgå till 6-7 % av oljans vikt vid denna typ av sedimentering (Norén m.fl., 1994). Vid filtrering kommer sedimentet att innehålla en mindre mängd olja och speciellt vid centrifugering blir återstoden av olja i sedimentet låg. Mängden sediment ökar vid låga vattenhalter (lägre än 7 %) i fröet. Sammansättningen hos sedimentprover som centrifugerats 10 minuter vid 5000 varv anges i tabell 2.

*Tabell 2. Sammansättning hos centrifugerade sedimentprover (Bernesson, 1993)*

Beståndsdel	Innehåll
Fett (%)	49-52
Råprotein (%)	17-20
Glukosinolater (µmol/g fettfri torrsubstans)	15-18
Aska (%)	4,0-7,1
Växttråd (%)	1,0-2,5
Torsubstans (%)	96-97
Kväve (%)	2,5-2,7
Fosfor (%)	0,51-0,67
Kalium (%)	0,17-0,39
Kalcium (%)	0,30-0,55
Magnesium (%)	0,26-0,34
Svavel (%)	0,32-0,40
Koppar (ppm)	2,9-4,2
Mangan (ppm)	42-52
Zink (ppm)	65-120

### 5.1 Sedimentets användning

Sedimentet från pressningen av rapsfröet kan användas som gödselmedel, blandas in i kompost eller användas som djurfoder (Bernesson, 1993). Användning som råvara i biogasanläggningar är även möjlig (Lindman, 2007). Det är även möjligt att återföra sedimentet till oljepressen och mata in detta med fröet i vissa pressanläggningar. Sedimentet kan även brännas.

Vid utfodring blir fetthalten i sedimentet begränsande. Se tabell 6 och kapitlen: 7.5.1.2; 7.5.2.1; 7.5.3.1; 7.5.4.1; och 7.6.1.

Vid rötning av sedimentet är fettets en nyttig beståndsdel i processen. I tabell 12 anges gasmängder från olika typer av substrat.

Sedimentets egenskaper vid förbränning liknar troligtvis de vid eldning av rapsexpeller eller rapsmjöl med den skillnaden att den högre oljehalten gör att värmevärdet blir i motsvarande grad högre (se tabell 10 och kapitel 8.1). Värmevärdet blir betydligt högre än vad som är vanligt för andra fasta bränslen. Detta gör att sedimentet lämpligen bör eldas tillsammans med något fastbränsle vid måttlig inblandning.

Vid gödsling med sediment från pressning av rapsolja eller vid inblandning av detta i kompost eller fastgödsel bör man tänka på att fettets i oljan binder växtnäringsämnen då det bryts ner, vilket kan medföra sämre tillväxt påföljande år (Bernesson, 1993). Dessa växtnäringsämnen frigörs senare och kan då tillgodogöras av en gröda. Oljan i sedimentet bör vara nedbruten före gödsling om man ej särskilt eftersträvar en långtidseffekt med gödslingen. Avser man sprida sedimentet färskt bör man spä ut det ordentligt med gödsel innan man sprider det, om ej ovan nämnd effekt önskas. Rötas eller komposteras sedimentet före spridning som gödsel minskas sannolikt eller försvinner helt de ovan nämnda problemen med fastbindningen av växtnäringsämnen.

## **6 GLYCERINET**

### **6.1 Användning av glycerin allmänt**

Glycerin från olika omförestningsprocesser har olika sammansättning beroende på process. Renheten beror även på hur glycerinet behandlats efter omförestningen eller i samband med denna. Detta kan påverka dess vidare användning. Till lantbruksnära användning såsom till foder, förbränning eller rötning är inte kraven så höga. Kvarvarande alkohol kan vara ett problem även till dessa användningar. Till industriell användning är renhetskraven vanligen höga.

#### **6.1.1 Glycerinfraktionen**

Glycerinet innehåller en del av den överskottsalkohol samt resterna av den katalysator (Na eller K) som använts i processen (Norén m.fl., 1993; Bernesson, 2005). Det har därför låg flampunkt och måste därför hanteras med stor försiktighet och som en brandfarlig vätska så länge som det innehåller avsevärda mängder alkohol. Råglycerin som ska blandas in vid pelletering av andra material bör inte innehålla mer än 0,4 % metanol då metanolångorna annars blir ett arbetsmiljöproblem (Murphy, pers, 2007). Det är viktigt att man är medveten om att avdunstande metanolångor vid pelleteringen kan utgöra en allvarlig hälsorisk för personalen på foder-/bränslepelleteringsfabriken om ångorna ej tas om hand. Även brandrisken måste beaktas. Alkoholen i glycerinet kan emellertid återvinnas genom vakuumdestillering eller genom destillation på vanligt vis där produkterna värms (Norén m.fl., 1993; Bernesson, 2005), vilket ganska enkelt kan låta sig göras även i mindre omförestningsanläggningar (Frykerås, pers, 2007). Glycerinet kan renas ytterligare inom den kemiska industrin men den här reningen är en omfattande process och därför krävs stora anläggningar för att få lönsamhet vid denna hantering.

Råglycerin från Ageratecs omförestningsanläggningar innehåller ca 70 % glycerin, 20-25 % fettsyror och lecitin, samt 80 % av katalysatorn och därmed ca 0,6 % natrium eller kalium (Frykerås, pers, 2007). Råglycerin från en större svensk omförestningsanläggning har inne-

hållt ca 80 % glycerin (>75 %), 10-16 % (<20 %) vatten, 0,5-1 % (<2 %) metanol, och 1-2 % (<5 %) aska och haft en flampunkt överstigande 65°C (Erlandsson, pers, 2007). Enligt Knothe m.fl. (2005) innehåller den produkt som lämnar omförestringsprocessen ofta bara omkring 50 % rent glycerin.

Rent glycerin är mycket trögflytande vid låga temperaturer vilket gör att den blir svår att hantera (Murphy, pers, 2007). Råglycerin, som innehåller alkohol och ibland även vatten, blir ej lika trögflytande vid låga temperaturer och är därför mer lätthanterlig.

Ett sätt att minska riskerna med den alkohol som finns kvar i glycerinet efter omförestringen är att tillsätta vatten. Blandar man glycerinet i flytgödsel elimineras alltså brandfaran.

På senare tid (september 2006) har glycerin betingat ett pris på 0,77 SEK/kg (Nilles, 2006). Råglycerin som lämnats till rötning har betalats med 0,70-0,90 SEK/kg (Frykerås, pers, 2007; Petterson, pers, 2007). Råglycerin från en större svensk omförestringsanläggning har betingat ett pris på 125 €/ton (1,15 SEK/kg om 1 € = 9,2 SEK (Riksbanken, 2007)) (Erlandsson, pers, 2007). Prisvariationerna är alltså stora för glycerinet som har flera olika användningsområden (se ovan).

### **6.1.2 Användningsområden för glycerinet**

Ofta har man haft svårt att finna avsättning för glycerin från små anläggningar och det har spridits på åkrar uppblandat med flytgödsel eller använts till dammbekämpning på torra grusvägar. Användning inom mer lantbruksnära tillämpningar såsom: foderråvara, råvara till biogas och förbränning beskrivs mer ingående nedan (se även kapitlen: 7.5.1.4; 7.5.2.3; 7.5.3.3; 7.6.2; 8.2; 9.2; 10.4; och 11.2).

Efter rening kan glycerinet användas som råvara i ett flertal kemiska processer, t.ex. inom livsmedelsindustrin till livsmedelsadditiv, till kosmetika, hudvårdsprodukter (i t.ex. tvål och schampo), läkemedel, tobak, sprängmedel eller i vapen (Bernesson, 2005; Gardyas, 2006; Honeyman m.fl., 2007; Journey to Forever, 2007; Erlandsson, pers, 2007). Det kan även användas som råvara till propylenglykol (frys skyddsvätska) (Mittelbach & Remschmidt, 2005; Hillgrub, 2006), epoxihartser och medel för armering av papper (Nilles, 2006) och som råvara vid tillverkning av polymerer (Hillgrub, 2006). Dessa polymerer kan bli lätt nedbrytbara och användas bl.a. i förpackningar (Biodiesel magazine, 2005). Glycerinet kan även till en viss del ersätta polyoler som sockerfria sötningsmedel (Hillgrub, 2006; Erlandsson, pers, 2007). Det har även förslagits att glycerinet skulle kunna användas som råvara vid tillverkning av tillsatsmedel för att underlätta användandet av omförestrede vegetabiliska oljor som fordonsbränsle vid låga temperaturer (Mittelbach & Remschmidt, 2005). Detta skulle ske genom att glycerinet får reagera med aldehyder, ketoner eller metylacetat för att bilda glycerolketaler eller glycerolacetat.

### **6.1.3 Rening av råglycerinet**

Det glycerin som lämnar omförestringsprocessen innehåller en del av överskottsalkoholen, det mesta av katalysatorn samt tvål (Knothe m.fl., 2005). I denna form har glycerinet lågt värde och försäljning kan bli svår. Innehållet av alkohol gör, som sagts ovan, att glycerinet måste hanteras som brandfarligt avfall. Det första steget vid raffinering av glycerinet är vanligen att tillsätta syra för att splittra upp tvålen i fria fettsyror och salter. De fria fettsyrorna är inte lösliga i glycerinet och kommer därför att flyta upp till toppen av detta, där de kan tas tillvara, förestras och återföras till omförestringen. Salterna stannar kvar i glycerinet även om

en del av dessa kan falla ut. Om kaliumhydroxid används som katalysator vid omförestringen och om fosforsyra används för neutraliseringen, bildas saltet kaliumfosfat som kan användas som gödselmedel. Efter det att katalysatorn neutraliserats och fettsyror avskiljats så avlägsnas alkoholen genom vakuumdestillation eller genom någon annan typ av destillationsprocess. Efter detta moment bör glycerinet ha en renhet av 85 % och kan då säljas till en glycerinförädlare. Denna renar glycerinet ytterligare med hjälp av processer inkluderande vakuumdestillation och jonbytare.

#### **6.1.4 Omhändertagande av återvunnen alkohol**

Metanol och etanol som avlägsnats från estern och glycerinet brukar ha tagit upp vatten som kommit in i processen (Knothe m.fl., 2005). Detta gäller särskilt för processer där esterfasen tvättas med vatten. För metanol är detta vatten lätt att avlägsna genom destillation. Med etanol blir det lite besvärligare då denna bildar en azeotrop blandning med vatten där ej tillräcklig mängd av vattnet kan avlägsnas genom destillation. Någon typ av molekylsäll måste då användas för att avlägsna vattnet. Dessa molekylsäll jobbar ofta med en teknik som kallas PSA (pressure swing adsorption) (Jacques m.fl., 1999) som går ut på att molekylsället innehåller ett poröst ämne där vattenmolekyler men inte etanolmolekyler kan fastna. Då det här ämnet är mättat på vatten kan detta i princip drivas bort med vakuum och/eller värme. Då vattnet är bortdrivet fungerar molekylsället igen och så vidare. Tekniken är dock komplicerad och dyr, och passar därför inte i små anläggningar.

## **7 UTFODRING**

### **7.1 Utfodring, allmänt**

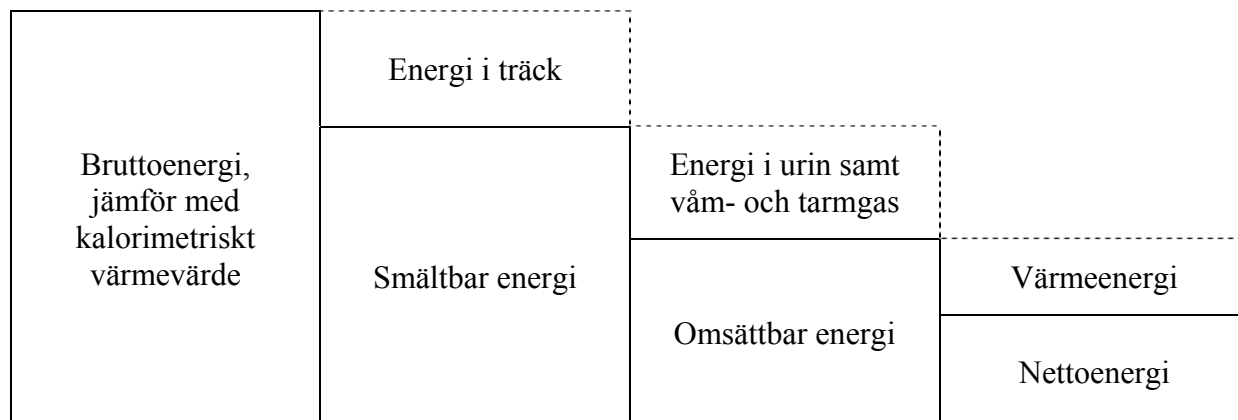
Fodret ska ge djuret underhåll för att kunna leva dvs. energi för att t.ex. hjärtat, andningsmuskulaturen och matsmältningen ska fungera, samt protein till det kontinuerliga cellutbytet (Planck & Rundgren, 2005). Dessutom behövs energi och protein till fysiskt arbete, tillväxt, fosterutveckling och digivning. Djurets storlek är även av betydelse. Ett stort djur har större behov än ett litet.

#### **7.1.1 Energi i foder**

Djurens foder innehåller en viss mängd energi (MJ) som kan vara bunden i protein, fett eller kolhydrater (Lärn-Nilsson m.fl., 1997). När dessa ämnen bryts ner i kroppen kan djuret utnyttja energin. Den används för att bygga upp nya energirika föreningar, till att alstra värme eller till att röra musklerna. En del energi har redan förbrukats av mikroorganismerna i fodersmältningsskanalen och en del finns kvar i den osmälta delen av fodret, det som kommer ut som träck.

Den del av fodrets bruttoenergi som omsätts i fodersmältningsskanalen kallas smältbar energi (se figur 3) (Lärn-Nilsson m.fl., 1997). Resten går bort som energi i den träck som djuret lämnar ifrån sig. En del av den smältbara energin förloras i form av gaser som djuret rapar upp eller släpper ut som tarmgaser. Gaserna bildas av mikroorganismerna i våmmen och nätmaggen hos idisslarna och i grovtarmen hos alla djur. Från den smältbara energin ska också räknas bort energin i urinen. Kvar blir den omsättbara energin (se figur 3) som kroppen kan använda för sin omsättning. En del av denna går åt till att bilda värme och hålla kroppstempe-

raturen jämn. Överskottet lämnas till omgivningen. Det som till sist blir kvar är nettoenergi (se figur 3). Nettoenergin i fodret används till arbete, tillväxt, fosterutveckling, mjölkbildning eller äggbildning osv. Nettoenergin är svår att beräkna då man aldrig vet hur mycket av energin som går till bildning av värme. Därför brukar man i Sverige ange fodrets innehåll av omsättbar energi och ha det som ett mått på fodrets energivärde. Vid beräkningarna av värdet på rapsexpeller och rapsmjöl som foder till olika djurslag har därför den omsättbara energin till respektive djurslag använts som grund i den här rapporten.



Figur 3. Energin i fodermedel (efter; Lärn-Nilsson m.fl., 1998; Jansson, 2004).

### 7.1.2 Proteiner

Proteiner finns rikligt i bl.a. baljväxter, kött, mjölk och ägg (Lärn-Nilsson m.fl., 1997). Hos djuren finns protein framförallt i musklerna medan det hos växterna framför allt finns i fröna t.ex. hos raps och soja. Proteiner är uppbyggda av 20 olika så kallade aminosyror. Minst tio av aminosyror är livsnödvändiga, essentiella, och dessa kan inte bildas i kroppen i tillräcklig omfattning.

### 7.1.3 Foderfett

Fett i foder har den fördelen att det kan öka fodrets smaklighet, smältbarhet samt utnyttjandet av fettlösliga näringsämnen (Elwinger, 2005). Vidare binder fett damm vilket är positivt för stallmiljön och minskar risken för separation av foderpartiklar (Lindberg & Andersson, 1993; Elwinger, 2005). Dessa positiva egenskaper gör att man gärna vill ha ca 2 % fett i foderblandningen.

Fetterna brukar räknas till gruppen lipider. Dessa är estrar av glycerol (glycerin) och vissa fettsyror (Murphy & Wiktorsson, 1986) (se figur 2). Det finns mono-, di- och triglycerider och med det avses antalet fettsyror som ingår i molekylen (normalt 3 st. med 12-18 kolatomer vardera). Fettsyror benämns antingen efter antal kolatomer eller sina populära namn, t.ex. C16 eller palmitinsyra. Fettsyror är uppdelade efter två grupper; mättade och omättade. I mättade fettsyror är alla kolatomer bundna till varandra med enkla bindningar, och i omättade med en eller flera dubbelbindningar. Antalet dubbelbindningar brukar anges i beteckningen, som för t.ex. linolsyra är C18:2.

Vid utfodring med fett eller fettriakt foder är det viktigt att vara medveten om att olika typ av fett kan ge fett av olika konsistens (hårdhet) och hållbarhet (motståndskraft mot härskning) i

djurets kött vid slakt (Simonsson & Thompke, 1995; Lärn-Nilsson m.fl., 1998). Det samma gäller till viss del även mjölken om fodret ges till mjölkkor (Frank, 1986b; Murphy & Wiktorsson, 1986; Sanne, 1988b; Emanuelson, 1989; Everitt, 1989; Samuelsson, 1990; Sederblad & Spörndly, 1994a). Fettsyornas smältpunkt stiger med ökat antal kolatomer om mättnadsgraden är den samma (Lärn-Nilsson m.fl., 1997; Mittelbach & Remschmidt, 2005). Omättade fettsyror är mer flytande än mättade vid samma antal kolatomer. Varje dubbelbindning sänker smältpunkten. Orsaken är att dubbelbindningen ger kolkedjan en krökning som gör att den inte kan packa sig regelbundet och ge ett fast tillstånd. Ett mått på ett fetts omättnadsgrad är dess jodtal. Jodtalet är ett mått på den totala omättnaden i ett fett eller en blandning av fetter oberoende av dess halt av mono-, di-, tri- eller fleromättade fetter (Mittelbach & Remschmidt, 2005). Det uttrycks som den mängd jod i gram som reagerar med 100 gram fettprov.

Några av fettsyorna är essentiella dvs. nödvändiga, vilket innebär att de måste finnas i fodret (Lärn-Nilsson m.fl., 1997). Linolsyra, linolensyra och arakidonsyra är essentiella fettsyror.

Fetter som har många dubbelbindningar reagerar lätt med syre (Lärn-Nilsson m.fl., 1997). Reaktionen kallas härskning. De olika ämnen som bildas när fett härsknar har ofta obehaglig lukt och smak. Härskning går snabbare i ljus och värme. Fett till foder och fettrika foderprodukter bör därför förvaras svalt och mörkt för att få längre hållbarhet. Härskning kan också orsakas av bakterier. Härskning av fett kan motverkas av antioxidanter (ämnen som motverkar oxidation). Exempel på antioxidanter är betakaroten, C-vitamin och E-vitamin.

Vid hydrolytisk härskning tar fettets vatten och molekylerna spjälkas i glycerol och fria fettsyror (Lärn-Nilsson m.fl., 1997). Reaktionen orsakas av enzymet lipas som produceras av mikroorganismer eller finns naturligt i fett. De frigjorda fettsyorna kan i sin tur oxideras. Reaktionen går långsammare vid låg temperatur.

Oxidativ härskning innebär att fett reagerar med syre vid dubbelbindningarna i fettsyorna (Lärn-Nilsson m.fl., 1997). Fettmolekylerna spjälkas och bildar t.ex. aldehyder och syror. En del av dessa slutprodukter är giftiga. Oxidationen påskyndas av tungmetaller, lågt eller högt pH, syre, hög temperatur, enzymer m.m.

Fornhammar (1988) ger följande råd för att hålla tillbaka oxidationsförändringarna vid hantering av fett: undvik onödig kontakt med luft; begränsa värmebelastningen; undvik direkt solljus; undvik kontakt med katalysatorer; och planera för en snabb omsättning av fett. Onödig kontakt med luft undviks genom att: vid pumpning läckande packningar där luft kan sugas in undviks; onödig omrörning och därmed nedrörning av luft undviks; samt att låga nivåer i tankar och därmed att förhållandet ytan mot luft/volyman blir ofördelaktig undviks. Värmebelastningen kan begränsas genom att stora värmeöverföringsytor används då värming är nödvändig, gärna då med vattenburen värme. Katalysatorer undviks genom att konstruktionsdetaljer av koppar, mässing och brons aldrig används. De råd som ges ovan kan vara viktiga att tänka på även vid hantering av fettrika rapsprodukter såsom rapsexpeller.

Kvalitetskriterierna för fett och oljor är renheten (vattenhalt, föroreningar och andelen oförtvålbart fett), kemisk sammansättning (kedjelängd, omättnadsgrad, andelen fria fettsyror och triglyceridstrukturen), kemisk kvalitet och påbörjad nedbrytning (bildning av dimerer, polymerer och oxidation) (Elwinger, 2005).

Maxiblandningen av fett i foderblandningar beror på fettets kvalitet (Elwinger, 2005). Vid pelletering av foder minskar fettillsats pelletens hållbarhet. Maximalt kan man före pelletering blanda in ca 4-6 % fett. Ytterligare 2-3 % kan tillföras genom att, med speciell utrustning, spruta det på pelletarna efter själva pelletering.

Vid raffinering av vegetabiliska oljor neutraliseras förekommande fria fettsyror (ca 2 %) med lut, härvid fås samtidigt en lika stor mängd emulsion av själva oljan (Elwinger, 2005). Genom

tillsats av en stark syra får man sedan en blandning, ca 50/50, av oljan och fria fettsyror som används av foderindustrin. Detta kallas i engelskspråkig litteratur för ”soap stock”. Akofeed som marknadsförs av KarlshamnsAB är en sådan produkt (AarhusKarlshamn, 2007).

Hos djur är det gallan, som bildas i levern, som ska hålla foderfettet finfördelat så att det lättare kan spjälkas av enzymer i tarmsaften (Lärn-Nilsson m.fl., 1997). Hos djur som äter relativt sällan, såsom t.ex. hos grisar, finns en gallblåsa som kan tömmas då behov av galla finns, särskilt då djuret ätit mycket fett vid ett tillfälle. Hos växtätande djur koncentreras inte gallan. Nötkreatur har en gallblåsa som står öppen hela tiden medan andra växtätare helt saknar gallblåsa t.ex. hästar och hjorddjur. Dessa djur kan därför inte smälta stora portioner av fett som utfodras relativt sällan. Det är viktigt att vara medveten om detta vid utfodring av dessa djurslag med fettriakt foder.

Effekten av värmebehandling på fettsyror i rapsmjöl/rapsexpeller beskrivs i kapitel 7.3.1.

## **7.2 Utfodring av rapsexpeller och rapsmjöl, allmänt**

Rapsexpeller och rapsmjöl har en hög proteinhalt och utfodras därför som proteinfoder. Emellertid så innehåller de en del oönskade ämnen, såsom t.ex. glukosinolater och även tanniner m.m., som kan begränsa de mängder som kan utfodras till vissa djurslag. Fettet i främst rapsexpeller har ett mycket högt energivärde.

### **7.2.1 Protein i rapsmjöl och rapsexpeller**

Proteinhalten i rapsmjöl varierar betydligt mer än exempelvis proteinhalten i sojamjöl (Pettersson, 1989). Detta beror på att rapsmjölet levereras i mindre partier, medan sojamjöl levereras i stora homogeniserade partier. Detta blir särskilt viktigt att känna till om hemproducerad raps ska användas i foderblandningen. Foderanalys kan då vara att rekommendera så att djuren blir utfodrade med rätt mängd protein. Exempel på råproteinhalter i rapsexpeller och rapsmjöl anges i tabell 1.

Effekten av värmebehandling på protein i rapsmjöl/rapsexpeller beskrivs i kapitel 7.3.1.

### **7.2.2 Glukosinolater**

Idag används normalt bara expeller och mjöl från dubbellåga sorter (har lågt innehåll av erukasyra och glukosinolater) till foderändamål. All vårraps och vårrybs som idag odlas i Sverige är dubbellåg samt nästan all höstraps. Man bör vara medveten om att mjöl men även expeller från dubbellåg raps innehåller glukosinolater i tillräcklig koncentration för att ge sköldkörtelförstoringar vid hög inblandning (Josefsson, 1979; Thompke m.fl., 1983; Thompke, 1984; Elwinger, 1985a; 1985b; Thompke, 1985a; 1985b; Elwinger & Thompke, 1985; Thompke & Göransson, 1985; Ahlin & Emanuelson, 1986; Frank, 1986a; Håkansson m.fl., 1994; Elwinger, 2005), särskilt då hos fjäderfä men även hos grisar. Det finns ett klart samband mellan mängden glukosinolater i fodret och sköldkörtelförstoring hos djuren (Thompke m.fl., 1983; Thompke, 1985a; 1985b). Man brukar därför inte tillåta mer än 10 % inblandning i foder till kycklingar, värphöns och grisar (Thompke, 1985a; 1985b; Elwinger & Thompke, 1985; Elwinger, 2005). I KRAV-foderblandningar kan man nödgas att tillåta högre inblandning. Man bör då vara observant på djurens hälsa och produktion. Inblandningen i fodret bör ökas stegvis i ett sådant fall. Detsamma gäller även om man skulle vilja öka fodrets andel av proteinfoder och eventuellt överutfodra detta på grund av att rapsfodret på en världsmarknad med



svängande priser tillfälligt blivit billigare än energifoder mätt utifrån dess innehåll av omsättbar energi.

Raps, med låg halt av glukosinolater, är betydligt mer smakligt för nötkreatur och svin än raps med hög halt av glukosinolater (Olsson, 1981). Glukosinolater har en skarp smak. De flesta djurslagen, främst då grisar, hästar, kalvar och lamm, behöver därför en tid för att vänja sig vid rapsfoder innan konsumtionen av detta kan ske fullt ut (Björklund, 1988a; Olsson, 1988; Emanuelson, 1989; Jansson, pers, 2007).

Glukosinolater är en grupp svavelhaltiga ämnen med glukos (glukosider) och med frätande smak (t.ex. senap) som förekommer i en rad Brassica-arter (kålväxter dit både raps och rybs hör) (Thompke, 1985a; Thompke & Göransson, 1985; Elwinger, 1985a; Emanuelson & Wiktorsson, 1990; Håkansson m.fl., 1994; Simonsson & Thompke, 1995; Lärn-Nilsson m.fl., 1997). Dessa glukosinolater kan i sig ha vissa hämmande effekter, men framförallt är det deras spalt(nedbrytnings)produkter som har hämmande (antinutritionell) verkan på ämnesomsättningen. Bland spaltprodukterna kan nämnas tiocyanat som hämmar jodupptaget i sköldkörteln, oxazolidinthion (goitrin) som försvårar syntesen av tyroxin i samma körtel, samt nitriler och andra komponenter som kan påverka andra organ (t.ex. levern) (Thompke, 1985a). Om syntesen av tyroxin i sköldkörteln hindras hos ett djur kan detta leda till struma (sköldkörtelförstoring) (Josefsson, 1979) och rubbningar i sköldkörtelns funktion (särskilt hos enkelmagade djur) (Frank, 1986a). Dessutom kan glukosinolaternas negativa effekter yttras som: dålig smaklighet hos fodret, diarréer vid höga giver, dräktighetsstörningar, dödfödda eller livssvaga ungar, försämrat produktionsresultat särskilt då hos svin och fjäderfä (Frank, 1986a).

I växtmaterial (bl.a. raps och rybs) förekommer även enzymer (myrosinas) som spaltar glukosinolater och ger upphov till de ovan nämnda spalt(nedbrytnings)produkterna (Thompke, 1985a; Spörndly, 1987). Fodermedel som innehåller glukosinolater bör inte utfodras i större mängder än vad som rekommenderas och gärna kompletteras med joderade mineralfodermedel (Lärn-Nilsson m.fl., 1997). Begränsade ökning av djurens sköldkörtelvikter bedöms inte påverka deras hälsa negativt (Elwinger & Thompke, 1985; Thompke & Göransson, 1985). Vid utfodring av slaktsvin med dubbel- och trippellågt rapsfrö har små viktökningar hos lever, njurar och sköldkörtlar konstaterats (Håkansson m.fl., 1994).

Inga antinutritionella effekter kan förväntas då glukosinolathalten i den totala fodermängden understiger 1 mg/g torrs substans (Emanuelson, 1989).

Halten glukosinolater i rapsfrö minskades genom växtförädling från 1970-talet till 1990-talet, men har under senare år legat på en relativt konstant nivå (se tabell 3) (Gunnarsson, pers, 2007; Jonsson Bodil, pers, 2007). I de rapsorter som odlas idag i Sverige, ligger glukosinolathalterna kring 10-15  $\mu\text{mol/g}$  vilket även ligger i nivå med de sorter som odlas i Tyskland (Schumann, 2004). Halten glukosinolater varierar i frö av en och samma sort beroende på årsmånen (Gunnarsson, pers, 2007). De sorter som odlas i Sverige kommer emellertid aldrig över gränsen för att inte få kallas dubbellåga. För att sorter av raps och rybs ska få kallas dubbellåga måste de producera frö med en högsta glukosinolathalt på 25  $\mu\text{mol/g}$  vid en vattenhalt på 9 % (Jordbruksverket, 2007).

Tabell 3. Halt av glukosinolater i rapsfrö under senare decennier (Gunnarsson, pers, 2007; Jonsson Bodil, pers, 2007)

Gröda	Sort	Glukosinolathalt ( $\mu\text{mol/g}$ frö)	Utkom (år)
Vårraps <sup>a</sup>	Niklas	150	1979
Vårraps <sup>a</sup>	Topas	20	1981
Vårraps <sup>a</sup>	Puma	15	1986
Vårraps <sup>a</sup>	Sponsor	10	1993
Vårraps <sup>a</sup>	SW Stratos	10	2001
Höstraps <sup>b</sup>	Emil	50-100	1980
Höstraps <sup>b</sup>	Juno	50-100	1985-1986
Höstraps <sup>b</sup>	Casino	20	1991
Höstraps <sup>b</sup>	Idol	20	1993
Höstraps <sup>b</sup>	Express	15	1994
Höstraps <sup>b</sup>	Banjo	15	2002
Höstraps <sup>b</sup>	SW Calypso	15	2003

<sup>a</sup> Gunnarsson, pers (2007).

<sup>b</sup> Jonsson Bodil, pers (2007).

Glukosinolathalten ligger på 13-14,5  $\mu\text{mol/g}$  för det rapsfrö som man handlar med i Tyskland (Schumann, 2004). Glukosinolathalten, från 10 st. tyska anläggningar för pressning och extraktion av rapsfrö, låg på 3-15  $\mu\text{mol/g}$  rapsmjöl motsvarande att 33-85 % av glukosinolaterna bröts ner i processen. Halten av glukosinolater blir därmed lägre i rapsmjölet än vad det borde ha blivit utifrån halten glukosinolater i ingående frö. Detta kan tyda på att processen för utvinning av oljan kan optimeras för reduktion av glukosinolater och bevarande av proteinets kvalitet. Glukosinolater påverkas av värme (se kapitel 7.3.1). Ovanstående förklarar även det faktum att glukosinolathalten ligger på 10  $\mu\text{mol/g}$  i svenskt extraherat rapsmjöl (Herland, pers, 2007) då halterna i fröet tyder på att halterna i rapsmjölet borde ha blivit högre då oljan tagits bort.

### 7.2.3 Skalhaltens betydelse

Skalhalten i rapsfodret är en begränsningsfaktor vid utfodring (Thompke, 1985a). Även denna är önskvärd att sänka, då en sänkning skulle öka rapsfröets, rapsexpellernas och rapsmjölets fodervärde vid utfodring till enkelmagade djur. En sänkning av skalhalten med 20 % skulle ge en motsvarande höjning av rapsmjölets energivärde till dessa djurslag. Trippellåga sorter med låg skalhalt finns (Gunnarsson, pers, 2007). Inom växtförädlingen jobbar man med trippellåga, gulfröiga, rapssorter som kan bli aktuella för odling inom ett par år.

Trippellågt rapsmjöl (från vårrybs) har något lägre proteininnehåll och lägre fiberinnehåll (växttråd, NDF (totalfiber), ADF (lignocellulosa), samt lignin). Innehållet av växttråd i 00-mjöl är 14,5 % och i 000-mjöl 11,7 % (Olsson, 1988; Olsson m.fl., 1990). Den lägre halten av växttråd i det trippellåga rapsfröet gör detta intressant för utfodring. Olsson (1988) och Olsson m.fl. (1990) har jämfört trippellågt rapsfrö med dubbellågt rapsfrö vid utfodring av slaktsvin (kastrater). Smältbarheten för organisk substans var 69 % för 00-mjöl och 76 % för 000-mjöl och den omsättbara energin var 11,1 MJ/kg torrsbstans för 00-mjöl och 12,0 MJ/kg torrsbstans för 000-mjöl. Förklaringen till skillnaderna är att 000-mjölet innehåller 0,8 % mer fett samt 2,8 % mindre växttråd. Huvuddelen av skillnaden i omsättbar energi (0,9 MJ/kg torrsbstans) förklaras av skillnaden i växttrådhalt. Sänkningen av skalhalten i det trippellåga materi-

alet borde medföra en sänkning av de antinutritionella substanser (garvämmen) som finns där (Olsson m.fl., 1990) (se kapitel 7.2.4). Detta kan tänkas ha haft en positiv effekt på näringsvärdet.

Vårraps har lägre fiberhalt än höstraps (Lärn-Nilsson m.fl., 1997) och växttrådhalten är genomgående ca 2 procentenheter lägre i vårraps än i höstraps (Simonsson & Thompke, 1995). Därmed är energiinnehållet till grisar och även proteinhalten med aminosyrainnehållet högre i detta frö, vilket är positivt vid utfodring av grisar.

Det är även tänkbart att rapsfröna skulle kunna skalas för att höja proteinhalten och energivärdet i resulterande rapsmjöl och rapsexpeller vid användning till grisfoder (Simonsson & Thompke, 1995). Det är dock osäkert hur skalningen skulle kunna gå till men tekniskt möjligt. Dessutom är det osäkert vilken användning rapsskalen skulle kunna få och om foderindustrin skulle kunna betala något för en rapsskalprodukt.

#### **7.2.4 Tanniner och andra antinutritionella ämnen**

Rapsfrö innehåller tanniner (garvsyra) som kan ha antinutritionell effekt liksom fytinsyra som kan blockera utnyttjandet av fodrets mineral- och spårämnen (Thompke, 1985a). Fytinsyra och tanniner bildar komplex med metalljoner vilket är orsaken till att dessa kan orsaka brist på dessa mineraler (Thompke m.fl., 1983; Elwinger, 1985a). Tanninet finns huvudsakligen i skalen (Elwinger, 1985a). Fytinsyra och växttråd i rapsmjöl och rapsexpeller minskar tillgängligheten av fosfor, kalcium, magnesium och zink (Olsson, 1981). Fytinsyra begränsar särskilt djurens möjligheter att utnyttja fosfor (Simonsson & Thompke, 1995). Dessutom minskar innehållet av växttråd tillgängligheten av koppar och mangan (Olsson, 1981). Trots detta är rapsmjöl en bättre källa av kalcium, järn, mangan, fosfor, selen och magnesium än sojamjöl. Sojamjöl är en bättre källa för koppar, zink och kalcium än rapsmjöl. Fosfor bundet till fytinsyra skulle kunna göras mer tillgängligt genom tillsats av enzymet fytas till svinfoder (Simonsson, 1993). Fytas finns bl.a. i fodersmältningskanalen hos idisslare.

### **7.3 Teknik för behandling av rapsexpeller och rapsmjöl som ska utfodras**

Rapsexpeller och rapsmjöl kan värmebehandlas för att effekten från de skadliga glukosinolaterna ska minska, proteinet ska bli mer tillgängligt för idisslare då det kan passera vämmen utan att påverkas alltför mycket, samt att fodrets fett ska kunna passera idisslars väm utan att brytas ner lika mycket som tidigare.

#### **7.3.1 Värmebehandling av rapsexpeller/rapsmjöl, effekt på glukosinolater, fett och protein**

Vid värmebehandling av rapsexpeller och rapsmjöl inaktiveras myrosinas, det enzym som medverkar till nedbrytning av glukosinolater, och därför kan inte giftiga nedbrytningsprodukter från glukosinolaterna bildas i samma utsträckning efter denna behandling (Olsson, 1981; Rasmusson, 1983; Thompke & Göransson, 1985; Spörndly, 1987; Sanne, 1988a). Effekten av värmebehandlingen beror av temperatur, tid, vattenhalt och tryck (Engstedt & Sanne, 1985; Elwinger, 1985a). Myrosinaset har inaktiverats vid upphettning till 90°C under 15 minuter vid 8 % vattenhalt, till 120°C, (Engstedt & Sanne, 1985) eller till 100-105°C (Frank, 1986a). Trots värmebehandlingen kan viss hydrolys av glukosinolater ske beroende på att allt myrosinas ej blivit fullständigt inaktiverat, myrosinas kan tillföras djuren från andra källor (t.ex. kålväxter) eller att mikroorganismer i djurens mag-tarmkanal kan bilda enzymer med liknande hydrolytisk verkan som myrosinas (Josefsson, 1979; Frank, 1986a). Man bör

vara observant på att för intensiv värmebehandling försämrar tillgängligheten hos aminosyror, särskilt då lysin (Elwinger, 1985a). Ångbehandling kan göra lysinet mer tillgängligt vid utfodring av kycklingar (förvärmning av frö till 90°C i 40 minuter före krossning) (Elwinger, 1985a).

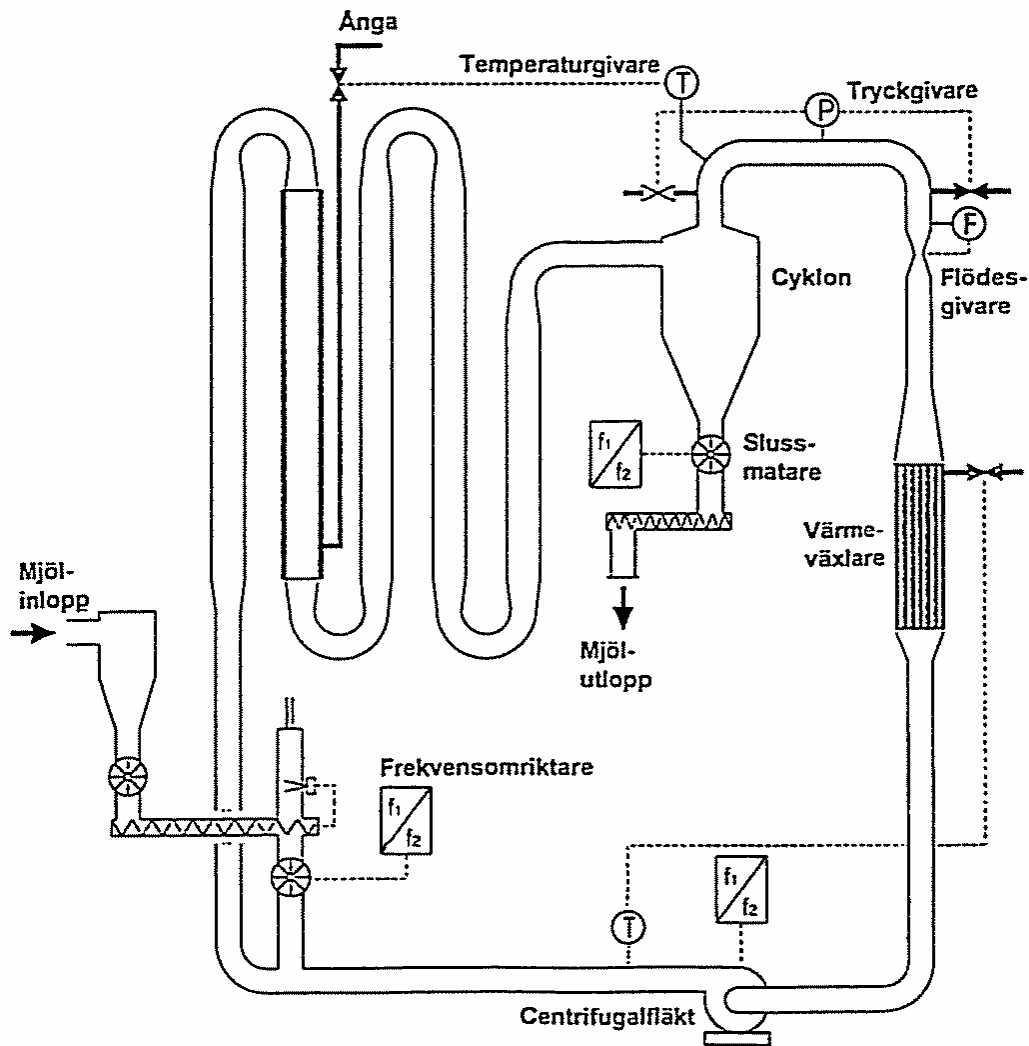
Värmebehandling av rapsmjöl till idisslare har minskat den effektiva nedbrytningen av protein i våmmen från 70 till 50 % (Wiktorsson m.fl., 1988; Bertilsson, 1988a; Emanuelson, 1989), vilket har ökat produktionen hos mjölkkor beroende på att proteinet kunnat tillgodogöras efter våmmen. Exempel finns där proteinets buffertlöslighet sänkts med 20 procentenheter vid ångbehandling, med 15 procentenheter vid värmebehandling vid 120°C och mycket kraftigt vid 160°C (Engstedt & Sanne, 1985). Även pepsinlösligheten sjönk kraftigt i detta exempel vid värmebehandling vid 160°C. En följd av detta är att en större mängd aminosyror blir tillgängliga för upptag i tarmen efter våmmen. Fett- och proteinhalterna i mjölken har stigit, liksom att kroppsvikten ökat (Bertilsson, 1988a). Värmebehandlingen har inte påverkat oljans peroxidtal och därmed halt av fria fettsyror (Engstedt & Sanne, 1985). För mer information se även kapitel 7.5.1.1.

Värme- och ångbehandling av krossat rapsfrö har gjort fettets motståndskraftigt mot nedbrytning i våmmen genom att den fysikaliska strukturen hos fettkonglomeraten i fröna förändrats (Engstedt & Sanne, 1985; Sanne, 1985; 1988a; Samuelsson, 1990). Annars är det vanligt att fett i rapsfrö bryts ner relativt snabbt i våmvätska (Sanne, 1985). Värmebehandling vid 160°C har gett kraftigt sänkt löslighet medan värmebehandling vid 120°C inte haft någon effekt. Oljedroppsstrukturen i ångbehandlat frö och värmebehandlat frö vid 120°C har förändrats genom att dropparna flutit samman och deras "hinnor" har deformerats. Det är osäkert om samma effekt kan erhållas för rapsexpeller då fett dropparna kläms söder vid pressningen.

Försöken att skydda fett i rapsfrö från nedbrytning i våmmen, hos idisslare, har inte varit tillräckligt effektiv för att fettsyrasammansättningen hos mjölkfett i mjölk ska kunna påverkas i någon större utsträckning (Emanuelson, 1989). Detta beroende på att fettets inte kapslats in tillräckligt väl vid värmebehandlingen för att kunna passera våmmen. Fettnedbrytningen och biohydreringen i våmmen går dock långsammare för värmebehandlat krossat rapsfrö än för obehandlat frö (Emanuelson, 1989). Se även kapitel 7.5.1.2.

### **7.3.2 ExPro**

ExPro™ är en process för värmebehandling av rapsmjöl och rapsexpeller (med 15 % fett) som Karlshamns AB utvecklat i samarbete med företaget Stork Friesland Scandinavia (Herland, 1997). Principen för processen visas i figur 4. ExPro-anläggningen består av ett slutet system av rörslingor, en värmeväxlare, en cyklon, och en centrifugalfläkt. I anläggningen cirkuleras indirekt överhettad ånga vid 2-6 atmosfärers övertryck. Den erforderliga värmen tillförs genom ångan som samtidigt utgör transportmedium för mjölpartiklarna. Den utspädda blandningen av partiklar och ånga medför att behandlingen blir identisk för alla partiklar. Efter en snabb passage genom den termiska reaktorn, där uppehållstiden är mindre än 30 sekunder, separeras fodret i en cyklon (det anges inte till vilken temperatur mjölpartiklarna värms vid passagen av reaktorn). Ångan recirkuleras med en centrifugalfläkt. Det behandlade materialet matas ut och kyls därefter i en silo. Man har noggrann kontroll på produktens vattenhalt. Effekten av värmebehandling av rapsexpeller/rapsmjöl beskrivs i kapitel 7.3.1.



Figur 4. Principskiss av ExPro-processen (Herland, 1997).

Behandlingen har knappast någon inverkan på pepsinlöslighet, råproteinhalt, ADF-kväve eller lysin i mjölet (Herland, 1997). Buffertlösligheten (mått på proteinets löslighet i vämnen) reduceras från 25 till 8 %. Värmebehandlingen har i ett test minskat mängden våmlösligt protein (EPD) från 72 till 46 % utan någon minskad tarmsmältbarhet. Kor utfodrade med ExPro har avkastat mer än kor utfodrade med vanligt rapsmjöl. Försök har visat att en sänkning av tillförseln av protein i kraftfodret med ca 25 % är möjlig utan att avkastningen påverkas negativt, om mjölkkor utfodras med ExPro istället för mer lättlösligt protein. ExPro-produkterna får en hög hygienisk kvalitet då de blir garanterat fria från salmonella.

### 7.3.3 Tekniska problem p.g.a. av den höga fetthalten i rapsfrö och ev. rapsexpeller

Vid malning av rapsfrö klibbar fett i dessa lätt fast och täpper igen kvarnens såll (Rasmussen, 1983). Detta gör att rapsfrö är betydligt enklare att krossa än att mala. Det är troligt att detsamma gäller vid malning av rapsexpeller som ju också har en hög oljehalt.

### **7.3.4 Blötutfodring av rapsexpeller**

Vid blötutfodring löses rapsexpellererna lätt vilket underlättar användningen i denna typ av utfodringssystem (Andersson, pers, 2007).

### **7.4 Utfodring med glycerin, allmänt**

Vid utfodring fungerar glycerin i huvudsak som ett snabbt omsättbart energifoder. Det är flytande samt ställer en del krav på hanteringen och lagringen.

Om glycerin används i foderblandningar måste man vara medveten om att inblandning av mer än 8 % i dessa gör fodret klubbigt så att klumpar bildas (Löwe, 2000; Freistaat Sachsen, 2001). Glycerinet tränger ju inte in i krossade spannmålskärnor på samma sätt som andra vätskor. Glycerin fungerar bra som bindemedel vid foderpelletering om 2-3 % (viktbasis) glycerin blandas in (Murphy, pers, 2007) och ger då fastare pelletter. Emellertid blir pelletterna mjuka om 7-8 % (viktbasis) glycerin blandas in, vilket ej är bra i den vidare hanteringen. För delar gentemot andra bindemedel är att det ej försämrar fodrets innehåll av energi vid utfodring (Löwe, 2000; Freistaat Sachsen, 2001).

Pelleterat foder är lagringsbart med en glycerinhalt upp till 8 %. Är fodret inte pelleterat är det bara lagringsbart med en glycerinhalt upp till 5 %. Orsaken till detta är bl.a. att glycerin är hygroskopiskt och tar upp vatten från luften. Vid en relativ luftfuktighet under 55 % förhindrar glycerinet uttorkning av fodret. Men vid en relativ luftfuktighet överstigande 75 % tar glycerinet upp vatten och foderblandningen riskerar därför att bli för fuktig för att vara lagringsbar (vattenhalten kommer att överstiga 14 %). För att fodermedel innehållande glycerin ska vara lagringsbara fordras därför att den omgivande luften har en relativ fuktighet på 50-60 %. Kan ej detta uppfyllas, kan foderblandningen bara lagras en kortare tid. Metanolhalterna i foder som pelleteras efter inblandning av råglycerin blir så låga att de inte innebär något problem för de djur som ska utfodras (Murphy, pers, 2007).

Trots att glycerinet är hygroskopiskt har inte fodrets hygieniska kvalitet påverkats negativt då glycerinet verkar ha en konserverande effekt på det pelleterade fodret (Schröder & Südekum, 1999). Pellets som innehåller glycerin har blivit hårdare och mer motståndskraftiga mot nötning jämfört med pellets utan glycerin.

Till utfodringsändamål föredras att glycerinet innehåller natrium framför att det innehåller kalium (Murphy, pers, 2007). Detta gör att natriumhydroxid är att föredra framför kaliumhydroxid som katalysator vid omförestningen om glycerinet ska användas till utfodring.

### **7.5 Utfodring av olika djurslag**

Näringsbehovet och behovet av essentiella aminosyror varierar en del beroende av djurslag. Detsamma gäller hur pass väl de tål glukosinolater och fett som ingår i rapsprodukterna. På grund av detta redovisas varje djurslag för sig nedan. Mängden glukosinolater i rapsfoder (dubbellågt) har minskat något under senare år (se tabell 3). Om man antar att det endast är glukosinolaterna som begränsar foderintaget borde därför de utfodringsmängder som angivits för dubbellåg vårraps i början och mitten av 1980-talet kunna fördubblas; de mängder som angivits för dubbellåg vårraps i slutet av 1980-talet och i början av 1990-talet borde kunna ökas med ca 50 %; och de mängder som angivits för dubbellåg höstraps i början av 1990-talet borde kunna ökas med ca 30 %. Nedan anges därför varje källa med årtal för att läsaren själv ska kunna bedöma uppgifterna. Dock minskar effekten av de giftiga nedbrytningsprodukterna från glukosinolaterna om/då rapsfröet utsätts för värme (se kapitel 7.2.2 och kapitel 7.3.1)

såsom sker i viss mån vid pressningen, särskilt då vid varmpressning. Detta kan göra att skillnaderna mellan rapsfoder från olika år är mindre än vad det borde ha varit enligt resonemanget ovan. Man bör även vara uppmärksam på att vissa kolhydrater och mängden fett i fodret är begränsande för hur stora givor som kan ges.

### **7.5.1 Idisslare**

#### *7.5.1.1 Utfodring av idisslare med rapsexpeller och rapsmjöl*

Rapsmjöl är mycket likt sojamjöl vid utfodring av idisslare (Emanuelson, 1989) med de skillnaderna att det finns mer protein i sojamjöl och mer mineraler i rapsmjöl. Idisslare är mindre känsliga för glukosinolaterna i rapsmjölet än vad enkelmagade djur är. Inga antinutritionella eller toxiska effekter förväntas hos idisslare om den totala halten av glukosinolater i fodret är lägre än 1 mg/g torrsubstans. Utfodringen av rapsprodukter har ofta haft en positiv effekt på produktionsresultatet (Emanuelson, 1989; Olsson, 1989). Vid utfodring av rapsfrö är det fettinnehållet i detta som begränsar hur mycket som kan utfodras, ej glukosinolaterna (Emanuelson, 1989), detsamma kan förväntas gälla för rapsexpeller. Då 15 % av den metaboliska energin kommer från fett blir näringsutnyttjandet maximalt. Max 5 % fettsyror kan ingå i dieten till idisslare, vilket betyder ungefär 1 kg fettsyror per dag till mjölkkor tidigt i laktationen.

Smakligheten hos nya rapssorter ska normalt inte vara något problem vid utfodring av nötkreatur (Emanuelson & Wiktorsson, 1990; Herland, 1997; Bertilsson, pers, 2007). Emanuelson (1989) såg inga smaklighetsproblem i sina försök. I försök av Spörndly och Åsberg (2006) föredrog kvigor värmebehandlat rapsmjöl, men även ej värmebehandlat rapsmjöl, framför flera andra proteinfoder såsom sojamjöl och ärter. Rapsexpeller med 24 % fett av torrsubstansen låg i nivå med sojamjölet.

I litteraturen anges ganska varierande uppgifter om hur mycket rapsmjöl, rapsexpeller eller rapsfrö som kan utfodras till nötkreatur utan risk för skadliga effekter. Hela proteinbehovet kan ges som rapsmjöl till mjölkkor och ungdjur, detta motsvarar upp till 25 % av kraftfodret eller upp till 5 kg per ko och dag (Herland, pers, 2007). Exempel finns på lantbrukare som idag utfodrar hela proteinbehovet, motsvarande 3-4 kg rapsexpeller per dag med 14-15 % fett (Pettersson, pers, 2007), eller 1000 kg rapsexpeller per år (2,74 kg rapsexpeller per dag) med 14-17 % fett (Andersson, pers, 2007; Tham, pers, 2007), till sina mjölkkor.

I äldre litteratur anges att så gott som hela proteinbehovet i en kraftfoderblandning kan utgöras av rapsmjöl (Ahlin m.fl., 1985; Ahlin & Emanuelson, 1986); 2,5 kg torrsubstans dubbellågt rapsmjöl plus 0,9 kg torrsubstans dubbellågt rapsfrö per dygn eller mer än 3 kg dubbellågt rapsmjöl per dygn till mjölkkor (Ahlin & Emanuelson, 1986; Emanuelson, 1989; Emanuelson & Wiktorsson, 1990; Herland, 1997); 2 kg dubbellågt rapsmjöl kan reservationslöst rekommenderas till även yngre kor (Emanuelson & Wiktorsson, 1990); upp till 3 kg dubbellågt rapsmjöl kan utfodras till mjölkkor utan negativ inverkan på fruktsamheten (Bertilsson m.fl., 1994); 4-5 kg rapsmjöl per ko och dag har givit försämrad reproducerbarhet och försämrad livskraft hos kalvarna (Frank, 1985); 1,4 kg rapsmjöl per ko och dag har inte givit någon skillnad i konsumtion eller produktion hos mjölkkor (Wiktorsson, 1985). Rapsmjöl (enkellågt) kan max ingå med 1 kg per ko och dag eller 10 % i foderstaten till mjölkkor under långa tider utan negativa effekter på produktionen (Olsson, 1981; Frank, 1985; Frank, 1986a). Rekommendationerna kan även utformas så att mängden glukosinolater ej får överstiga 34 mmol per dag till förstakalvare eller 2,2 mmol per kg torrsubstans i totalfoderstaten (Emanuelson, 1989; Herland, 1997).

Yngre kor (kvigor) kan drabbas av fertilitetsproblem vid för höga giver av rapsmjöl (Ahlin & Emanuelson, 1986; Bertilsson, 1987; Emanuelson, 1989; Olsson, 1989; Emanuelson & Wiktorsson, 1990). Dräktigheten har försenats och kalvningsintervallen blivit längre för yngre kor som utfodrats med 3 kg dubbellågt rapsfrö per ko och dag (Wiktorsson, 1985; Emanuelson & Ahlin, 1988; Emanuelson & Wiktorsson, 1990). Frank (1985) anger däremot att inget samband kan fastställas mellan konsumtion av rapsmjöl och antal semineringar per dräktighet. Den sexuella utvecklingen påverkades ej negativt hos lamm vid inblandning av 10 % dubbellågt rapsmjöl i fodret (Thompke, 1984). Wiktorsson (1985) anger att till växande ungnöt har rapsprodukter med framgång använts som enda proteinfodermedel. Nötkreatur är mindre benägna för sköldkörtelförändringar än andra djur såsom grisar och fjäderfä (Olsson, 1981). Emellertid kan även dubbellåga rapssorter ha visst inflytande på sköldkörtelfunktionen hos 1:a kalvare (Ahlin & Emanuelson, 1986).

Malt och krossat rapsfrö utnyttjas lika bra av kvigor vid stora rapsgivor (Sanne, 1985; Rasmusson, 1983). Detsamma kan antas gälla för rapsexpeller. Pelleterat foder föredras av djuren framför malt foder (Spörndly & Åsberg, 2006).

Till kalvar, upp till 3-4 månaders ålder, behövs ett bättre protein än rapsprotein. Köttdjur har inte så stort behov av protein, proteinbehovet till en snabbväxande tjur är hälften mot vad det är för en mjölkko (Bertilsson, pers, 2007). Exempel finns på lantbrukare som utfodrar ungnöt med 1-2 kg rapsexpeller per dag (Norrby, pers, 2007). Till kalvar bör inte mer än 10 % av kraftfodret vara rapsmjöl (Bertilsson, pers, 2007) då dessa är känsligare för eventuella glukosinolater.

Till får kan precis som för mjölkkor hela proteinbehovet täckas med rapsmjöl vilket motsvarar 25-35 % av foderintaget (Herland, pers, 2007). Totalt blir emellertid mängderna till får små då dessa inte äter så mycket kraftfoder (Bertilsson, pers, 2007).

Enligt nyare sätt att värdera protein i foder till nötkreatur, från ca 1990, har värdet hos rapsmjöl och då särskilt värmebehandlat sådant höjts (Bertilsson, 1990a). Med AAT/PBV-systemet tar man hänsyn till proteinets kvalitet i mycket högre grad än om man bara studerar smältbart råprotein. Med AAT menas aminosyror absorberade i tunntarmen. AAT kan ha två ursprung: dels kan det komma från protein som ej brutits ner i våmmen, dels kan det utgöras av mikroprotein. Det senare har bildats av mikroorganismer i våmmen från enkla kväveföreningar. AAT motsvarar till viss del det äldre begreppet smältbart råprotein. Förutom AAT beräknas även PBV (Protein balans i våmmen). Båda värdena anges som gram råprotein per kg (eller kg torrs substans) fodermedel. Värdena för de olika fodermedlen adderas för hela foderstaten. För AAT finns normer för underhåll, produktion, tillväxt och dräktighet (se fodermedelstabeller för idisslare (Spörndly, 2003)). För PBV strävar man efter att värdet för hela foderstaten ska gå mot 0. Rekommendationen är att man för hela foderstaten skall ligga mellan 0 och +300 PBV. De fodermedel som har högt råproteininnehåll och hög nedbrytbarhet i våmmen ger mest PBV-överskott. En foderblandning kan även ha negativa PBV-värden. Detta innebär att det måste tillföras kväve från den övriga foderstaten.

I tabell 4 anges protein och energiinnehåll i några rapsprodukter i jämförelse med några andra vanliga fodermedel (Bertilsson, 1990a). Det fodermedel som innehåller mest råprotein och smältbart råprotein är sojamjölet, medan AAT är särskilt högt för det värmebehandlade rapsmjölet. Värmebehandlingen av detta tycks göra så att betydligt mer protein kan passera våmmen, vilket höjer värdet hos detta fodermedel. Det värmebehandlade rapsmjölet blir nu till och med värdefullare än sojamjölet. Det värmebehandlade rapsmjölet har även ett gynnsamt PBV-värde. Detta stöds av att i praktiska försök har man erhållit högre avkastning och foderutnyttjande vid utfodring med värmebehandlat rapsmjöl (ExPro) (se även kapitel 7.3.1 och kapitel 7.3.2). Värmebehandlingen av rapsmjöl med ExPro-metoden har medfört att en större



del av rapsproteinet kan passera intakt genom våmmen och utnyttjas av djuret (Bertilsson, 1988b; 1989; 1990b; Olsson, 1989; Bertilsson m.fl., 1994). Foderutnyttjandet vid utfodring med det behandlade rapsmjölet blev högre, dessutom blev produktionen av mjölk, fett- och protein högre, aptiten bättre och utvecklingen av kroppsvikten mer positiv. Stort spill av kväve via urin och gödsel undviks (Bertilsson, 1989; Bertilsson m.fl., 1994). Även rapsexpeller (med en fetthalt på vanligen 15-20 %) kan värmebehandlas med gott resultat (Herland, 1997).

Tabell 4. Protein och energiinnehåll i några fodermedel (Bertilsson, 1990a)

Fodermedel	EPD <sup>c</sup> , %	Råprotein, g/kg TS <sup>d</sup>	Smältbart råprotein, g/kg TS <sup>d</sup>	AAT <sup>e</sup> , g/kg TS <sup>d</sup>	PBV <sup>f</sup> , g/kg TS <sup>d</sup>	Omsättbar energi, MJ/kg TS <sup>d</sup>
Korn	83	123	92	91	-26	13,3
Rapsmjöl 200 <sup>a</sup>	72	404	343	115	231	12,5
Rapsmjöl, ExPro <sup>ab</sup>	52	404	343	171	111	12,5
Sojamjöl	75	510	469	128	317	14,6
Ärter	80	249	219	98	92	13,6

<sup>a</sup> Dubbellågt.

<sup>b</sup> Värmebehandlat.

<sup>c</sup> EPD = nedbrytbart i våmmen. Anger hur stor del av råproteinet som bryts ner i våmmen.

<sup>d</sup> TS = torrs substans.

<sup>e</sup> AAT = Aminosyror Absorberade i Tunntarmen.

<sup>f</sup> PBV = Protein Balans i Våmmen.

Mjölkkor får inte utfodras med mer än 5 kg stärkelse per dag (Lärn-Nilsson m.fl., 1998). Detta innebär att mängden spannmål till högmjölkanande kor måste begränsas och ersättas med andra fodermedel. Då rapsmjöl och rapsexpeller har ett mycket lågt innehåll av stärkelse (Spörndly, 2003) (13 respektive 10 g stärkelse per kg torrs substans jämfört med 518 g stärkelse per kg torrs substans för kornkärnor) passar dessa produkter mycket bra i mjölkornas foderstat, speciellt om kraftfoderdelen är spannmålsbaserad. För mycket stärkelse till idisslare kan ge problem med kraftig syrabildning i våmmen (Lärn-Nilsson m.fl., 1998). Då mjölkkor har ett mycket stort energibehov kan rapsexpeller med ca 15 % restfett vara ett bra fodermedel i foderstaten (Herland, 1997). De fodermedel som tillsammans utgör foderstaten till kor som mjölkar mer än 30 kg mjölk om dygnet bör innehålla mer än 12 MJ per kg torrs substans (Lärn-Nilsson m.fl., 1998). Dessutom kan man inte räkna med att en ko kan äta mer torrs substans per dag än vad som motsvaras av 3,5-4 % av hennes levande vikt.

Den omsättbara energin i rapsmjöl till nötkreatur ligger på ca 12 MJ per kg torrs substans, medan den är mellan 21,3 och 24 MJ per kg torrs substans för rapsfrö med 42 % fett om fettets smältbarhet sätts till 90 respektive 95 % (Lindgren, 1988) (se även tabell 4). I fodermedelstabeller (Spörndly, 2003) anges de omsättbara energierna för rapsmjöl, värmebehandlat rapsmjöl, rapsexpeller med 17,4 % fett av torrs substansen och värmebehandlade rapsexpeller med 16,9 % fett av torrs substansen till: 12,4; 12,2; 15,6; respektive 15,5 MJ/kg torrs substans. Fett innehåller 31 MJ omsättbar energi per kg torrs substans (Murphy & Wiktorsson, 1986). Spörndly (2003) anger att fett innehåller 31,5 MJ omsättbar energi per kg torrs substans medan vid beräkningar av smältbar energi i fett, i foderprodukter, används värdet 34,116 MJ per kg torrs substans. Utfodring av fett beskrivs nedan i kapitel 7.5.1.2.

Mjölakens smak har normalt inte påverkats av att korna utfodrats med rapsprodukter (Ahlin m.fl., 1985; Wiktorsson, 1985; Emanuelson, 1989; Emanuelson & Wiktorsson, 1990). Enligt Wiktorsson (1985) finns det rapporter på smakförändringar i nötkött från djur uppfödda på stora mängder rapsprodukter.

### 7.5.1.2 Utfodring av fett till idisslare

I fodersammanhang är fett en blandning av fria fettsyror och glycerider (se kapitel 6 och kapitel 7.5.1.4) (Murphy & Wiktorsson, 1986). Olika fettsyror har olika effekter på kornas foderutnyttjande. Fettsyrorna i mjölken har två olika ursprung (Samuelsson, 1990): antingen syntetiseras de i juvret eller så tas de upp från blodet. Fettet, i blodet, kommer främst från foderfett (90 %) men även från mobiliserad fettväv (Frank, 1986b; Samuelsson, 1990). Korta fettsyror, C4-C14, syntetiseras huvudsakligen i juvret, medan C18 och längre kommer från blodet. C16 kommer från båda källorna (Samuelsson, 1990). Fettsyrasammansättningen i mjölken varierar beroende på foder, genetiska skillnader, laktationsstadium och säsong.

Mjölkkornas egentliga fettbehov är litet (Murphy & Wiktorsson, 1986; Everitt, 1988; Wiktorsson, 1988). Det är endast vissa omättade fettsyror som t.ex. linol- och linolensyra (C18:2 respektive C18:3) (finns i rapsfett), som korna eller våmmikroorganismerna inte själva kan syntetisera. Trots detta har man sett klara effekter på produktionen av extra fettillskott. Hos idisslare gör våmmikroberna om de omättade fettsyrorna till mättade, s.k. biohydrering (Murphy & Wiktorsson, 1986; Barrefors & Björck, 1988; Everitt, 1989; Samuelsson, 1990). Härigenom lindras den störande effekt på våmmetabolismen som omättade fettsyror har. Biohydreringsprocessen är dock långsam i jämförelse med den takt som fettsyrorna frigörs i, och hinner därför inte med om stora mängder omättat fett utfodras, t.ex. rapsolja.

Rapsfett i form av rapsexpeller (presskaka) eller krossat rapsfrö fungerar bra till mjölkkor (Lärn-Nilsson m.fl., 1998). Det bör emellertid inte ges mer än 500 g rapsfett per dag för att mjölkens fettsyrasammansättning ej ska påverkas i för stor grad (Herland, pers, 2007). Detta medför att ungefär 2,5 kg rapsexpeller med 20 % fett kan ges till mjölkkor per dag. Omättat fett påverkar även våmmens funktion. Bertilsson (pers, 2007) anger att mjölkkor kan utfodras med högst 1 kg fett per dag eller att högst 5 % av fodrets torrs substans kan bestå av fett. Fett är inte så intressant för utfodring av kalvar (Bertilsson, pers, 2007). Till medel- och högavkastande mjölkkor bör högst 25 g fett per kg 4 %-ig mjölk utfodras vilket motsvarar att högst 5 % fett kan ingå i fodret (Murphy & Wiktorsson, 1986; Spörndly, 1987; Wiktorsson, 1988; Sederblad & Spörndly, 1994a). Får tål i förhållande till vikten lika mycket fett som mjölkkor (Herland, pers, 2007).

I litteraturen finns en del uppgifter om hur mycket oljerika rapsprodukter, främst i form av rapsfrö, som kan utfodras till nötkreatur. Oljeinnehållet i rapsexpeller är mindre än hälften (15-20 %) jämfört med rapsfrö (40-50 %). Rapsfrö som utfodras till nötkreatur måste först krossas då helt frö ger ett mycket dåligt foderutnyttjande och därmed smältbarhet, då det passerar kon i stort sett opåverkat (Sanne, 1985; Wiktorsson, 1985; Emanuelson & Wiktorsson, 1990). Fröet som ingår i rapsexpeller krossas vid pressningen. Emanuelson (1989) anger att 1,5-1,6 kg torrs substans rapsfrö kan ges per mjölkko och dag utan negativa effekter på våmmens metabolism eller den totala smältbarheten. Wiktorsson (1985) anger att max 1 kg rapsfrö kan ges per ko och dag eller vid inblandning av fett i fodret max 1 kg fett per ko och dag, vilket väl överensstämmer med de nyare uppgifterna ovan.

Mängden fett i foderstater till mjölkkor måste begränsas för att ej orsaka försämrad smältbarhet av framförallt växtfiber på grund av en försämrad produktion av våmmikrober (Wiktorsson, 1985; Murphy & Wiktorsson, 1986; Lindgren, 1988). Mer än 20 % fett i fodret av torrs substansen har medfört risk för våmförgiftning och dåligt foderutnyttjande (Rasmusson, 1983). Fett från rapsfrö är inte mer skadligt för förmågan att bryta ner fiber i våmmen än talgfett (Emanuelson, 1989). En stor fettgiva sänker växtträdens smältbarhet. En orsak till detta kan vara att fett helt enkelt lägger sig som en hinna på fibrerna och hindrar våmmens mikroorganismer att komma åt (Sederblad & Spörndly, 1994a; Samuelsson, 1990). Andra orsaker

till den negativa effekten på fibrernas smältbarhet kan vara att fettsyror absorberas på mikroorganismernas yta, mikrofloran sammansättning förändras p.g.a. av att fettsyror har en giftverkan som slår ut vissa mikroorganismer eller att fettsyror bildar olösliga komplex med vissa katjoner och därmed orsakar brist på dessa (Samuelsson, 1990). Även metanbildningen i våmmen sjunker vid utfodring med fettriikt foder (Emanuelson, 1989; Sanne, 1988a) då fett tycks ha en hämmande inverkan på de metanproducerade bakterierna i våmmen (Rasmusson, 1983). Då metanproduktionen minskar så minskar även förlusterna av omsättbar energi med 4-5 % (Engstedt & Sanne, 1985). Minskad metanproduktion i våmmen är även ett tecken på dålig våmomsättning. Fett i fodret påverkar även ammoniakhalten i våmmen och därmed proteinsyntesen. Mycket foderfett ökar ammoniakhalten i våmmen. De negativa effekterna på fibrernas smältbarhet, i våmmen, av fett och oljor är större hos får än hos mjölkkor (Emanuelson, 1989). Om det utfodrade fett är skyddat (se nedan för förklaring) minskar de negativa effekterna på fibrernas smältbarhet och mer fett kan då utfodras utan problem (Engstedt & Sanne, 1985; Sanne, 1988a).

Spörndly och Åsberg (2006) fann att kvigor föredrog ett malet kraftfoder av korn innehållande 10 % rapsolja framför bl.a. samma foder innehållande kokosnötsolja. Detta tyder på att rapsoljan inte smakar sämre än andra vegetabiliska oljor. Rapsexpeller innehållande 24 % olja var jämförbart med sojamjöl.

En viktig fördel med fett i foderstaten är att man ökar energitillförseln då fett är ett energirikt fodermedel (Sederblad & Spörndly, 1994a; 1994b). Den omsättbara energin i fett anges ovan i slutet av kapitel 7.5.1.1. Man kan utfodra kon mer energi (MJ) utan att ge henne en större mängd foder. Detta kan vara en fördel då man inte kan ge en ko hur mycket stärkelse som helst (Lärn-Nilsson m.fl., 1998). En ko är inte skapt för att ta hand om fettrika fodermedel (Sederblad & Spörndly, 1994b). Hennes kapacitet att smälta och absorbera fett är mycket begränsad jämfört med enkelmagade djur som grisar. Då 5 % fett ingår i foderstaten är smältbarheten för detta ca 80 %. Vid högre fettgivor sjunker fettets smältbarhet radikalt. Dessutom sätter speciellt fleromättade fetter ner smältbarheten hos fiber i foderstaten. Speciellt i fiberfattiga, kraftfoderrika foderstater minskar foderintaget (aptiten) då fetthalten i foderstaten ökar (Samuelsson, 1990; Sederblad & Spörndly, 1994b). Kor som får en hög fettgiva i kombination med en kraftfoderdominerad foderstat har mer sjukdomsproblem, främst trumsjuka, än andra kor (Sederblad & Spörndly, 1994c). Mängden fett i fodret tycks påverka mjölkavkastningen och därmed mängderna mjölkfett och mjölkprotein positivt (Spörndly, 1986). Dock påverkas fetthalten och proteinhalten i mjölken negativt av mängden fett i fodret. Är tillsatsen av fett måttlig i fodret blir resultatet (Sederblad & Spörndly, 1994a): ökad mjölkavkastning, uthålligare laktation och bättre hälsa. För mycket och fel fett ger, förutom de nackdelar som beskrivits ovan, även: sämre proteinkvalitet och förändrad fettsyrasammansättning (se nedan), samt risk för smakfel på mjölken. Dessutom sjunker fett- och proteinhalterna än mer.

Viktigt att tänka på är att fettriikt foder passar bättre att kombinera med korn med lägre fetthalt än med t.ex. havre och färdigfoder som har en högre fetthalt (Sederblad & Spörndly, 1994a).

Eftersom fettsyror lätt binder mineraler bör tillförseln av mineralämnen (kalcium och magnesium) till mjölkkor, som utfodras med stora mängder fett, vara i övre delen av rekommendationen för tillförsel av dessa (Spörndly, 1987; Wiktorsson, 1988).

Om fettsyrainnehållet i mjölken förändras mot det mer omättade hållet, blir denna mer oxidationsbenägen och härsknar lättare (Sanne, 1988b; Emanuelson, 1989; Everitt, 1988; 1989; Samuelsson, 1990; Sederblad & Spörndly, 1994a). Antioxidanter kan behöva tillsättas för hållbarheten. Mejeritekniken kan behöva anpassas så att oxideringen minimeras. Vispningen av mjölken tar även längre tid och den vispade grädden kan bli mindre voluminös vilket kan begränsa användningen av denna. Omättade fettsyror i mjölken kan vara positivt ur human-

nutritions-synpunkt och för smörets bredbarhet (Wiktorsson, 1985; Sanne, 1988b; Everitt, 1989; Emanuelson & Wiktorsson, 1990; Sederblad & Spörndly, 1994a; Lärn-Nilsson m.fl., 1998) dvs. smörfettet får en mjukare konsistens (Frank, 1985; Sanne, 1988b; Emanuelson & Wiktorsson, 1990). Samuelsson (1990) visade på möjligheterna att förändra mjölkens sammansättning med utfodring av olika fetter, men även på att foderfettets grad av omättad inte har någon direkt koppling till mjölkfettets halt av omättade fettsyror. Mjölkens fettsyrasammansättning förändras på följande sätt vid utfodring av ca 0,9-2,0 kg torrs substans rapsfrö per dygn (Emanuelson, 1989): C4:0-C14:0 minskar med mer än 10 procentenheter; C16:0 (palmitinsyra) minskar med 5-12 procentenheter; C18:0 (stearinsyra) ökar 2-11 procentenheter; C18:1 cis (oljesyra) ökar 2-4 i något fall med upp till 10 procentenheter; C18:2 (linolsyra) är oförändrad; och C18:3 (linolensyra) har en tendens till att öka. Rapsfrö med allt fett kvar ökar mjölkproduktionen utan att mjölkens proteinhalt förändras (Emanuelson, 1989) särskilt då i en fettfattig foderstat (Wiktorsson, 1985). Fett i fodret har ökat andelen kasein och vassleprotein, och minskat andelen icke proteinkväve i mjölken (Sanne, 1988b; 1988c). Sederblad och Spörndly (1994b) rapporterar motsatsen, dvs. att både kasein- och vassleproteinfraktionerna minskar vid utfodring av fett medan andelen icke proteinkväve ökar.

Om ett fett är behandlat så att det passerar en idisslares våm utan att ge upphov till fria fettsyror kallas det skyddat (Murphy & Wiktorsson, 1986; Barrefors & Björck, 1988; Everitt, 1988; 1989; Murphy, 1988). Ingen metod är 100 % effektiv och mellan 20 och 40 % av fettsyror kan ändå gå i lösning i våmmen (Murphy, 1988). Utfodring av höga nivåer skyddade fleromättade fettsyror kan ge oxidations (hårsken) smak i mjölken beroende på att man då kan få höga halter av linolensyra i mjölken (Sanne, 1988b; Everitt, 1988; Emanuelsson, 1989). Smakfel i mjölk som till en stor del beror på utfodring av omättat och fleromättat fett har rapporterats från kobesättningar på Gotland och i Skåne (Everitt, 1995; Gran & Everitt, 1995). Problemen har orsakats av ett mindre antal kor i besättningarna. Linol- och linolensyra antas vara en bidragande orsak till dessa problem efter analys av oxidationsprodukter (Barrefors, 1995). Upp till 1,2 kg skyddat fett har gått bra att utfodra utan att drabbas av detta problem.

Värme- och ångbehandling av rapsfrö gör att fett i detta blir skyddat. Denna teknik beskrivs i kapitel 7.3.1. Ångbehandlat krossat rapsfrö har fått 7 % högre energivärde än obehandlat krossat frö (17,8 MJ per kg torrs substans jämfört med 16,6 MJ per kg torrs substans) (Sanne, 1985). Emanuelson och Wiktorsson (1990) rapporterar att fett i våmmen hos kor som fick värmebehandlat frö frigjordes långsammare, men fettets smältbarhet var å andra sidan sämre än för obehandlat. I dessa försök påverkades inte mjölkens sammansättning av om rapsfröet var värmebehandlat eller ej, men ingenting sades vid vilken temperatur fröet var värmebehandlat.

Värmebehandling av rapsmjöl har inte påverkat dess smaklighet till mjölkkor (Wiktorsson m.fl., 1988).

Hydrering av fett i våmmen kan även undvikas genom att det försåpas med kalcium (Everitt, 1988). Utfodring med försåpat fett har gett en något högre fetthalt i mjölken och en tendens till högre jodtal i mjölken, vilket tyder på att en del av fett undgått hydrering i våmmen. Försåpning av foderfett med kalcium motverkar även de negativa effekter på våmomsättning, fodersmältbarhet och proteinhalt i mjölken som utfodring med omättat fett kan ge (se ovan för beskrivning) (Wiktorsson, 1988). Orsaken till detta är att främst mikroberna skyddas av den i våmmen olösliga kalciumföreningen. AkoFeed Kalkfett som marknadsförs av AarhusKarlshamn AB består av försåpade vegetabiliska fettsyror (AarhusKarlshamn, 2007).

Ett annat sätt, som ej används idag, för att skydda fett mot nedbrytning i våmmen är att behandla det med formaldehyd (kallas formalin då löst i vatten). Genom att behandla en blandning av fett och protein erhålls en skyddande proteinhinna kring fett (Engstedt & Sanne,

1985; Barrefors & Björck, 1988; Samuelsson, 1990). Detta, och proteinet, bryts inte ner i våmmen utan först i tarmen där det finns tillräckligt med lipaser för att ta tillvara foderfettet (Engstedt & Sanne, 1985; Murphy & Wiktorsson, 1986; Samuelsson, 1990). Utfodring av sådant fett har ändrat fettsyrasammansättningen i mjölkfett och i kroppsfett beroende på använda råvaror. I vissa undersökningar har rapporteras en sänkt produktion av mjölkprotein (Murphy & Wiktorsson, 1986). En ökad användning av fett i fodret har möjliggjorts vilket är gynnsamt för ett stort energiintag (Engstedt & Sanne, 1985).

Fett i fodermedel, såsom kraftfoder, synes inte brytas ner i samma utsträckning som fritt fett i våmmen (Engstedt & Sanne, 1985; Samuelsson, 1990). Detta får en praktisk betydelse för energiutbytet och för inverkan på mjölkfettets sammansättning. Det kan även tyda på att det kan vara en fördel att utfodra fettet som bundet i t.ex. rapsexeller jämfört med att fettet tillförs fodret separat. Fett i krossade frön är inkapslat i dessa och frigörs därför sakta i våmmen utan att störa nedbrytningen av fiber (Murphy & Wiktorsson, 1986; Samuelsson, 1990).

### *7.5.1.3 Foderstatsberäkningar, utfodring av idisslare*

Exempel på några foderstater, där rapsexpeller eller rapsmjöl ingår, togs fram för några olika typer av idisslare. Näringsbehov och restriktioner vid utfodringen hämtades i huvudsak från Spörndly (2003) och Lärn-Nilsson m.fl. (1998). Hö och ensilage (med 25-50 % baljväxter) antogs ha en för Sverige medelbra kvalitet. Resultaten från dessa foderstater sammanfattas nedan.

Vid måttlig mjölkproduktion (ca 35 kg med 4 % fett per dag) kan kornas hela proteinbehov täckas med svenska proteinråvaror även om mängden raps begränsas till 10 % av fodrets energi. I denna foderstat ingår förutom rapsfoder även ärtor. I en annan foderstat kan hela proteinbehovet till dessa kor täckas med enbart rapsprodukter om knappt 20 % av foderstatens totala energi kan tillåtas bestå av rapsprodukter. Även vid hög mjölkproduktion (ca 50 kg med 4 % fett per dag) kan kornas hela proteinbehov täckas med svenska proteinråvaror om stora mängder raps (ca 20 % av fodrets energi) utfodras tillsammans med spannmål. Det kan ifrågasättas om korna tål så stora mängder rapsprodukter och spannmål.

Till sinkor behövs endast små mängder protein utöver kraftfodret, detta kan utgöras av rapsfoder om korna äter detta tillsammans med grovfodret, annars kan proteinbehovet även tillgodoses med spannmål. Det är tveksamt om sinkorna verkligen behöver rapsfoder eller annat proteinfoder.

Köttkor behöver inget extra proteinfoder utöver grovfodret. Dessa är därför inte aktuella för utfodring med rapsprodukter. Kraftfodertjuror med en vikt på 100 kg och en tillväxt på 1000 g per dag har däremot ett så stort proteinbehov att knappt 20 % av fodrets totala energiinnehåll behöver komma från rapsprodukter om dessa är det enda proteinfodret. Större kraftfodertjuror med en vikt på 300 kg och en tillväxt på 1300 g per dag har ett lägre proteinbehov i förhållande till tillväxten och behöver därför inget extra proteinfoder i form av rapsfoder. Enbart spannmålsbaserat kraftfoder är tillräckligt till dessa. Om tillväxten ska ökas så erfordras mer protein och då kan ett behov av proteinfoder som t.ex. rapsfoder uppstå. Till kraftfodertjuror med en vikt på 600 kg och en tillväxt på 1500 g per dag är proteinbehovet så stort att 10 % av foderstatens protein kan komma från rapsprodukter.

Slutsatsen blir att stora mängder rapsfoder främst är aktuellt att utfodra till mjölkkor. Sinkor och köttkor behöver inget extra proteinfoder. Till kraftfodertjuror behövs rapsfoder endast till yngre djur samt djur med hög tillväxt. Är tillväxten lägre behövs inget extra proteinfoder såsom rapsfoder.

Potentialen vad gäller rapsmjöl till mjölkkor borde vara 2-3 kg per ko och dag medan den för sinkor ligger på en tiondel av detta. För kraftfodertjuror varierar behovet med intensiteten och ligger på ett par hundra gram kanske 300-400 g per djur och dag.

Till får kan proteinfoder såsom rapsprodukter behöva ges till dräktiga eller digivande tackor. Några (ca 6) veckor före lamning behöver tackor som förväntas nedkomma med 2 eller färre lamm proteinfoder motsvarande ca 10 % av kraftfodret. Strax före lamning (2 veckor) är proteinbehovet för tackor som förväntas nedkomma med fler än 2 lamm så stort att proteinfoder såsom rapsfoder kan ingå i djurens foderstat i mängder motsvarande drygt 10 % av den totala fodermängden eller drygt 20 % av kraftfodret.

Slutsatsen blir att rapsfoder kan vara aktuellt till främst digivande tackor samt till tackor som förväntas nedkomma med fler än 2 lamm.

För digivande tackor ligger potentialen på ett par hundra gram rapsmjöl per dag, kanske 100-200 g under 2 månader.

#### *7.5.1.4 Utfodring av idisslare med glycerin*

Glycerin har främst använts till, i försökssyfte, utfodring av nötkreatur men även till får. Dess potential för behandling av acetonemier har studerats i flera försök då det snabbt kan omvandlas till glukos hos idisslare. Glycerin är en substans med söt smak som kan gå in i djurens ämnesomsättning via glukoneogenesen och där användas (utnyttjas) som ett tillägg i processen för bildande av glukos och därmed djurets energiförsörjning (Ogborn, 2006).

Tidigt användes glycerin som behandling av mjölkkor och tackor med klinisk acetonemi för vilka det förbättrade aptiten och mjölkproduktionen samt höjde blodsockerhalten och minskade mängden ketonkroppar i blodet (Johnson, 1953; Fisher m.fl., 1973; Rémond m.fl., 1993; Goff & Horst, 2001; DeFrain m.fl., 2004; Linke m.fl., 2004; Ogborn, 2006). Linke m.fl. (2004) anger att det är viktigt att glycerinet ges snabbt (utan dröjsmål) till djuret för en snabb effekt. Orsaken till att glycerin och inte glukos är lämpligt för behandling av kor med acetonemi är följande (Lärn-Nilsson m.fl., 1997): hos idisslare förbrukas nästan allt tillfört lättsmält socker av våmfloran och omvandlas till kortkedjiga fettsyror i motsats till hos enkelmagade djur där det snabbt tas upp och går i blodet för att ge en snabb verkan. Vill man höja blodsockerhalten snabbt hos en idisslare gör man inte detta med socker utan med ett propionsyrapreparat eller annat ämne som bildar glukos i levern, t.ex. glycerin eller propylenglykol. Ogborn (2006) fann att propylenglykol var mer effektiv än glycerin vid behandling av acetonemier. Sauer m.fl. (1973) rapporterar att mängden ketonkroppar i blodet hos kor som är underutfodrade eller har en hög mjölkavkastning minskar vid utfodring med glycerin. Detta kan vara något som motverkar att korna drabbas av acetonemi. Ungefär hälften av det tillförda glycerinet omvandlas till glukos av djuret (Rémond m.fl., 1993). DeFrain m.fl. (2004) drar slutsatsen, från litteraturstudier och egna försök, att glycerin går bra att ge via munnen till nötkreatur med låg blodsockerhalt för att höja deras blodsockerhalt.

I Tyskland har glycerin från omförestring av vegetabiliska oljor studerats som foder till nötkreatur och får (Schröder & Südekum, 1999). Det glycerin som utfodrats har haft olika renhet med glycerinhalter på 63; 85; och 99,8 % av torrsubstansen. Innehållet av metanol var 26,7 %; 0,04 %; respektive mycket lågt i dessa glycerinprover. 5-20 % glycerin blandades in i en foderblandning bestående av grovfoder och kraftfoder, och pelleterades tillsammans med denna. Slutsatserna av detta försök blev att glycerin med olika renhet kan blandas in i foder till idisslare i koncentrationer upp till 10 % av torrsubstansen och då ersätta snabbt omsättbara stärkelsekällor såsom t.ex. vete utan att miljön i våmmen, näringsomsättningen i våmmen, och smältbarheten för organiskt material påverkas negativt. Vid utfodring av foder med lågt inne-

håll av stärkelse kan glycerin blandas in i fodret upp till 20 % utan att andra näringsämnenas smältbarhet påverkas. Vid inblandning i foder med stort innehåll av stärkelse kan smältbarheten för cellväggar påverkas negativt. Nettoenergiutbytet för foder med lågt innehåll av stärkelse och högt innehåll av stärkelse blir 9,7 respektive 8,3 MJ/kg glycerin.

Fodrets hygieniska kvalitet vid tillverkning av foderpellets behandlas i kapitel 6.1. Hälsorisker då glycerin tillsätts vid tillverkning av foderpellets behandlas i kapitel 6.1.1.

Det kan tyckas anmärkningsvärt att glycerin med höga halter av metanol gick att utfodra (se ovan). En trolig förklaring till detta är att de höga temperaturerna vid pelleteringen driver bort metanolen från glycerinfodret. Djuren får därför sannolikt inte i sig särskilt mycket metanol, men detta är något som måste undersökas närmare.

Till mjölkkor har man erhållit varierande resultat vid utfodring med glycerin. Schröder och Südekum (1999) kom fram till att glycerin möjligen kan förbättra energitillförseln till högmjolkande kor både före och efter kalvningen, och därmed påverka djurens hälsa och produktion positivt under hela laktationen. Spörndly och Åsberg (2006) kunde inte finna några negativa effekter av att utfodra kvigor med ett malet kraftfoder av korn innehållande 10 % glycerin. Dessutom åt kvigor gärna detta foder.

Ogborn (2006) kom fram till att glycerin i foderstaten före kalvning leder till ett ökat foderintag. Fisher m.fl. (1971) och Bodarski m.fl. (2005) påstår att glycerin i foderstaten verkar kunna stimulera (öka) kornas aptit. Fisher m.fl. (1973) fann att foderintaget ej ökade vid utfodring med glycerin. Efter kalvningen leder glycerin i foderstaten till ett minskat foderintag utan några effekter på mjölkavkastningen och mjölkens sammansättning (Ogborn, 2006). Emellertid fann DeFrain m.fl. (2004) att det var foderintaget före kalvningen och inte efter kalvningen som minskade vid utfodring med glycerin. I DeFrain m.fl. (2004):s försök minskade mjölkavkastningen vid utfodring med glycerin. Slutsatsen från dessa försök blev att glycerin inte är lämpligt att använda som en komponent i kraftfoderblandningar.

I försök av Ogborn (2006) med tillförsel av flytande glycerin under några dagar, ledde detta till minskat foderintag och lägre halt av protein och laktos i mjölken, däremot påverkades inte avkastningen av protein och laktos då mer mjölk bildades. Ogborns (2006) slutsatser av det här försöket var trots detta att tillförsel av glycerin i början av laktationen med fodret eller som flytande (blandat med vatten) inte är ett bra sätt att höja mjölkornas avkastning.

Kaiser (2002) kom fram till att det vid utfodring med glycerin är möjligt att öka kors mjölkavkastning i början av laktationen. Bodarski m.fl. (2005) fick upp till nästan 15 % högre mjölkavkastning vid utfodring med glycerin, dessutom ökade proteinhalten i mjölken. Utfodring av mjölkkor med glycerin har lett till att mjölkorna tappat mindre i vikt under laktationen (Fisher m.fl., 1973; Bodarski m.fl., 2005; Ogborn, 2006). Med en foderstat baserad på ensilage påverkades inte foderintag och mjölkavkastning om glycerin tillfördes foderstaten (Khalili m.fl., 1997). Om glycerin tillfördes tillsammans med fria fettsyror, i den ovan nämnda ensilagefoderstaten, ökade mjölkavkastningen.

Mjölkkor har utfodrats med glycerinmängder upp till 3 kg/dygn eller 3-20 % av fodrets torrsubstans (Fisher m.fl., 1971; 1973; Sauer m.fl., 1973; Rémond m.fl., 1993; Khalili m.fl., 1997; Schröder & Südekum, 1999; Kaiser, 2002; Goff & Horst, 2001; DeFrain m.fl., 2004; Linke m.fl., 2004; Bodarski m.fl., 2005; Ogborn, 2006; Spörndly & Åsberg, 2006). Kijora (1996) föreslår att glyceringivan till idisslare begränsas till 4-5 % av foderintaget. Detta på grund av att stora mängder glycerin (mer än 10 % i fodret) ger en negativ påverkan på förhållandena i våmmen, bl.a. sjunker pH och mängden och förhållandena mellan de kortkedjiga fettsyrorna förändras.

Exempel finns på lantbrukare som utfodrat sina mjölkkor med 0,5 kg glycerin per dag och sina sinkor med 0,16 kg glycerin per dag (Plaetner Kjeldsen, 2007). Glycerinet har ersatt melass i foderstaten. En fördel med glycerinet är att det har en lägre halt av kalium än melass, vilket gör att CAB-värdet (balansen mellan positiva och negativa joner i foderstaten) blir lägre vid utfodring av glycerin jämfört med utfodring av melass. Detta gör att glycerinet även kan användas till utfodring av sinkor. Det glycerin som utfodrades var renat till 90-procentig koncentration av glycerin. Man uppgav sig inte ha några problem med smakligheten.

Att glycerin skulle vara smakligt i foder tyder det faktum att vid svenska försök med kvigor har korn med inblandning av 10 % glycerin, föredragits framför rent korn, och dessutom ätits upp snabbare än detta (Åsberg, 2005; Spörndly & Åsberg, 2006). Nötkreaturens behov av dricksvatten har ökat vid utfodring med glycerin (Schröder & Südekum, 1996).

På lantbruksuniversitetet pågår en studie om utfodring av mjölkkor med glycerin (Borgman, 2007). Man kommer bl.a. att studera skillnaderna mellan att utfodra med raffinerat, högkvalitativt glycerin (innehåller mer än 99 % glycerin) och råglycerin (innehåller 80-90 % glycerin). Råglycerinet som innehåller vatten, salter och metanol är betydligt billigare. Metanolen i denna kan påverka bl.a. fibersmältbarheten. Även smakligheten kommer att studeras. I en pilotstudie har man sett att smakligheten ej är bra för alla kor, men detsamma gäller för melass. Man tror att glycerin kan ge måttfulla effekter om det används på rätt sätt till mjölkkor (Holtenius, pers, 2007). Glycerin kan användas som ett energi- och glukosfoder till mjölkkor. Till dessa handlar det om mängder på 500-600 g om dagen.

Då utfodringen av glycerin ännu ligger på försöksstadiet bör man vara försiktig med att ge några rekommendationer. Dessutom har de utfodringsresultat som presenteras ovan pekats i något olika riktningar, kanske beroende på olikheter i utfodringsintensitet och foderstater. Detta tyder på att mer forskning krävs innan några säkra råd och rekommendationer kan ges vad gäller utfodring av glycerin. I de fall där glycerin utfodrats med framgång har givorna ofta varit förhållandevis måttliga.

Det är att föredra om glycerinet kommer från en omförestringsprocess där natriumhydroxid används som katalysator framför en process där kaliumhydroxid används som katalysator (Murphy, pers, 2007). Orsaken till detta är att kor får nog med kalium via vallfodret och överutfodring med kalium kan ge problem med upptaget av andra mineralämnen. Det mesta av katalysatorn hamnar ju i glycerinfraktionen.

## **7.5.2 Grisar**

### *7.5.2.1 Utfodring av grisar med rapsexpeller och rapsmjöl*

Raps- och rybsmjöl är lämpligt proteinfoder till grisar (Lärn-Nilsson m.fl., 1998). Det har bra proteinkvalitet men inblandningen måste ofta begränsas till ca 10 % då smakligheten är sämre. Det är möjligt att använda rapsmjöl av lågglukosinolattyp till samtliga svinkategorier motsvarande 10 % av fodrets energivärde (Malm, 1985; Olsson, 1989; Simonsson & Thompke, 1995; Simonsson, 2006; Herland, pers, 2007). Lindberg (pers, 2007) anger att 10-12 % rapsmjöl eller rapsexpeller kan ingå i foderstaten till samtliga svinkategorier utan risk för skador på sköldkörtlar eller lever, samt utan risk för fertilitetsproblem hos suggor. Exempel finns på lantbrukare som utfodrar slaktsvin med foder som innehåller 10 % rapsexpeller med ca 15 % fett med gott resultat (Rinman, pers, 2007). Rapsfrö av lågglukosinolattyp innehåller mindre än 20 µmol glukosinolater per gram fettfri torrsbstans (Simonsson & Thompke, 1995). Rapsmjöl som innehåller 5 µmol glukosinolater eller därunder per gram fettfri substans kan användas som enda proteinkomplettering i foderstater baserade på korn.



Glukosinolathalten i extraherat mjöl ligger idag kring 10 µmol per gram (Herland, pers, 2007). I praktiken är det emellertid rapsmjölets låga energiinnehåll som utgör den största begränsningsfaktorn för ökad användning (Simonsson & Thompke, 1995). Detta gäller särskilt vid användning till djur med stort energibehov i förhållande till sin konsumtionsförmåga såsom smågrisar, slaktsvin och digivande suggor.

En möjlighet att höja rapsmjölets energivärde är att låta en större mängd av oljan vara kvar genom att utesluta extraheringen (Simonsson & Thompke, 1995). Man kan då göra expeller med 15-20 % fett istället för rapsmjöl med 2-5 % fett (Norén, 1990; Björklund m.fl., 1990; Simonsson & Thompke, 1995). Vid ett sådant val bör man tänka på att rapsoljan som livsmedels- eller drivmedelsråvara betingar ett högre pris än som energi i grisfoder (Simonsson & Thompke, 1995; Herland, pers, 2007). Innehållet av energi i rapsfrö och rapsexpeller ligger på en nivå som gör dessa fodermedel intressanta som energikälla till suggor (Olsson, 1989). Rapsexpeller (dubbellåg och med 16,4 % råfett av torrsbstansen) kan ingå med max 12 % i foderstaten till dräktiga och digivande suggor samt till slaktsvin över 40 kg och med max 10 % i foderstaten till slaktsvin under 40 kg (Simonsson, 2006).

Rapsmjöl och rapsexpeller passar till utfodring av dräktiga suggor, digivande suggor och slaktsvin med ett stort behov av protein (Lärn-Nilsson m.fl., 1998). Lågdräktiga suggor har ett mindre proteinbehov och därför blir inte utfodring med rapsmjöl eller rapsexpeller lika aktuellt. Allt tilläggsprotein till slaktsvin och suggor kan komma från rapsprodukter (Thompke m.fl., 1983). Vid utfodring av slaktsvin med rapsexpeller bör man tänka på att dessas innehåll av omättat fett gör att givan bör begränsas (Lärn-Nilsson m.fl., 1998). Inblandningen av krossat rapsfrö bör begränsas till ca 5 % av foderblandningen vilket gör att ca 10 % rapsexpeller (med 15-20 % olja) kan ingå i slaktsvinens foderstat för tillförsel av samma mängd fett. Det fett som ingår i rapsoljan är omättat och kan hos slaktsvin resultera i ett lösare späck med sämre hållbarhet. Risken för att fett i köttet härsknar vid lagring är liten om andelen rapsfett (med ett jodtal på 120) i det färdiga foder som svinen utfodras begränsas till 3 % (Simonsson & Thompke, 1995). Grisar har inte uppvisat några tendenser till magstörningar då en relativt hög inblandning av fett ingått i fodret (Lindberg & Andersson, 1993). Mängden foderfett (även annat fett än rapsfett) i kommersiella blandningar till svin brukar ej tillåtas gå över 5 % (Lindberg, pers, 2007). I vissa fall kan 6-7 % fett tillåtas ingå i fodret.

Utfodring av smågrisar med rapsprodukter är normalt inte aktuellt då det är viktigt att smågrisfoder ska smaka bra (Lärn-Nilsson m.fl., 1998). Har man inte problem med smakligheten kan ca 5 % rapsprodukter ges till smågrisar (Herland, pers, 2007). Rapsfettet kan vara bra till smågrisarna då dessa ofta har brist på fett i fodret.

Till slaktsvin har dubbellåg raps gett mycket begränsade ökningar av sköldkörtel- och levervikterna vid förhållandevis höga inblandningsnivåer (Thompke, 1984; 1985a; 1985b; Elwinger & Thompke, 1985; Thompke & Göransson, 1985). Upp till 10 % dubbellågt rapsmjöl som ersätter 7,5 % sojamjöl kan användas i slaktsvinens foderstat. Thompke m.fl. (1983) och Elwinger och Thompke (1985) rapporterar att inga negativa effekter konstaterats vid inblandning av 12-14 % rapsmjöl till slaktsvin. Produktionsresultaten i form av daglig viktökning, förbrukning av omsättbar energi per kg viktökning och slaktkropps kvalitén, såsom t.ex. slaktkropparnas köttprocent, inklusive köttets smak, har inte påverkats negativt vid användning av dubbellågt rapsmjöl (Thompke, 1985a; 1985b; Thompke & Göransson, 1985; Elwinger & Thompke, 1985; Håkansson m.fl., 1994). Dock har slaktkropps kvalitén blivit något sämre vid 14 %:s inblandning (Elwinger & Thompke, 1985). Upp till 18 % rapsmjöl av dubbellåg typ har kunnat utfodras utan att slaktkropps klassningen påverkats negativt (Thompke, 1984). Thompke (1985a; 1985b) anger att rapsmjöl i begränsad omfattning även kan användas till avelsdjur och smågrisar.

Den omsättbara energin i rapsmjöl är 11,3-13,1 MJ/kg torrs substans till slaktsvin (Thompke m.fl., 1983; Rundgren m.fl., 1985; Olsson, 1989). I fodermedelstabeller (Simonsson, 2006) anges de omsättbara energierna för rapsmjöl och rapsexpeller med 16,4 % fett av torrs substansen till: 11,4 respektive 14,5 MJ/kg torrs substans. Smältbarheten för råprotein och organisk substans till grisar är 76-83 % respektive 67-74 % (Rundgren m.fl., 1985). De högsta värdena gäller för dubbellågt rapsmjöl. Björklund (1988a) har studerat smältbarhet och omsättbar energi för rapsfrö (45,7 % fett av torrs substansen) och rapsexpeller (21,4 % fett av torrs substansen) vid utfodring till suggor. Smältbarheten för organisk substans var 85 % för rapsfrö och 76 % för rapsexpeller; smältbarheten för råprotein var 98 % för rapsfrö och 85 % för rapsexpeller; och smältbarheten för råfett var 74 % för rapsfrö och 85 % för rapsexpeller. Mängden omsättbar energi uppgår till 18 MJ/kg torrs substans för rapsfrö och 16 MJ/kg torrs substans för rapsexpeller. Björklund (1988a) redovisar att i andra studier eller föreskrifter anges mängden omsättbar energi till 14,8 MJ/kg torrs substans för expeller med 16 % fett; 15,6 MJ/kg torrs substans för expeller med 16-18 % fett; och 19-20 MJ/kg torrs substans för rapsfrö med 45 % fett. Mängden omsättbar energi i dessa produkter gör dem intressanta som energifoder till grisar. I Simonsson (2006) anges den omsättbara energin för rapsolja till 34 MJ/kg torrs substans.

Värmebehandling av rapsmjöl för att bekämpa salmonellasmitta och göra proteinet mindre lösligt i idisslares våm och därmed mer tillgängligt för dessa är idag vanligt (Simonsson & Thompke, 1995) (se även kapitel 7.3.1 och kapitel 7.3.2). För grisar sjunker emellertid proteinets kvalitet och biologiska värde med 3-4 % vid värmebehandlingen. Mjölets energivärde påverkas inte. Att proteinkvaliteten sjunker något bör uppvägas av fördelen med ökad hygienisk säkerhet. Det är dessutom en fördel för foderhandeln att kunna begränsa sitt råvarusortiment till en rapsmjölprodukt. Värmebehandlade rapsprodukter kallas ofta ExPro-produkter i handeln (ExPro-mjöl och ExPro-expeller).

Dubbellåg raps till grisar har sämre smaklighet än soja vilket leder till ett lägre foderintag (Thompke m.fl., 1983). Den sämre smakligheten kan leda till viss fodervägran vid övergång till rapsfoder (Björklund, 1988a; Olsson, 1988).

Dubbellågt rapsfrö har givit vissa negativa effekter på suggors fertilitet vid inblandning av 20 % i fodret (Thompke, 1984; 1985a; 1985b). Vid 18 %:s inblandning har inga förändringar i sogrissars könsorgan och könsmognad kunnat konstateras vid slakten. 10 % inblandning i fodret anses medföra en god säkerhetsmarginal mot fertilitetspåverkan.

I försök har suggor kunnat utfodras med en diet (baserad på rapsfrö) innehållande 1,9 mmol glukosinolater per kg torrt foder utan att produktiviteten påverkats negativt (Schöne m.fl., 1999). Vid 4,2 mmol glukosinolater per kg torrt foder (i en diet baserad på rapsexpeller) försämrades produktionen genom minskat antal smågrisar per kull och ökad smågrisdödlighet vilket ledde till färre avvanda smågrisar per sugga. Med samma diet fanns tendenser till en försämrad produktion även om mängden rapsexpeller till suggorna halverades. Hos suggor som fick foder innehållande rapsexpeller minskade mängden jod i suggornas mjölk och i smågrisarnas blod. Slutsatser från försöket var att suggor inte bör ges en foderstat som innehåller mer än 2 mmol glukosinolater per kg torrt foder. Om suggorna får denna foderstat bör minst 1000 mikrogram jod tillsättas per kg foder. Dessutom verkar rapsfett från rapsfröet ha motverkat de negativa effekterna från glukosinolaterna i de försök där suggorna fick rapsfrö istället för rapsexpeller. Detta kan eventuellt tyda på att det är bättre att utfodra grisar med rapsexpeller med 10-20 % fett kvar än med rapsmjöl med ca 2 % fett kvar.

Då suggor utfodrades med rapsfrö förändrades fettsyrasammansättningen i suggornas mjölk beroende på den i rapsfröet ingående rapsoljans sammansättning (Schöne m.fl., 1999). Olje(C18:1)-, linol(C18:2)- och linolen(C18:3)syrahalterna ökar medan myristin(C14:0)-, palmitin(C16:0)- och palmitolein(C16:1)syrorna minskar. Suggorna syntetiserar merparten av

de mättade och enkelomättade fettsyror eller tar dessa från kroppens fettdepåer medan de essentiella fleromättade fettsyror huvudsakligen kommer från fodret.

Utfodring av bl.a. grisar med trippellågt rapsfrö med lägre skalhalt behandlas i kapitel 7.2.3.

Blötutfodring av rapsexpeller behandlas i kapitel 7.3.4.

#### *7.5.2.2 Foderstatsberäkningar, utfodring av grisar*

Exempel på några foderstater där rapsexpeller eller rapsmjöl ingår togs fram för några olika typer av grisar. Näringsbehov och restriktioner vid utfodringen hämtades i huvudsak från Simonsson (2006) och Lärn-Nilsson m.fl. (1998). Resultaten från dessa foderstater sammanfattas nedan.

Enligt tabeller i Simonsson (2006) kan dubbellågt rapsmjöl ingå med 10 % av fodrets omsättbara energi till alla typer av grisar. Dubbellågt rapsexpeller kan ingå med 12 % till slaktsvin över 40 kg, dräktiga och digivande suggor samt galtar. Till slaktsvin under 40 kg kan 10 % av fodret bestå av rapsexpeller. Dessa värden användes därför som utgångspunkt då foderstaterna upprättades.

Grisar har ett stort behov av protein för tillväxt, digivning m.m. De kan inte framställa sina egna aminosyror utan måste få de viktigaste t.ex. lysin via fodret vilket gör att kraven på detta blir höga. Grisarnas stora proteinbehov och begränsningarna vad gäller inblandning av rapsprodukter gör att det blir svårt att komma bort från sojamjölet, åtminstone till växande och digivande grisar samt till avelsgaltar.

Smågrisar kan oftast inte ges rapsprodukter som inte är tillräckligt smakliga för att smågrisarna ska äta tillräckligt mycket av dessa. Till slaktsvin kan maximalt giva av rapsprodukter ges, men sedan måste proteinbehovet kompletteras med sojamjöl tills behovet av aminosyror, då främst lysin, är tillgodosett. Även ärter får ingå i slaktsvinens foderblandning för att ej onödigt mycket sojaprotein ska behövas. Även givan av ärter måste begränsas och når snabbt sin högsta rekommenderade nivå. För de större slaktsvinen blir behovet av sojaprotein betydligt lägre än till yngre slaktsvin, beroende på ett förhållandevis lägre behov av råprotein och essentiella aminosyror.

Observera att användningen av sojaprotein kan minskas mer om rapsmjöl utfodras än om rapsexpeller utfodras. Detta beror på att rapsexpeller innehåller protein och rekommendationen är max 10 % av fodrets innehåll av omsättbar energi (ME) för rapsmjölet och 12 % för rapsexpeller, vilket ej kompenserar helt för det högre fetthinnehållet i rapsexpeller (gäller slaktsvin och digivande suggor).

Till digivande suggor och avelsgaltar är behovet av lysin så stort att en stor del av proteinet måste vara sojaprotein om detta ska tillgodoses då rapsexpeller ej innehåller lika mycket lysin. På grund av detta är det svårt att komma upp till den maximalt rekommenderade givan av rapsmjöl eller rapsexpeller utan att överutfodra råprotein. Ärter med lägre lysininnehåll får tas bort helt från foderstaten till de digivande suggorna och avelsgaltarna.

Till dräktiga suggor (sinsuggor) kan nästan hela proteinbehovet täckas med rapsprotein i form av rapsexpeller. Ingår lite ärter i foderstaten täcks hela proteinbehovet. Utfodras suggorna med rapsmjöl kan detta täcka hela deras proteinbehov. Till dräktiga suggor som utfodras med rapsprodukter behövs alltså inget sojaprotein.

Slutsatsen blir att 10 % rapsmjöl eller 12 % rapsexpeller kan ingå i foderstaten till samtliga grisar utom till smågrisar (smaklighet) och till sinsuggor som utfodras med rapsmjöl (lägre

proteinbehov gör att inte så mycket behövs). Slaktsvin, digivande suggor och avelsgaltar behöver sojaprotein för att tillgodose sitt behov av essentiella aminosyror.

Till grisar vore det önskvärt om rapsmjölets proteinsammansättning kunde förändras via växtförädling, så att halterna av de mest essentiella aminosyrorna ökar. Det vore även bra om fodrets halt av skadliga och illasmakande glukosinolater kunde sänkas ytterligare. Detta för att möjliggöra för rapsmjölet att användas som enda proteinfoder till grisar. Detta skulle sannolikt även öka möjligheterna att använda rapsmjölet som foder till värphöns och slaktkycklingar.

Potentialen för utfodring med rapsmjöl borde vara ca 200 g per slaktsvin och dag; 600-800 g per digivande sugga och dag; samt 200-250 g per avelsgalt och dag.

### 7.5.2.3 Utfodring av grisar med glycerin

Studier på slaktsvin har visat att glycerin är välsmakande och ökar aptiten utan att den dagliga tillväxten påverkas negativt då 10 % av detta ingår i foderblandningen (Kijora, 1996; van Heugten, 2007). 10 % glycerin till slaktsvin har inte haft någon inverkan på tillväxt, slaktkropparnas sammansättning eller köttets kvalitet (Kuhn, 1996). Levrarnas vikt ökade. Fettet i slaktkropparna påverkades mot ett ökat innehåll av mättat fett och ett minskat innehåll av fleromättat fett (Mourot m.fl., 1994; Kuhn, 1996). Vattenhalten i kroppsfettet ökade dessutom (Kuhn, 1996) liksom även köttets vattenhållande förmåga, vilket gör att köttkvaliteten kan bli bättre (Mourot m.fl., 1994). Mer fett lagras in vid njurarna vid utfodring med glycerin (Mourot m.fl., 1994). Lammers m.fl. (2007b) har funnit att även smågrisar (unga svin) kan utfodras med 10 % glycerin i fodret utan att tillväxt eller välbefinnande påverkas negativt.

Det glycerin som använts har varit råglycerin från omförestring av vegetabilisk olja med sammansättningen: 85 % glycerin, 10 % vatten och 3-7 % salter. Dessutom ingår 0,03 % metanol (Lammers m.fl., 2007a; 2007c). Beroende på renhet har detta glycerin ett kalorimetriskt (övre) värmevärde på 15,1-15,8 MJ/kg (rent glycerin har ett kalorimetriskt värmevärde på 18 MJ/kg) (van Heugten, 2007; Zacharias, 2007). Den smältbara energin för grisar befanns vara  $14,2 \pm 0,6$  MJ/kg råglycerin för smågrisar och  $15,8 \pm 0,5$  MJ/kg råglycerin för slaktsvin då 0-20 % glycerin ingick i fodret (Lammers m.fl., 2007a; 2007c; van Heugten, 2007). Detta ligger i nivå med  $15,2 \pm 0,1$  MJ/kg råglycerin som tidigare erhållits för grisar. Mängden omsättbar energi för glycerin minskar då inblandningen i fodret ökar utöver 10 %. Mängden omsättbar energi i glycerin har minskat från 14,5 MJ/kg vid 0-10 % inblandning i foder till smågrisar, till 12,9 MJ/kg vid upp till 20 % inblandning i foder till slaktsvin (van Heugten, 2007). Zacharias (2007) anger den omsättbara energin vid utfodring av grisar med rent glycerin till: 17,5 MJ/kg vid 5 %:s inblandning och 14,4 MJ/kg vid 10 %:s inblandning i fodret. Vid 20 %:s inblandning påverkas den dagliga tillväxten samt foderförbrukningen i negativ riktning. En orsak till det sämre resultatet vid höga inblandningsnivåer kan vara ökade förluster av glycerin via urinen vid ökande inblandning i fodret (Kijora, 1996; van Heugten, 2007).

Kijora (1996) rekommenderar att inblandningen av glycerin till grisar bör ligga på en nivå av 5-6 %. Detta för att man ska ligga väl under den nivå då glycerin börjar utsöndras via urinen. Zacharias (2007) rekommenderar att inblandningsnivån till grisar bör ligga på 5-10 %.

Metanolen i glycerin från omförestring är giftig för grisar (Lindberg, pers, 2007) och därför har en övre gräns för denna på 150 ppm föreslagits till grisar (Honeyman m.fl., 2007).

Det är att föredra om glycerinet kommer från en omförestringsprocess där natriumhydroxid används som katalysator framför en process där kaliumhydroxid används som katalysator

även till grisar (Murphy, pers, 2007). Orsaken till detta är att grisar har ett behov av natrium som kan tillgodoses till en del med rester från omförestringskatalysatorn.

### **7.5.3 Fjäderfä**

#### *7.5.3.1 Utfodring av fjäderfä med rapsexpeller och rapsmjöl*

Normalt kan upp till 10 % rapsprodukter tillåtas i foder till både höns och slaktkycklingar (Elwinger m.fl., 1985; Elwinger, 1985a; 1985b; 2005; Elwinger & Thompke, 1985; Olsson, 1989; Herland, pers, 2007). Livsmedelssverige (2007) anger att 10 % rapsmjöl (2,3 % fett) och rapsexpeller (29,6 % fett) kan tillåtas ingå i foderblandningen till slaktkycklingar, utom till nyinsatta slaktkycklingar där bara 5 % av de ovan nämnda produkter kan tillåtas. 12 % av det/de ovan nämnda rapsmjölet och rapsexpellererna kan tillåtas till värphöns. Till ekologisk produktion kan upp till 20 % tillåtas (Elwinger, 2005). Rapsprodukter ger ofta problem med att avföringen från höns och slaktkycklingar blir kletig (Waldenstedt, pers, 2007). Detta gör att man i praktiken, ofta av hygieniska skäl, tvingas begränsa mängden rapsprodukter till 8-9 % till värphöns och 7-8 % till slaktkycklingar. Denna parameter redovisas ofta inte i de vetenskapliga studier som gjorts. Det kan vara fiberkomponenter i rapsfröet som är orsaken till att gödseln blir kletig hos fjäderfä (Gunnarsson, pers, 2007). Maximalt 1-1,5 % av foderstatens energi bör komma från fett vid utfodring av värphöns eller slaktkycklingar (Waldenstedt, pers, 2007).

De giver som nämns ovan kan betraktas som säkra vid konventionell produktion (kommentarer från författaren). Vid högre giver i ekologisk produktion bör man vara medveten om att man är uppe i nivåer som gett problem, även med dubbellåg raps, i äldre försök (se nedan). Dessa problem har ofta inte varit signifikanta i de enskilda försöken, men är ändå inget man helt bör bortse från. För att minska riskerna bör man välja sorter med låg glukosinolathalt (i kapitel 7.2.2 anges vad som krävs för att en sort av raps eller rybs ska få kallas dubbellåg). Man kan även sträva efter att välja sorter med låg skalhalt (trippellåga) för att undvika tannin (garvsyra) (se kapitel 7.2.3 och kapitel 7.2.4).

Även i dubbellågt rapsmjöl är glukosinolathalten tillräckligt hög för att ge totaldoser som ger sköldkörtelförstoring och sänkt produktion om ovanstående givor överskrids (Elwinger, 1985a; 1985b). Hos slaktkycklingar och värphöns har sköldkörtelvikten ökat med 180 respektive mer än 200 % vid utfodring av foder med 18 % rapsmjöl (Elwinger, 1985b) (viss osäkerhet råder om detta rapsmjöl verkligen var dubbellågt). Tillförsel av 200 mg järn som järnsulfat per kg foder har minskat sköldkörtelförstoringarna med 50 % (Elwinger, 1985a).

Alla rapsprodukter, liksom allt annat foder till värphöns och slaktkycklingar, måste värmebehandlas (Elwinger, 2005; Waldenstedt, pers, 2007). Värmebehandlingen görs enligt foderföreskriften SJVFS 2006:81 (SJV, 2006) och bestämmelserna för salmonellakontroll och enligt dessa är det obligatoriskt att värmebehandla (upphetta till minst 75°C) alla foderblandningar till fjäderfä (Elwinger, 2005) (se även kapitel 7.3.1). Detta kan i praktiken åstadkommas genom att fodret pelleteras med en 3- eller 5-mm matris. Om 5 mm matrisdiameter används krossas pelletten efter matrisen eller skärs i 0,5 cm stora bitar som i den vidare hanteringen kallas pellets-kross. Värmebehandling kan ofta vara problematisk för små hemmablandare och fodertillverkare att åstadkomma. Detta motverkar att fodret kan produceras på gårdsnivå. En överambitiös upphettning kan försämra fodrets smältbarhet och ge upphov till ökat vatteninnehåll i gödseln. Detta i sin tur ger upphov till smutsiga ägg, kladdiga ströbäddar och sämre inomhusklimat vilket också kan påverka djurhälsan.

Till brunäggsvärpande höns tillåter man normalt inte raps eller rapsprodukter (Thompke m.fl., 1983; Elwinger, 1985a; 1985b; 2005; Elwinger & Thompke, 1985; Thomke, 1985a; 1985b; Olsson, 1989; Herland, pers, 2007). Anledningen till detta är att föreningen sinapin, som även ger rapsen dess bittra smak, av mikroorganismer i tarmen omvandlas till trimetylamin (TMA) som är ett starkt illaluktande ämne (luktar som ruttet fisk). Normalt oxideras TMA till TMA-oxid som utsöndras via njurarna. Vissa hönsraser och speciellt Rhode Island Red som är den genetiska basen i de flesta brunäggsvärpande hybriderna saknar den enzymaktivitet som behövs för detta och TMA deponeras istället i äggulan. Andra föreningar med lätt avskiljbara metylgrupper (t.ex. kolin) kan ge liknande effekter. Vita hybrider som utgörs av korsningar av olika linjer av rasen Vit Leghorn fungerar i detta avseende helt normalt. Med moderna genetiska verktyg håller man nu på och löser detta problem så snart kan kanske även brunäggsvärpande höns utfodras med rapsprodukter.

Vid utfodring av slaktkycklingar med 10 % rapexpeller med 20 % oljeinnehåll finns rapporter om en oljig härsken smak från köttet (Elwinger, 1985a). Med rapsmjöl har smakfel rapporterats vid 18 % inblandning i fodret men inte vid 15 % inblandning. Orsaken till detta tros vara tannin (garvsyra) i rapsmjölet. Effekten har stärkts om även fiskmjöl ingått i foderstaten (fiskmjöl är numer på väg att försvinna ur kycklingfoder då det ej anses etiskt (Waldenstedt, pers, 2007)). Sinapin, som kan ge dålig smak hos ägg hos vissa hönsraser, kan även ge dålig smak åt kycklingkött (Elwinger, 1985a; Elwinger & Thompke, 1985). Problemet kan undvikas genom att stora giver av rapsmjöl ej kombineras med fiskmjöl och foderfett. Utan fiskmjöl kan 10-15 % rapsmjöl ingå i foderstaten utan risk (Thompke m.fl., 1983; Elwinger, 1985a). Kycklingar har vuxit något långsammare och haft något sämre aptit då de utfodrats med rapsexpeller (20 % olja kvar) eller krossade frön, jämfört med då de utfodrats med rapsmjöl (extraherad produkt) (Elwinger 1985a; Elwinger & Thompke, 1985).

Dubbellågt rapsfrö har inte givit några negativa effekter på tillväxt eller foderutnyttjande hos slaktkycklingar (Elwinger, 1985b). Höga halter (15 %) dubbellågt rapsfrö har gett långsammare viktökning hos slaktkycklingar samt en antydd risk för ökad dödlighet (Elwinger & Thompke, 1985). 15 % dubbellågt rapsmjöl har kunnat ges till värphöns utan signifikant effekt på dödlighet, foderkonsumtion, äggvikter och äggproduktion (Thompke m.fl., 1983). Hos värphöns har en mycket liten produktionssänkning kunnat konstateras p.g.a. något lägre äggvikt (Elwinger, 1985b). Flera andra studier tyder på att äggvikten ej påverkas (Elwinger, 1985a). Djurens hälsotillstånd kan påverkas negativt av långvarig utfodring med höga rapsmjölsgivor (Elwinger, 1985b). Då höns med en förlängd värpperiod på 80 veckor utfodrades med rapsmjöl ökade dödligheten de två sista månaderna p.g.a. äggledarframfall och leversjukdomar (Elwinger, 1985a). Det finns några försök där utfodring med rapsmjöl resulterat i spruckna ägg med tunnare skal (Elwinger, 1985a), men i de flesta fall har inga signifikanta skillnader observerats (Thompke m.fl., 1983). Dagens dubbellåga raps ger inga problem med äggens skalkvalitet (Waldenstedt, pers, 2007). Höga giver av rapsmjöl till slaktkycklingar har gett en försämrad benhälsa (Thompke m.fl., 1983; Elwinger & Thompke, 1985). 12 % rapsmjöl har kunnat ges till slaktkycklingar utan risk för benförsvagning (Thompke m.fl., 1983).

Utfodring av slaktkycklingar på foder med höga halter av gula ärter och dubbellågt rapsmjöl är fullt möjligt, med bibehållen ekonomi, för att ersätta nästan allt importerat sojamjöl (Säterby & Elwinger, 1983). I försöken med upp till 30 % gula ärter och 20 % dubbellågt raps blev tillväxten något sämre, foderförbrukningen något högre och dödligheten något högre (inte signifikant i alla led) än vid konventionell utfodring.

Den omsättbara energin i rapsmjöl är 7,5-9,3 MJ/kg torrsbstans till fjäderfä (Thompke m.fl., 1983; Rundgren m.fl., 1985; Elwinger & Thompke, 1985). I fodermedelstabeller (Livsme-

delssverige, 2007) anges de omsättbara energierna för rapsmjöl och rapsexpeller med 31,2 % fett av torrsubstansen till 8,4 respektive 15,8 MJ/kg torrsubstans (omräknat från 7,6 respektive 15 MJ/kg vid 90 respektive 95 % torrsubstans). Detta är lägre än till grisar beroende på att fjäderfä är sämre på att omsätta kolhydrater (Rundgren m.fl., 1985). Smältbarheten för råprotein och organisk substans till fjäderfä är 83-84 % respektive 52-59 % (Rundgren m.fl., 1985). De högsta värdena gäller för dubbellågt rapsmjöl. Björklund (1988b) har studerat smältbarhet och omsättbar energi för rapsfrö (45,6 % fett av torrsubstansen) och rapsexpeller (21,4 % fett av torrsubstansen) vid utfodring till värphöns med inblandning av 15 och 30 % rapsfrö respektive rapsexpeller i en basfoderblandning. Smältbarheten för organisk substans var 71 % för rapsfrö och 64 % för rapsexpeller; smältbarheten för råprotein var 78 % för rapsfrö och 76 % för rapsexpeller; och smältbarheten för råfett var 92 % för både rapsfrö och rapsexpeller. Mängden omsättbar energi uppgår till 21 MJ/kg torrsubstans för rapsfrö och 15 MJ/kg torrsubstans för rapsexpeller (Björklund, 1988b; Björklund m.fl., 1990). Björklund m.fl. (1990) anger att råproteinets smältbarhet kan sättas till 77 % både för rapsfrö och rapsexpeller. Björklund (1988b) redovisar att i andra studier eller föreskrifter anges mängden omsättbar energi till 14,5 MJ/kg torrsubstans för expeller med 16-18 % fett; och 19-21 MJ/kg torrsubstans för rapsfrö. I tabeller från Livsmedelssverige (2007) anges den omsättbara energin i rapsolja vara 36 MJ/kg (omräknat vid 99 % torrsubstans: 36,4 MJ/kg torrsubstans) för fjäderfä.

Björklund (1988c) och Olsson m.fl. (1990) har jämfört smältbarhet och innehållet av omsättbar energi i rapsmjöl av trippel- och dubbellågt typ till värphöns. Fodret tillsattes till en basdiet med 15 respektive 30 % av båda slagen. Det dubbellåga rapsmjölet innehöll 14,5 % växttråd av torrsubstansen och den trippellåga 11,7 %. Smältbarhetskoefficienterna för det trippellåga materialet var ej signifikant skilda från de dubbellåga. Den organiska substansens smältbarhet låg på 49 % för 00-mjölet och 54 % för 000-mjölet; och råproteinets smältbarhet låg på 68 % för 00-mjölet och 64 % för 000-mjölet. Innehållet av omsättbar energi bestämdes till 7,6 MJ per kg torrsubstans för 00-mjölet och 8,6 MJ per kg torrsubstans för 000-mjölet. Uppenbart är att rapsfröets näringsvärde till fjäderfä kan förbättras med låg skalhalt.

#### *7.5.3.2 Foderstatsberäkningar, utfodring av fjäderfä*

Exempel på några foderstater där rapsexpeller eller rapsmjöl ingår togs fram för värphöns och slaktkycklingar. Näringsbehov och restriktioner vid utfodringen hämtades i huvudsak från Livsmedelssverige (2007) och Elwinger (2005). Resultaten från dessa foderstater sammanfattas nedan. Då rapsfodret har ett högt innehåll av de i fjäderfäsammanhang viktigaste aminosyrorerna metionin, lysin och treonin (Elwinger, 2005) (se tabell 1) försöker man utfodra så mycket som möjligt med detta. Komplettering behövs trots det för att behoven av de olika nödvändiga aminosyrorerna ska täckas. Ofta behövs flera olika foderslag för kompletteringen. T.ex. är sojaprotein en god lysin- men en mager metioninkälla (Elwinger, 2005), detsamma gäller ärter. Majs glutenmjöl är en god metionin- men en mager lysinkälla. Dessa fodermedel kan behöva ingå i foderblandningen och då bidra med sin del.

Enligt tabeller i Livsmedelssverige (2007) bör givan av rapsexpeller och rapsmjöl begränsas till: 12 % till värphöns, 10 % till slaktkycklingar och 5 % till nyinsatta slaktkycklingar. Detta gör att det blir svårt att komma ifrån behovet av komplettering med andra proteinfodermedel såsom t.ex. sojamjöl, solros-, lin- och hampfrökaka. Blir gödseln kletig kan mängden rapsfoder i foderstaten behöva begränsas ytterligare till 8-9 % för värphöns och till 7-8 % för slaktkycklingar.

### 7.5.3.3 Utfodring av fjäderfä med glycerin

I litteraturen finns lite varierande uppgifter på hur mycket glycerin som med framgång kunnat utfodras till fjäderfän. För slaktkycklingar har 5 % glycerin kunnat ingå i foderstaten utan att tillväxt, foderkonsumtion och välbefinnande påverkats negativt (Cerrate m.fl., 2006; Waldroup, 2007). Den omsättbara energin från glycerinet vid denna utfodring har uppmätts till 14,8 MJ per kg. Smältbarheten för glycerin hos slaktkycklingar och råttor har rapporterats ligga kring 75 %. Simon (1996) rapporterar att 10 % glycerin gått att utfodra till slaktkycklingar utan problem. Cerrate m.fl. (2006) och Waldroup (2007) rapporterar däremot att vid utfodring med 10 % glycerin minskade fåglarnas aptit och därmed tillväxt en del. En möjlig orsak till detta kan vara att det var problem att hantera foder med mer än 5 % glycerin i den tillgängliga utfodringsutrustningen. Simon m.fl. (1997) rapporterar om att slaktkycklingars aptit ökade vid utfodring med 10 % glycerin. Hos dessa kycklingar påverkades ej tillväxt eller foderförbrukning av utfodringen med glycerin. Gödseln från slaktkycklingar som utfodrads med 10 % glycerin var våtare än gödsel från sådana som utfodrads med mindre mängder av glycerin (Waldroup, 2007).

Vid utfodring av slaktkycklingar med 2,5 och 5 % glycerin i foderstaten har man funnit att andelen bröstkött i slaktkropparna ökat (Cerrate m.fl., 2006; Waldroup, 2007). Detta kan tyda på att utfodring av glycerin ökar slaktkycklingarnas upptag av protein.

Vid utfodring av värphöns med upp till 15 % glycerin fann man att dessa effektivt kunde tillgodogöra sig glycerinet utan negativa effekter på äggproduktionen, äggens vikt eller aptiten (Honeyman m.fl., 2007). Det värphönsfoder som innehöll 10-15 % glycerin var ganska klibbigt. Detta kan begränsa inblandningen i denna typ av foder till maximalt 10 %.

Det har inte gått bra att utfodra glycerin till slaktkycklingar inblandat i dricksvattnet som 10 % av fodergivan (Simon, 1996). Detta ledde till att vattenkonsumtionen minskade och därmed även foderkonsumtionen och tillväxten. Slutsatsen av detta var att glycerin ska ges inblandat i fodret och inte via dricksvattnet.

Metanolen i glycerin från omförestring är giftig och därför har en övre gräns för denna på 150 ppm föreslagits till fjäderfä (Honeyman m.fl., 2007).

Waldrup (2007) anger att man utifrån erfarenheter från hittills gjorda utfodringsförsök med slaktkycklingar kan rekommendera en inblandning av 5 % glycerin i foderstaten till dessa djur. Detsamma borde gälla för värphöns så länge erfarenheterna av utfodring med glycerin är begränsade.

Till fjäderfä kvittar det om glycerinet innehåller rester från en kalium- eller natriumhydroxidkatalysator (Murphy, pers, 2007).

## 7.5.4 Hästar

### 7.5.4.1 Utfodring av hästar med rapsexpeller och rapsmjöl

Hästen är helt anpassad för ett liv som gräsätare och för att tidvis kunna livnära sig på mycket näringsfattigt gräs (Planck & Rundgren, 2005). Normalt ska den kunna tillgodose hela sitt näringsbehov från vallfoder. Digivande ston, växande unghästar och arbetande hästar har ett stort energibehov, vilket medför att tillskott av ett mer energirikt foder kan behövas. Detsamma gäller hästar som bara har tillgång till grov(vall)foder av dålig kvalitet, t.ex. förvuxet sådant. Dräktiga ston, digivande ston och växande unghästar har även ett större behov av protein än andra hästar vilket medför att tillskott av proteinfoder kan behövas.



Ett problem vid utfodring av hästar med rapsmjöl och rapsexpeller kan vara smakligheten (Herland, pers, 2007; Jansson, pers, 2007). Hästar är kräsna och äter inte vad som helst. Tillvänjning kan erfordras. Det kan vara en nackdel att glukosinolaterna har en skarp smak. Hästarna kan känna detta trots att halterna är låga. Minst 10 % av kraftfodergivan borde fungera (Herland, pers, 2007).

Hästar är inte idisslare, utan grovtarmsjäsnare som kan bryta ner växtfibrer i grovtarmen efter magsäcken och tunntarmen (Lärn-Nilsson m.fl., 1998; Planck & Rundgren, 2005). Det kan ta ett par dygn för grovfodret att passera grovtarmen, med blindtarmen och stora kolon som tar upp en stor del av bukhålan (innehållet står i genomsnitt för 15 % av hästens totala vikt). Vid jäsningen i grovtarmen bildas kortkedjiga fettsyror som hästen använder som energikälla.

Hästar är liksom idisslare anpassade för att med hjälp av mikroorganismer kunna bryta ner cellulosa och hemicellulosa i växtfibrerna (Planck & Rundgren, 2005). Lignin (vedämne) klarar inte hästarna av att bryta ner, ej heller pektin. Hästen utnyttjar inte fodret lika effektivt som idisslare, men den har istället möjlighet att äta mer (Lärn-Nilsson m.fl., 1998).

Hästen saknar gallblåsa, vilket betyder att gallan tillförs i den takt som den produceras i levern (Kjellberg, 1993; Alfredsson, 2004; Planck & Rundgren, 2005). Produktionen kan ökas vid behov men det tillförs aldrig så mycket som det på en gång kan göra ur en gallblåsa. Därför kan hästen bara spjälka små mängder fett åt gången. Gallan innehåller emulgerande ämnen som underlättar för det icke fettlösliga enzymet lipas, i bukspottet, att spjälka fett (Planck & Rundgren, 2005). Hästens naturliga foder innehåller inte några stora mängder fett och den har därför inte behövt någon gallblåsa. Hästen bör därför inte få mer än högst 0,7-1 g fett per kg kroppsvikt och måltid, dvs. 0,3-0,5 kg per utfodring till en häst som väger 500 kg motsvarande 1,5-2,5 kg rapsexpeller med 20 % fett. Tillvänjning bör ske successivt. Överskott av fett fortsätter osmält till grovtarmen där det stör mikroorganismernas aktivitet, vilket kan sänka utnyttjandet av bl.a. cellulosa.

Proteinbehovet är i de svenska rekommendationerna är relaterat till energibehovet och uttrycks som gram smältbart råprotein per MJ omsättbar energi. Behovssiffrorna är därför oberoende av hästens storlek och arbetsbelastning. Underhållsfodret rekommenderas innehålla 6 g smältbart råprotein/MJ omsättbar energi. Detta krav uppfylls av de flesta fodermedel utom halm och förvuxet vallfoder (Planck & Rundgren, 2005). Friska hästar klarar utan problem två till tre gånger mer protein, speciellt om det kommer från vallfoder som bryts ner långsamt. Mycket proteinrikt foder resulterar i att urinen kommer att innehålla mer kväve. Detta kan resultera i ökad ammoniaklukt i stallet. Om man använder ammoniakbehandlad halm som enda grovfoder måste foderstaten kompletteras med ett fullvärdigt proteinfodermedel såsom rapsmjöl eller rapsexpeller.

Underhållsbehovet till det dräktiga stoet är detsamma som till det icke dräktiga. I dräktighetstillägget behövs betydligt mer protein, särskilt då under de sista dräktighetsmånaderna när fostertillväxten är som störst (Planck & Rundgren, 2005). Proteininnehållet i dräktighetstillägget rekommenderas vara 12 g smältbart råprotein/MJ omsättbar energi (Planck m.fl., 1998; Jansson, 2004; Planck & Rundgren, 2005). Detta innebär att proteinhalten i stoets totala foderstat kommer att öka allteftersom dräktighetstillägget blir större.

Precis som för det dräktiga stoet ändras inte det digivande stoets behov av underhållsprotein av protein (Planck & Rundgren, 2005). Mjölproduktionen kräver emellertid betydligt mer. Mjölken innehåll av protein är störst i början av laktationen och sjunker sedan. I genomsnitt är den 2 %, vilket betyder att ett sto som ger 15 kg mjölk per dygn måste producera drygt 300 g mjölkprotein under samma tid. Med en utnyttjandegrad på 50 % av det smältbara proteinet för bildning av mjölkprotein, betyder detta att 700-750 gram smältbart råprotein behövs per dag. Ett innehåll av 12 g smältbart råprotein/MJ omsättbar energi i digivningstillägget täcker

detta, beroende på att även energibehovet för digivningen är högt (Planck m.fl., 1998; Jansson, 2004; Planck & Rundgren, 2005).

Det största behovet av protein har den unga snabbt växande hästen (Planck & Rundgren, 2005). Den rekommenderade mängden råprotein i totalfoderstaten till växande hästar är (Jansson, 2004; Planck & Rundgren, 2005): 13,0 g smältbart råprotein/MJ omsättbar energi vid 3 månaders ålder; 9,5 g smältbart råprotein/MJ omsättbar energi vid 6 månaders ålder; 7,0 g smältbart råprotein/MJ omsättbar energi vid 12 månaders ålder; och 6,5 g smältbart råprotein/MJ omsättbar energi vid 18 månaders ålder. Ett bra bete täcker tillsammans med mjölken täcker fölets alla behov. Dåligt bete måste kompletteras med annat foder. Särskilt till unghästar är det viktigt att proteinet har en hög biologisk kvalitet dvs. en aminosyrasammansättning (hög halt av lysin) som passar hästar. Efter avvänjningen bör vallfodret eller betet till fölen kompletteras med något proteinfoder (Lärn-Nilsson m.fl., 1998). Här passar rapsmjöl eller rapsexpeller bra.

Proteinbehovet vid arbete ökar inte mer än energibehovet (Planck m.fl., 1998; Jansson, 2004; Planck & Rundgren, 2005). Arbetsbehovet rekommenderas därför innehålla samma mängd protein som underhållsfodret, dvs. 6 g smältbart råprotein/MJ omsättbar energi.

Från ovanstående kan man se att de hästar som har störst behov av energi är digivande ston samt hårt arbetande hästar. Dessa typer av hästar bör vara de som först kan komma ifråga till utfodring med fettrika produkter såsom rapsexpeller. Rapsexpeller och rapsmjöl som proteinfoder är främst intressant till växande unghästar, digivande ston och dräktiga ston sent under dräktigheten. Rapsexpeller (med 15-20 % fett innehåller 20,5-22 g smältbart råprotein/MJ omsättbar energi (efter: Jansson, 2004). Rapsmjöl innehåller uppåt 30 g smältbart råprotein/MJ omsättbar energi för hästar. Proteinets i rapsmjöl och rapsexpeller har en hög halt av lysin (5,6-6 % av råproteinets enligt Simonsson (2006)) högre än i spannmål (Lärn-Nilsson m.fl., 1997). Detta gör att rapsprodukter passar till växande hästar, där lysin är den först begränsande aminosyran (Planck & Rundgren, 2005). Vid utfodring av rapsexpeller (med 15-20 % fett) bör man tänka på de restriktioner som gäller vid utfodring av hästar med fett (se ovan).

För hästar med högt energibehov som ska arbeta och tävla mycket i varmt och fuktigt klimat, kan foderstaten anpassas för att ge mindre värmeproduktion från fodersmältningen (Planck & Rundgren, 2005). Det kan man åstadkomma med bibehållen fodergiva om man byter till ett grovfoder med lägre fiberhalt och ersätter en del av spannmålen med olja. Rapsexpeller med 15-20 % olja kan här vara ett alternativ. I elithästfoder kan en större mängd olja ingå beroende på att elithästen har ett stort energibehov. Fett motsvarande ett par matskedar olja gör hästarnas päls blank (Planck & Rundgren, 2005). Vegetabilisk olja har därför använts för att få hästar i glänsande skick till uppvisningar.

Vid utfodring av hästar med omättade fettsyror bör man tänka på att behovet av E-vitamin ökar (Alfredsson, 2004; Planck & Rundgren, 2005). Vitamin E verkar som en antioxidant och skyddar omättade fettsyror mot oxidation både i fodret och i hästkroppen. E-vitamin finns i grönt vallfoder och i bete. E-vitamin förstörs vid ensilering. För hästar är linolsyra, linolensyra och arakidonsyra essentiella. Linolsyra (20-26 %) och linolensyra (8-10 %) finns det gott om i rapsolja (Mittelbach & Remschmidt, 2005). Mängden arakidonsyra är 1-2 %.

Vid utfodring av hästar med rapsfett har man fått acceptabel smaklighet (Kjellberg, 1993; Alfredsson, 2004). 10 % inblandning i fodret accepteras i de flesta fall utan problem, 20 % efter tillvänjning, medan 30 % ratas. Detta tyder på att utfodring av rapsexpeller med 15-20 % fett till hästar borde fungera. Vissa hästar gillar ej rapsolja (Kjellberg, 1993). Smältbarheter på 83-95 % anges för fett (Kjellberg, 1993; Alfredsson, 2004). Fettutfodringen verkar inte ha några negativa effekter på smältbarheten av andra näringsämnen. Hästarnas pälskvalitet (vad gäller man- svans- och pälsglans) samt mjukheten i hårremmen har påverkats positivt av

fettutfodring (Alfredsson, 2004). Fettutfodring har även givit en snabbare aerob metabolism och minskat användandet av muskelglukogen då hästen utför långsamt och långvarigt uthållighetsarbete. Ökad energidensitet i fodret har gett utrymme för minskat födointag utan att ge avkall på hästens kroppsvikt eller kondition. Därigenom har den arbetande hästen fått möjlighet att prestera energikrävande arbete utan stor viktbelastning på mag- och tarmutrymmet samt med minskad risk för kolhydrat- eller proteinrelaterade sjukdomar. Föl och unghästar har fått en tendens till högre daglig tillväxt samt lägre foderbehov per kg tillväxt än konventionellt utfodrade hästar.

Beräkningar enligt Janssons (2004) anvisningar från fodermedelstabeller för idisslare (Spörndly, 2003) ger de omsättbara energierna för rapsmjöl, värmebehandlat rapsmjöl, rapsexpeller med 17,4 % fett av torrsubstansen och värmebehandlade rapsexpeller med 16,9 % fett av torrsubstansen till: 11,3; 11,3; 12,9; respektive 12,9 MJ/kg torrsubstans för hästar. I Jansson (2004) anges att den omsättbara energin i fett till hästar är 31,3 MJ/kg torrsubstans.

Det finns inga exempel i litteraturen på att man utfodrat hästar med glycerin.

#### *7.5.4.2 Foderstatsberäkningar, utfodring av hästar*

Exempel på några foderstater där rapsexpeller eller rapsmjöl ingår togs fram för några olika typer av hästar. Näringsbehov och restriktioner vid utfodringen hämtades i huvudsak från Jansson (2004) och Planck & Rundgren (2005) men även från Planck m.fl. (1998). Både bra och dåligt hö studerades i foderstaterna. Resultaten från dessa foderstater sammanfattas nedan.

Om man har tillgång till ett bra hö med 12 MJ/kg TS och 140 g smältbart råprotein/kg TS räcker detta som enda foder till normalfödda hästar, dräktiga sådana hästar, samt till unga sådana hästar. Digivande hästar har ett högre energibehov som kan täckas med t.ex. havre som även innehåller en del protein. Något separat proteinfoder såsom rapsmjöl eller rapsexpeller behövs inte. Detsamma gäller även hårt arbetande hästar. Här blir dock proteintillförseln för stor, vilket gör att sämre grovfoder med fördel skulle kunna utfodras. Till föl (ca 4 månader) behövs ett proteinfoder som rapsmjöl eller rapsexpeller även om grovfodret är mycket bra. Knappt 10 % av fodret till dessa hästar bör vara ett proteinfoder av god kvalitet. Det är knappast troligt att allt detta foder kan vara rapsbaserat beroende på smaklighetsproblem. Slutsatsen blir att hästar som utfodras med ett bra grovfoder som regel inte har något behov av proteinfoder såsom rapsexpeller eller rapsmjöl.

Är höet dåligt blir behovet av proteinfoder givetvis större. Om dåligt hö med 6 MJ/kg TS och 5 g smältbart råprotein/kg TS utfodras krävs betydande mängder proteinfoder: till normal födda hästar ca 10 % av fodret, dräktiga hästar ca 15 % av fodret, digivande hästar mer än 20 % av fodret, hårt arbetande hästar ca 7 % av fodret, till unga hästar (7-12 mån) ca 20 % av fodret och till föl (ca 4 mån) mer än 40 %. Allt detta proteinfoder kan inte vara rapsbaserat då smakligheten ej är god för hästar hos sådant foder. I praktiken kan ca 10 % av kraftfodret vara rapsmjöl eller rapsexpeller. Detta innebär att om grovfodret består av dåligt hö så kan maximalt: ca 80 g rapsmjöl utfodras till normal födda hästar, ca 100 g rapsmjöl till dräktiga sådana hästar, 550-600 g rapsmjöl till digivande sådana hästar, 450-500 g rapsmjöl till hårt arbetande sådana hästar, ca 200 g rapsmjöl till unghästar, och ca 300 g rapsmjöl till föl (ca 4 mån). Totalt kanske potentialen till landets hästar i genomsnitt är ca 100 g rapsmjöl per häst och dygn.

## 7.6 Sammanställning, utfodring av olika djurslag

### 7.6.1 Sammanställning, utfodring med rapsexpeller, rapsmjöl och rapsolja

Idisslare, som nötkreatur och får, kan utfodras med hela proteininnehållet som rapsexpeller och rapsmjöl (se tabell 5). Till mjölkcor bör man vara uppmärksam på att mjölkens fettsyrsammansättning påverkas (se tabell 6), och därför bör mängden fett i fodret begränsas till 0,5-1 kg/dag. Till grisar och fjäderfä kan ca 10 % av fodret bestå av rapsprodukter (tabell 5). Man bör dock vara medveten om att foderfettet påverkar späckets sammansättning och konsistens hos slaktsvin och därför bör de inte ges mer än ca 5 % rapsfett (tabell 6). Smågrisar är känsliga för fodrets smaklighet, och det är viktigt att de får ett gott foder. Ämnen som ingår i rapsprodukterna har en besk (skarp) smak. Till fjäderfä kan man få begränsa inblandningen av rapsprodukter i fodret om gödseln skulle bli kletig. Uppgifterna i litteraturen om hur mycket fett dessa tål varierar men normalt räknar man med att det endast är ganska ringa mängder. Till hästar kan ca 10 % av kraftfodret bestå av rapsprodukter om man ej drabbas av smaklighetsproblem (tabell 5). Vissa hästar kan vara kräsna. Hästar saknar gallblåsa och kan därför ej smälta stora mängder fett som ges vid ett tillfälle. Mer fett kan eventuellt ges till hårt arbetande hästar då fett är ett koncentrerat foder vad gäller energiinnehåll.

Tabell 5. Utfodring av olika djurslag med rapsprodukter, möjlig giva

Djurslag	Andel av kraftfoder (%)	Kommentar
Nötkreatur		
Mjölko	25-30	Hela proteinbehovet (max 5 kg)
Kalv	10	
Får	25-30	Hela proteinbehovet
Grisar		
Slaktsvin	10	För mycket fett kan påverka grisarnas späck
Suggor	10	
Smågrisar	5	Risk för dålig smaklighet
Fjäderfä		
Värphöns	10	8-9 % om gödseln blir kletig
Slaktkycklingar	10	7-8 % om gödseln blir kletig
Hästar	10	Smaklighetsproblem kan förekomma

Tabell 6. Utfodring av olika djurslag med rapsfett, möjlig giva

Djurslag	Andel av kraftfoder (%)	Kommentar
Nötkreatur		
Mjölkkö	5	Mjölakens fettsyrasammansättning kan påverkas (max 0,5-1 kg)
Får	5	Samma som för nötkreatur
Grisar		För mycket fett kan påverka grisarnas späck
Slaktsvin	5	I vissa fall kan 6-7 % tillåtas ingå
Suggor	5	I vissa fall kan 6-7 % tillåtas ingå
Smågrisar	5	I vissa fall kan 6-7 % tillåtas ingå
Fjäderfä		
Värphöns	1-1,5	Mycket varierande uppgifter
Slaktkycklingar	1-1,5	Mycket varierande uppgifter
Hästar	2	10 % rapsexpeller med 20 % fett, eventuellt mer till hårt arbetande hästar

Foderstatsberäkningar har visat att generellt så har mjölkande/digivande och snabbt växande djur störst behov av protein och därmed rapsfoder. 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 inget rapsfoder.

Omsättbar energi vid utfodring av olika djurslag med rapsmjöl, rapsexpeller, foderfett (kan vara rapsolja) och glycerin anges i tabell 7. Framförallt fjäderfä är sämre än de andra djurslagen på att utnyttja rapsmjöl beroende på de är sämre på att omsätta kolhydrater. I övrigt är skillnaderna små mellan djurslagen. Rapsfett och glycerin omsätts till en hög grad av djuren, jämför med de effektiva värmevärdena i kapitel 8.1.1 och i kapitel 8.2, samt i tabell 10.

Tabell 7. Omsättbar energi i några rapsbiprodukter vid utfodring av nötkreatur, hästar, grisar och fjäderfä

Biprodukt	Djurslag, omsättbar energi (MJ/kg torrs substans)			
	Nötkreatur	Hästar	Grisar	Fjäderfä
Rapsmjöl	12,2-12,5	11,3	11,3-13,1	7,5-9,3
Rapsexpeller (16-18 % fett)	15,5-15,6	12,9	14,5-15,6	14,5
Fett	31-31,5	31,3	34	36,4
Råglycerin <sup>b</sup>	-	-	14,2-15,2	14,8
Rent glycerin	8,3-9,7 <sup>a</sup>	-	14,4-17,5	-

<sup>a</sup> Nettoenergi, jämfört med omsättbar energi är även djurets värmeproduktion från dragen, se figur 3.

<sup>b</sup> Troligen ca 80-85 % glycerin.

### 7.6.2 Sammanställning, utfodring med glycerin

Idisslare, såsom nötkreatur och får, samt grisar bör enligt litteraturuppgifter gå att utfodra med 5-10 % glycerin i kraftfoderblandningen (tabell 8). Fjäderfä går att utfodra med ca 5 % glycerin. För hästar finns inga litteraturuppgifter om utfodring med glycerin, men sannolikt går de att utfodra med detta i samma utsträckning som de andra djurslagen. Omsättbar energi vid utfodring av olika djurslag med glycerin anges i tabell 7.

Tabell 8. *Utfodring av olika djurslag med glycerin, möjlig giva*

Djurslag	Andel av kraftfoder (%)	Kommentar
Nötkreatur		
Mjölkkö	5-10	max 500-600 g/dag
Får	5-10	Samma som till nötkreatur
Grisar		
Slaktsvin	5-10	
Suggor	5-10	
Smågrisar	5-10	
Fjäderfä		
Värphöns	5	
Slaktkycklingar	5	
Hästar	-	Anges ej i litteraturen

## 8 ANVÄNDNING TILL FÖRBRÄNNING

### 8.1 Eldning av rapsexpeller och rapsmjöl

Eldning av rapsexpeller har fungerat utmärkt i en Passat Compact C4 panna som är avsedd för bränslen som flis, pelletter och spannmål (Praks, 1993). Det höga effektiva värmevärdet hos rapsexpellererna (22,5 MJ/kg TS eller 6,26 kWh/kg TS, se tabell 9) har gjort att pannan kunnat utnyttjas till sin angivna effekt med tillfredställande verkningsgrad. Emissionsnivåerna har varit låga utom för NO. NO-halten som utgör 90-95 % av rökgasens NO<sub>x</sub>-innehåll har uppmätts till 704-851 ppm vid eldning med rapsexpeller vilket kan jämföras med 236-356 ppm vid förbränning av rörflen och rörflen med inblandning av 25 % sågspån. NO-halterna var omräknade till luftfaktorn 1,6. Rapsexpellererna innehöll 4,8 % kväve av torrsubstansen, och rörflen med 25 % sågspån inblandat innehöll bara 0,65 % kväve av torrsubstansen i medeltal. Detta betyder att medan kväveinnehållet i rapsexpellererna var ca 7 gånger högre än i rörflen var utsläppen av NO med rökgaserna bara 2-2,5 gånger större. Detta betyder att emissionerna av NO var lägre än vad som kunde befaras med tanke på de eldade rapsexpellerernas kväveinnehåll.

Rapsmjöl (med en låg fetthalt) har provats som bränsle i tre olika pannor i ett pågående projekt för Värmeforsk (Öhman, pers, 2007). Rapsmjölet innehöll 5-6 % kväve av torrsubstansen och de uppmätta mängderna kväveoxid (NO) i rökgaserna har räknats om till 10 % syrgas i rökgaserna. Den första pannan var en 150 kW pulverbrännare där NO i rökgaserna vid eldning med rapsmjöl och träpulver (med 0,1 % kväve av torrsubstansen) uppmättes till 180 respektive 50 ppm. Denna eldningsutrustning har egenskaper som gör att initialt bildat NO<sub>x</sub> kan reduceras vilket leder till låga NO<sub>x</sub>-utsläpp. Den andra pannan var en fluidiserad bädd på 5-10 kW där NO i rökgaserna vid eldning med rapsmjöl och bark (med 0,1-0,2 % kväve av torrsubstansen) uppmättes till 420 respektive 200 ppm. Den tredje och sista pannan hade en 12 kW pelletsbrännare där NO i rökgaserna vid eldning med rapsmjöl och bark (med 0,1-0,2 % kväve av torrsubstansen) uppmättes till 580 respektive 200 ppm. Jämfört med bränslen med lågt kväveinnehåll har NO-emissionerna alltså legat 2,1-3,6 gånger högre vid eldning med rapsmjöl.

Bäst förbränning har erhållits då maximalt med sekundärluft och minimalt med primärluft tillförts (Praks, 1993). Bränslet brann då med kraftig gul låga med minimalt CO-innehåll och med vit, delvis synlig, skorstenrök. En fet beläggning kan bildas i pannan vid eldning med rapsexpeller (Augustsson, pers, 2007). Det är oklart om denna beläggning påverkar pannans funktion.

Rapsexpellerens värmevärde är beroende av dess innehåll av restolja (Bernesson, 2004a) (se tabell 10 för exempel på restoljehalter i kallpressade rapsexpeller). Detta förklaras av att oljans effektiva värmevärde (38,3 MJ/kg torrsubstans) är betydligt större än den fettfria restprodukten (17,3 MJ/kg torrsubstans). Rapsexpellerens värmevärde och eldningsegenskaper blir därför beroende av med vilken teknik oljan utvunnits ur rapsfröet. Värmevärdet blir lägre hos rapsmjöl där oljan utvunnits genom extraktion.

Rapsmjöl har en hög självantändningstemperatur, närmare bestämt ca 700°C, vilket är högre än för många andra biobränslen (Antonini m.fl., 1999).

Om oljan i rapsexpelleren har ett stort ekonomiskt värde i förhållande till den fettfria restprodukten värde, kan rapsexpeller med en hög halt av restolja bli för dyrbara att användas som bränsle. Särskilt då om billigare bränslen som kan eldas i samma eldningsutrustning finns tillgängliga.

Rapsexpellerens innehåll av kväve är högt, 3,7-6,4 % av torrsubstansen (Fridefors, 1991; Praks, 1993; Öhman, pers, 2007), vilket kan jämföras med 0,4-0,9 % som är normalt för halm (Praks, 1993). Också svavelhalten är jämförelsevis hög, 0,66 % jämfört med 0,05-0,15 % normalt i stråbränslen. Halten aska och flyktiga ämnen är i nivå med vad som är normalt för stråbränslen.

Askans relativt låga smältpunkt (begränsande vid 1020°C och helt smält vid 1150°C) gör att problem med sintring kan uppstå i vissa eldningsutrustningar (Praks, 1993). Denna begränsande asksmältpunkt ligger i nivå med vad som brukar anges för spannmålshalm och höstskördad rörlin. I den Passat Compact C4-panna (nominell effekt 43 kW) som Praks (1993) använde i sina försök skedde asksinträng i mindre omfattning utan att förbränningen stördes. Lantbrukare som eldat rapsexpeller har fått varierade resultat (Jonsson Bengt, pers, 2007; Norrby, pers, 2007). I vissa eldningsutrustningar har sintringsproblem förekommit medan det i andra gått bättre. I vissa pelletsbrännare har det gått bra att elda pelleterade rapsexpeller eller pellets med 20 % inblandning av rapsexpeller (Norrby, pers, 2007).

Mängden aska (6,4 % av TS) är ganska stor och kan upplevas som besvärande i mindre eldningsutrustningar där täta uraskningar kan krävas om askbehållarna ej är tillräckligt stora (Praks, 1993).

Hanteringsmässigt har expeller med 6 mm diameter varit att föredra framför expeller med 10 mm diameter (denna typ av rapsexpeller hade formen av pelletter) eftersom denna smulade mindre (Praks, 1993). Eldningsmässigt var det ingen skillnad mellan de två varianterna av expeller.

I tabell 9 anges förbränningstekniska analysdata för rapsexpeller med 6 mm diameter.

Tabell 9. Analys av 6 mm rapsexpeller (Praks, 1993)

	Värde	Enhet
Värmevärde, kalorimetriskt	23,74	MJ/kg TS
Värmevärde, effektivt	22,52	MJ/kg TS
Värmevärde, effektivt	19,8	MJ/kg
Torrhalt, TS	89,1	% av prov
Askhalt	6,4	% av TS
Svavel, S	0,66	% av TS
Flyktiga ämnen	79,4	% av TS
Kol, C	52,4	% av TS
Väte, H	7,1	% av TS
Kväve, N	4,8	% av TS
Syre, O	28,6	% av TS
Klorid, Cl	0,04	% av TS
Asksmältpunkt, begynnande smälta, IT	1020	°C
Asksmältpunkt, hörn avrundas, ST	1100	°C
Asksmältpunkt, halvsvär, HT	1140	°C
Asksmältpunkt, helt smält, FT	1150	°C
Råfett	25	% av TS
Skrymdensitet	622	kg/m <sup>3</sup>

I en amerikansk studie där man studerade eldning av pelleterade rapsexpeller (fetthalt 12-15 %) i en pelletspanna fick man problem med en del sintring i pannan (Peterson m.fl., 1990). Dessa rapsexpeller (ursprungligen som tunna flak) hade ett kalorimetriskt (övre) värmevärde på 20,8 MJ/kg (effektivt värmevärde 19,2 MJ/kg efter omräkning enligt Strömberg (2004)), en askhalt på 7,5 %, en vattenhalt på 7,6 % och en svavelhalt på 1,18 %. Troligtvis kom den från enkellåg raps. Partikelemissionerna blev ca 4 gånger högre än vid eldning med träpellets, men under gällande gränsvärden. Vid eldning av pellets bestående av 60 % rapsexpeller och 40 % trä, eller 60 % rapsexpellerpellets blandade med 40 % träpellets minskade sintringen, slaggen blev mer porös och påverkade ej förbränningen. Dessutom minskade askhalten då det inblandade träet bara innehöll 0,2 % aska. Partikelemissionerna minskade till en tredjedel till hälften jämfört med eldning med bara rapsexpeller.

### 8.1.1 Beräkningar av värmevärdet hos rapsexpeller och rapsmjöl

Det effektiva värmevärdet hos rapsexpeller och rapsmjöl kan beräknas utifrån dess oljehalt då det effektiva värmevärdet hos oljan är 38,3 MJ/kg och hos den fettfria substansen 17,3 MJ/kg TS (Bernesson, 2004a). I tabell 10 ges sammansättningen hos rapsmjöl och rapsexpeller vid olika oljeutvinningsgrader, samt de beräknade effektiva värmevärdena hos de här produkterna. Den mängd olja som utvunnits anges även.



Tabell 10. Sammansättning, värmevärden m.m. hos rapsfrö, rapsexpeller och rapsmjöl

	Frö <sup>a</sup>	Rapsexpeller, andel olja urpressad <sup>a</sup>			Rapsmjöl <sup>b</sup>
		60 %	70 %	75 %	
Råfett (%)	45	24,7	19,7	17,0	4,5
Aska (%)	5	6,8	7,3	7,5	7,7
Mängd olja (g) ur 100 g <sup>c</sup>		27,0	31,5	33,8	42,4
Eff. värmev.(MJ/kg TS) <sup>c</sup>	26,7	22,5	21,4	20,8	18,2

<sup>a</sup> Källa: Norén m.fl. (1994).

<sup>b</sup> Källa: Spörndly (2003).

<sup>c</sup> Källa: egna beräkningar.

## 8.2 Eldning av glycerin

Glycerin är trögflytande och avger inte brännbara ångor (flampunkt) förrän vid 160°C (Wikipedia, 2007). Detta gör att glycerinet är svårt att elda om det inte blandas upp med någon brännbar vätska eller tillsätts något fast bränsle med god uppsugande förmåga. Rent glycerin har ett effektivt värmevärde på 17,1 MJ/kg (Kaltschmitt & Reinhardt, 1997).

Glycerin har inte gått att elda ensamt i brännare avsedda för tjockolja. Det har inte ens fungerat bra att elda 10 % råglycerin blandat i frityrolja (Patzer m.fl., 2007). Koksavlagringar som gett stilleståndstider och varit tidsödande och kostsamma att ta bort har bildats i brännaren (Patzer m.fl., 2007; Journey to Forever, 2007). Den höga askhalten i råglycerinet (rester av bl.a. katalysator från omförestningen) har ställt till med problem i form av dålig driftsäkerhet (Patzer m.fl., 2007). Kalium och natrium från omförestningskatalysatorerna kan ge påslagsproblem samt problem med sintrande askor i pannorna (Strömberg, 2004; Strömberg, pers, 2007). Glycerinets höga klorhalt har bedömts kunna ge ytterligare driftstörningar i form av korrosion på sikt i pannornas brännare (Patzer m.fl., 2007) samt i ångpannor korrosion av överhettaren (Strömberg, 2004). Bränslen med hög klorhalt kan ge kladdiga påslag (Strömberg, pers, 2007). Dessutom har höga emissioner av partiklar uppmätts (Patzer m.fl., 2007). Det är även viktigt att vara medveten om att råglycerinets värmevärde (kalorimetriskt) är lågt (14,6 MJ/kg) jämfört med oljans (39,2 MJ/kg). Detta tillsammans gör att glycerin inte är ett lämpligt bränsle i oljebrännare. AnzacFuelTech (2007) och EuroFuelTech (2007) påstår sig ha en brännare (60-230 kW) avsedd för spillolja som går att elda med råglycerin om 10-12 % biodiesel blandas in i denna (måste nog blandas precis före brännaren då biodiesel ej är lösligt i glycerin). Inget sägs om koksning eller andra driftstörningar vid långtidsdrift. Svenska erfarenheter tyder på att det inte går bra att elda glycerin ens med avancerade oljebrännare under goda förhållanden (Augustsson, pers, 2007). För att få stabil gång blandades 40 % etanol in i glycerinet och sedan eldades denna blandning tillsammans med 50 % mineralolja. Sådana blandningar är inte realistiska vid praktisk drift och dessutom saknas långtidserfarenheter.

Glycerin blandat med sågspån eller kutterspån har gått bättre att elda (Journey to Forever, 2007). Exempel ges på att man eldat briketter tillverkade av mjölkkartonger fyllda med glycerin blandat med sågspån eller kutterspån. En mjölkkartong på en liter gick att ladda med 450 g kutterspån och 750 g råglycerin. Man började med att elda ved och gick sedan över till att elda de specialpreparerade mjölkkartongerna. Detta kan tyda på att glycerin går att blanda in vid brikettering eller pelletering av fasta bränslen som trä, energiskog (Salix), halm, rörflen eller hampa. Man bör dock vara medveten om att för höga inblandningsnivåer kan göra pelleterna/briketterna klibbiga vilket kan ge problem vid hanteringen. Cerrate m.fl. (2006) och Waldroup (2007) rapporterade ju att inblandning av 10 % glycerin i slaktkycklingfoder gett hanteringsproblem och Honeyman m.fl. (2007) rapporterade att värphönsfoder som innehöll 10-15 % glycerin var klibbigt. Mer forskning krävs för att utreda detta problem mer. Klibbigheten kan vara positiv vid pelletering om det går pelleterna fastare utan att andra problem

uppstår (Honeyman m.fl., 2007; Holtenius, pers, 2007). I ett sådant fall kan råglycerinet bli intressant att använda som bindemedel vid pelletering av fasta bränslen. Vid pelleteringen bör man se upp med att dunstande metanolångor kan bli ett arbetsmiljöproblem på samma sätt som vid pelletering av djurfoder (se kapitel 6.1.1). Nilles (2006) rapporterar att proveldning av träpellets med inblandning av glycerin förekommit. Förbränningsegenskaperna påverkades ej i större utsträckning.

## 9 ANVÄNDNING SOM GÖDSELMEDEL

### 9.1 Gödsling med rapsexpeller

Som gödselmedel innehåller rapsexpeller 3,7-6,4 % kväve; 0,4-2 % fosfor; och 0,3-1,3 % kalium av torrsubstansen enligt litteraturstudier av Fridfors (1991) (se tabell 11 för ett exempel). I ett tyskt försök användes rapsexpeller med följande sammansättning på torr bas: 5,5 % kväve; 1,1 % fosfor; och 1,0 % kalium (Kücke, 1993), vilket nästan exakt överensstämmer med exemplet i tabell 11. Rapsexpeller ger dessutom ett positivt mullhaltsbidrag (Fridfors, 1991). Organiskt bundet kväve i rapsexpeller mineraliseras långsamt, och därför kan inte användningen av detta gödselmedel till grödor som behöver stora mängder kväve under kort tid, t.ex. höstraps under våren, rekommenderas. Däremot bör rapsexpeller vara ett lämpligt gödselmedel till grödor som tar upp kväve under en längre del av växtperioden.

*Tabell 11. Växtnäringsinnehåll: Analysresultat av dubbellåg vårraps 1991 (Fridfors, 1991)*

Växtnäringsämne	Växtnäringsinnehåll, medeltal av två prover rapsexpeller
N (%)	5,7
P (%)	1,1
K (%)	1,3
Ca (%)	0,6
Mg (%)	0,5
S (%)	0,7
Cu (ppm)	5,1
Mn (ppm)	58,8
Zn (ppm)	55,1
B (ppm)	16,4

Vissa växtnäringsämnen i organiska gödselmedel förekommer i oorganisk form (Fridfors, 1991). Dit hör t.ex. kalium och magnesium. Andra växtnäringsämnen som kväve och svavel måste först mineraliseras av markmikroorganismerna innan de kan tas upp av växtrötterna. Skillnaden mellan organiska och oorganiska gödselmedel är att vissa växtnäringsämnen i dessa befinner sig i olika former med varierande tillgänglighet för växterna. Växtnäringsämnen i oorganiska gödselmedel är i regel direkt tillgängliga för växtrötterna, medan växtnäringsämnen i organiskt material, då speciellt organiskt kväve, har låg växttillgänglighet. I stallgödsel anges bara en tredjedel av kvävet vara tillgängligt för grödan det första året. Fördelar med en långsam frigörelse av kväve är t.ex. att höga koncentrationer av nitrat lättare kan undvikas i grönsaker om höga nitratkoncentrationer i marken kan undvikas.

Nedbrytningen av organiskt material påverkas av (Fridfors, 1991): den organiska substansens nedbrytbarhet (fysikalisk och kemisk sammansättning, lignininnehåll, grad av uppluck-

ring, angreppsytor för mikroorganismer osv.); temperatur; syretillgång; vattentillgång; kalk-tillstånd i jorden; tillgång till organiska näringsämnen (om de är begränsande); kol/kvävekvot; och förekomst av toxiska eller på annat sätt hämmande (komplexbildande) ämnen t.ex. tungmetaller. Mineraliseringen hämmas av väderfaktorer som påverkar markorganismernas aktivitet negativt såsom t.ex. låg temperatur, torka eller vattenmättnad. Materialets struktur och partikelstorlek i rapsmjölet eller rapsexpellererna påverkar även mineraliseringshastigheten (Antonini m.fl., 1999).

Oljan i expellern binder växtnäringsämnen då den bryts ner, vilket kan ge sämre tillväxt hos en gödslad gröda påföljande år (Bernesson, 1993). Detta är något som man bör tänka på särskilt vid gödning med expeller med en hög oljehalt. Bundna växtnäringsämnen frigörs senare och kan då tillgodogöras av en växande gröda.

En annan sak av betydelse är kvävetillgången i det organiska materialet (Fridefors, 1991). Kol/kväve-kvoten är kopplad till denna och ligger på 11,8-24,3 för rapsexpeller med ett genomsnittligt värde på 15,2 i en mätserie. För rapsexpeller med ett kväveinnehåll 5,8 % har kol/kväve-kvoten angivits vara drygt 11. Det finns en stor risk att kvävet blir otillgängligt vid en kol/kväve-kvot större än 25. Detta innebär att det finns en risk för nettoimmobilisering av kväve i ett första skede efter tillförseln av rapsexpeller då kol/kväve-kvoter på 25 kan förekomma i denna. Tillgängligheten hos kolet är avgörande för vad som sker. Om kolet är svårtillgängligt, som i t.ex. lignin, kan nettomineralisering av kväve till och med förekomma vid kol/kväve-kvoter på ca 50. Försök har visat att kvävet växtnäringstillgänglighet i rapsexpeller är relativt god och jämförbar med den hos andra organiska gödselmedel. En stor del av kvävet bör vara lättillgängligt för mikroorganismerna, eftersom det föreligger som aminoskväve i rapsexpellen. En mindre del av kolet i rapsexpelleren kan förväntas vara svårtillgängligt. Resultaten från tyska fältförsök tyder på att rapsexpellen är jämförbar med andra organiska gödselmedel avseende växtnäringstillgängligheten.

Växtnäringstillgängligheten hos fosfor och kalium behandlas inte i litteraturen men borde vara jämförbar med den hos stallgödsel (Fridefors, 1991). I stallgödsel är ungefär hälften av fosfor snabbt växttillgänglig medan resten till stor del är organiskt bundet. Kalium, i stallgödsel, är nästan helt vattenlösligt som kaliumjoner och därför snabbt växttillgängligt.

Svavelhalten har varit lägre i dubbellågt rapsmjöl jämfört med enkellägt beroende på skillnaderna i glukosinolathalt (Fridefors, 1991). Även mängden kalium har varit lägre i enkelläga sorter beroende på att glukosinolanjonerna balanserats av kaliumkatjoner.

Organiska gödselmedel, såsom t.ex. rapsexpeller, bidrar med mullbildade material till marken (Fridefors, 1991). Mullbildande ämnen gör att marken bevarar en för grödan gynnsam struktur och får en god vattenhållande förmåga, motverkar kompaktering och ger upphov till en rik markmikroflora. Detta bidrar till att jordbruksmarkens produktivitet bibehålls på lång sikt. Som gödselmedel har rapsexpelleren angivits vara innehållsmässigt ungefär jämförbar med torkad hönskötsel. I andra försök har inte rapsexpellerernas positiva inverkan på markegenskaperna riktigt nått upp till den som stallgödsel åstadkommit.

Rapsexpeller har historiskt använts som organiskt gödselmedel med ett gott anseende och används fortfarande som växtnäringskälla i flera U-länder, t.ex. i Indien (Fridefors, 1991). I Japan har det använts som växtnäringskälla inom trädgårdsnäringen.

I litteraturen finns exempel på att avkastningen hos majs, ärt och gräs blivit bättre vid gödning med rapsexpeller jämfört med NP-, PK-, NK-, och NPK-konstgödsel (Fridefors, 1991). Däremot blev avkastningen hos dessa grödor lägre vid gödning med rapsexpeller, jämfört med gödning med stallgödsel. Rapsexpeller gödslad stråsåd (vete och havre) har givit sämre avkastning jämfört med handelsgödsel- och stallgödselkombinationer (Fridefors, 1991);

Kücke, 1993). Äggplanta, gurka, och tomat odlade i växthus och kål, rädisa och sallad odlad på friland har givit lägre skördar vid gödsling med rapsexpeller jämfört med gödsling med handelsgödsel (Fridefors, 1991). Detta förklaras med att skördarna hos dessa grödor varit beroende av tillgången på oorganiskt kväve. Tillgången på växttillgängligt kväve har uppmätts vara låg under den första månaden efter tillförsel av rapsexpeller. Kvalitén (i form av t.ex. bruna fläckar och hårda frukter) hos de med rapsexpeller gödslade grönsakerna har blivit bättre jämfört med dem som gödslats med andra gödselmedel. Orsaken till detta var att kväve frigjorts gradvis och långsamt under hela växtperioden.

Kål har givit sämre avkastning vid gödsling med rapsmjöl jämfört med mineralgödsling enligt litteraturuppgifter (Fridefors, 1991). Sallat och lök har givit lika hög avkastning vid gödsling med rapsmjöl som vid gödsling med mineralgödsel. Med stallgödsel blev avkastningen lägre än vid gödsling med rapsmjöl för sallat och lök.

Till sockerbetar har avkastningen med rapsexpeller som gödselmedel vanligtvis blivit sämre än då mineralgödselmedel använts (Kücke, 1993). Betskördarna blev sämre medan betkvalitén (andel socker och andel utvinningsbart socker) vanligtvis blev bättre vid gödsling med rapsexpeller. Högre sockerskördar, jämfört med vid gödsling med mineralgödsel, erhöles då rapsexpeller tillfördes före sådden av betorna. Sockerskördarna blev här högre beroende på högre sockerhalter i betorna. Vid en andra kvävegiva (i början av juni) påverkades betskörden ej positivt i samma utsträckning vid gödsling med rapsexpeller som vid gödsling med mineralkväve. I detta fall kunde inte de högre sockerhalterna i betorna kompensera för den lägre betskörden och därför blev sockerskörderna lägre vid gödsling med rapsexpeller. En sen giva (i början av augusti) av rapskväve och mineralgödselkväve påverkar betskörden endast i ringa grad. Emellertid försämras betkvalitén av denna sena giva av mineralgödsel, vilket gör så att sockerskörderna blir högst då den sena kvävegivan kommer från rapsexpeller. Det bör även påpekas att skillnaderna i avkastning var tydliga mellan olika odlingslokaler och mellan olika år. Efterföljande grödas avkastning påverkades positivt endast om givorna av rapsexpeller var mycket stora (motsvarande 225 kg kväve per hektar).

Kväve i rapsexpeller mineraliseras alltför långsamt för att tillgodose höstrapsens stora kvävebehov på våren (Fridefors, 1991). Det finns istället risk för kväveutlakning om kväve mineraliseras efter att denna gröda slutat ta upp kväve. Höstraps tar upp det mesta av sitt kväve under 5-6 veckor ungefär vid rosettstadiet på våren. Rapsexpeller passar därför inte som gödselmedel till höstraps. Fosfor och kalium i rapsexpeller skulle däremot fungera som gödselmedel till höstraps. Rapsplanter tar upp fosfor långsamt, och kan väl utnyttja fosfor i marken som blivit kvar efter föregående grödor.

Trots rapsexpellerens långsamma mineralisering kan man inte räkna med någon kvarvarande kväveeffekt till efterföljande års gröda vid realistiska kvävegivor (Kücke, 1993). Det kväve som ges med rapsexpeller som gödselmedel måste alltså tas upp av innevarande års grödor. Detta kväve blir, rätt använt, tillgängligt för växterna i samma utsträckning som ureakväve.

Mineraliseringen av kvävet i ett organiskt gödselmedel som rapsexpeller är beroende av rätt temperatur- och fuktighetsförhållanden i marken och kan försenas vid olämplig väderlek (Kücke, 1993). Detta medför att rapsexpeller måste betraktas som ett mindre pålitligt gödselmedel, speciellt vid sena givor i intensiva odlingsystem.

Den långsamma mineraliseringen av kväve från rapsexpeller vid användning som gödselmedel, medför att kväve kan tillföras i den takt som växterna kan ta upp det. Detta medför att kväveutlakningen från marken till yt- och grundvatten kan minska (Fridefors, 1991). Detta kan göra rapsexpeller till ett intressant gödselmedel ur miljösynpunkt. Lägre nitrathalter är även intressanta ur hälsosynpunkt, då dessa ej bör vara för höga i dricksvatten. Rapsexpeller kan då bli ett intressant gödselmedel i områden där kväveläckage hotar dricksvattenkvalitén.

Gödslingen med rapsexpeller blir mest effektiv om denna brukas in i jorden innan den efterföljande grödan sås (Kücke, 1993).

Rötning av rapsexpeller bedöms inte i någon större utsträckning påverka växtnäringssinnehållet i denna (Fridefors, 1991). Växtnäringen i rötad (fermenterad) rapsexpeller eller rapsmjöl kan dock förväntas bli lättare tillgänglig för växterna (se kapitel 10.3). Detsamma kan antas gälla om rapsexpeller eller rapsmjöl komposterar före spridning.

Vid användning av rapsexpeller som gödselmedel går det inte att få ut något mervärde för den restolja som finns kvar i dessa p.g.a. att oljan inte innehåller några växtnäringssämnen (kväve, fosfor, kalium etc.). Denna olja får därför ett värde lika med noll vid denna användning. Detta medför att främst rapsmjöl där oljan extraherats ut är ekonomiskt intressant som gödselmedel beroende på dess låga restoljehalt.

Rapsexpeller kan ha en fytotoxisk verkan, dvs. hämma groningen och tillväxt hos andra kulturväxter (Fridefors, 1991), jämför kapitel 11.1.1 nedan. Detta gör att rapsexpeller bör användas som gödselmedel med viss försiktighet. Den växthämmande effekten hos raps beror troligen på flyktiga nedbrytningsprodukter av glukosinolater t.ex. isotiocyanater, nitriler och tiocyanater. Detta tyder på att riskerna borde vara mindre med dubbellåg raps. Rapporter finns om att nerbrukning av stora mängder rapsskörderester kan reducera strållängden, torrvikten, rotutvecklingen och avkastningen hos ett flertal grödor. Korn, havre och vårvete har varit mest känsliga medan höstvete klarat sig bättre. Skillnaderna är signifikanta mellan olika arter och sorter vad gäller den toxiska verkan. Troligtvis har huvudsakligen enkellåg raps används i de försök som gjorts. Den fytotoxiska verkan har varit störst då växtresterna nyligen tillförts under nedbrytningens inledningsskede. Sannolikt försvinner eller minskar de fytotoxiska effekterna om rapsexpeller eller rapsmjölet rötas eller komposterar före spridning.

## 9.2 Glycerin som gödselmedel

Rent glycerin innehåller inga växtnäringssämnen såsom kväve, fosfor eller kalium då det är en kolhydrat närbesläktad med socker och alkoholer. Skall glycerinet spridas på åkrar uppblandat med flytgödsel är kaliumhydroxid att föredra som katalysator vid omförestringen eftersom kaliumet då kan bidra med en viss växtnäringseffekt (Norén m.fl., 1993; Bernesson, 2005). Tillsatsen av fosforsyra för neutralisering av kvarvarande kaliumhydroxid i estern ger som reaktionsprodukt kaliumfosfat. Detta salt förekommer därför i små mängder i råglycerinblandningen. Mängden kalium i glycerinfraktionen uppgår till ca 0,6 % (Frykerås, pers, 2007). Om denna kaliumhydroxidkatalysator neutraliserats med fosforsyra vid en fullständig reaktion betyder detta att glycerinfraktionen bör innehålla ca 0,16 % fosfor.

## 10 RÖTNING

### 10.1 Rötning allmänt

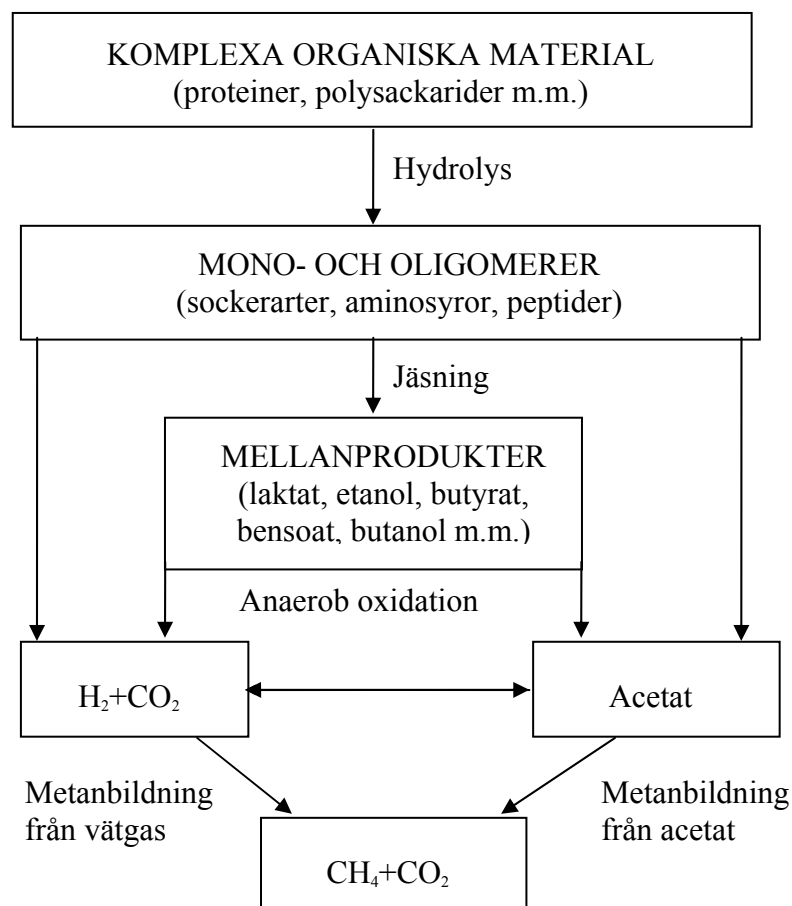
Rapsexpeller, rapsmjöl och glycerin är organiska material som är rötbara. De kan därför användas som källor till produktion av biogas. De kan emellertid behöva rötas tillsammans med annat organiskt material för att processen ska ge önskat resultat.

## 10.2 Rötningsteori

Då produktionen av biogas från rötning av rapsexpeller, rapsmjöl och glycerin beräknats teoretiskt, ges en sammanfattning av teorin bakom rötningen innan resultaten presenteras i kapitel 10.3 och i kapitel 10.4.

### 10.2.1 De olika stegen vid anaerob nedbrytning

Den anaeroba nedbrytningsprocessen brukar delas in i flera steg där det första steget sker med hjälp av hydrolyserande (spjälkande) bakterier (Gujer & Zehnder, 1983). Cellulosa, hemicellulosa, protein och fett bryts därvid ner till sockerarter (oligo- och monosackarider), aminosyror och fettsyror. Nedbrytningen fortsätter sedan genom jäsning, det s.k. syrabildningssteget, till korta organiska syror, alkoholer m.m. Därefter sker en fortsatt nedbrytning till ättiksyra under samtidig bildning av koldioxid och vätgas. I det sista steget bildas metan, dels av vätgas och koldioxid, och dels av ättiksyra, med hjälp av de metanbildande bakterierna, se figur 5. I detta andra steg konsumeras  $\text{H}_3\text{O}^+$ -joner vilket stabiliserar processens pH.



Figur 5. Förenklat schema över de olika nedbrytningsstegen i en anaerob process (Bernesson m.fl., 1999), modifierat och efter Gujer och Zehnder (1983).

Om syrabildningen går fortare än metanbildningen kan processen gå sur. De metanbildande bakterierna blir förgiftade av för lågt pH och metanbildningen upphör. Det är därför viktigt att

jäsningsprocessens olika delsteg är i fas med varandra för att ett lyckat resultat skall uppnås. De organiska fettsyror som bygger upp den vegetabiliska olja som ingår i rapsexpellererna kan få processen att gå sur (få ett för lågt pH). Jämför med förhållandena i våmmen vid utfodring av nötkreatur med stora fettmängder (se kapitel 7.5.1.2).

Främst de metanogena mikroorganismerna är känsliga för pH-förändringar i röt-kammaren (Nyns, 1986; Mathisen, 1993; Bernesson m.fl., 1999). Man har funnit att processen, i det mesofila området, normalt försiggår inom pH-området 6,5-8, och då helst över pH 7. Sjunker pH-värdet vid rötningen tyder detta på att instabila förhållanden råder i röt-kammaren. Börjar pH-värdet att sjunka i röt-kammaren är den åtgärd som ligger närmast till hands att minska eller avbryta beskickningen av färskt material. Kalk kan även tillsättas för att höja pH-värdet och stabilisera processen (Nyns, 1986). Högre pH-värden än 8 kan också inhibera bakterier-nas verksamhet, i synnerhet om pH-höjningen är ett resultat av hög ammoniumhalt.

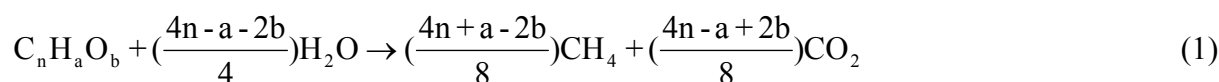
Andra faktorer som kan störa jäsningsförloppet är (Nyns, 1986; Bernesson m.fl., 1999): närvaro av syre (de metanbildande bakterierna är känsliga för syre), de flesta tungmetaller (kationer av t.ex. bly, kadmium, koppar, zink, nickel, m.m.), sulfiter ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{HSO}_3^-$  och  $\text{SO}_3^{2-}$ ), vissa organiska ämnen (t.ex. alkoholer med 5-12 kolatomer, ketoner med 5-8 kolatomer, kloroform, klorfenoler, m.m.) samt vissa typer av antibiotika. Brist på mikronäringsämnen och spårelement (t.ex. järn, koppar, nickel och molybden) kan även verka störande på förloppet. Glukosinolater, garvsyra med flera antinutritionella ämnen i rapsprodukter skulle kunna orsaka problem. Sannolikt är dock koncentrationen av dessa ämnen så låga i praktiken att de inte kommer att orsaka några problem.

Hydrolysen är ofta det hastighetsbestämmande steget i biogasprocessen (Mathisen, 1993; Dalemo m.fl., 1993; Bernesson m.fl., 1999). Så är t.ex. hydrolys av cellulosa och hemicellulosa långsam och beror på molekylstrukturen. Stärkelse och protein är däremot lätta att hydrolysera vilket leder till en snabb bildning av glukos respektive aminosyror. Lignin kan inte hydrolyseras av anaeroba bakterier. Fett slutligen, bryts i regel ner långsamt.

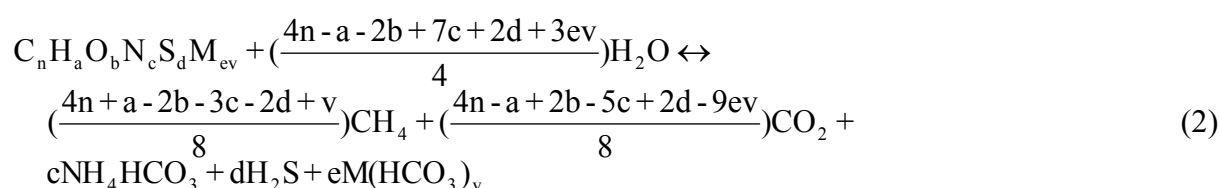
Uppehållstiden i röt-kammaren för en totalomblandad kontinuerlig enstegsprocess anges till 15-20 dygn (Dalemo m.fl., 1993).

### 10.2.2 Reaktionsformler

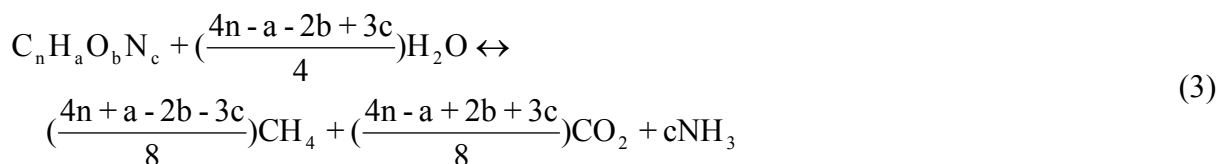
Om sammansättningen hos ett substrat är känd och detta överförs fullständigt till biogas gäller följande formel (Gujer & Zehnder, 1983; Nyns, 1986):



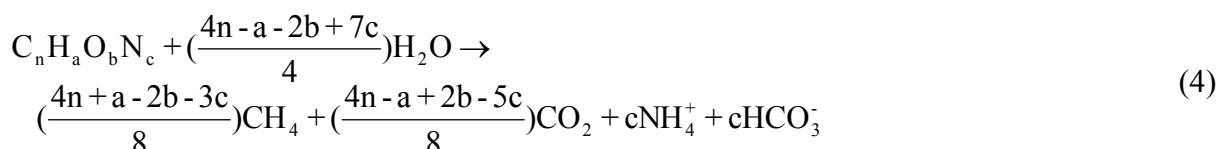
För mer generella tillämpningar gäller (Nyns, 1986):



Eller för kväverika föreningar (Nyns, 1986):



Richards m.fl. (1991) anger en ekvation som tar hänsyn till mängden bildat ammonium och vätekarbonat i vattenlösning:



Skillnaden mellan ekvation 3 och 4 är att i ekvation 4 ingår ytterligare 1 st. vattenmolekyl som reagerar med en av de bildade CO<sub>2</sub>-molekylerna till HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> och med NH<sub>3</sub> till NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

Ekvation 4 ingår som en delmängd i ekvation 2.

Nedbrytningsgraden varierar mycket beroende på typ av substrat. Det verkar finnas en stark koppling mellan substratets ligninhalt och graden av nedbrytning. Chandler m.fl. (1980), Jerger och Tsao (1984), Nyns (1986) och Haug (1993) presenterar följande ekvation för uppskattning av möjlig grad av nedbrytning för ett substrat:

$$B = 0,830 - 0,028 \cdot S_{\text{lignin}} \quad (5)$$

där: B = biologiskt nedbrytbar del av organiskt material (VS = volatile solids),  
S<sub>lignin</sub> = halt lignin, andel (%) av organiskt material (VS).

Ligninhalten är lätt och billig att mäta på laboratoriet (Haug, 1993; Bernesson m.fl., 1999). Ekvation 5 anger att ett substrat som inte innehåller något lignin ska ha en maximal biologisk nedbrytbarhet på 83 %. Orsaken till detta är att nedbrytningen av den organiska delen av substratet är kopplat till produktion av bakteriella biprodukter, av vilka alla inte är helt nedbrytbara. Produktionen av dessa bakteriella biprodukter begränsar den maximala nedbrytningen av den organiska substansen (VS) till en övre gräns vid 80-90 %.

I ekvation 6 definieras nedbrytningsgraden (Haug, 1993):

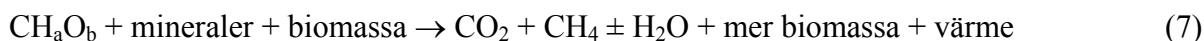
$$k_m = \frac{VS \text{ lost}}{VS \text{ in}} \quad (6)$$



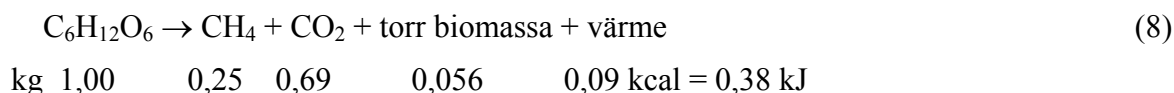
där:  $k_m$  = nedbrytningsgrad,  
 VS lost = nedbruten organisk substans,  
 VS in = ingående organisk substans.

Hur pass väl ett organiskt prov är nedbrutet kan mätas genom att ett COD-test tas på substratet såväl före som efter behandlingen (Haug, 1993). COD (Chemical Oxygen Demand) är ett mått på ekvivalent syrebehov vid fullständig nedbrytning av ett organiskt material då oxiderande kemikalier används. COD är ett mått på det slutliga syrebehovet vid nedbrytningen, då det ej är beroende av det organiska materialets biologiska nedbrytbarhet. COD-testet mäter mängden organisk substans i substratet oberoende om detta är biologiskt nedbrytbart eller ej.

Pirt (1978) har ett något förenklat framställningssätt av nedbrytningen jämfört med Gujer & Zehnder (1983) och Nyns (1986). Pirt (1978) beskriver den anaeroba jäsningen på följande sätt:



Utgår man från anaerob nedbrytning av en kolhydrat föreslår Pirt (1978) följande massflöde och energiutbyte;



Denna ekvation bygger på förenklingen att jäsning av 1 mol glukos ger 2 mol ATP (adenosintrifosfat) och 1 mol ATP ger upphov till bildning av 5 g torr biomassa där koldioxid är den huvudsakliga kolkällan (Pirt, 1978). Vidare har man antagit att molekylärt bildas lika stora mängder av  $\text{CH}_4$  och  $\text{CO}_2$  samt att den torra biomassan består till 50 procent av kol. I den ovan beskrivna anaeroba processen lagras 8 % av ingående, i substratet, lagrad kemisk värme i den nybildade biomassan, 89 % lagras i metangasen och 3 % avges som värme. Ca 5 % av det ingående kolet, i substratet, blir bundet i ny biomassa. Pirts ekvationer går att använda vid sämre kunskap om ingående substrat jämfört med Gujer & Zehnder och Nyns ekvationer.

### 10.2.3 Metangaspotentialer och rötningshastighet

Det organiska materialets sammansättning har stor betydelse för nedbrytningshastigheten liksom för gasutbyte och gassammansättning (Mathisen, 1993; Dalemo m.fl., 1993; Bernesson m.fl., 1999). Från kolhydrat bildas metan och koldioxid i förhållandet 1:1, från fett i förhållandet 7:3 och från protein i förhållandet 4:1. Emellertid kommer metanhalten i biogasen vid t.ex. cellulosarötning i praktisk tillämpning att vara högre än 50 % eftersom en del av den bildade koldioxiden löser sig i processvattnet.

Utifrån ekvation 1 och 2 ovan har Wheatley (1979) och Hawkes (1979) beräknat metangaspotentialen från några vanliga organiska substanser. I tabell 12 nedan anges resultatet av dessa beräkningar.

Tabell 12. Teoretisk potential och sammansättning hos biogas erhållen från några huvudklasser av organiskt material (Wheatley, 1979; Hawkes, 1979; Hagelberg m.fl., 1988; Bernesson m.fl., 1999)

Organisk substans	Sammansättning på viktbas		Potential, volym per kg torrt material, m <sup>3</sup>		Andel CH <sub>4</sub> på volymbas, %
	% CO <sub>2</sub>	% CH <sub>4</sub>	Biogas	CH <sub>4</sub>	
Kolhydrat <sup>a</sup>	74	27	0,75	0,37	50
Fett <sup>a</sup>	52	48	1,44	1,04	72
Protein <sup>a</sup>	73	27	0,98	0,49	50
Kolhydrat (C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>n</sub> <sup>b</sup>			0,886 <sup>c</sup>		50
Fett (C <sub>50</sub> H <sub>90</sub> O <sub>6</sub> ) <sup>b</sup>			1,535 <sup>c</sup>		70
Protein 6C·2NH <sub>3</sub> ·3H <sub>2</sub> O <sup>b</sup>			0,587 <sup>c</sup>		84
Kolhydrat <sup>d</sup>				0,42	
Fett <sup>d</sup>				0,96	
Protein <sup>d</sup>				0,51	

<sup>a</sup> Källa: Wheatley (1979) även i Hansson (1981).

<sup>b</sup> Källa: Hawkes (1979).

<sup>c</sup> Potential, volym per kg torrt material m<sup>3</sup> biogas, gäller här per kg nedbruten VS.

<sup>d</sup> Källa: Hagelberg m.fl. (1988).

Skillnaderna i tabell 12, i procent, vad gäller andel CH<sub>4</sub> i biogasen mellan viktbas och volymbas beror på densitetsskillnaden mellan CO<sub>2</sub> och CH<sub>4</sub>. Vid 0°C och 1 bars tryck är densiteten för CO<sub>2</sub> 1,95 kg/m<sup>3</sup> och för CH<sub>4</sub> 0,71 kg/m<sup>3</sup> (Mörtstedt & Hellsten, 1982).

Verougstraete m.fl. (1985) anger att biogaspotentialen, vid fullständig nedbrytning av organiskt material, vid rötning är 0,40-0,63 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg VS. Nedbrytbarheten har funnits vara: 50 % för nötflytgödsel, 30-80 % för svinflytgödsel och 40 % för stallgödsel, vilket ger följande metangaspotentialer: 0,25 m<sup>3</sup>/kg VS (8,8 MJ/kg VS) för nötflytgödsel, 0,40 m<sup>3</sup>/kg VS (14 MJ/kg VS) för svinflytgödsel och 0,21 m<sup>3</sup>/kg VS (7,4 MJ/kg VS) för stallgödsel. Det effektiva värmevärdet för metan är 35,33 MJ/Nm<sup>3</sup> (Mörtstedt & Hellsten, 1982).

Thyselius (1982), Nyns (1986) och Mathisen (1993) anger att en termofil (50-65°C) process går 1,5-2 gånger fortare än en mesofil (20-40°C) (1,5 gånger fortare än en mesofil (30-37°C) process vid anaerob nedbrytning (Nyns, 1986)). Mellan 20 och 30°C går inte bara den anaeroba processen långsammare utan även metanutbytet blir sämre. Thyselius (1982), Nyns (1986) och Pauss m.fl. (1987) anger vidare att en C/N-kvot på 16-19 är optimal vid denna typ av process. Hawkes (1979) anger att en C/N-kvot på 20-30 är optimal, och rötning är möjlig upp till en C/N-kvot på 45. Vidare anger Nyns (1986) att CH<sub>4</sub> i den bildade biogasen normalt innehåller över 60 % av den fria energin i det nedbrutna substratet. Med gräs har upp till 80 procents nedbrytning erhållits i en kontinuerlig totalomblandad anaerob rötkammare (Nyns, 1986).

Utbytet av biogas, och därmed nedbrytningsgraden, blir ofta bättre då flera olika substrat rötas ihop jämfört med om de rötas var för sig (Mladenovska m.fl., 2003).

Det är rimligt att 70-80 % av energimängden i substratet kan bli till biogas (Edström, pers, 2007). Vid korta uppehållstider blir nedbrytningsgraden lägre. En rimlig uppehållstid vid mesofil rötning av gödsel är 20 dygn. Orsaker till att inte 100 % nedbrytningsgrad kan erhållas är att allt material ej bryts ner, t.ex. i en totalomblandad process matas en del material ut ej nedbrutet samma dag som det matades in, och att vissa material såsom lignin och hemicellulosa är svåra att bryta ner. Energirikt avfall som t.ex. grödor, matavfall och slaktavfall behöver ofta

längre uppehållstid i röt-kammaren än gödsel. Rapsexpeller och glycerin bör betraktas som energirikt avfall.

#### 10.2.4 Biogasens sammansättning och energiinnehåll

Biogasens huvudbeståndsdelar är metan (CH<sub>4</sub>) och koldioxid (CO<sub>2</sub>), dessutom varierande mängder av bl.a. svavelväte, se tabell 13 (Wheatley, 1979; Thyselius, 1982; Nyns, 1986; Pauss m.fl., 1987; Bernesson m.fl., 1999; Edström, pers, 2007). Halterna av metan och koldioxid kan variera beroende på en rad faktorer, t.ex. sammansättningen av jäsningmaterialet, utröttningsgraden, torrsustanshalten och rötningstemperaturen. Lätt jäsbara ämnen, t.ex. kolhydrater, ger högre halter av koldioxid än mer komplexa föreningar, t.ex. fetter (Wheatley, 1979). Är substratets torrsustanshalt låg ökar andelen koldioxid som löses i vätskan vilket resulterar i högre metanhalter i biogasen och lägre koldioxidhalter än vad som beräknats teoretiskt. Metan (CH<sub>4</sub>) har 16 gånger mindre löslighet i vatten på volymbas (43 gånger mindre på viktbas) än koldioxid (CO<sub>2</sub>) vid 35°C och atmosfärstryck (1 bar), (Pauss m.fl., 1987). Biogasens metanhalt är i regel lägre vid rötning vid termofil temperatur (60°C) än vid rötning vid mesofil temperatur (37°C) (Thyselius, 1982).

Tabell 13. Biogasens sammansättning (Wheatley, 1979; Thyselius, 1982; Nyns, 1986; Pauss m.fl., 1987; Bernesson m.fl., 1999)

Beståndsdel		Volymprocent
CH <sub>4</sub>	Metan	50-80
CO <sub>2</sub>	Koldioxid	15-50
H <sub>2</sub>	Vätgas <sup>a</sup>	0,0-10
H <sub>2</sub> O	Vattenånga <sup>b</sup>	ca 5
H <sub>2</sub> S	Svavelväte	0,05-2

<sup>a</sup> Källa: endast Wheatley (1979).

<sup>b</sup> Källa: endast Pauss m.fl. (1987).

Metangasen utgör biogasens energirika och brännbara beståndsdel. Dess effektiva värmevärde är 35,3 MJ/Nm<sup>3</sup> (9,8 kWh/Nm<sup>3</sup>, 50,0 MJ/kg) (Mörtstedt & Hellsten, 1982; Thyselius, 1982). Eftersom metanhalten varierar i biogasen kommer dess värmevärde att variera i motsvarande grad. Gasens energitäthet påverkas också av gastemperaturen enligt de fysikaliska lagarna.

Biogas producerad från de flesta grödor innehåller 50-60 % metan (Jewell m.fl., 1992; Bernesson m.fl., 1999). Ska biogasen användas som fordonsbränsle kan den uppgraderas till 97-99 % metan med flera olika tekniker t.ex.: PSA (Pressure Swing Adsorption); absorption med vatten; absorption med Selexol; absorption med kemisk reaktion; membranseparation; kryoprocesser; eller processintern metananrikning (Persson, 2003; Nordberg m.fl., 2005).

### 10.3 Rötning av rapsexpeller

På grund av de fytotoxiska effekter från rapsmjöl och rapsexpeller som redovisas i kapitel 9.1 bör man blanda in detta/dessa med viss försiktighet i substrat som ska rötas. Det kan finnas en risk att de metanogena mikroorganismerna påverkas negativt. Denna risk bör minska ju lägre halten av glukosinolater i rapsmjölet eller rapsexpellererna är. Detta problem diskuteras inte i den litteratur som funnits tillgänglig.

Rötning av gödsel ihop med fetter har lett till ett större biogasutbyte, samt att materialet blivit mer utrötat, jämfört vid rötning av enbart gödsel (Mladenovska m.fl., 2003). Detta kan tyda på möjligheter att nå ökat gasutbyte och bättre utrötning vid rötning av rapsexpeller (med ett fettinnehåll på 10-20 %) tillsammans med t.ex. gödsel. Vid rötning kan en stor andel olja i ingående material leda till att processen går sur. Detta kan ske om syrabildningen, dvs. nedbrytningen av fetterna, går snabbare än metanbildningen (Gujer & Zehnder, 1983).

Vid rötning av kväverika substrat, som rapsexpeller och rapsmjöl, bör man se upp så att halten ammoniumkväve ej överstiger 4 g per kg vått slam, då detta medför risker för störningar i processen (Edström, pers, 2007). Av den totala mängden kväve i rötkammaren är det vanligt att 40-60 % utgör ammoniumkväve efter rötningen. Om halten ammoniumkväve blir för hög måste spädning ske med kvävefattigt substrat eller med vatten.

Proteinrika substrat som rapsexpeller tar längre tid att bryta ner i biogasprocessen än kolhydratrika substrat (Edström, pers, 2007). Det är skillnad mellan olika typer av kolhydrater hur väl och snabbt de bryts ner. Fett bryts ofta ner fullständigt. Lignin och hemicellulosa, från framförallt rapsfrönas skal, kan bli svårt att bryta ner i biogasprocessen.

Rötning av rapsexpeller och rapsmjöl bedöms inte i någon större utsträckning påverka växt-näringsinnehållet i dessa (Fridefors, 1991). Emellertid så blir sannolikt växtnäringen i rötat/rötade (fermenterat/-ade) rapsmjöl eller rapsexpeller mera växttillgänglig jämfört med om detta/dessa inte hade rötats.

### 10.3.1 Beräknade gasutbyten vid rötning av rapsexpeller och rapsmjöl

Beräkningar av gasutbytet utifrån rapsexpellerernas och rapsmjölets sammansättning redovisas i tabell 14. Data från Hagelberg m.fl. (1988) ligger till grund för beräkningarna (se tabell 12). Vid beräkningar av gasutbytet har två olika alternativ studerats, ett med 80 %:s gasutbyte, och ett med 60 %:s gasutbyte. Som synes så minskar mängden erhållen gas från rapsexpellererna och rapsmjölet ju mer olja som utvinns från fröet. De ekonomiska konsekvenserna av detta redovisas i kapitel 12.2.1.

Tabell 14. Potential för produktion av biogas från rapsexpeller, volym CH<sub>4</sub>/kg torrt material (m<sup>3</sup>)

Beståndsdel	Frö	Rapsexpeller, andel olja urpressad			Rapsmjöl
		60 %	70 %	75 %	
Kolhydrat	0,11	0,16	0,17	0,17	0,20
Fett	0,43	0,24	0,19	0,16	0,04
Protein	0,12	0,16	0,17	0,18	0,20
Summa	0,66	0,55	0,53	0,51	0,45
Summa (kg)	0,47	0,39	0,37	0,36	0,32
Effektivt värmevärde (MJ)	23,4	19,5	18,6	18,1	15,8
Om 80 % utbyte antas					
Summa (kg)	0,38	0,31	0,30	0,29	0,25
Effektivt värmevärde (MJ)	18,7	15,6	14,9	14,5	12,7
Om 60 % utbyte antas					
Summa (kg)	0,28	0,24	0,22	0,22	0,19
Effektivt värmevärde (MJ)	14,0	11,7	11,1	10,8	9,5

## 10.4 Rötning av glycerin

Tillsats av glycerin till en blandning av svingödsel och majs har medfört att utbytet av biogas ökat (se tabell 15) (Amon m.fl., 2006).

Tabell 15. Gasutbyte vid tillsats av glycerin till en blandning av svingödsel och majs (Amon m.fl., 2004; 2006)

Substrat	Specifikt CH <sub>4</sub> -utbyte (m <sup>3</sup> /kg organisk substans)	Ökning i förhållande till basblandningen (%)
Basblandning (B) <sup>a</sup>	0,335	-
B + 15 % glycerin	0,400	19
B + 10 % glycerin	0,431	29
B + 8 % glycerin	0,365	9
B + 6 % glycerin	0,439	31
B + 3 % glycerin	0,411	23
B + 6 % glycerin + 10 % rapsmjöl	0,432	29

<sup>a</sup> Basblandning (B) = 31 % majsensilage, 15 % majsorn och 54 % svingödsel. Svingödseln innehåller 4,22 % torrs substans, som i sin tur innehåller 4,12 % råprotein; 2,27 % råfett; 10,72 % råfiber och 45,67 % kvävefria extraktionsämnen. Rötningen gjordes mesofilt vid 38-40°C.

Som synes ger en tillsats av 6 % glycerin till blandningen av svingödsel och majsensilage det bästa gasutbytet (se tabell 15). Även tillsats av 3 % glycerin ger ett bra gasutbyte liksom tillsatsen av 6 % glycerin och 10 % rapsmjöl. 100 % glycerin beräknades, med de givna förutsättningarna, kunna ge ett metangasutbyte på 0,750 m<sup>3</sup> per kg organisk substans. Detta motsvarar 532 g metangas per kg glycerin, alltså 175 % av det utifrån de kemiska reaktionsformlerna möjliga utbytet (se nedan kapitel 10.4.1).

Då 15 % glycerin sattes till basblandningen blev koncentrationerna av ättiksyra (15 ggr förhöjning) och propionsyra (70 ggr förhöjning) kraftigt förhöjda i substratet (Amon m.fl., 2004; Kryvoruchko m.fl., 2004). Även vid tillsats av 8 % och 10 % glycerin blev koncentrationen av ättiksyra förhöjd (1,5 ggr respektive 3,5 ggr). Koncentrationen av propionsyra ökade ca 6 gånger vid inblandning av 10 % glycerin.

Slutsatserna från försöket var att glycerin befanns kunna öka metangasutbytet vid anaerob rötning av substrat med högt innehåll av protein (Amon m.fl., 2006). För att processen ska förbli stabil bör inte den tillförda mängden glycerin överstiga 6 % av mängden substrat. Det är sannolikt viktigt att här tänka på kol/kväve-kvoten i den totala mängden substrat. Detta diskuterades inte i artikeln. Hartenbower m.fl. (2006) anger att glycerin kan användas som kol-källa i biogasprocesser.

Flera källor (Hartenbower m.fl., 2006; Journey to Forever, 2007; Scandinavian biogas, 2007) diskuterar möjligheten att röta glycerin anaerobt men ger inga direkta data. Flera lantbrukare som omförestrar rapsolja lämnar glycerinet till rötning i någon biogasanläggning (Pettersson, pers, 2007; Lagerfelt, pers, 2007; Lindman, 2007). Vid Svensk Biogas i Linköping AB har man rötat glycerin med framgång (Ahlbert, pers, 2007). Vid tillförseln till röt-kammaren låter man kol/kväve-kvoten bestämma hur mycket som kan blandas in. Biogas från glycerin i befintliga biogasanläggningar kan ses som ett merutnyttjande av dessa (Eilertsson, pers, 2007). Detta kan innebära att detta substrat ej behöver vara med och täcka alla kostnader för biogasanläggningen och därmed får ett högre ekonomiskt värde (se ekonomiska beräkningar kapitel 12.2.2, och tabellerna 24, 25 och 26).

#### **10.4.1 Beräknade gasutbyten vid rötning av glycerin**

Beräkningar av gasutbytet utifrån glycerinets kemiska formel enligt ekvation 1 visar på ett teoretiskt gasutbyte på 305 g metangas (effektivt värmevärde: 15,2 MJ) från 1 kg glycerin. Blir gasutbytet 80 % vid rötning i praktiken skulle 244 g metangas (effektivt värmevärde: 12,1 MJ) kunna erhållas, vilket inte är otroligt. Skulle gasutbytet bara bli 60 % skulle 183 g metangas (effektivt värmevärde: 9,1 MJ) kunna erhållas. Högre uppmätta gasutbyten än 100 % skulle kunna erhållas i de fall där glycerinets stimulerar till en ökad gasproduktion från det substrat med vilket det samrötas. Den metangasproduktion som då sker utöver det teoretiska gasutbytet har då annat ursprung än glycerinets (se ovan för ett exempel i början av det här kapitlet: 10.4). Ekonomin vid rötning av glycerin redovisas i kapitel 12.2.2, nedan.

## **11 ANDRA ANVÄNDNINGSSOMRÅDEN FÖR RAPSBIPRODUKTERNA**

### **11.1 Rapsexpeller och rapsmjöl**

#### **11.1.1 Möjlig användning mot ogräs och insekter m.m.**

Glukosinolaterna i rapsexpeller och rapsmjöl frigör, då de/det bryts ner i marken, ämnen såsom t.ex. isotiocyanater som har en grönings och tillväxthämmande effekt på andra växter (Fridefors, 1991). Rapsexpeller kan således ge en viss herbicidverkan. Vid försök med 1000 kg vitsenapsmjöl per hektar har man fått en tydlig effekt mot ettåriga ogräsarter. Småfröiga arter som t.ex. lomme, rödplister och korsört har varit mer känsliga än storfröiga arter med en tusenkorntvikt över 0,5 g. Vid nedmyllning ökade bekämpningseffekten, jämfört mot om mjölet fick ligga kvar på ytan, särskilt då mot storfröiga arter som kan gro på större djup. Det bör här dock påpekas att vitsenapsfrö innehåller betydligt mer glukosinolater än dubbellågt rapsfrö.

Isotiocyanat som är en nedbrytningsprodukt från glukosinolater har upptäckts locka till sig rovinsekter som kortvingen *Aleochara bipustulata* som lever av kålflugelarver, i kålodlingar, i försök med vitsenapsmjöl (Fridefors, 1991). På så sätt är det möjligt att åtminstone enkellägt rapsmjöl kan fungera som biologisk bekämpning av kålflugelarver i kålodlingar. I de försök som genomförts applicerades 1-2 ton vitsenapsmjöl per hektar i samband med planteringen av kålplantorna. Det finns rapporter om att rapsmjöl haft effekt mot nematoder i jorden.

Mer udda användningsområden för pressresterna kan vara råvara till papper, bioplaster, beläggningar (överdrag), lim eller emulgeringsmedel (Antonini m.fl., 1999).

### **11.2 Glycerinet**

#### **11.2.1 Råvara till vätgas och Fischer-Tropsch-bränsle**

Glycerinet är en vätgasrik molekyl och kan därför användas som råvara vid utvinning av vätgas. Virent Energy Systems Inc (2004) har utvecklat en process för reformering av glycerin blandat med vatten till vätgas enligt följande reaktionsformel (9):



Andra syrehaltiga kolväten som glukos, sorbitol och etylenglykol går även bra att använda som råvara i processen. Reformeringen sker över en katalysator vid temperaturer på 200-250°C och tryck på 16-40 bar. Råvaran (här glycerin) behöver alltså inte förgasas innan reformeringen. Råglycerin från omförestningen kan blandas med vatten (glycerin är lösligt i

vatten och vice versa) och matas in i processen. Ut kommer koldioxid och vätgas. Koldioxiden och vätgasen kan skiljas åt med hjälp av PSA (Pressure Swing Adsorption). Processvärme kan erhållas från de vätgasförluster (normalt 10-20 %) som sker från PSA:n och de alkaner som erhålles i processen. Man blir på så sätt självförsörjande med processvärme. Vätgasen kan användas som bränsle i t.ex. bränsleceller eller som råvara för tillverkning av metanol. Vid produktion av metanol kan även koldioxiden förutom vätgasen komma till användning, då dessa reagerar enligt ekvation 10 över en koppar- och zinkkatalysator:



Glycerin är möjligt att använda som råvara för tillverkning av kemikalier och bränslen då denna först omvandlas till en syntesgas (blandning av  $\text{H}_2$  och  $\text{CO}$ ) över en platinabaserad katalysator vid 498-600 K (225-327°C) (Soares m.fl., 2006). Fördelen med glycerinet gentemot andra biomassor är att detta redan innehåller syret, som därför inte måste tillföras processen som ren syrgas (se ekvation 10). Detta gör att processen kan förenklas och därmed låta sig ske med god ekonomi även i mer småskaliga anläggningar. Slutprodukten kan vara metanol, lätta alkaner ( $\text{C}_1$ - $\text{C}_6$ ), etanol,  $\text{C}_7$ - $\text{C}_{15}$  alkaner eller syntes gas. Glycerin kan överföras till syntesgas enligt ekvation 11:



Överförs syntesgasen sedan vidare till oktan med Fischer-Tropsch – process blir den totala reaktionsformeln enligt ekvation 12:



Glycerinet kan med en enkel process omvandlas till propylenglykol (Neu, 2005; Hillgrub, 2006). Propylenglykol kan användas som frysskyddsvätska i bl.a. bilar. Propylenglykol är inte giftig till skillnad mot den frysskyddsvätska, etylenglykol, som idag ofta används i fordon. Propylenglykolen har dessutom bättre miljöegenskaper vid spill. Då priset idag är ganska högt för propylenglykol, finns en möjlighet att sänka produktionskostnaden för biodieseln med 0,74 SEK/liter (om 1 dollar = 7 SEK), om propylenglykol kan säljas istället för glycerin med ett lågt pris (Neu, 2005).

### 11.2.2 Råvara till sprängmedel

Nitreras glycerin får man det mycket explosiva ämnet nitroglycerin (Journey to Forever, 2007). Detta ämne är emellertid så explosivt att det är mycket svårt att hantera. Alfred Nobel kom på att nitroglycerin blandat med (uppsuget av) kiselgur var stabilt men fortfarande möjligt att använda som sprängmedel. Han kallade detta dynamit. Nitroglycerin används även som hjärtmedicin då det är kärlutvidgande och därmed lindrar kärlkramp (Journey to Forever, 2007).

## 12 KOSTNADSBERÄKNINGAR

### 12.1 Förutsättningar

Värdet hos rapsexpeller och glycerin vid olika användningar och urpressningsgrader har beräknats utifrån marknadsvärdet hos sojaprotein, energi i foder, värmevärde i flis till värmeverk och konstgödsel. Värdet har även beräknats utifrån såld el och såld värme från en biogasanläggning. För att man även ska få en uppfattning av fröets värde vid de olika använd-

ningsområdena har värdet av den rapsexpeller och rapsolja som utvunnits från ett kilogram frö beräknats.

I känslighetsanalyser studeras hur värdet hos rapsexpellererna och glycerinet påverkas av att marknadspriserna för sojaprotein, energi i foder, värmevärde i flis till värmeverk och konstgödsel varierar liksom att priserna för såld värme och el från biogasanläggningar varierar. Värdet av den utvunna oljan har till samtliga användningar antagits vara 6,00 SEK/kg, vilket var världsmarknadspriset på rapsolja hemtransporterad från Hamburg i augusti 2007 då hemtransporten därifrån antagits kosta ca 300 SEK/ton (Herland, pers, 2007). I känslighetsanalyser visas vad som händer om oljepriset skulle sjunka till 5,00 SEK/kg eller öka till 7,00 SEK/kg.

### ***12.1.1 Förutsättningar, användning som foder***

De ekonomiska värdena hos rapsexpeller och rapsmjöl som foder till idisslare och hästar har beräknats utifrån sojamjölets ekonomiska värde och innehåll av råprotein. Till grisar och fjäderfä har dessa ekonomiska värden, istället för från innehållet av råprotein i sojamjölet, beräknats utifrån dess innehåll av aminosyran lysin. Värdet på sojamjöl i Karlshamn var den 19 september 2007, 2450 SEK/ton (Ericsson, pers, 2007). Detta är en kraftig uppgång sedan i augusti 2007 då sojamjöl på världsmarknaden i Hamburg var värt 211 €/ton vilket ger ett pris på 2191 SEK/ton efter hemtransport för 250 SEK/ton (Herland, pers, 2007) (1 € = 9,2 SEK (Riksbanken, 2007)). Effekterna av om priset på sojamjöl skulle sjunka tillbaka till nivån för augusti 2007 studeras i känslighetsanalyserna (se tabellerna 18 och 21).

Till idisslare och hästar har sojamjölet antagits ha en vattenhalt på 13,0 % och ett råproteininnehåll på 51,0 % av torrsubstansen (Spörndly, 2003). Till idisslare har värdet hos den olja (det fett) som ingår i rapsmjölet och rapsexpelleren, utöver den fetthalt som ingår i sojamjölet (1,0 %), beräknats under antagande att den omsättbara energin i rapsfettet (31,5 MJ/kg TS (Spörndly, 2003)) haft lika stort värde som omsättbar energi i korn (13,2 MJ/kg TS (Spörndly, 2003); värde korn 2250 SEK/ton (Ericsson, pers, 2007); vattenhalt korn 13,0 % (Spörndly, 2003); ger ett kornpris på 2586 SEK/ton TS). Till hästar är den omsättbara energin hos korn 11,0 MJ/kg (12,6 MJ/kg TS om kornets vattenhalt är 13,0 %) och hos fett (rapsolja) 31,3 MJ/kg TS (Jansson, 2004).

Vid beräkningarna har råproteinhalten i rapsfrö antagits vara 23 % av torrsubstansen (Norén m.fl., 1994), och för expeller med olika utvinningsgrad och för rapsmjöl har råproteinhalten beräknats utifrån detta värde (se tabell 1). Till nötkreatur (idisslare) antogs 85 % av råprotein i rapsprodukter vara smältbart (Spörndly, 2003). Till hästar antogs, i beräkningarna, smältbarheten för råprotein från rapsprodukter vara densamma som för idisslare då den enligt uppgifter i Jansson (2004) befanns ligga nära den för nötkreatur.

Den smältbara mängden råprotein i sojamjöl har antagits vara 469 g/kg TS till nötkreatur (Spörndly, 2003) och 448 g/kg TS till hästar (Jansson, 2004) (Janssons värden bygger på data från Spörndly som anpassats till hästar). Utifrån dessa värden och det ekonomiska värdet hos sojamjöl har det ekonomiska värdet hos det smältbara råprotein i rapsprodukterna kunnat beräknas.

Rapsprodukternas totala värde har sedan erhållits genom att det värde som härrör från råprotein har adderats med det värde som härrör från rapsfettets omsättbara energi.

Till grisar och fjäderfä har sojamjölet antagits ha en vattenhalt på 13,0 % och ett råproteininnehåll på 51,0 % av torrsubstansen (Spörndly, 2003). Lysinhalten har antagits vara 6,1 % av råproteinhalten (Simonsson, 2006) och då blir innehållet av lysin 31,1 g/kg TS.



Till grisar har värdet hos den olja (det fett) som ingår i rapsmjölet och rapsexpelleren, utöver den fetthalt som ingår i sojamjölet (1,0 %) (Spörndly, 2003), beräknats under antagande att den omsättbara energin i rapsfettet (34,0 MJ/kg TS (Simonsson, 2006)) haft lika stort värde som omsättbar energi i korn (14,3 MJ/kg TS (Simonsson, 2006); värde korn 2250 SEK/ton (Ericsson, pers, 2007); vattenhalt korn 13,0 % (Spörndly, 2003; Simonsson, 2006); ger ett kornpris på 2586 SEK/ton TS).

Till fjäderfä har värdet hos den olja (det fett) som ingår i rapsmjölet och rapsexpelleren, utöver den fetthalt som ingår i sojamjölet (1,0 %) (Spörndly, 2003), beräknats under antagande att den omsättbara energin i rapsfettet (36,4 MJ/kg TS (Livsmedelssverige, 2007)) haft lika stort värde som omsättbar energi i korn (13,6 MJ/kg TS (Livsmedelssverige, 2007); värde korn 2250 SEK/ton (Ericsson, pers, 2007); vattenhalt korn 13,0 % (Spörndly, 2003; Livsmedelssverige, 2007); ger ett kornpris på 2586 SEK/ton TS).

Till grisar och fjäderfä har råproteinhalten i rapsfrö antagits vara 23 % av torrsubstansen (Norrén m.fl., 1994) med en lysinhalt på 5,5 % av råproteinhalten (Simonsson, 2006). För expeller med olika utvinningsgrad och för rapsmjöl har lysinhalten beräknats utifrån dessa värden (se tabell 1). Värdet hos rapsexpeller (med olika utvinningsgrad), rapsmjöl och rapsfrö (se tabell 16) som beror på dess innehåll av lysin jämfört med innehållet av lysin i sojamjöl har sedan beräknats under antagande om att lysin i rapsprodukter har samma ekonomiska värde som lysin i sojamjöl. För rapsprodukterna tillkommer sedan ett ekonomiskt värde som härrör från den del av dess innehåll av fett som överstiger fettinnehållet i sojamjöl (se beskrivning av beräkningar ovan).

Värdet hos glycerin vid användning som foderändamål (tabell 24) har beräknats utifrån dess omsättbara energi i förhållande till den omsättbara energin i korn till respektive djurslag. Den omsättbara energin för glycerin är vid utfodring av: idisslare 15,1 MJ/kg TS om man antar att den omsättbara energin är i nivå med kolhydrater, typ disackarider i Spörndly (2003); hästar ingen uppgift; grisar 15,2 MJ/kg TS om man antar att den omsättbara energin är i nivå vad som anges av Lammers m.fl. (2007a), Lammers m.fl. (2007c) och van Heugten (2007); fjäderfä 14,8 MJ/kg TS om man antar att den omsättbara energin är i nivå vad som anges av Cerate m.fl. (2006) och Waldroup (2007). De omsättbara energierna i korn, för respektive djurslag, anges ovan i samband med beskrivningarna hur värdet av ingående fett i rapsexpeller och rapsmjöl beräknades för respektive djurslag (beräknades på samma sätt som glycerinets värde). Kornets ekonomiska värde har antagits vara detsamma som vid beräkningarna av rapsexpellerens och rapsmjölets värde (se ovan).

### **12.1.2 Förutsättningar som bränsle**

Vid användning av rapsexpeller och rapsmjöl som bränsle har antagits att dessa bränslen eldas i pannor där den avgivna värmen har ett värde som är jämförbart med den vid eldning med andra bränslen såsom t.ex. träflis. Under 1:a kvartalet 2007 betalades skogsflis till värmeverk med 153 SEK/MWh fritt förbrukare i löpande priser exklusive skatt (STEM, 2007a). Om detta pris även antas gälla för rapsexpeller och rapsmjöl blir värdena av dessa produkter de som anges i tabell 16. Det effektiva (undre) värmevärdet för fettfri substans i rapsexpeller och rapsmjöl är 17,3 MJ/kg TS (4,79 kWh/kg TS) och det effektiva värmevärdet för rapsoljan som rapsexpelleren och rapsmjölet innehåller är 38,3 MJ/kg (10,6 kWh/kg) (Bernesson, 2004a). Multiplikation av andelen av respektive substans med dess värmevärde följt av addition av ingående substansers värmemängd ger det totala värmevärdet. Det ekonomiska värdet hos glycerin kan beräknas på samma sätt som för rapsexpeller och rapsmjöl, utifrån värdet på skogsflis. I beräkningarna har ett effektivt värmevärde på 17,1 MJ/kg (4,75 kWh/kg)

(Kaltschmitt & Reinhardt, 1997) använts för glycerinet. Resultaten anges i tabell 24. I känslighetsanalyser studeras vad som skulle hända med värdet hos rapsexpeller, rapsmjöl och glycerin om priset på skogsflis skulle öka med 20 % (tabell 17 och tabell 25) eller minska med 20 % (tabell 18 och tabell 26).

### ***12.1.3 Förutsättningar som gödselmedel***

Vid beräkning av värdet hos rapsexpeller och rapsmjöl vid användning som gödselmedel har gödselämnenas värde beräknats utifrån värdet hos konstgödsel (till vårstråsäd i Svealands slättbygder), där värdena i Agriwise (2007) för kväve, fosfor och kalium anges till 9,49; 13,05; respektive 5,36 SEK/kg. Mängderna av kväve, fosfor och kalium i rapsexpelleren har beräknats utifrån den sammansättning som Praks (1993) och Fridefors (1991) erhållit vid analys av rapsexpeller, då denna först räknats om till fettfri torrsubstans (se tabellerna 9 och 11). Dessa värden har på så sätt uppskattats till 6,4 %; 1,33 %; och 1,54 % för kväve, fosfor respektive kalium. Den olja som finns kvar, i framförallt rapsexpelleren, har inget värde som gödselmedel då den inte innehåller några växtnäringsämnen. Detsamma gäller glycerinet från omförestringsprocessen.

Glycerin från omförestringsanläggningar, där RME:n tvättas i en torr (vattenfri) process, innehåller ca 80 % av katalysatorn och därmed ca 0,6 % kalium eller natrium (Frykerås, pers, 2007). Om kaliumhydroxiden neutraliserats med fosforsyra, och denna reaktion antas ha varit fullständig, betyder detta att glycerinet fått ett innehåll av ca 0,16 % fosfor. Det värde som denna kaliumhydroxid och fosforsyra bidrar med som kalium- respektive fosforgödselmedel, i glycerinet, redovisas inom parentes i tabellerna 24-26.

I känslighetsanalyser studerades vad som skulle hända med värdet hos rapsexpeller och rapsmjöl samt glycerin om priset på gödselmedlen skulle öka med 20 % (tabell 17 och tabell 25) eller sjunka med 20 % (tabell 18 och tabell 26) med antaganden enligt ovan.

### ***12.1.4 Förutsättningar som råvara till biogas***

Biogasmängderna vid rötningen av rapsexpellererna och rapsmjölet har beräknats utifrån de data som ges av Hagelberg m.fl. (1988) (se tabell 12). Vid beräkning av ekonomin vid rötning av rapsexpeller, rapsmjöl och glycerin har beräkningarna baserats på en större tysk gårdsanläggning där gödseln från 100 mjölkkor inklusive rekrytering, 1000 ton hönsgödsel och 20 ha silomajs rötats (Eder m.fl., 2006). Årligen antas 395 000 m<sup>3</sup> biogas med 58,7 % metan produceras. Gasen används för produktion av el och värme. Elverkningsgraden är 35 % och värmeverkningsgraden 55 %. Hälften av värmen kan nyttjas. Då el motsvarande 8 % av den producerade elen antas gå åt som processel minskar den totala elverkningsgraden till 32,2 %. Rapsexpeller, rapsmjöl och glycerin antas kunna blandas in i denna biogasprocess i så små mängder att anläggningens ekonomi inte påverkas i någon större utsträckning.

Investeringskostnaderna är ca 3 miljoner kronor för röt-kammaren med kringutrustning och knappt 700 000 kronor för kraftvärmeaggregatet (1 € = 9,2 SEK (Riksbanken, 2007)). Realräntan antas vara 5 %, och avskrivningstiden för röt-kammaren med kringutrustning antas vara 15 år och för kraftvärmeaggregatet 7 år. Ränte- och avskrivningskostnader är beräknade med annuitetsmetoden. Den totala underhållskostnaden antas vara 3 % av den totala investeringen. För driften av anläggningen åtgår 720 mantimmar per år till en kostnad av 175 SEK/tim (maskinförare: Maskinkalkylgruppen, 2006). Inklusiv inkörning av majsensilage och spridning av det utrötade substratet ger detta att de totala årliga kostnaderna blir ca 960 000 kronor

per år under svenska förhållanden. Då ungefär 830 000 kg torrsbstans (uppskattat från data i Hagelberg m.fl. (1988), EnergieAgentur NRW (2000), Eder m.fl. (2006) och Biogas-Südwest (2007)) rötas per år ger detta en rötningkostnad på ca 1,16 SEK/kg torrsbstans.

Den producerade elen antas kunna säljas för 0,624 SEK/kWh (beräknat från långsiktigt elpris i Norden: 45 €/MWh = 0,414 SEK/kWh (Svensk Energi, 2007); elcertifikatpris 2006-07-25 – 2007-07-25: 187,66 SEK/MWh = 0,19 SEK/kWh (STEM, 2007b); nätnytta 0,02 SEK/kWh (Karlsson, pers, 2007)). Värmen antas kunna säljas för 0,537 SEK/kWh (fjärrvärme inkl. moms, vägt värde år 2006 (STEM, 2007a): 0,651 SEK/kWh plus 0,020 SEK/kWh (ungefärlig ökning per år de senaste åren, ger en uppskattning av 2007 års värde) ger 0,671 SEK/kWh; moms, 25 %, dras sedan bort).

Alla växtnäringssämnen som från början fanns i rapsexpellen och rapsmjölet antas finnas kvar i rötresten efter rötningen, dvs. gödselvärdet hos dessa produkter antas inte påverkas av rötningen. Mängderna kväve, fosfor och kalium i rapsexpellen blir därför fortfarande 6,4 %; 1,33 %; respektive 1,54 % av den fettfria torrsbstansen enligt beräkningar från dennas sammansättning efter Praks (1993) och Fridefors (1991). Värdet av kväve, fosfor och kalium i rötresten har beräknats på samma sätt som då rapsexpellen, rapsmjölet och glycerinet används enbart som gödselmedel (se kapitel 12.1.3). Vid rötning av glycerin finns inga växtnäringssämnen i denna som kan bidra med något värde som gödselmedel. I beräkningarna har inte kaliumrester från katalysatorn som använts vid omförestningen tagits med, då mängderna av dessa kan vara osäkra, och dessutom kan katalysatorer som innehåller natrium användas istället. Det ekonomiska värde som dessa växtnäringssämnen skulle kunna bidra med redovisas inom parentes för användningsområde: Gödselmedel (se tabellerna 24-26).

De värden för biogas som redovisas i tabellerna 16-26, är framräknade genom att rötningkostnaden dragits ifrån de värden på substraten, som räknats fram utifrån den uppskattade produktionen av el och värme från den producerade biogasen. Dessutom ingår gödselvärdet hos de utrötade substraten.

I känslighetsanalyser studeras vad som skulle hända med värdet hos rapsexpeller, rapsmjöl och glycerin, om priset på el, värme och gödselmedel skulle öka med 20 % (tabell 17 och tabell 25) eller sjunka med 20 % (tabell 18 och tabell 26) med antaganden enligt ovan.

## 12.2 Resultat

### *12.2.1 Resultat, rapsexpellerens och rapsmjölets värde vid olika användning*

I tabellerna 16-18 nedan anges värdet hos rapsexpeller eller rapsmjöl vid olika användningar. I tabellerna 19-21 anges värdet av rapsexpeller eller rapsmjöl från ett kg rapsfrö plus värdet av den utvunna oljan från detta frö. Vad som händer om den utvunna oljans värde ökar till 7 SEK/kg eller minskar till 5 SEK/kg redovisas i tabellerna 22 respektive 23. Den mängd olja som utvunnits från fröet vid de olika utvinningsgraderna redovisas i tabell 10 (se kapitel 8.1.1).

Då oljans värde i fodret har beräknats utifrån förhållandet mellan omsättbar energi i korn och fett till respektive djurslag, behövs mer korn för att nå upp i samma mängd omsättbar energi som i en viss mängd fett/rapsolja, för de djurslag där den omsättbara energin i korn är låg i förhållande till den omsättbara energin i fett/rapsolja. Detta gör att denna olja då får ett större ekonomiskt värde. Vilket i sin tur gör att lönsamheten blir något bättre vid utfodring av fjäderfä och hästar jämfört med utfodring av andra djurslag, som nötkreatur och grisar, då det mesta av oljan kan utvinnas från fröet (se tabellerna 16-23).

Lönsammast är att använda rapsexpellererna och rapsmjölet till foderändamål, och minst lönsamt är att använda det till gödselmedel eller biogas med lågt gasutbyte. Värdet hos rapsexpellererna och rapsmjölet minskar ju mer olja som pressats ut (tabell 16) beroende på att oljan har ett högt energivärde som foder (för respektive djurslag se kapitlen: 7.5.1.1; 7.5.2.1; 7.5.3.1; 7.5.4.1).

Efter prisstegringen på spannmål under eftersommaren 2007 minskar värdet av rapsexpeller och rapsmjöl plus utvunnen olja ju mer olja som utvunnits ur rapsfröna (se tabell 19), om värdet hos oljan som ingår i rapsexpellererna och rapsmjölet, beräknas utifrån priset på korn och innehållen av omsättbar energi i korn respektive rapsolja. Detta beroende på att den utvunna oljan kan vara svår att sälja till ett större värde än vad den betingar som foderfett i rapsexpellererna eller rapsmjölet. Lönsamheten blir därför bäst i de fall där minst olja utvinns från rapsfröet (se tabell 19). Oljan betingar ju ett värde på 6,17; 6,40; 6,15; och 6,93 SEK/kg som foderfett till idisslare, hästar, grisar respektive fjäderfä, vilket är högre än världsmarknadspriset på 6 SEK/kg (se ovan). Skulle världsmarknadspriset på rapsoljan stiga till 7 SEK/kg blir lönsamheten återigen större ju mer olja som utvinns från rapsfröna (se tabell 22). Detta är ett troligt scenario om de höga spannmålspriserna består. Omvänt, om världsmarknadspriset på rapsoljan skulle sjunka till 5 SEK/kg, försämras lönsamheten än mer om mer olja skulle utvinnas från rapsfröet, då rapsexpellererna eller rapsmjölet ska användas som foder (tabell 23).

Skulle priset på spannmål falla tillbaka till de nivåer som gällde under juli 2007 (pris för korn 1,35 SEK/kg (ATL, 2007)), skulle värdet av rapsexpeller eller rapsmjöl plus utvunnen olja öka då mer olja utvinns från rapsfröna (se tabell 20). Detta beroende på att den utvunna oljan kan säljas till ett större värde än vad den betingar som foderfett i rapsexpellererna eller rapsmjölet. Lönsamheten blir därför bäst i de fall där mest olja kan utvinnas från rapsfröet. Oljan betingar då ett värde på 3,70; 3,84; 3,69; och 4,16 SEK/kg som foderfett till idisslare, hästar, grisar respektive fjäderfä, vilket är betydligt lägre än världsmarknadspriset på 6 SEK/kg (se ovan).

Sjunker priset på sojamjöl tillbaka till 2,19 SEK/kg som gällde i juli 2007, sjunker priset på rapsexpellererna och rapsmjölet med 0,12-0,23 SEK/kg (se tabell 18 jämfört med tabell 17) och för rapsexpeller eller rapsmjöl plus rapsolja med 0,12-0,13 SEK/kg (se tabell 21 jämfört med tabell 20).

Till eldningsändamål och biogas minskar värdet hos rapsexpellererna och rapsmjölet ju mer olja som pressas ut (se tabell 16). Däremot ökar värdet än mer markant för rapsexpeller eller rapsmjöl plus utvunnen olja (se tabell 19). Detta beror på att oljan även i dessa tillämpningar har ett värde. Vid förbränning har ju rapsoljan ett effektivt värmevärde på 38,3 MJ/kg jämfört med 17,3 MJ/kg fettfrisubstans (de effektiva värmevärdena för rapsexpeller och rapsmjöl anges i tabell 10). Rapsoljans värde, i rapsexpeller och rapsmjöl, beräknat utifrån värmens värde vid förbränning blir 1,63 SEK/kg, då värmens värde som träffas till förbränning är 153 SEK/MWh fritt förbrukare i löpande priser exklusive skatt (STEM, 2007a). Detta är betydligt lägre än det värde oljan betingar som foderfett (se ovan) eller på världsmarknaden. Det är därför viktigt att så stor andel av oljan i fröna som möjligt utvinns om rapsexpellererna ska användas till värmeproduktion.

Vid rötning till biogas blir värdet av den rapsolja som ingår i rapsexpellererna eller rapsmjölet 1,47 SEK/kg vid 80 % utbyte och 0,81 SEK/kg vid 60 % utbyte, om rötningen antas ske i en större tysk gårdsanläggning under svenska förhållanden. Tas ej rötningens kostnaden med i beräkningarna blir oljans värde 2,63 SEK/kg vid 80 % utbyte och 1,97 SEK/kg vid 60 % utbyte. Även dessa priser är lägre än det pris som rapsoljan kan betinga på världsmarknaden, och alltså är det viktigt att så mycket olja som möjligt utvinns ur fröet om rapsexpellererna eller rapsmjölet ska gå till rötning.

Priset på rapsexpeller och rapsmjöl, och rapsexpeller eller rapsmjöl plus rapsolja, betar sig fortfarande på likartat sätt som beskrivits ovan, om prisnivån på energi (skogsflis, fjärrvärme och el) skulle öka eller minska med 20 % (se tabellerna 17 och 20 respektive tabellerna 18 och 21). Det är endast prisnivåerna som förskjuts uppåt eller neråt. På samma sätt påverkas prisnivåerna uppåt eller neråt, om världsmarknadspriset på rapsolja skulle öka till 7 SEK/kg eller minska till 5 SEK/kg (se tabellerna 22-23).

Vid användning som gödselmedel har endast den fettfria delen av rapsexpellen och rapsmjölet ett värde, och detta värde ökar per kilogram ju mer olja, är här endast en typ av ballast, som pressas ut (tabell 16). Värdet av rapsexpeller eller rapsmjöl plus olja ökar i betydande grad ju mer olja som kan pressas ut (se tabell 19). Denna värdeökning blir större ju mer värdefull oljan är (se tabellerna 19, 22 och 23). Ökar eller minskar värdet av gödselmedlen med 20 % (tabellerna 20 och 21) förskjuts prisnivåerna för rapsexpellererna och rapsmjölet uppåt eller neråt i motsvarande grad.

*Tabell 16. Värde hos rapsfrö, rapsexpeller och rapsmjöl (SEK/kg) vid olika användning*

Användningsområde	Frö	Rapsexpeller, andel olja urpressad			Rapsmjöl
		60 %	70 %	75 %	
Foder till nötkreatur	3,89	3,07	2,87	2,76	2,26
Foder till grisar	3,85	3,03	2,82	2,71	2,21
Foder till fjäderfä	4,20	3,21	2,97	2,84	2,23
Foder till hästar	4,05	3,20	2,99	2,88	2,36
Eldning för uppvärmning	1,14	0,95	0,91	0,89	0,77
Gödselmedel	0,47	0,65	0,69	0,72	0,82
Biogas 80 % utvinning <sup>a</sup>	1,13	1,00	0,97	0,96	0,89
Biogas 60 % utvinning <sup>a</sup>	0,68	0,63	0,61	0,61	0,58

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

I tabell 17 nedan, har antagits att priset på det korn som rapsoljepriset baseras på, sjunker tillbaka till den nivå som gällde i juli 2007, 1,35 SEK/kg (ATL, 2007), samt att energipriserna (skogsflis, fjärrvärme och el) och gödselmedelspriserna ökar med 20 %.

*Tabell 17. Värde hos rapsfrö, rapsexpeller och rapsmjöl (SEK/kg) vid olika användning, känslighetsanalys (lägre värde hos det korn från vilket fodrets ekonomiska energivärde beräknats, samt högre energi- och gödselmedelspriser)*

Användningsområde	Frö	Rapsexpeller, andel olja urpressad			Rapsmjöl
		60 %	70 %	75 %	
Foder till nötkreatur	2,80	2,49	2,41	2,36	2,17
Foder till grisar	2,77	2,44	2,36	2,32	2,12
Foder till fjäderfä	2,98	2,55	2,45	2,39	2,14
Foder till hästar	2,92	2,59	2,51	2,47	2,27
Eldning för uppvärmning	1,36	1,15	1,09	1,06	0,93
Gödselmedel	0,57	0,78	0,83	0,86	0,99
Biogas 80 % utvinning <sup>a</sup>	1,59	1,44	1,40	1,38	1,30
Biogas 60 % utvinning <sup>a</sup>	1,04	0,98	0,97	0,96	0,93

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

I tabell 18 nedan, har antagits att priset på det korn som rapsoljepriset baseras på, sjunker tillbaka till den nivå som gällde i juli 2007, 1,35 SEK/kg (ATL, 2007), samt att priset på det so-

rammjöl som den fettfria substansen i rapsexpellererna och rapsmjölet baseras på, sjunker tillbaka till den nivå som gällde i juli 2007, 2,19 SEK/kg (ATL, 2007). Dessutom minskar energipriserna (skogflis, fjärrvärme och el) och gödselmedelspriserna med 20 %.

*Tabell 18. Värde hos rapsfrö, rapsexpeller och rapsmjöl (SEK/kg) vid olika användning, känslighetsanalys (lägre värde hos det korn och det sojamjöl från vilket fodrets ekonomiska energivärde beräknats, samt lägre energi- och gödselmedelspriser)*

Användningsområde	Frö	Rapsexpeller, andel olja urpressad			Rapsmjöl
		60 %	70 %	75 %	
Foder till nötkreatur	2,68	2,32	2,23	2,18	1,96
Foder till grisar	2,65	2,28	2,19	2,14	1,91
Foder till fjäderfä	2,85	2,39	2,27	2,21	1,93
Foder till hästar	2,79	2,41	2,32	2,27	2,04
Eldning för uppvärmning	0,91	0,76	0,73	0,71	0,62
Gödselmedel	0,38	0,52	0,55	0,57	0,66
Biogas 80 % utvinning <sup>a</sup>	0,67	0,57	0,55	0,53	0,48
Biogas 60 % utvinning <sup>a</sup>	0,31	0,27	0,26	0,25	0,24

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

I tabellerna 19, 20 och 21 nedan, gäller samma förutsättningar som i tabellerna 16, 17 respektive 18 ovan, med den skillnaden att värdet för rapsexpeller eller rapsmjöl plus värdet för rapsoljan från ett kilogram frö anges istället för värdet hos ett kilogram rapsexpeller eller rapsmjöl.

*Tabell 19. Värde hos rapsfrö, rapsexpeller och rapsmjöl plus olja från 1 kg frö (SEK/kg) vid olika användning (oljans värde antas vara 6 SEK/kg)*

Användningsområde	Frö	Rapsexpeller, andel olja urpressad			Rapsmjöl
		60 %	70 %	75 %	
Foder till nötkreatur	3,89	3,86	3,86	3,85	3,84
Foder till grisar	3,85	3,83	3,82	3,82	3,82
Foder till fjäderfä	4,20	3,96	3,92	3,90	3,83
Foder till hästar	4,05	3,96	3,94	3,93	3,90
Eldning för uppvärmning	1,14	2,32	2,51	2,61	2,99
Gödselmedel	0,47	2,09	2,36	2,50	3,02
Biogas 80 % utvinning <sup>a</sup>	1,13	2,35	2,56	2,66	3,06
Biogas 60 % utvinning <sup>a</sup>	0,68	2,08	2,31	2,43	2,88

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

I tabell 20 gäller samma förutsättningar som i tabell 17.

Tabell 20. Värde hos rapsfrö, rapsexpeller och rapsmjöl plus olja från 1 kg frö (SEK/kg) vid olika användning, känslighetsanalys (lägre värde hos det korn från vilket fodrets ekonomiska energivärde beräknats, samt högre energi- och gödselmedelspriser) (oljans värde antas vara 6 SEK/kg)

Användningsområde	Frö	Rapsexpeller, andel olja urpressad			Rapsmjöl
		60 %	70 %	75 %	
Foder till nötkreatur	2,80	3,43	3,54	3,59	3,79
Foder till grisar	2,77	3,40	3,51	3,56	3,77
Foder till fjäderfä	2,98	3,48	3,57	3,61	3,78
Foder till hästar	2,92	3,51	3,61	3,66	3,85
Eldning för uppvärmning	1,36	2,46	2,64	2,73	3,08
Gödselmedel	0,57	2,19	2,46	2,59	3,11
Biogas 80 % utvinning <sup>a</sup>	1,59	2,67	2,85	2,94	3,29
Biogas 60 % utvinning <sup>a</sup>	1,04	2,34	2,55	2,66	3,08

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

I tabell 21 gäller samma förutsättningar som i tabell 18.

Tabell 21. Värde hos rapsfrö, rapsexpeller och rapsmjöl plus olja från 1 kg frö (SEK/kg) vid olika användning, känslighetsanalys (lägre värde hos det korn och det sojamjöl från vilket fodrets ekonomiska energivärde beräknats, samt lägre energi- och gödselmedelspriser) (oljans värde antas vara 6 SEK/kg)

Användningsområde	Frö	Rapsexpeller, andel olja urpressad			Rapsmjöl
		60 %	70 %	75 %	
Foder till nötkreatur	2,68	3,31	3,41	3,47	3,67
Foder till grisar	2,65	3,28	3,39	3,44	3,64
Foder till fjäderfä	2,85	3,36	3,45	3,49	3,65
Foder till hästar	2,79	3,38	3,48	3,53	3,72
Eldning för uppvärmning	0,91	2,18	2,39	2,49	2,90
Gödselmedel	0,38	2,00	2,27	2,40	2,92
Biogas 80 % utvinning <sup>a</sup>	0,67	2,04	2,26	2,38	2,82
Biogas 60 % utvinning <sup>a</sup>	0,31	1,82	2,07	2,19	2,68

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

I tabell 22 och 23 nedan, anges värdet för rapsexpeller eller rapsmjöl plus värdet för rapsolja från ett kilogram frö om prisnivån på rapsolja skulle gå upp till 7,00 SEK/kg respektive sjunka till 5,00 SEK/kg.

Tabell 22. Värde hos rapsfrö, rapsexpeller och rapsmjöl plus olja från 1 kg frö (SEK/kg) vid olika användning, känslighetsanalys (oljans värde antas vara 7 SEK/kg)

Användningsområde	Frö	Rapsexpeller, andel olja urpressad			Rapsmjöl
		60 %	70 %	75 %	
Foder till nötkreatur	3,89	4,13	4,17	4,19	4,27
Foder till grisar	3,85	4,10	4,14	4,16	4,24
Foder till fjäderfä	4,20	4,23	4,24	4,24	4,26
Foder till hästar	4,05	4,23	4,25	4,27	4,33
Eldning för uppvärmning	1,14	2,59	2,83	2,95	3,41
Gödselmedel	0,47	2,36	2,68	2,84	3,44
Biogas 80 % utvinning <sup>a</sup>	1,13	2,62	2,87	3,00	3,48
Biogas 60 % utvinning <sup>a</sup>	0,68	2,35	2,63	2,76	3,31

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

Tabell 23. Värde hos rapsfrö, rapsexpeller och rapsmjöl plus olja från 1 kg frö (SEK/kg) vid olika användning, känslighetsanalys (oljans värde antas vara 5 SEK/kg)

Användningsområde	Frö	Rapsexpeller, andel olja urpressad			Rapsmjöl
		60 %	70 %	75 %	
Foder till nötkreatur	3,89	3,59	3,54	3,51	3,42
Foder till grisar	3,85	3,56	3,51	3,48	3,39
Foder till fjäderfä	4,20	3,69	3,61	3,57	3,41
Foder till hästar	4,05	3,69	3,62	3,59	3,48
Eldning för uppvärmning	1,14	2,05	2,20	2,27	2,57
Gödselmedel	0,47	1,82	2,05	2,16	2,60
Biogas 80 % utvinning <sup>a</sup>	1,13	2,08	2,24	2,32	2,63
Biogas 60 % utvinning <sup>a</sup>	0,68	1,81	2,00	2,09	2,46

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

### 12.2.2 Resultat, glycerinets värde vid olika användning

I tabell 24 nedan, ges värdet hos glycerin vid utfodring av olika djurslag, eldning till värme-produktion, användning som gödselmedel och som råvara till biogas. Lönsammast är att använda glycerin till foderändamål, följt av eldning för uppvärmning och biogasråvara. Som gödselmedel har glycerin inget värde i sig, då det inte innehåller några växtnäringsämnen. Vid omförestring med kaliumhydroxid som katalysator hamnar denna normalt i råglycerinfasen som då får ett litet växtnäringsvärde (0,03 SEK/kg vid omförestring enligt beskrivning ovan, se kapitel 12.1.3). Om kaliumhydroxiden neutraliserats med fosforsyra, enligt beskrivning i kapitel 12.1.3, tillför fosfor glycerin ett gödselvärd på 0,02 SEK/kg. Glycerinets totala gödselvärd skulle då bli ca 0,05 SEK/kg.

Skillnaderna i glycerinets värde som foder till de olika djurslagen är litet (tabell 24) och beror på förhållandet mellan de omsättbara energierna i glycerin och korn. Glycerinet har fått ett högre värde i de fall där mer korn behövs för att nå samma mängd av omsättbar energi som i ett kilogram glycerin vid utfodringen.

I tabell 25 anges vad som händer med glycerinets värde som foder om värdet hos det korn som glycerinets värde beräknats ifrån, sjunker tillbaka till 1,35 SEK/kg som det hade i juli 2007 (ATL, 2007). Som synes leder detta till att glycerinets värde minskar med ca 40 %. Där- emot påverkas inte glycerinets värde som foder om sojamjölets pris skulle sjunka tillbaka till



den nivå som gällde i juli 2007, 2,19 SEK/kg (ATL, 2007) (se tabell 26), beroende på att glycerinet innehåller inget protein.

Vid användning av glycerinet som råvara till biogas, då rötningskostnaden ej tas med i beräkningarna, blir glycerinets värde 1,23 SEK/kg vid 80 % utbyte och 0,93 SEK/kg vid 60 % utbyte. Tas rötningskostnaden med kan negativa värden erhållas. Negativa värden (tabell 24) betyder i princip att man måste betala för att få glycerinet rötat (omhändertaget). Om glycerinet rötas ihop med ett substrat vars gasproduktion höjs på grund av glycerinets närvaro, så det motsvarar att glycerinet ger ett gasutbyte på 160 %, blir dess värde med förutsättningarna enligt ovan 2,47 SEK/kg. Alltså i närheten av glycerinets värde vid användning som foder (se tabell 24). Tas rötningskostnaderna med, såsom gjorts i tabell 24, blir glycerinets värde 1,31 SEK/kg.

I tabell 25 och 26 redovisas vad som händer med glycerinets värde, till uppvärmning och till biogas, om prisnivån på energi (skogsfelis, fjärrvärme och el) skulle öka eller minska med 20 %. Som synes förskjuts prisnivåerna uppåt eller neråt, och prisnivåerna för biogas påverkas något mer än de för eldnings till uppvärmning.

Då glycerinet i sig inte har något gödselvärde, eller ett mycket lågt sådant om det innehåller kaliumrester från omförestringskatalysatorn och den fosforsyra som använts till att neutralisera denna katalysator, betyder detta att glycerinets värde påverkas inte alls eller i mycket ringa grad av varierande gödselmedelspriser.

*Tabell 24. Det ekonomiska värdet hos glycerin vid olika användning*

Användningsområde	Pris (SEK/kg)
Foder till nötkreatur	2,96
Foder till grisar	2,75
Foder till fjäderfä	2,82
Foder till hästar	- <sup>b</sup>
Eldning för uppvärmning	0,73
Gödselmedel	0,00 (0,05) <sup>c</sup>
Biogas 80 % utvinning <sup>a</sup>	0,07
Biogas 60 % utvinning <sup>a</sup>	-0,23

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

<sup>b</sup> Inga uppgifter finns om utfodring av glycerin till hästar.

<sup>c</sup> Under antagande om att kalium från omförestringskatalysatorn liksom fosfor från den fosforsyra som använts till att neutralisera denna finns kvar i glycerinfraktionen.

I tabell 25 nedan, har antagits priset på det korn som glycerinpriset baseras på, sjunker tillbaka till den nivå som gällde i juli 2007, 1,35 SEK/kg (ATL, 2007), samt att energipriserna (skogsfelis, fjärrvärme och el) och gödselmedelspriserna ökar med 20 %.

Tabell 25. Det ekonomiska värdet hos glycerin vid olika användning, känslighetsanalys (lägre värde hos det korn från vilket fodrets ekonomiska energivärde beräknats, samt högre energi- och gödselmedelspriser)

Användningsområde	Pris (SEK/kg)
Foder till nötkreatur	1,78
Foder till grisar	1,65
Foder till fjäderfä	1,69
Foder till hästar	- <sup>b</sup>
Eldning för uppvärmning	0,87
Gödselmedel	0,00 (0,06) <sup>c</sup>
Biogas 80 % utvinning <sup>a</sup>	0,32
Biogas 60 % utvinning <sup>a</sup>	-0,05

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

<sup>b</sup> Inga uppgifter finns om utfodring av glycerin till hästar.

<sup>c</sup> Under antagande om att kalium från omförestringskatalysatorn liksom fosfor från den fosforsyra som använts till att neutralisera denna finns kvar i glycerinfraktionen.

I tabell 26 nedan, har antagits att priset på det korn som glycerinpriset baseras på, sjunker tillbaka till den nivå som gällde i juli 2007, 1,35 SEK/kg (ATL, 2007), samt att priset på det sojamjöl, som den fettfria substansen i rapsexpellererna och rapsmjölet baseras på, sjunker tillbaka till den nivå som gällde i juli 2007, 2,19 SEK/kg (ATL, 2007), samt att energipriserna (skogflis, fjärrvärme och el) och gödselmedelspriserna minskar med 20 %.

Tabell 26 Det ekonomiska värdet hos glycerin vid olika användning, känslighetsanalys (lägre värde hos det korn och det sojamjöl från vilket fodrets ekonomiska energivärde beräknats, samt lägre energi- och gödselmedelspriser)

Användningsområde	Pris (SEK/kg)
Foder till nötkreatur	1,78
Foder till grisar	1,65
Foder till fjäderfä	1,69
Foder till hästar	- <sup>b</sup>
Eldning för uppvärmning	0,58
Gödselmedel	0,00 (0,04) <sup>c</sup>
Biogas 80 % utvinning <sup>a</sup>	-0,17
Biogas 60 % utvinning <sup>a</sup>	-0,42

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

<sup>b</sup> Inga uppgifter finns om utfodring av glycerin till hästar.

<sup>c</sup> Under antagande om att kalium från omförestringskatalysatorn liksom fosfor från den fosforsyra som använts till att neutralisera denna finns kvar i glycerinfraktionen.

### 13 MÖJLIG PRODUKTION OCH KONSUMTION AV RAPSPRODUKTER

År 2006 odlades oljeväxter (höstraps, vårraps, höstrybs och vårrybs) på ca 90 000 ha av 2,7 miljoner ha åkermark i Sverige. Denna odling borde kunna dubblas utan problem då den under 1980-talet stabilt legat kring 170 000 ha med toppnoteringen drygt 175 000 ha år 1986 (SCB, 2007a). På 1980-talet beräknade man att det skulle vara möjligt att odla raps och rybs på ca 285 000 ha i Sverige (Norén, 1990). Sedan dess har emellertid åkerarealen i Sverige minskat med drygt 9 % (SCB, 2007a). Det är heller ej troligt att all möjlig areal kan bli till-

gänglig för odling av oljeväxter. Tillsammans gör detta att en fördubbling av nuvarande areal borde vara realistisk.

### 13.1 Möjlig konsumtion av rapsprodukter till foder

I tabell 27 nedan, redovisas skördar av frö, mjöl, olja och glycerin om dagens areal av höstraps, vårraps, höstrybs och vårrybs skulle fördubblas med bibehållen avkastning. I tabell 28 redovisas antal husdjur av olika djurslag, antagen rimlig genomsnittlig konsumtion av rapsprodukter per djurslag och dag (för fjäderfä total foderkonsumtion för hela riket och år), antal konsumtionsdagar per år (för fjäderfä andel rapsprodukter i fodret, %), möjlig årlig konsumtion av rapsprodukter och den andel (%) som den möjliga årliga konsumtionen motsvarar av den möjliga årliga skörden av rapsmjöl.

Mjölkkor är det djurslag som kan konsumera störst andel av den möjliga produktionen av rapsmjöl, nästan 1,5 gånger mer än vad som kan produceras (tabell 28). Slaktsvin kan konsumera nästan en tredjedel av den möjliga produktionen av rapsmjöl. En del kan även konsumeras av andra djur såsom nötkreatur, suggor och fjäderfä. Övriga djurslag kan endast konsumera mycket ringa mängder. Djuren kan alltså konsumera betydligt mer rapsmjöl än vad som kan produceras inom landet med inhemska produkter (ungefär det dubbla). Skulle stora mängder rapsfrö eller andra oljeväxter importeras för att förse de planerade biodieselanläggningarna med råvara, och foderbiprodukterna från dessa säljas på den svenska marknaden, kan situationen förändras snabbt till ett överskott på proteinfoder. Detsamma kan hända om flera av de planerade drivmedelsetanolprojekten skulle genomföras och den härvid producerade dranken säljas på den svenska marknaden. Rapsexpellen och rapsmjölet får då användas till annat än foder.

Tabell 27. Möjlig produktion från oljeväxter i Sverige

Gröda	Areal 2006 (kha) <sup>a</sup>	Möjlig areal <sup>b</sup> (kha)	Avkast- ning <sup>c</sup> (kg/ha)	Fröskörd <sup>d</sup> (kton TS)	Skörd av mjöl <sup>e</sup> (kton TS)	Skörd av olja <sup>f</sup> (kton)	Skörd av glycerin <sup>g</sup> (kton)
Höstraps	47,6	95,1	3091	267,4	154,0	113,4	11,96
Vårraps	35,1	70,1	1982	126,5	72,9	53,7	5,66
Höstrybs	1,1	2,3	1733	3,6	2,1	1,5	0,16
Vårrybs	6,3	12,5	1478	16,8	9,7	7,1	0,75
Total oljev. areal/summa	90,2	180,0		414,4	238,6	175,7	18,53
Total åker- areal	2660,4						

<sup>a</sup> Källa: SCB (2007a).

<sup>b</sup> Antag 180000 ha oljeväxter kan odlas om dagens areal dubblas.

<sup>c</sup> Medelavkastning Sverige 1998-2006, källa: SCB (2007b).

<sup>d</sup> Skörd i tusental ton med antagen areal och avkastning.

<sup>e</sup> Mängd rapsmjöl i tusental ton om 42,4 g olja utvinns av 100 g frö.

<sup>f</sup> Mängd rapsolja i tusental ton om 42,4 g olja utvinns av 100 g frö.

<sup>g</sup> Mängd glycerin i tusental ton om 10,55 g glycerin utvinns av 100 g olja.

Tabell 28. Möjlig konsumtion av rapsexpeller som foder

Djurslag	Antal djur år 2006 <sup>a</sup> (tusen st.)	Foder, rapsmjöl (kg/dag)	Antal kon- sumtions- dagar	Möjlig konsumtion (tusen ton)	Andel av möjlig rapsproduktion <sup>b</sup> (%)
Kor för mjölk- prod.	388	2,5	365	353,6	148,2
Kor f uppfödn. av kalvar	178	0	0	0,0	0,0
Kvigor, tjurar, stutar	530	0,35	365	33,8	14,2
Kalvar, under 1 år	496	0	0	0,0	0,0
Baggar och tackor	244	0,15	60	2,2	0,9
Lamm	262	0	0	0,0	0,0
Galtar för avel	3	0,225	365	0,2	0,1
Suggor för avel	184	0,7	100	12,9	5,4
Slaktsvin, >20 kg	1002	0,2	365	73,1	30,6
Smågrisar, < 20 kg	492	0	0	0,0	0,0
Höns	4524	218,8 <sup>c</sup>	8 <sup>d</sup>	17,5	7,3
Värpkycklingar	1646	28,7 <sup>c</sup>	7 <sup>d</sup>	2,0	0,8
Slaktkycklingar	7436	35,6 <sup>c</sup>	7 <sup>d</sup>	2,5	1,0
Hästar	..	0,1	365	3,7	1,5
<b>Totalt</b>				<b>501,6</b>	<b>210,2</b>

<sup>a</sup> Källa: SCB (2007c).

<sup>b</sup> Antag dagens odling av oljeväxter kan dubblas.

<sup>c</sup> Total foderkonsumtion för hela riket, kton/år.

<sup>d</sup> Andel rapsprodukter i fodret, %.

### 13.2 Möjlig konsumtion av glycerin till foder

Glycerin från omförestningen av rapsolja går bra att använda till foder. I tabell 29 redovisas hur stor andel av glycerinet från omförestning av rapsolja odlad på möjlig svensk areal våra husdjur kan konsumera. Antal husdjur av olika djurslag, antagen rimlig genomsnittlig konsumtion av glycerin per djurslag och dag (för fjäderfä total foderkonsumtion för hela riket och år), antal konsumtionsdagar per år (för fjäderfä andel glycerin i fodret, %), möjlig årlig konsumtion av glycerin och den andel (%) som den möjliga årliga konsumtionen motsvarar av den möjliga skörden av glycerin redovisas.

Mjölkkor är det djurslag som kan konsumera störst andel av den möjliga produktionen av glycerin, nästan 4 gånger mer än vad som kan produceras (se tabell 29). Andra nötkreatur kan konsumera mer än 2,5 gånger den möjliga produktionen. Slaktsvin, liksom hästar, kan konsumera nästan det dubbla av den möjliga produktionen av glycerin. En del kan även konsumeras av andra djur såsom suggor, smågrisar och fjäderfä. Övriga djurslag kan endast konsumera mycket ringa mängder. Djuren kan alltså konsumera betydligt mer glycerin än vad som kan produceras inom landet med inhemska produkter (ungefär 12 gånger). Detta tyder på att det kan vara svårt att mätta den möjliga fodermarknaden med glycerin även om stora mängder vegetabilisk olja skulle importeras och omförestras, och glycerinet säljas som foder på den svenska marknaden. Skulle mycket stora mängder vegetabilisk olja importeras för att förse de

planerade biodieselanläggningarna med råvara, och glycerinbiprodukten från dessa säljas på den svenska marknaden, kan situationen förändras till ett överskott. Glycerinet får då användas till annat än foder (se tabell 30).

Tabell 29. Möjlig konsumtion av glycerin som foder

Djurslag	Antal djur år 2006 <sup>a</sup> (tusen st.)	Foder, glycerin (kg/dag)	Antal kon- sumtions- dagar	Möjlig kon- sumtion (tusen ton)	Andel av möjlig rapsproduktion <sup>b</sup> (%)
Kor för mjölk- prod.	388	0,5	365	70,7	381,6
Kor f uppfödn. av kalvar	178	0	0	0,0	0,0
Kvigor, tjurar, stutar	530	0,25	365	48,3	260,9
Kalvar, under 1 år	496	0	0	0,0	0,0
Baggar och tackor	244	0,05	365	4,4	24,0
Lamm	262	0	0	0,0	0,0
Galtar för avel	3	0,1	365	0,1	0,5
Suggor för avel	184	0,15	365	10,1	54,4
Slaktsvin, >20 kg	1002	0,1	365	36,6	197,3
Smågrisar, < 20 kg	492	0,05	365	9,0	48,4
Höns	4524	218,8 <sup>c</sup>	2,5 <sup>d</sup>	5,5	29,5
Värpkycklingar	1646	28,7 <sup>c</sup>	2,5 <sup>d</sup>	0,8	3,9
Slaktkycklingar	7436	35,6 <sup>c</sup>	2,5 <sup>d</sup>	0,9	4,8
Hästar	..	0,1	365	36,5	196,9
					1202,2

<sup>a</sup> Källa: SCB (2007c).

<sup>b</sup> Antag dagens odling av oljeväxter kan dubblas.

<sup>c</sup> Total foderkonsumtion för hela riket, kton/år.

<sup>d</sup> Andel rapsprodukter i fodret, %.

### 13.3 Möjlig konsumtion av rapsmjöl och glycerin till förbränning, biogas eller gödsel

Till förbränning kan stora mängder rapsexpeller och rapsmjöl användas om det eldas tillsammans med andra biobränslen i befintliga pannor. Bland annat problemen med sintring avgör i vilken utsträckning värmeverken kan acceptera dessa bränslen. Glycerin måste troligtvis eldas ihop med andra bränslen som kan suga upp detta. Det kan emellertid bli ett värdefullt tillsatsmedel vid pelletering av andra biobränslen då det sannolikt kan ge hållbarare pelletter vid tillsatser på någon eller ett par procent. Vid eldning av rapsmjöl blir potentialen vid odling av möjlig areal 1,2 TWh (tabell 30). Detta kan jämföras med att dagens tillförsel av träpellets till Sverige är 7,9 TWh (1 679 000 ton (Pelletsindustrin, 2007) med effektiva värmevärdet 16,9 MJ/kg (Strömberg, 2004)). Vid odling av möjlig areal raps blir energiinnehållet i det glycerin som frigörs vid omförestningen av rapsolja endast 0,09 TWh vilket bara är en dryg procent av energitillförseln med träpellets (se tabell 30). Troligen skulle det mesta eller allt detta glycerin kunna användas som tillsatsmedel vid pelletering av dagens tillförsel av träflis, under förutsättning att glycerinet fungerar bra som tillsatsmedel vid denna pelletering.

Vid rötning av rapsmjöl kan 0,84 TWh (som effektivt värmevärde) biogas utvinnas vid 80 procents utröttningsgrad. Detta kan jämföras med den praktiska biogaspotential på 8,8 TWh som Hagelberg m.fl. (1988) redovisar. Skulle halva denna potential realiseras betyder detta att 4,4 TWh biogas skulle kunna produceras, och till detta kommer då biogasen från rapsmjölet. Denna motsvarar ca 19 % av denna potential, vilket nog är för mycket att bara stoppa in i dessa biogasanläggningar då rapsmjölet har ett högt kväveinnehåll. Det är därför inte realistiskt att mer än en mindre del av det rapsmjöl som kan produceras rötas.

Om glycerinet från omförestningen av den rapsolja som kan produceras rötas, kan ca 0,06 TWh (som effektivt värmevärde) biogas utvinnas vid 80 procents utröttningsgrad (se tabell 30). Detta motsvarar bara ca 1,4 % av den ovan beskrivna biogaspotentialen. Det är därför rimligt att anta att detta glycerin skulle gå att blanda in i substraten till befintliga biogasanläggningar. De biogasanläggningar som har problem med för höga kvävehalter i sina substrat borde vara angelägna om att få tillgång till ett kvävefritt substrat som glycerin. Sannolikt finns det även plats för en hel del glycerin med ursprung i importerade vegetabiliska oljor i de svenska biogasanläggningarna.

*Tabell 30. Energipotential vid eldning respektive produktion av biogas från rapsexpeller*

Produkt	Mängd (ton TS)	Biogas som effektivt värmevärde (MJ/kg)	Tot (TWh)	Effektivt värme- värde (MJ/kg)	Tot (TWh)
Rapsmjöl	238 639	12,7	0,839	18,2	1,207
Glycerin	18 534	12,1	0,062	17,1	0,088

Det finns inga begränsningar för hur mycket rapsmjöl och rapsexpeller som kan användas som gödselmedel mer än att den mineraliseras och avger sitt innehåll av näringsämnen relativt långsamt. I princip förs de näringsämnen som man bortfört tillbaka till marken vid detta förfarande. Potentialen för att motta importerat rapsmjöl och rapsexpeller borde vara stor vid detta förfarande.

Rent glycerin innehåller inga näringsämnen och har därför inget ekonomiskt värde vid spridning på åkermark. Kalium i råglycerinet som härrör från kaliumhydroxidkatalysator, då sådan använts, är lättillgängligt för växterna och har därför ett värde. Om katalysatorn neutraliserats med fosforsyra har fosfor i denna ett växtnäringsvärde. Även denna fosfor hamnar i så fall i råglycerinet. Potentialen för spridning av inhemskt producerat glycerin och glycerin som härrör från importerad vegetabilisk olja på åkermark borde vara stor. Glycerinet bryts ner i åkermarken. Inblandning kan lämpligen göras i flytgödsel.

## 14 DISKUSSION OCH SLUTSATSER

Rapsprodukter har en hög proteinhalt med en välbalanserad aminosyrasammansättning och passar därför som foder till de flesta djurslag. Normalt är rapsoljan så värdefull till andra användningsområden än foder att man vill utvinna mesta möjliga av denna innan restprodukten används som foder. Därför torde rapsmjöl i de flesta fall vara mest intressant till foderändamål. Proteinets värde till idisslare kan höjas om rapsmjölet eller rapsexpellen först värmebehandlas. AarhusKarlshamns AB har en process, ExPro, för detta ändamål.

Om värdet av den rapsolja som finns kvar i rapsexpellen eller rapsmjölet beräknas utifrån de omsättbara energierna vid utfodring av denna rapsolja samt spannmål, måste man vara uppmärksam på att värdet av detta foderfett blir starkt beroende av spannmålspriset. Kraftigt sti-

gande spannmålspriser kan då snabbt göra att rapsolja i fodret blir kortvarigt mer värd än rapsolja på världsmarknaden, innan dessa priser anpassat sig till de nya förhållandena. Från juli 2007 till september 2007 steg priset på korn från 1,35 SEK/kg (ATL, 2007) till 2,25 SEK/kg (Ericsson, pers, 2007).

Rapsexpeller, ofta kallpressade, har 15-20 % olja kvar och bör därför utnyttjas till foder där oljans höga energiinnehåll kan komma bäst till nytta. Detta gör att denna typ av foder främst är intressant till högproducerande mjölkkor. Man bör dock vara medveten om att mjölkkor inte kan utfodras hur mycket fett som helst. Max ca 5 % av kraftfodret kan vara fett.

Man har lyckats sänka halten av glukosinolater i rapsfröet till en nivå där det oftast inte längre är dessa som begränsar hur mycket som kan utfodras. Till idisslare kan ofta hela proteinbehovet ges som rapsprotein idag. Till svin och fjäderfä kan även andra proteinkällor behövas om behovet av lysin med flera aminosyror till dessa djurslag ska tillgodoses fullt ut. Mängden fiber med dålig utnyttjandegrad hos enkelmagade djur kan vara en nackdel då rapsexpeller och rapsmjöl utnyttjas. En del av dessa kolhydrater, som främst finns i fröskalerna, har en antinutritionell verkan. Det finns trippellåga gulfröiga sorter med låg skalhalt, och därmed låg halt av oönskade fibrer och antinutritionella kolhydrater. Med växtförädling håller man på att ta fram fler sådana sorter, vilket på sikt kan göra att enkelmagade djur kan konsumera mer av rapsprodukterna (Gunnarsson, pers, 2007).

Tillsammans kan våra inhemska husdjur med god marginal konsumera det rapsmjöl och den rapsexpeller som kan produceras inom landet. Bara mjölkorna kan konsumera ca 1,5 gånger mer än vad som kan produceras. Läget kan dock bli ett annat om man importerar stora mängder rapsfrö, utvinnet oljan ur detta, och vill avsätta rapsexpeller och rapsmjölet från detta frö som foder på den svenska marknaden. Dessutom kommer utbyggnaden av fabriker för utvinning av etanol ur spannmål att öka mängden proteinfoder på den svenska marknaden i betydande grad.

Vill man öka förmågan hos främst enkelmagade djur att konsumera rapsprodukter bör man i första hand försöka minska halterna av antinutritionella kolhydrater samt växttråd i fröet. Att med växtförädling ta fram nya trippellåga rapsfrösorter blir då intressant. I andra hand bör glukosinolathalten sänkas ytterligare och då bör målet vara att nå 5  $\mu\text{mol}$  per gram frö. Rapsmjöl som innehåller mindre än 5  $\mu\text{mol}$  glukosinolater per gram fettfri substans kan användas som enda proteinkomplettering i foderstater baserade på korn till grisar (Simonsson & Thompke, 1995).

Vad gäller glycerin så kan betydligt större kvantiteter (mer än 10 gånger) konsumeras som foder av inhemska djur än vad som kan produceras vid omförestning av rapsolja med svenskt ursprung. Detta gör att glycerin från en betydande mängd importerad rapsolja skulle kunna användas till utfodringsändamål. Vid användning som foder får dessutom glycerinet ett högre ekonomiskt värde än om det används till andra ändamål. Om glycerinets ekonomiska värde antas vara knutet till världsmarknadspriset på spannmål, och spannmålets värde ökar på grund av ökad efterfrågan för bl.a. produktion av etanol, så ökar även glycerinets värde i motsvarande grad.

Det finns studier som visar att det även är möjligt att glycerin kan användas som bindemedel vid pelletering av foder (Löwe, 2000; Freistaat Sachsen, 2001; Murphy, pers, 2007). Fungerar ett sådant bindemedel bra kan dess ekonomiska värde bli större än om det i fodret bara kan ersätta energidelen från spannmål. Mer forskning behövs för att på ett bra sätt utvärdera glycerins egenskaper som bindemedel vid pelletering av spannmål och andra fodermedel. En nackdel med glycerinet, i denna applikation, är att det är hygroskopiskt och kan ta upp vatten, vilket gör att fodrets hållbarhet kan försämrats. Mer forskning behövs för att ta fram mer kun-

skaper om hur glycerinets hygroskopiska egenskaper påverkar lagringsegenskaper och hygienisk kvalitet vid inblandning i olika slag av foder.

Glycerinet har även en förmåga att binda damm vilket kan ge en bättre stallmiljö då foder med glycerinblandning används. Även inverkan på miljön i stallen vid utfodring av foder med inblandning av glycerin bör undersökas i kommande forskningsprojekt.

Rapsexpeller och rapsmjöl går även att använda till eldningsändamål (Praks, 1993; Peterson m.fl., 1990), men här är betalningsförmågan normalt sämre än till foderändamål. En nackdel är här att kväveinnehållet i rapsexpeller och rapsmjöl ej utnyttjas utan istället blir till ett problem som kväveoxidutsläpp med rökgaserna och ökad risk för korrosion i panna och i rökgasvägar. I flera studier har utsläppen av kväveoxider vid eldning av rapsexpeller och rapsmjöl blivit 2-3,6 gånger högre än vid eldning av bränslen med ett lågt kväveinnehåll (Praks, 1993; Öhman, pers, 2007). Rapsexpeller och rapsmjöl innehåller även en del svavel (se tabell 9) som även det kan ge en del oönskade emissioner samt korrosion i pannan och i rökgasvägarna. Sammantaget tyder detta på att om rapsexpeller och rapsmjöl ska eldas, passar det bäst i större anläggningar där kväveoxidemissioner m.m. kan tas omhand, eller vid eldning utanför tätbebyggt område där sådana emissioner inte är något problem. Dessutom är risken för slaggbildning, sintring i pannan, större än vid eldning med t.ex. träflis, men i nivå med vad som gäller vid eldning av spannmålshalm. Detta talar emot användning i de flesta mindre pellets pannor.

Glycerin i ren form är mycket svårt att elda i de flesta pannor och därför avrådes från försök att elda glycerin i ren form. Glycerin går bra att elda uppblandat med fasta bränslen som har en god uppsugningsförmåga. Glycerinet kan även sannolikt fungera som bindemedel vid tillverkning av bränslepelletter och bränslebriketter. Enbart som bränsle har glycerin ett lägre ekonomiskt värde än vid användning som foder (se tabell 24). Däremot kan det få ett högre värde om det visar sig användbart, med goda egenskaper, som ett bindemedel vid tillverkning av bränslepellets och bränslebriketter. Det krävs mer forskning för att utreda vilka mängder som här kan bli aktuella, i olika typer av bränslen, för att önskad funktion ska erhållas. Dessutom bör man utreda vilken inverkan glycerinets hygroskopiska egenskaper har på lagringsbarheten hos pellets och briketter som innehåller glycerin.

Ska rapsexpeller eller rapsmjöl användas som gödselmedel bör man vara medveten om att dessa/detta verkar som långtidsverkande organiska gödselmedel som passar till grödor som tar upp kväve under en längre del av växtperioden (Fridefors, 1991). Det ekonomiska värdet hos rapsexpeller och rapsmjöl, vid användning som gödselmedel, är normalt lägre än om det används som foder eller något lägre än om det används som bränsle (se tabellerna 16 och 19). Det finns inga direkta begränsningar om hur mycket som kan användas. Glycerin har inget direkt värde som gödselmedel då det inte innehåller några växtnäringsämnen, förutom kalium om kaliumhydroxid använts som katalysator vid omförestringen. Dessutom kan fosfor tillkomma om kaliumhydroxiden neutraliseras med fosforsyra. Tillsammans leder dessa fakta till att glycerin får ett lågt värde vid användning som gödselmedel.

Vid användning av rapsexpeller eller rapsmjöl som råvara till biogasframställning kan man få intäkter både från den utvunna gasen och från växtnäringsämnen i rötresten. Används glycerin som råvara kan man endast få intäkter från gasen. Nackdelen är att rötningen blir förhållandevis dyr, då investeringskostnaderna och därmed kapitalkostnaderna är mycket höga för en biogas-anläggning (Eder m.fl., 2006). Detta kan medföra att man endast kan få betalt för råvarorna om dessa har något mervärde i biogasprocessen. För rapsexpeller och då särskilt för rapsmjöl kan detta gälla om man, på grund av andra ingående råvaror, behöver justera kol-kvävekvoten neråt och för glycerin det motsatta, dvs. om kol-kvävekvoten behöver justeras uppåt. Beroendet av andra ingående råvaror och förutsättningarna för den enskilda biogasanläggningen gör



att det blir svårt att uppskatta värdet på rapsexpeller, rapsmjöl och glycerin om dessa/detta ska rötas till biogas. Det är även svårt att uppskatta hur mycket av dessa material som kan rötas i befintliga biogasanläggningar. Det är troligen inte lönsamt att bygga biogasanläggningar för att huvudsakligen röta dessa material. Mer forskning behövs även vad gäller rötning av rapsexpeller, rapsmjöl och glycerin tillsammans med andra material. Glycerin kan vid rötning tillsammans med andra substrat, då främst kvävefattiga sådana, stimulera dessa till en ökad produktion av metangas (Amon m.fl., 2006). Detta kan ge glycerinet ett mervärde vid rötning i sådana processer.

Glycerinet kan även säljas till den kemiska industrin där det kan renas och användas som råvara i ett flertal kemiska processer, t.ex. inom livsmedelsindustrin till livsmedelsadditiv, till kosmetika, hudvårdsprodukter (i t.ex. tvål och schampo), läkemedel, tobak, sprängmedel eller i vapen. Det kan även användas som råvara vid tillverkning av propylenglykol (frys-skyddsvätska), bromsvätska, epoxihartser, medel för armering av papper och vid tillverkning av lätt nedbrytbara polymerer. Glycerin kan även användas som sötningsmedel. Många av de här användningsområdena kan ge en bättre betalningsförmåga än de tillämpningar som beskrivits i den här rapporten. Emellertid är de mängder som kan avyttras till dessa tillämpningar mindre än till de i rapporten beskrivna tillämpningarna.

#### 14.1 Slutsatser

Med tanke på vad som sagts ovan kan slutsatserna från projektet sammanfattas i följande punkter:

- \* Rapsmjöl och rapsexpeller bör i första hand användas till utfodring.
- \* Mjölkkor har en stor potential att konsumera rapsprotein, men även andra djurslag kan komma ifråga.
- \* Vid växtförädling av raps bör man i första hand försöka minska halten av antinutritionella kolhydrater samt växttrådhalt i fröet. Detta för att rapsmjölet och rapsexpellen ska bli mer värdefull vid främst utfodring av enkelmagade djur. I andra hand bör glukosinolat-halten sänkas ytterligare och då bör målet vara att nå 5  $\mu\text{mol/g}$  frö. Då nya rapsprodukter tagits fram, bör nya utfodringsrekommendationer för dessa tas fram för de vanligaste djurslagen efter utfodringsförsök.
- \* Priset på rapsmjöl och rapsexpeller kan variera kraftigt i tiden, då detta är knutet till spannmåls- och sojapriserna som varierar kraftigt på världsmarknaden. Detta kan ha stor inverkan på lönsamheten, samt innebär att känslighetsstudier vid kalkylering blir viktiga.
- \* Även glycerinet har en stor potential som djurfoder. De djur som finns i Sverige har en potential att äta upp betydligt mer glycerin än vad som kan produceras från svenskodlad raps. Hur mycket det mer exakt är, kan beräknas efter det att mer exakta utfodringsrekommendationer tagits fram.
- \* Glycerinet har goda egenskaper som bl.a. bindemedel i pellets (foder och bränsle). Mer forskning behövs för att bättre utreda dessa egenskaper.
- \* Glycerin är hygroskopiskt och tar upp vatten, vilket innebär att foder innehållande mer än 5 % glycerin kan ge problem vid lagring och hantering. Detta bör utredas ingående i kommande forskning.
- \* Värdet hos glycerin som foder kan öka om värdet på detta är kopplat till innehållet av om-sättbar energi i spannmål, och spannmålspriserna går upp på grund av t.ex. ökad efterfrågan på spannmål till etanol.
- \* Vid inblandning i foder har glycerin dammbindande egenskaper. Eventuella positiva effekter på stallmiljön vid utfodring med sådant foder bör utredas i kommande forskningsprojekt.

- \* Till förbränning har rapsexpeller och rapsmjöl ett lägre värde än om det används till foder så länge som svensk råvara används. Används stora mängder importerat frö som råvara, samt att andra proteinråvaror t.ex. drank från etanolproduktion används, kan förhållandena snabbt ändras.
- \* Vid förbränning av rapsexpeller och rapsmjöl medför den höga kvävehalten i dessa produkter att emissionerna av kväveoxider blir högre än för andra kvävefattiga bränslen. Dessutom blir risken för korrosion i panna och rökgasvägar större. Askan har en lägre smälttemperatur vilket ger en högre risk för slaggbildning i pannan. Detta sammantaget gör att rapsprodukterna passar bäst att elda i större pannor tillsammans med andra bränslen. De kan vara svåra att elda med gott resultat i mindre pellets pannor.
- \* Glycerin går inte att elda ensamt med befintliga oljebrännare i dagens pannor. Däremot går det att elda tillsammans med fasta bränslen som kan suga upp det. Sannolikt fungerar det bra som bindemedel vid pelletering och brikettering av fasta bränslen.
- \* Rapsmjöl och rapsexpeller är organiska gödselmedel som långsamt frigör kväve.
- \* Glycerin innehåller i sig inga växtnäringsämnen, men små mängder kan tillföras från den kaliumhydroxidkatalysator som används vid omförestningen, samt från eventuell fosforsyra som används vid neutralisationen av denna. Emellertid blir trots detta, dess växtnäringsvärde lågt.
- \* Rapsexpeller och rapsmjöl går bra att röta och gasutbytet kan variera beroende på val av substrat för samrötning. Potentialen tillsammans med olika substrat bör undersökas mer noggrant i kommande forskningsprojekt.
- \* Glycerin kan ge ett ökat metangasutbyte vid samrötning med vissa substrat. Mer forskning behövs för att utreda detta mer noggrant.
- \* Glycerin kan användas inom den kemiska industrin som råvara eller tillsats i en mängd olika produkter.

## 15 REFERENSER

### 15.1 Tryckta referenser

- Ahlin K-Å., Emanuelson M. 1986. Rapsprodukter till mjölkkor. Inverkan på produktion, hälsa och fruktsamhet. I: *Rapsprodukternas inverkan på mjölkornas produktion och fruktsamhet*. Seminarium i Karlshamn den 15 – 16 april 1986. Exab Foder AB, Karlshamn. 4 s.
- Ahlin K-Å., Emanuelsson M., Larsson K., Wiktorsson H. 1985. Rapsprodukter som foder till mjölkkor. Inverkan på hälsotillstånd, fertilitet och produktion. Preliminär rapport december 1985. I: *Forskningsrapporter från oljeväxtodlarna II 1985. Utfodringsförsök med raps och rapsmjöl*. Oljeväxtodlarnas service AB / Stiftelsen svensk oljeväxtforskning, Malmö. S. 43-48.
- Alfredsson S. 2004. *Hästars preferens för fettrika kraftfoder innehållande olika fettkällor. High fat concentrates for horses – a preference study*. Examensarbete 198, Inst f husdjurens utfodring och vård, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 43 s.
- Amon T., Amon B., Kryvoruchko V., Bodiroza V., Pötsch E., Zollitsch W. 2006. Optimising methane yield from anaerobic digestion of manure: Effects of dairy systems and glycerine supplementation. *International Congress Series* 1293, s. 217-220. Elsevier.

- Amon T., Kryvoruchko V., Amon B., Schreiner M. 2004. Untersuchungen zur Wirkung von Rohglycerin aus der Biodieselerzeugung als leistungssteigerndes Zusatzmittel zur Biogaserzeugung aus Silomais, Körnermais, Rapspresskuchen und Schweinegülle; Ergebnisbericht Mai 2004, Universität für Bodenkultur, Institut für Landtechnik, Department für Nachhaltige Agrarsysteme, Wien, Österrike. 18 s.
- Antonini G., Burghart P., Champolivier L., Evrard J., Gueguen J. 1999. Evaluation of non-food utilization of rapeseed meal. *10th International Rapeseed Congress*, Canberra, Australia. 4 s.
- ATL. 2007. Marknadspriiser. *ATL – Lantbrukets affärstidning* Nr 51, Lrf media, Malmö. S. 20.
- Barrefors P. 1995. Mjölakens sammansättning hos kor med smakfel. I: *Utfodringskonferens 1995. Helsing. Höga kraftfodergivor*. Svensk Husdjursskötsel ek för. Hållsta, Eskilstuna. SLU/Info Husdjur. Inst f husdjurens utfodring och vård, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. S. 25-32.
- Barrefors P., Björck L. 1988. Fettets sammansättning och dess effekt på mjölk kvaliteten. I: *Fett i foder till mjölkkor. Från Utfodringskonferens mars 1987*. Meddelande nr 152, mars 1988, Svensk Husdjursskötsel ek för. Hållsta, Eskilstuna. S. 50-53.
- Bernesson S. 1993. *Studie av rapspressning och körning med en traktor med elsbettmotor på Sjösa Gård*. Extraction of rape seed oil and farm operation of an Elsbett engine tractor. Inst. medd. 93:03, Inst. f. lantbruksteknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 208 s. ISSN 1101-0843.
- Bernesson S. 2004a. *Life cycle assessment of rapeseed oil, rape methyl ester and ethanol as fuels – a comparison between large- and small-scale production*. Miljö, teknik och lantbruk, Rapport 2004:01, Inst f biometri och teknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 273 s. ISSN 1652 3237.
- Bernesson S. 2004b. *Farm-scale production of RME and ethanol for heavy diesel engines – with emphasis on environmental assessment*. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Agraria 497, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. 136 s. ISSN 1401-6249. ISBN 91-576-6777-2.
- Bernesson S. 2005. *Raps till motorbränsle från fält till motor – en liten handbok*. SERO, Sveriges Energiföreningars RiksOrganisation, Köping. 79 s. ISBN 91-631-8099-5.
- Bernesson S., Hansson K., Robertsson M., Thyselius L. 1999. *Torr biogasprocess för lantbruksgrödor – studier av aerob förbehandling, torrsubstans- och ympningsförutsättningar. Litteraturgenomgång och inledande försök*. JTI rapport kretslopp och avfall nr 19, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala. ISSN 1401-4955. 138 s.
- Bertilsson J. 1987. *Helsvenska foderstater till mjölkkor*. Fakta husdjur, nr 16, 1987. Konsulentavdelningen/försäljning, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 4 s. ISSN 0280-7130.
- Bertilsson J. 1988a. Studier över en behandlad rapsprodukt som foder till mjölkkor. I: *Forskningsrapporter från oljeväxtodlarna V 1988. Utfodringsförsök*. Oljeväxtodlarnas service AB / Stiftelsen svensk oljeväxtforskning, Malmö. S. 48-64.
- Bertilsson J. 1988b. *Expro – Studier över en behandlad rapsprodukt som foder till mjölkkor*. Publ 1, 12/88, Exab foder AB, Karlshamn. 17 s.

- Bertilsson J. 1989. Utnyttjande av värmebehandlat rapsmjöl till idisslare. I: *Seminarium om oljeväxternas möjligheter som protein- och energikälla inom animalieproduktionen*. Lantbruksuniversitetet i Uppsala 19 januari 1989. Publ 4, 5/89, Exab Foder AB, Karlshamn. S. 28.
- Bertilsson J. 1990a. Rapsmjölet uppvärderas. *Svensk frötidning* 59(11) s. 208-210. ISSN 0346-2099.
- Bertilsson J. 1990b. *Effekt av reducerad proteintillförsel på mjölkornas produktion, hälsa och kvävebalans*. Försök med Expro: Publ 8, 12/90, Exab foder AB, Karlshamn. 28 s.
- Bertilsson J., Gonda H.L., Lindberg J.E.. 1994. Effects of level and degradability of rapeseed meal in rations for dairy cows. 1. Animal performance. *Acta Agriculturae Scandinavica. Section A. Animal Science* 44(4), s. 222-229. ISSN 0906-4702.
- Biodiesel Magazine. 2005. *Researchers finding new uses for glycerine*. November 2005 Issue, Biodiesel Magazine. [http://www.biodieselmagazine.com/article-print.jsp?article\\_id=266](http://www.biodieselmagazine.com/article-print.jsp?article_id=266).
- Björklund K. 1988a. Smältbarhetsförsök med fettrika rapsprodukter till suggor. I: *Forskningsrapporter från oljeväxtodlarna V 1988. Utfodringsförsök*. Oljeväxtodlarnas service AB / Stiftelsen svensk oljeväxtforskning, Malmö. S. 97-101.
- Björklund K. 1988b. Smältbarhetsförsök med fettrika rapsprodukter till fjäderfä. I: *Forskningsrapporter från oljeväxtodlarna V 1988. Utfodringsförsök*. Oljeväxtodlarnas service AB / Stiftelsen svensk oljeväxtforskning, Malmö. S. 102-106.
- Björklund K. 1988c. Omsättningsförsök med rapsmjöl av trippel- och dubbellåg typ till fjäderfä. I: *Forskningsrapporter från oljeväxtodlarna V 1988. Utfodringsförsök*. Oljeväxtodlarnas service AB / Stiftelsen svensk oljeväxtforskning, Malmö. S. 112-117.
- Björklund K., Olsson A.C., Thompke S. 1990. *Näringsvärde av rapsfrö och -expeller till svin och fjäderfä*. Fakta husdjur, nr 7, 1990. Konsulentavdelningen/försäljning, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 4 s. ISSN 0280-7130.
- Bodarski R., Wertelecki T., Bommer F., Gosiewski S. 2005. The changes of metabolic status and lactation performance in dairy cows under feeding TMR with glycerin (glycerol) supplement at periparturient period. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Topic Animal Husbandry*, 8(4), 8 s.
- Borgman T. 2007. *Stor potential för glycerol i Sverige*. Jordbruksaktuellt nr 8, Jordbruksaktuellt Sverige AB, Örebro ([www.ja.se/nyheter/skrivutnyhet.asp?nyhetID=8135](http://www.ja.se/nyheter/skrivutnyhet.asp?nyhetID=8135) 2007-05-25).
- Cerrate S., Yan F., Wang Z., Coto C., Sacakli P., Waldroup P.W. 2006. Evaluation of glycerine from biodiesel production as a feed ingredient for broilers. *International Journal of Poultry Science*, 5(11), 1001-1007. ISSN 1682-8356.
- Chandler J.A., Jewell W.J., Gossett J.M, van Soest P.J., Robertsson J.B. 1980. Predicting methane fermentation biodegradability. *Biotechnology and Bioengineering Symposium No. 10*. John Wiley & Sons, Inc. S. 93-107.
- Dalemo M., Edström M., Thyselius L., Brodin L. 1993. *Biogas ur vallgrödor. Teknik och ekonomi vid storskalig biogasframställning*. JTI-rapport 162, Jordbrukstekniska Institutet, Uppsala. 97 s. ISSN 0346-7597.
- DeFrain J.M., Hippen A.R., Kalscheur K.F., Jardon P.W. 2004. Feeding glycerol to transition dairy cows: effects on blood metabolites and lactation performance. *Journal of dairy science*, 87(12), s. 4195-4206.

- Eder B., Schulz H., Krieg A., Mitterleitner H., Graf W., Wellinger A., Stocker K.H. 2006. *Biogas – Praxis Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele, Wirtschaftlichkeit*. 4:e upplagan. Ökobuch Verlag. Freiburg, Tyskland. 236 s. ISBN 3-936896-13-5.
- Elwinger K. 1985a. Rapeseed meal of low-glucosinolate type fed to broiler chickens and laying hens. 4:th European Symposium of Poultry Nutrition, Tours, France 1983. I: *Forskningsrapporter från oljeväxtodlarna II 1985.Utfodringsförsök med raps och rapsmjöl*. Oljeväxtodlarnas service AB / Stiftelsen svensk oljeväxtforskning, Malmö. S. 199-207.
- Elwinger K. 1985b. *Rapsmjöl av 00-typ till fjäderfä*. Fakta husdjur, nr 13, 1985. Konsulentavdelningen/försäljning, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 4 s. ISSN 0280-7130.
- Elwinger K. 2005. Fodermedel och foder till värphöns och kycklingar. Rapport, Inst f husdjurens utfodring och vård, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 25 s.
- Elwinger K., Appelqvist L.Å., Stenberg H., Wilhelmson M. 1985. Kontroll av lukt och smak samt analys av trimetylamin i ägg från höns utfodrade med foder innehållande 12 procent 00-rapsmjöl. I: *Forskningsrapporter från oljeväxtodlarna II 1985. Utfodringsförsök med raps och rapsmjöl*. Oljeväxtodlarnas service AB / Stiftelsen svensk oljeväxtforskning, Malmö. S. 208-219.
- Elwinger K., Thomke S. 1985. Utfodringsförsök med svenskt rapsmjöl av 00-typ till fjäderfä och slaktsvin. I: *Forskningsrapporter från oljeväxtodlarna II 1985. Utfodringsförsök med raps och rapsmjöl*. Oljeväxtodlarnas service AB / Stiftelsen svensk oljeväxtforskning, Malmö. S. 143-152.
- Emanuelson M. 1989. *Rapeseed products of double low cultivars to dairy cows. Effects of long-term feeding and studies on rumen metabolism*. Rapport 189, Inst f husdjurens utfodring och vård, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 182 s. ISSN 0347-9838. ISBN 91-576-3970-1.
- Emanuelson M., Ahlin K-Å. 1988. Rapsprodukter som foder till mjölkkor. Inverkan på hälsotillstånd, fertilitet och produktion. Lägesrapport december 1987. I: *Forskningsrapporter från oljeväxtodlarna V 1988. Utfodringsförsök*. Oljeväxtodlarnas service AB / Stiftelsen svensk oljeväxtforskning, Malmö. S. 5-8.
- Emanuelson M., Wiktorsson H. 1988. Rapsprodukter som foder till mjölkkor, inverkan på produktion, hälsa och fruktsamhet. I: *Fett i foder till mjölkkor. Från Utfodringskonferens mars 1987*. Meddelande nr 152, mars 1988, Svensk Husdjursskötsel ek för. Hållsta, Eskilstuna. S. 25-30.
- Emanuelson M., Wiktorsson H. 1990. *Dubbellåg raps till mjölkkor*. Fakta husdjur, nr 11, 1990. Konsulentavdelningen/försäljning, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 4 s. ISSN 0280-7130.
- EnergieAgentur NRW. 2000. *Biogas: Strom und Wärme aus Gülle*. Broschüren der EnergieAgentur NRW 10.2000. Wuppertal, Tyskland. <http://www.ea-nrw.de>.
- Engstedt M., Sanne S. 1985. Projekt: Studier av ”skydd” av olja i rapsfrö. Slutredovisning 1981-10-05. I: *Forskningsrapporter från oljeväxtodlarna II 1985. Utfodringsförsök med raps och rapsmjöl*. Oljeväxtodlarnas service AB / Stiftelsen svensk oljeväxtforskning, Malmö. S. 49-70.
- Everitt B. 1988. Fett i fodret – inverkan på mjölkens sammansättning och kvalitet. I: *Fett i foder till mjölkkor. Från Utfodringskonferens mars 1987*. Meddelande nr 152, mars 1988, Svensk Husdjursskötsel ek för. Hållsta, Eskilstuna. S. 54-62.

- Everitt B. 1989. Kan rapsprodukterna i utfodringen påverka mejeriprodukternas kvalitet? I: *Seminarium om oljeväxternas möjligheter som protein- och energikälla inom animalieproduktionen*. Lantbruksuniversitetet i Uppsala 19 januari 1989. Publ 4, 5/89, Exab Foder AB, Karlshamn. S. 18-25.
- Everitt B. 1995. Har vi fått ny kunskap vad gäller smakfel? I: *Utfodringskonferens 1995. Helsäd. Höga kraftfodergivor*. Svensk Husdjursskötsel ek för. Hållsta, Eskilstuna. SLU/Info Husdjur. Inst f husdjurens utfodring och vård, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. S. 5-8.
- Fisher L.J., Erfle J.D., Lodge G.A., Sauer F.D. 1973. Effects of propylene glycol or glycerol supplementation of the diet of dairy cows on feed intake, milk yield and composition, and incidence of ketosis. *Canadian Journal of Animal Science*, 53, s. 289-296.
- Fisher L.J., Erfle J.D., Sauer F.D. 1971. Preliminary evaluation of the addition of glucogenic materials to the rations of lactating cows. *Canadian Journal of Animal Science*, 51, s. 721-727.
- Fornhammar R. 1988. Animaliskt fett. I: *Fett i foder till mjölkkor. Från Utfodringskonferens mars 1987*. Meddelande nr 152, mars 1988, Svensk Husdjursskötsel ek för. Hållsta, Eskilstuna. S. 44-46.
- Frank B. 1985. Rapport gällande olika mängder rapsexpeller och rapsmjöl under höglaktationen och deras inflytande på mjölkornas fertilitet. I: *Forskningsrapporter från oljeväxtodlarna II 1985. Utfodringsförsök med raps och rapsmjöl*. Oljeväxtodlarnas service AB / Stiftelsen svensk oljeväxtforskning, Malmö. S. 37-42.
- Frank B. 1986a. Rapsprodukter i idisslarnas foderstat. En historisk tillbakablick. I: *Rapsprodukternas inverkan på mjölkornas produktion och fruktsamhet*. Seminarium i Karlshamn den 15 – 16 april 1986. Exab Foder AB, Karlshamn. 4 s.
- Frank B. 1986b. De fettrika rapsprodukterna och deras konkurrensförmåga. I: *Rapsprodukternas inverkan på mjölkornas produktion och fruktsamhet*. Seminarium i Karlshamn den 15 – 16 april 1986. Exab Foder AB, Karlshamn. 3 s.
- Freistaat Sachsen. 2001. *Informationsmaterial zu Futterzusatzstoffen, Juni 2001*. Freistaat Sachsen, Sächsisches Landesinstitut für Landwirtschaft, Dresden, Tyskland. 66 s.
- Fridefors L. 1991. *Rapsexpeller som gödselmedel*. Examensarbete nr 76, Avdelningen för Växtnäringslära, Institutionen för Markvetenskap, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. 65 s.
- Gardasz J. 2006. Not just chicken feed. *Des Moines Business Record Online – Central Iowa's Weekly Business Journal*, Sunday, September 10, 2006, Des Moines, Iowa, USA. (<http://www.businessrecord.com/index.asp>).
- Goff J.P., Horst R.L. 2001. Oral glycerol as an aid in the treatment of ketosis/fatty liver complex. *Journal of Dairy Science* 84, Supplement 1, 635, s. 153 (abstract).
- Gran K., Everitt B. 1995. Fältstudie lukt- och smakfel. I: *Utfodringskonferens 1995. Helsäd. Höga kraftfodergivor*. Svensk Husdjursskötsel ek för. Hållsta, Eskilstuna. SLU/Info Husdjur. Inst f husdjurens utfodring och vård, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. S. 9-24.
- Gujer W., Zehnder A.J.B. 1983. Conversion Process in Anaerobic Digestion. *Water Science Technology* 15, s. 127-167. Copenhagen. IAWPRC/Pergamon Press Ltd.
- Hagelberg M., Mathisen B., Thyselius L. 1988. *Biogaspotential från organiska avfall i Sverige*. JTI-rapport 90, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala. 48 s. ISSN 0346-7597.

- Hansson G. 1981. *Methane fermentations: end product inhibition, thermophilic methane formation and production of methane from algae*. Doctoral dissertation. Dept of technical microbiology, University of Lund, Lund. 150 s.
- Hartenbower B.P., French W.T., Hernandez R., Licha M., Benson T.J. 2006. Biogas production using glycerol, the biodiesel by-product, as the carbon source. The 2006 Annual Meeting, San Francisco, California, 12-17 November 2006, American Institute of Chemical Engineers (AIChE), New York, New York, USA. 1 s.
- Haug R.T. 1993. *The Practical Handbook of Compost Engineering*. Lewis publishers. CRC Press, Inc., 2000 Corporate., Blvd., N.W., Boca Raton, Florida 33431, USA. 717 s. ISBN 0-87371-373-7.
- Hawkes D.L. 1979. Factors Affecting Net Energy Production from Mesophilic Anaerobic Digestion. I: Stafford D.A., Wheatley B.I., Hughes, D.E. (editorer). *Anaerobic Digestion. Proceedings of the First International Symposium on Anaerobic Digestion*, September 1979, held at University College, Cardiff, Wales. S. 131-149.
- Head S.W., Swetman A.A., Hammonds T.W., Gordon A., Southwell K.H., Harris R.V. 1995. *Small Scale Vegetable Oil Extraction*. Natural Resources Institute, Chatham Maritime, United Kingdom. 114 s. ISBN 085954-387-0.
- Herland P.J. 1997. Rapsprodukter och deras betydelse som foder till mjölkkor. I: Spörndly R. (red.). *Kungsängens Forskningscentrum 30 år 1967-1997*. Rapport 242. Inst f husdjurens utfodring och vård, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 97 s. ISSN 0347-9838. ISRN SLU-HUV-R--242-SE.
- Hillgrub J. 2006. R&D Creating new avenues for glycerine. Flexnews – R&D, Food Industry news, 16/08/2006. Labege, France.  
([www.flexnews.com/console/PageViewer.aspx?page=4299&print=yes](http://www.flexnews.com/console/PageViewer.aspx?page=4299&print=yes)).
- Honeyman, M., Bregendahl K., Kerr B., Thompson S. 2007. *Biodiesel byproduct effective in swine and poultry feed*. Communication Service, News Releases, April 11, 2007, College of Agriculture, Iowa State University, Ames, Iowa, USA. 1 s.  
([www.ag.iastate.edu/aginfo/news\\_detail.php?var1=313](http://www.ag.iastate.edu/aginfo/news_detail.php?var1=313)).
- Håkansson J., Thomke S., Pettersson H. 1994. *Rapsmjöl till slaktsvin*. Fakta husdjur, nr 2, 1994. SLU Info/försäljning, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 4 s. ISSN 0280-7130.
- Jacques K.A., Lyons T.P., Kelsall D.R. (editorer) 1999. *The alcohol textbook*. 3:rd edition. A reference for the beverage, fuel and industrial alcohol industries. Nottingham University Press, Nottingham, Storbritannien. 386 s.
- Jansson A. 2004. *Utfodringsrekommendationer för häst*. Hippologenheten, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 43 s.
- Jerger D.E., Tsao G.T. 1984. Feed Composition. I: Chynoweth D., Isaacson. R. (editorer) *Anaerobic Digestion of Biomass*, chapter 5. Elsevier Applied Science, New York. S. 65-89.
- Jewell W.J., Cummings R.J., Richards B.K. 1992. Energy Production from Biomass and Wastes: Present limitations and potential improvements. I Baade W. (editor). *Biotechnologies for Pollution Control and Energy. Proceedings of the Third Workshop of the Working Group on Biogas Production Technologies*. CNREE Network on Biomass Production and Conversion for Energy, Braunschweig, Germany, 5-7 May 1992. Reur Technical Series 21, FAO Regional Office for Europe, Institut für Technologie, Bundesanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig, Germany. S. 7-36.

- Johnson R.B. 1953. The treatment of ketosis with glycerol and propylene glycol. *Cornell Veterinarian* 44, s. 6-21.
- Jordbruksverket. 2007. *Föreskrifter om ändring i Statens jordbruksverks föreskrifter (SJVFS 2001:33) om intagning av växtsorter i den svenska sortlistan*. SJVFS 2007:36 Saknr U 27, Jordbruksverket, Jönköping. 12 s. ISSN 1102-0970.
- Josefsson E. 1979. Undersökning av oxazolidintion i mjölk. *Vår föda* 31(8), s. 471-477.
- Kaiser G. 2002. Effect of oral glycerol drench on transition dairy cattle. *Mid-South Ruminant Nutrition Conference 2002*, Texas Animal Nutrition Council, s. 31-35.
- Kaltschmitt M., Reinhardt G.A. 1997. *Nachwachsende Energieträger. Grundlagen, Verfahren, Ökologische Bilanzierung*. Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft. Braunschweig/Wiesbaden, Tyskland. 548 s. ISBN 3-528-06778-0.
- Khalili H., Varvikko T., Toivonen V., Hissa K., Suvitie M. 1997. The effects of added glycerol or unprotected free fatty acids or a combination of the two on silage intake, milk production, rumen fermentation and diet digestibility in cows given grass silage based diets. *Agricultural and food science in Finland*, 6(5-6), s. 349-362.
- Kijora C. 1996. Einsatzmöglichkeiten von Glycerin als Nebenprodukt der "Bio-Diesel" – Herstellung in der Tierernährung. Utilization of glycerol as a by-product of "Bio-Diesel"-production in animal nutrition. I: Flachowsky G., Kamphues J. (editorer). *Proceedings Workshop, Unkonventionelle Futtermittel in der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL) 10./11. April 1996*. Sonderheft 169 (1996), Landbauforschung Völkenrode, Völkenrode, Tyskland. S. 151-157.
- Kjellberg L. 1993. *Fett som energifodermedel till häst*. Examensarbete 52, Inst f husdjurens utfodring och vård, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 50 s.
- Knothe G., Krahl J., Van Gerpen J. (editorer) 2005. *The Biodiesel handbook*. AOCS Press, Champaign, Illinois, USA. 311 s. ISBN 1-893997-79-0.
- Kryvoruchko V., Amon T., Amon B., Gruber L., Schreiner M., Zolitsch W. 2004. Influence of nutrient composition on methane production from animal manures and co-digestion with maize and glycerine. I: *National Agrarian University of Ukraine: International Scientific Conference "Bioecotechnologies and Biofuel in Agroindustry"*, June 3-4, 2004, Kyiv, Ukraina. S. 143-148. ISBN 96-8302-07-9.
- Kuhn M. 1996. Zum einsatz vom Technischem Raps-glycerin aus der „Bio-diesel“-Produktion in der Schweinemast. About the use of technical rapeseed-glycerol from the „bio-diesel“-production in the fattening of pigs. I: Flachowsky G., Kamphues J. (editorer). *Proceedings Workshop, Unkonventionelle Futtermittel in der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL) 10./11. April 1996*. Sonderheft 169 (1996), Landbauforschung Völkenrode, Völkenrode, Tyskland. S. 163-167.
- Kücke M. 1993. *The efficiency of rapeseed oil cake as fertilizer*. *Agribiological Research*, 46(3), s. 269-276.
- Lammers P.J., Honeyman M.S., Bregendahl K., Kerr B., Weber T., Dozier W., Kidd M. 2007a. *Energy value of crude glycerol fed to pigs*. A.S. Leaflet R2225, Iowa State University Animal Industry Report 2007, Ames, Iowa, USA. 3 s.
- Lammers P., Honeyman M., Kerr B., Weber T. 2007b. *Growth and performance of nursery pigs fed crude glycerol*. A.S. Leaflet R2224, Iowa State University Animal Industry Report 2007, Ames, Iowa, USA. 1 s.



- Lammers P.J., Kerr B.J., Weber T.E., Dozier W.A., Kidd M.T., Bregendahl K., Honeyman M.S. 2007c. *Apparent digestible energy value of crude glycerol fed to pigs*. Abstract 142, Abstracts 2007 ADSA/ASAS Midwest Meeting, March 19-21, 2007. Midwestern Section, ASAS: American Society of Animal Science and ADSA: American Dairy Science Association. S.46.
- Lindberg J.E., Andersson C. 1993. *Smältbarhet och energiinnehåll i animalt fett och i en blandning av vegetabiliskt och animalt fett till grisar*. Rapport 220, Inst f husdjurens utfodring och vård, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 10 s. ISSN 0347-9838. ISRN SLU-HUV-R--220-SE.
- Lindgren E. 1988. Utnyttjande av fettrika rapsprodukter i idisslarnas foder. Lägesrapport november 1988. I: *Forskningsrapporter från oljeväxtodlarna V 1988. Utfodringsförsök. Oljeväxtodlarnas service AB / Stiftelsen svensk oljeväxtforskning, Malmö*. S. 95-96.
- Lindman M. 2007. Gas från gris värmer gården. *Lantmannen* nr 8, LRF Media AB, Stockholm. S. 14-16.
- Linke P.L., DeFrain J.M., Hippen A.R., Jardon P.W. 2004. Ruminal and plasma responses in dairy cows to drenching or feeding glycerol. *Journal of Dairy Science* 87, Supplement 1, W120, s. 343 (abstract).
- Livsmedelssverige. 2007. [www.livsmedelssverige.org](http://www.livsmedelssverige.org) (11:e maj 2007). Livsmedelssverige: Produktion: Djurhållning: Hönsållning och äggproduktion; Kyckling och kycklingproduktion. Livsmedelssverige, SLU – Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Lärn-Nilsson J., Christensen S., Danielsson D-A., Eriksson J-Å., Ewing K., Furugren B., Larsson N-E., Olsson S-O., Rydhmer L., Widebeck L. 1998. *Naturbrukets husdjur. Del 2. Natur och Kultur/LTs förlag*. Stockholm. 296 s. ISBN 91-27-35085-1.
- Lärn-Nilsson J., Jansson D.S., Strandberg L. 1997. *Naturbrukets husdjur. Del 1. LTs förlag*. Stockholm. 304 s. ISBN 91-36-03375-8.
- Löwe, 2000. Verarbeitung von Rohglycerin in Mischfutter. *Veredlungsproduktion 2, Zeitschrift für Tierhaltung*, Informationssystem Nachwachsende Rohstoffe, Institut für Umweltgerechte Landwirtschaft, Müllheim, Tyskland. S. 46-47.
- Malm A. 1985. Utfodringsförsök med 00-raps till slaktsvin. I: *Forskningsrapporter från oljeväxtodlarna II 1985. Utfodringsförsök med raps och rapsmjöl*. Oljeväxtodlarnas service AB / Stiftelsen svensk oljeväxtforskning, Malmö. S. 191-198.
- Maskinkalkylgruppen. 2006. *Maskinkostnader 2006. Underlag och kalkylexempel på timkostnader för lantbruksmaskiner*. Maskinkalkylgruppen, Hushållningssällskapet Kalmar-Kronoberg-Blekinge, HIR Malmöhus, LRF konsult, Maskinkonsulenterna, Borgeby Slott, Bjärred. 32 s.
- Mathisen, B. 1993. Mikrobiologiska förutsättningar för biogasproduktion från olika avfall och biomassor. *Biogas i kretsloppet*. Konferens 9-10 mars 1993, NUTEK, Stockholm. 4 s.
- Mittelbach M., Remschmidt C. 2005. *Biodiesel – The comprehensive handbook*. 2nd edition. Martin Mittelbach (Publisher), Am Blumenhang 27, A8010 Graz, Austria. 340 s. ISBN 3-200-00249-2.
- Mittelbach M., Wörgetter M., Pernkopf J., Junek H. 1983. Diesel fuel derivatives from vegetable oils: Preparation and use of rape methyl ester. I: *Energy in Agriculture* 2. S. 369-384. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam, The Netherlands.

- Mladenovska Z., Dabrowski S., Ahring B.K. 2003. Anaerobic digestion of manure and mixture of manure with lipids: biogas reactor performance and microbial community analysis. *Water Science and Technology*, vol 48(6), s. 271-278.
- Mourot J., Aumaitre A., Mounier A., Peiniau P., François A.C. 1994. Nutritional and psychological effects of dietary glycerol in the growing pig. Consequences on fatty tissues and post mortem muscular parameters. *Livestock Production Science* 38(3), 237-244.
- Murphy M. 1988. Nedbrytning och omsättning av fett i mag- och tarmkanalen. I: *Fett i foder till mjölkkor. Från Utfodringskonferens mars 1987*. Meddelande nr 152, mars 1988, Svensk Husdjursskötsel ek för. Hållsta, Eskilstuna. S. 12-17.
- Murphy M., Wiktorsson H. 1986. *Fett i foder till mjölkkor*. Fakta husdjur, nr 1, 1986. Konsulentavdelningen/försäljning, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 4 s. ISSN 0280-7130.
- Mörtstedt S-E., Hellsten G. 1982. Data och diagram. Energi- och kemitekniska tabeller. Femte upplagan, första tryckningen, Esselte Studium AB, Nordstedts Tryckeri, Stockholm. 96 s. ISBN 91-24-31145-6.
- Neu J. 2005. *New process developed to make biodiesel production cheaper for manufacturers*. News Bureau, Aug 11, 2005, College of Engineering, University of Missouri, Columbia, Missouri, USA. (munews.missouri.edu/print.cfm?newsid=5963).
- Nilles D. 2006. Combating the glycerin glut. *Biodiesel Magazine*, September 2006. BBI International, Grand Forks, North Dakota, USA. (www.biodieselmagazine.com).
- Nordberg Å., Edström M., Uusi-Pentillä M., Rasmuson Å. 2005. *Processintern metananrikning*. JTI-rapport Kretslopp & Avfall 33, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala. 39 s. ISSN 1401-4955.
- Norén O. 1990. *Rapsolja för tekniska ändamål – framställning och användning*. Meddelande nr 429, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala. 52 s. ISSN 0368-3419. ISBN 91-7072-090-8.
- Norén O. (red.). 1993. *Praktisk systemstudie över användning av rapsolja som bränsle i elsbettmotorer*. JTI-rapport 163, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala. 30 s. ISSN 0346-7597.
- Norén O., Bernesson S., Johansson S., Lindström L. 1994. *Pressanläggningar för rapsfrö. Planering, uppbyggnad och användning*. Meddelande nr 445, JTI, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala. 50 s. ISSN 0368-3419. ISBN 91-7072-108-4.
- Norén O., Hadders G., Johansson S., Lindström L. 1993. *Småskalig framställning av rapsmetylester*. JTI-rapport 155, JTI, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala. 48 s. ISSN 0346-7597.
- Nyns E-J. 1986. Biomethanation Processes. In: Rehm H.-J., Reed G. (editorer), Schönborn W. (vol. editor). *Biotechnology, A Comprehensive Treatise in 8 Volumes*, volume 8 (Microbial Degradations), chapter 5, VCH Verlagsgesellschaft mbH, D-6940 Weinheim, Federal Republik of Germany. S. 207-267. ISBN 3-527-25770-5 (Weinheim), ISBN 0-89573-048-0 (New York).
- Ogborn K.L. 2006. *Effects of method of delivery of glycerol on performance and metabolism of dairy cows during the transition period*. A thesis presented to the faculty of the graduate school of Cornell University in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of science. Cornell University, Ithaca, New York, USA. 88 s.

- Olsson A.C. 1988. Smältbarhetsförsök med rapsmjöl av trippellåg typ till svin. I: *Forskningsrapporter från oljeväxtodlarna V 1988. Utfodringsförsök*. Oljeväxtodlarnas service AB / Stiftelsen svensk oljeväxtforskning, Malmö. S. 107-111.
- Olsson A.C., Björklund K., Thomke S. 1990. *Trippellågt rapsmjöl till svin och fjäderfä*. Fakta husdjur, nr 4, 1990. Konsulentavdelningen/försäljning, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 4 s. ISSN 0280-7130.
- Olsson G. 1989. Oljeväxtodlarnas stöd till foderprojekt. I: *Seminarium om oljeväxternas möjligheter som protein- och energikälla inom animalieproduktionen*. Lantbruksuniversitetet i Uppsala 19 januari 1989. Publ 4, 5/89, Exab Foder AB, Karlshamn. S. 7-12.
- Olsson S-O. 1981. *Raps—hälsa—fruktsamhet hos nötkreatur*. Meddelande nr 109. Svensk husdjursskötsel ek för. Hallsta, Eskilstuna. 26 s.
- Patzer R., Norris M., Doering A., Jorgenson R., Neece C., Zimmerli B. 2007. *Stack emissions evaluation: Combustion of crude glycerin and yellow grease in an industrial fire tube boiler*. April 13, 2007, AURI AG Innovations, Agricultural Utilization Research Institute, Marshall, Minnesota, USA. 12 s.
- Pauss A., Naveau H., Nyns, E.-J. 1987. Biogas production. I: Hall D.O., Overend R.P. (editorer). *Biomass: Regenerable energy*, John Wiley & Sons Ltd, New York, USA. S. 273-291. ISBN 047190919X.
- Persson M. 2003. *Utvärdering av uppgraderingstekniker för biogas*. Rapport SGC 142. Svenskt Gastekniskt Center AB, Malmö. 83 s. ISSN 1102-7371. ISRN SGC-R--142-SE.
- Peterson C.L., Thompson J., Feldman M.E., Vander Griend L. 1990. Combustion of winter rape products in a residential stove. *Applied Engineering in Agriculture*, 6(4), s. 471-476.
- Pettersson A. 1989. Vilka åtgärder kan öka rapsens användbarhet inom foderindustrin? I: *Seminarium om oljeväxternas möjligheter som protein- och energikälla inom animalieproduktionen*. Lantbruksuniversitetet i Uppsala 19 januari 1989. Publ 4, 5/89, Exab Foder AB, Karlshamn. S. 15-17.
- Pirt S.J. 1978. Aerobic and anaerobic microbial digestion in waste reclamation. *Journal of applied chemistry and biotechnology*, 28, s. 232-236.
- Plaetner Kjeldsen J. 2007. Per byte melass mot glycerol. Jordbruksaktuellt nr 8, Jordbruksaktuellt Sverige AB, Örebro ([www.ja.se/nyheter/skrivutnyhet.asp?nyhetID=8133](http://www.ja.se/nyheter/skrivutnyhet.asp?nyhetID=8133) 2007-05-25).
- Planck C., Lindberg J.E., Rundgren M., Roneus M., Lundström B., Åhäll P.G., Larsson L.H., Leander B. 1998. *Hästen - Näringsbehov och fodermedel* (2:a upplagan). Rapport 1, Hippologenheten, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 35 s. ISSN 1403-1019.
- Planck C., Rundgren M. 2005. *Hästens näringsbehov och utfodring*. Natur och Kultur / Fakta etc. Stockholm. 255 s. ISBN 91-27-35601-9.
- Praks O. 1993. *Eldningsförsök med rapsexpeller*. Sammanställt nr 17, Inst. f. lantbrukets byggnadsteknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Lund. 15 s. ISSN 1101-5845.
- Rasmusson B. 1983. Smältbarhetsförsök med malt och krossat rapsfrö till kvigor. A digestibility experiment with heifers fed ground and rolled rapeseed. Examensarbete VT 1983. Inst f husdjurens utfodring och vård, Sveriges lantbruksuniversitet. I: *Forskningsrapporter från oljeväxtodlarna II 1985. Utfodringsförsök med raps och rapsmjöl*. Oljeväxtodlarnas service AB / Stiftelsen svensk oljeväxtforskning, Malmö. S. 91-114.

- Remmele E., Stotz K. 2003. *Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich. Projektphase 1: Erhebung der Ölqualität und Umfrage in der Praxis*. Berichte aus dem TFZ 1, Technologie- und Förderzentrum, Im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, Straubing, Tyskland. 115 s.
- Rémond B., Souday E., Jouany J.P. 1993. In vitro and in vivo fermentation of glycerol by rumen microbes. *Animal Feed Science and Technology*, 41, s. 121-132.
- Richards B.K., Cummings R.J., White T.E., Jewell W.J. 1991. Methods for Kinetic Analysis of Methane Fermentation in High Solids Biomass Digesters. *Biomass and Energy*, 1, Nr 2. Printed in Great Britain. Pergamon Press plc. S. 65-73.
- Rundgren M., Askbrant S., Thomke S. 1985. Nutritional evaluation of low- and high-glucosinolate rapeseed meals with pigs, laying hens and rats. *Swedish Journal of Agricultural Research* 15(2), s. 61-69. ISSN 0049-2701.
- Samuelsson B. 1990. *Foderfettets inverkan på mjölkens fettsyrasammansättning*. Examensarbete 25, Inst f husdjurens utfodring och vård, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 34 s.
- Sanne S. 1985. Rapsfröets smältbarhet. I: *Forskningsrapporter från oljeväxtodlarna II 1985. Utfodringsförsök med raps och rapsmjöl*. Oljeväxtodlarnas service AB / Stiftelsen svensk oljeväxtforskning, Malmö. S. 71-90.
- Sanne S. 1988a. Behandlat rapsfrö till mjölkkor. I: *Fett i foder till mjölkkor. Från Utfodringskonferens mars 1987*. Meddelande nr 152, mars 1988, Svensk Husdjursskötsel ek för. Hållsta, Eskilstuna. S. 31-36.
- Sanne S. 1988b. Utfodring av rapsprodukter till mjölkkor. I: *Forskningsrapporter från oljeväxtodlarna V 1988. Utfodringsförsök*. Oljeväxtodlarnas service AB / Stiftelsen svensk oljeväxtforskning, Malmö. S. 65-88.
- Sanne S. 1988c. Fett till mjölkkor och inverkan på mjölkens sammansättning. I: *Forskningsrapporter från oljeväxtodlarna V 1988. Utfodringsförsök*. Oljeväxtodlarnas service AB / Stiftelsen svensk oljeväxtforskning, Malmö. S. 89-94.
- Sauer F.D., Erfle J.D., Fisher L.J. 1973. Propylene glycol and glycerol as a feed additive for lactating dairy cows: an evaluation of blood metabolite parameters. *Canadian Journal of Animal Science*, 53, s. 265-271.
- Schröder A., Südekum K-H. 1996. Einfluß von technischem Glycerin in Mischfuttermitteln auf die Nährstoffumsetzungen in den Vormägen von Rindern. Effects of technical glycerol in compound feeds on nutrient conversions in forestomachs of cattle. I: Flachowsky G., Kamphues J. (editorer). *Proceedings Workshop, Unkonventionelle Futtermittel in der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL) 10./11. April 1996*. Sonderheft 169 (1996), Landbauforschung Völkenrode, Völkenrode, Tyskland. S. 158-162.
- Schröder A., Südekum K-H. 1999. *Glycerol as a by-product of biodiesel production in diets for ruminants*. 10th International Rapeseed Congress, Canberra, Australia. 6 s.
- Schumann W. 2004. Untersuchungen zum Glucosinolatgehalt von in Deutschland erzeugten und verarbeiteten Rapsaaten und Rapsfuttermitteln. Ufop heft 27, UFOP - Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V., Berlin, Tyskland. 69 s.
- Schöne F., Leiterer M., Tischendorf F., Bargholz J. 1999. High fat rapeseed products (rapeseed, rapeseed oil and rapeseed press cake) in sow feeding. *10th International Rapeseed Congress*, Canberra, Australia 1999. Published by: The Regional Institute Ltd. 6 s.

- Sederblad B., Spörndly R. 1994a. *Fett i foderstaten: För mycket fett är skadligt*. Husdjur nr 8/94. Svensk Husdjursskötsel, Eskilstuna. S. 8-9. ISSN 0046-8339.
- Sederblad B., Spörndly R. 1994b. *Finessen med foderfett*. Husdjur nr 8/94. Svensk Husdjursskötsel, Eskilstuna. S. 11-12. ISSN 0046-8339.
- Sederblad B., Spörndly R. 1994c. *Svenska foderförsök: Om kraftfoder och fett*. Husdjur nr 8/94. Svensk Husdjursskötsel, Eskilstuna. S. 13. ISSN 0046-8339.
- Simon A. 1996. Verabreichung von Glycerin an Broiler mit dem Tränkwasser. Application of glycerol with the drinking water of broilers. I: Flachowsky G., Kamphues J. (editorer). *Proceedings Workshop, Unkonventionelle Futtermittel in der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL) 10./11. April 1996*. Sonderheft 169 (1996), Landbauforschung Völkenrode, Völkenrode, Tyskland. S. 168-170.
- Simon A., Schwabe M., Bergner H. 1997. *Glycerol supplementation in broiler rations with low crude protein content*. Abstract via NCBI: National Center for Biotechnology Information från Archiv für Tierernährung 50(3), 271-281. ISSN 0003-942X.
- Simonsson A. 1993. *Fosforutnyttjandet i svinproduktionen kan förbättras*. Fakta husdjur, nr 15, 1993. SLU Info/försäljning, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 3 s. ISSN 0280-7130.
- Simonsson A. 2006. *Fodermedel och näringsrekommendationer för gris*. Rapport 266, Inst f husdjurens utfodring och vård, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 26 s. ISSN 0347-9838. ISRN SLU-HUV-R--266-SE.
- Simonsson A., Thomke S. 1995. *Rapsmjöl till svin – möjligheter och begränsningar*. Fakta husdjur, nr 12, 1995. SLU Info/försäljning, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 4 s. ISSN 0280-7130.
- SJV. 2006. *Statens jordbruksverks föreskrifter och allmänna råd om foder; beslutade den 7 december 2006*. SJVFS 2006:81, Saknr. M 39, Statens jordbruksverks författningssamling, Statens Jordbruksverk, Jönköping. 152 s. ISSN 1102-0970.
- Soares R.R., Simonetti D.A., Dumesic J.A. 2006. Glycerol as a source for fuels and chemicals by low-temperature catalytic processing. *Angewandte Chemie – International edition in English* 45(24), s. 3982-3985. ISSN 1433-7851.
- Spörndly E. 1986. *Mängden och halten protein och fett i mjölk – påverkan av utfodringen*. Fakta husdjur, nr 12, 1986. Konsulentavdelningen/försäljning, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 3 s. ISSN 0280-7130.
- Spörndly E., Åsberg T. 2006. Eating rate and preference of different concentrate components for cattle. *Journal of Dairy Science* 89(6), s. 2188-2199.
- Spörndly R. 1987. *Fett – rätt för högavkastande kor!* Husdjur nr 4/87. Svensk Husdjursskötsel, Eskilstuna. S. 58-60. ISSN 0046-8339.
- Spörndly R (red). 2003. *Fodertabeller för idisslare 2003*. Rapport 257, Inst f husdjurens utfodring och vård, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 96 s. ISSN 0347-9838. ISRN SLU-HUV-R--257-SE.
- STEM. 2007a. *Prisblad för biobränslen, torv m.m., Nr 2 / 2007*. STEM – Statens energimyndighet, Eskilstuna. 2 s.
- Strömberg B. 2004. *Bränslehandboken. Handbook of fuels*. Rapport F4-324, Värmeforsk Service AB, Stockholm. 317 s + elektroniska bilagor. ISSN 0282-3772.

- Säterby B., Elwinger K. 1983. *Gula ärter och rapsmjöl av 00-typ i slaktkycklingfoder*. Fakta husdjur, nr 2, 1983. Konsulentavdelningen/publicering, Sveriges lantbruksuniversitet. Uppsala. 3 s. ISSN 0280-7130.
- Thomke S. 1984. Further experiments with RSM of a Swedish low-glucosinolate type fed to growing-finishing pigs [rapeseed meal]. *Swedish Journal of Agricultural Research* 14(3), s. 151-157. ISSN 0049-2701.
- Thomke S. 1985a. *Rapsmjöl – en ökande proteinresurs till svin*. Fakta husdjur, nr 15, 1985. Konsulentavdelningen/försäljning, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 4 s. ISSN 0280-7130.
- Thomke S. 1985b. Rapsmjöl – en ökande proteinresurs till svin. I: *Forskningsrapporter från oljeväxtodlarna II 1985. Utfodringsförsök med raps och rapsmjöl*. Oljeväxtodlarnas service AB / Stiftelsen svensk oljeväxtforskning, Malmö. S. 124-130.
- Thompke S., Elwinger K., Rundgren M., Ahlström B. 1983. Rapeseed meal of Swedish low-glucosinolate type fed to broiler chickens, laying hens and growing-finishing pigs. *Acta Agriculturae Scandinavica* 33(1), s. 75-96. ISSN 0001-5121.
- Thomke S., Göransson L. 1985. Rapsmjöl med lågt glukosinolatinnehåll till slaktsvin. I: *Forskningsrapporter från oljeväxtodlarna II 1985. Utfodringsförsök med raps och rapsmjöl*. Oljeväxtodlarnas service AB / Stiftelsen svensk oljeväxtforskning, Malmö. S. 135-142.
- Thyselius L. 1982. Biogas från gödsel och avfall. JTI-meddelande nr 391, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala. 74 s. ISBN 91-7072-052-5. ISSN 0368-3419.
- Tickell J. 2000. *From the fryer to the fuel tank. The complete guide to using vegetable oil as an alternative fuel*. 3e upplagan. Tickell energy consulting. Tallahassee, Florida, USA. 170 s. ISBN 0-9707227-0-2.
- Verougstraete A., Nyns E.-J., Naveau H.P. 1985. Heat recovery from composting and comparison with energy from anaerobic digestion. I: Gasser J.K.R. (editor). *Composting of agricultural and other wastes*. Elsevier Applied Science Publishers, London, United Kingdom. S. 135-146. ISBN 0-85334-357-8.
- Virent Energy Systems Inc. 2004. *Conversion of glycerol stream in a biodiesel plant*. Virent Energy Systems, Inc, Madison, Wisconsin, USA.
- Waldroup P.W. 2007. Biofuels and broilers --- competitors or cooperators? I: *2007 Proceedings of the 5th Mid-Atlantic Nutrition Conference*, March 28-29, 2007, Timonium, Maryland, USA. S. 25-33.
- Wheatley B.I. 1979. The Gaseous Products of Anaerobic Digestion - Biogas. I: Stafford D.A., Wheatley B.I., Hughes, D.E. (editorer). *Anaerobic Digestion. Proceedings of the First International Symposium on Anaerobic Digestion*, September 1979, held at University College, Cardiff, Wales. S. 415-426.
- Widmann B. 1988. *Gewinnung und reinigung von Rapsöl – Untersuchungen an einer Kleinanlage*. Technische Universität München, Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau, Institut für Landtechnik, Freising-Weihenstephan, Västtyskland. 80 s.
- Wiktorsson H. 1985. Raps och rapsprodukter till idisslare. I: *Forskningsrapporter från oljeväxtodlarna II 1985. Utfodringsförsök med raps och rapsmjöl*. Oljeväxtodlarnas service AB / Stiftelsen svensk oljeväxtforskning, Malmö. S. 5-9.

- Wiktorsson H. 1988. Nya rekommendationer för utfodring av fett till mjölkkor. I: *Fett i foder till mjölkkor. Från Utfodringskonferens mars 1987*. Meddelande nr 152, mars 1988, Svensk Husdjurskötsel ek för. Hållsta, Eskilstuna. S. 19-24.
- Wiktorsson H., Bertilsson J., Frank B., Lindberg J.E. 1988. Obehandlat och behandlat rapsproteins utnyttjande vid utfodring till mjölkkor. I. Utfodringsförsök med mjölkkor. II. Vomnedbrytbarhet av enskilda fodermedel analyserat med nylon-påse metoden. III. Vomomsättning och näringsutnyttjande hos får utfodrade med rapsmjöl vid två utfodringsnivåer. I: *Forskningsrapporter från oljeväxtodlarna V 1988. Utfodringsförsök*. Oljeväxtodlarnas service AB / Stiftelsen svensk oljeväxtforskning, Malmö. S. 9-47.
- Zacharias B. 2007. *Glycerin in der Schweinefütterung*. Bildungs- und Wissenszentrum Boxberg, Schweinehaltung, Schweinezucht, Mai 07. Landesanstalt für Schweinezucht – LSZ, Boxberg – Windischbuch, Tyskland. 2 s.
- Åsberg T. 2005. *Nötkreaturs preferens för olika kraftfoderkomponenter. Cattle preference for different concentrate components*. Examensarbete 210, Inst f husdjurens utfodring och vård, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 42 s.

## 15.2 Internetreferenser

- AarhusKarlshamn. 2007.  
[www.aak.com/?aak=produkter&area=Sverige&product=53b6c2d3ea](http://www.aak.com/?aak=produkter&area=Sverige&product=53b6c2d3ea) (11:e april 2007).  
*Produkter*. AarhusKarlshamn AB. Karlshamn.
- Agriwise. 2007. [www.agriwise.org/databoken/index.html](http://www.agriwise.org/databoken/index.html) (2:a maj 2007). *Databoken 2007, Områdeskalkyler 2007, Tidigare Databöcker & områdeskalkyler*. Agriwise, Inst. för ekonomi, Sveriges lantbruksuniversitet. Uppsala.
- AnzacFuelTech. 2007. [www.anzacfueltech.com/index.htm](http://www.anzacfueltech.com/index.htm) (20:e juni 2007). AnzacFuelTech. Whakatane, Bay of Plenty, Zew Zealand.
- Biogas-Südwest. 2007. [www.biogas-suedwest.de/technik.htm](http://www.biogas-suedwest.de/technik.htm) (30:e juli 2007). *Kennzahlen zur Biogasnutzung; Gasausbeuten in l / kg org. Trockenmasse*. Biogas Südwest Innoplan GmbH, Trier, Tyskland.
- EBB. 2007. [www.ebb-eu.org/biodiesel.php](http://www.ebb-eu.org/biodiesel.php) (12:e oktober 2007). *Statistics The EU biodiesel industry*. EBB-European Biodiesel Board. Brussels, Belgien.
- EuroFuelTech. 2007. [www.eurofueltech.com/index.htm](http://www.eurofueltech.com/index.htm) (10:e oktober 2007). EuroFuelTech. Remscheid, Nordrhein-Westfalen, Tyskland.
- Journey to Forever. 2005. [journeytoforever.org](http://journeytoforever.org) (3:e augusti 2005). Journey to forever. Tamba-cho, Funai-gun, Kyoto, Japan.
- Journey to Forever. 2007. [journeytoforever.org](http://journeytoforever.org) (13:e juni 2007). Journey to forever. Tamba-cho, Funai-gun, Kyoto, Japan.
- Pelletsindustrin. 2007. [www.pelletsindustrin.org](http://www.pelletsindustrin.org) (7:e augusti 2007). *Statistik om pellets i Sverige 1997-2006 / Leveransstatistik / Statistik*. Pelletsindustrins Riksförbund, Stockholm.
- Riksbanken. 2007. [www.riksbank.se](http://www.riksbank.se) (11:e september 2007). *Valutakurser, Årsgenomsnitt på valutakurser, åren 2002, 2003, 2004, 2005, 2006 och 2007 augusti*. Riksbanken, Stockholm.
- Scandinavian biogas. 2007. [www.scandinavianbiogas.se](http://www.scandinavianbiogas.se) (18:e juli 2007). Scandinavian Biogas Fuels AB, Uppsala.

- SCB. 2007a. [www.scb.se](http://www.scb.se) (7:e augusti 2007). *Åkerarealens användning i riket efter gröda. År 1981-2006 / Åkerarealens användning efter län/riket och gröda. År 1981-2006 / Statistikdatabasen / Jordbruksmarkens användning / Jord- och skogsbruk, fiske / Statistik efter ämne*. Statistiska centralbyrån, Stockholm och Örebro.
- SCB. 2007b. [www.scb.se](http://www.scb.se) (7:e augusti 2007). *Skördar i riket efter gröda. År 1998-2006 / Skördar efter region och gröda. År 1998-2006 / Statistikdatabasen / Skörd av spannmål, trindsäd och oljeväxter / Jord- och skogsbruk, fiske / Statistik efter ämne*. Statistiska centralbyrån, Stockholm och Örebro.
- SCB. 2007c. [www.scb.se](http://www.scb.se) (7:e augusti 2007). *Husdjur i riket efter djurslag. År 1981-2006 / Husdjur efter län/riket och djurslag. År 1981-2006 / Statistikdatabasen / Husdjur / Jord- och skogsbruk, fiske / Statistik efter ämne*. Statistiska centralbyrån, Stockholm och Örebro.
- STEM. 2007b. [www.energimyndigheten.se](http://www.energimyndigheten.se) (25:e juli 2007). *Medelpris per elcertifikat, period 2006-07-25 - 2007-07-25*. Energimyndigheten / Styrmedel / Elcertifikatsystemet / Marknadsstatistik, STEM - Statens energimyndighet, Eskilstuna.
- Svensk Energi. 2007. [www.svenskenergi.se](http://www.svenskenergi.se)/sv/Om-el/Fakta-om-elmarknaden/Spotprisets-utveckling-sedan-1996 (25:e juli 2007). *Elpriser på Nord Pool*. Om el / Elmarknaden / Spotprisets utveckling, Svensk Energi, Stockholm.
- van Heugten E. 2007. [www.thepigsite.com](http://www.thepigsite.com) (12:e juni 2007). *Byproducts from energy production for swine*. Featured Articles, ThePigSite, 5M Enterprises Ltd., 4 Haywood House, Hydra Business Park, Nether Lane, Sheffield, S35 9ZX, England.
- Wikipedia. 2007. [wikipedia.org](http://wikipedia.org) (17:e juli 2007). Wikipedia The Free Encyclopedia.

### 15.3 Personliga meddelanden

- Ahlbert Jonas. Svensk Biogas i Linköping AB, Linköping. 0708-23 31 62 / [jonas.ahlbert@svenskiogas.se](mailto:jonas.ahlbert@svenskiogas.se). 2007-06-18.
- Andersson Carl-Johan. 50i10i1 i Häckeberga AB, Genarp. 0736-99 65 15 / [carl-johan.andersson@soiloil.se](mailto:carl-johan.andersson@soiloil.se). 2007-07-23.
- Augustsson Bo. Clean Burn Trading AB, Hisings Backa. 031-776 04 80 / [bosse@cleanburn.nu](mailto:bosse@cleanburn.nu). 2007-10-18.
- Bertilsson Jan. Forskningsledare, Institutionen för husdjurens utfodring och vård SLU. 018-67 16 45 / [Jan.Bertilsson@huv.slu.se](mailto:Jan.Bertilsson@huv.slu.se). 2007-05-02.
- Edström Mats. Forskare, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik. 018-30 33 86 / [Mats.Edstrom@jti.se](mailto:Mats.Edstrom@jti.se). 2007-05-07, 2007-07-24.
- Ejlertsson Jörgen. Docent, Scandinavian Biogas Fuels AB. 0739-93 95 73 / [Jorgen.Ejlertsson@scandinavianbiogas.com](mailto:Jorgen.Ejlertsson@scandinavianbiogas.com). 2007-07-19.
- Erlandsson Per. Lantmännen Ecobränsle AB, Karlshamn. 0454-82 400, 0454-82 715 / [per.erlandsson@lantmannen.com](mailto:per.erlandsson@lantmannen.com). 2007-06-15.
- Ericsson Christer. Lantmännen Lantbruk Foder, Lidköping. 0510-887 57, 0705-42 74 07 / [christer.ericsson@lantmannen.com](mailto:christer.ericsson@lantmannen.com). 2007-09-19.
- Frykerås David. Ageratec, Norrköping. 011-33 52 70 / [info@agratec.com](mailto:info@agratec.com). 2006-09-22, 2007-07-19.



Gunnarsson Elisabeth. Svalöf Weibull AB, Svalöv. 0418-66 70 00 /  
elisabeth.gunnarsson@swseed.com. 2007-07-26.

Herland Per-Johan. AarhusKarlshamn Sweden AB, Karlshamn. 0454-820 00 /  
perjohan.herland@aak.com. 2007-05-03, 2007-07-26, 2007-08-01.

Holtenius Kjell. Professor, Institutionen för husdjurens utfodring och vård SLU. 018-67 16 29  
/ Kjell.Holtenius@huv.slu.se. 2007-06-20.

Jansson Anna. Forskarassistent, Institutionen för husdjurens utfodring och vård SLU. 018-67  
21 06 / Anna.Jansson@huv.slu.se. 2007-05-10.

Jonsson Bengt. Skeppsta Maskin AB, Örebro. 019-22 80 05 / sales@oilpress.com. 2007-07-  
19.

Jonsson Bodil. Svalöf Weibull AB, Svalöv. 0418-66 70 00 / bodil.jonsson@swseed.com.  
2007-08-01.

Karlsson Olof. SERO - Sveriges Energiföreningars RiksOrganisation, Köping. 0221-197 65 /  
karlsson.sero@koping.net. 2007-07-25.

Lagerfelt Axel. Tolefors Gård AB, Linköping. 0708-29 93 98 / axel@tolefors.se. 2007-07-19.

Lindberg Jan-Erik. Professor, Institutionen för husdjurens utfodring och vård SLU. 018-67 21  
02, 018-67 45 02 / Jan.Erik.Lindberg@huv.slu.se. 2007-05-15.

Murphy Michael. Lantmännen Foderdivisionen, Stockholm. 08-657 43 31, 0702-07 29 14 /  
michael.murphy@lantmannen.com. 2007-09-19.

Norrby Per. Gotlands RapsBränsle, Havdhem. 0498-48 50 30, 0736-50 26 98 /  
pernorrby@telia.com. 2007-07-23.

Pettersson Jörgen. Skeby Energi AB, Götene. 0706-35 22 22 / jorgenistoregarden@telia.com.  
2007-06-15.

Rinman Peder. Brunnscholms säteri, Enköping. 0171-44 91 34, 0707-38 13 87 /  
peder@brunnsholm.se. 2007-07-23.

Strömberg Birgitta. TPS Termiska Processer AB, Nyköping. 08-53 52 48 25 /  
birgitta.stromberg@tps.se. 2007-10-08.

Tham Henrik. 50i10i1 i Häckeberga AB, Genarp. 040-48 00 17, 0703-39 88 70 /  
henrik.tham@soiloil.se. 2007-07-23.

Waldenstedt Lotta. Forskare, Institutionen för husdjurens utfodring och vård SLU. 018-67 45  
31 / Lotta.Waldenstedt@huv.slu.se. 2007-05-11.

Öhman Marcus. Professor, avdelningen för Energiteknik, Institutionen för tillämpad fysik,  
maskin- och materialteknik, Luleå tekniska universitet. 0920-49 19 77 /  
marcus.ohman@ltu.se. 2007-10-02.



## TIDIGARE PUBLIKATIONER

### *Examensarbeten*

- 2007:01 Giers, H. Kvalitetssäkring av hushållsnära avloppsfraktioner.
- 2007:02 Erlandsson, Å. Miljösystemanalys av VA-system i omvandlingsområden – Fallstudie i Värmdö kommun.
- 2007:03 Paulsson, P. Energianalys av etanolproduktion; En fallstudie av Lantmännen Agroetanols produktionssystem i Norrköping.
- 2007:04 Westman, C. Energibalanser och emissioner av växthusgaser för socker- och stärkelsebaserad etanol – en systemstudie av fordonsetanol hos SEKAB BioFuels & Chemicals AB.
- 2006:01 Bengtsson, L. & Paradis, H. Miljöeffekter av alternativa system för behandling av hushållsavfall i Santiago, Chile – en jämförelse mellan deponering och förbränning med energiutvinning.
- 2005:01 Hårsmar, D. Bättre enskilda avlopp i Sigtuna kommun – möjligheter för bebyggelse i Odensala socken.
- 2005:02 Svensson, M. Desalination and the environment: Options and considerations for brine disposal in inland and coastal locations.
- 2005:03 Jakobsson, D. Retention av tungmetaller I en anlagd våtmark: studier av Vattenparken I Enköpings kommun.
- 2005:04 Leonardsson, J. & Östensson, E. Inverkan av torrsbstanshalt och temperatur på kompostens syrabildning.
- 2005:05 Ulf, D. Miljöpåverkansbedömning vid tillverkning av etanol från cellulosabaserade råvaror: ekologisk gård självförsörjande med drivmedel.
- 2004:01 Ericsson, N. Uthållig sanitet i Peru – En förstudie i staden Picota.
- 2004:02 Ekvall, C. LCA av dricksvattendesinfektion – en jämförelse av klor och UV-ljus.
- 2004:03 Wertsberg, K. Behandling av lakvatten med kemiska oxidationsmedel för att delvis bryta ned oönskade organiska föreningar – En studie utförd vid Hovgårdens avfallsanläggning i Uppsala.
- 2004:04 Degaart, S. Humanurin till åkermark och grönytor: avsättning och organisation i Göteborgsområdet.
- 2004:05 Westlin, H. Utvärdering av ett silotorks-system för spannmål utrustat med omrörare.

### *Rapport – miljö, teknik och lantbruk*

- 2007:01 Lindgren, M. A methodology for estimating annual fuel consumption and emissions from non-road mobile machinery – Annual emissions from the non-road mobile machinery sector in Sweden for year 2006.

- 2007:02 Lindgren, M., Hansson, P-A. & Wetterberg, C. Arbetsmaskinernas bidrag till luftföroreningar i tätorter.
- 2007:03 Wetterberg, C., Magnusson, R., Lindgren, M. & Åström, S. Utsläpp från större dieseldrivna arbetsmaskiner – Inventering, kunskapsuppbyggnad och studier om åtgärder och styrmedel.
- 2006:01 Kjellin, J. Low-velocity flows in constructed wetlands: Physico-mathematical model and computer codes in Matlab environment.
- 2006:02 Ottosson, J., Nordin, A. & Vinnerås, B. Hygienisering av gödsel med urea och ammoniak.
- 2005:01 Jönsson, H., Vinnerås, B. & Ericsson, N. Källsorterande toaletter. Brukarnas erfarenheter, problem och lösningar.
- 2005:02 Gebresenbet, G. Effect of transporttime on cattle welfare and meat quality.
- 2005:03 de Toro, A. & Rosenqvist, H. Maskinsamverkan – tre fallstudier.
- 2005:04 Vinnerås, B. Hygienisering av klosettatten för säker växtnäringåterförsel till livsmedelsproduktionen.
- 2005:05 Tidåker, P. Wastewater management integrated with farming. An environmental systems analysis of the model city Surahammar.
- 2005:06 Sundberg, C. Increased aeration for improved large-scale composting of low-pH biowaste.
- 2005:07 Bernesson, S. & Nilsson, D. Halm som energikälla. Översikt av existerande kunskap.

### ***Rapport – biometri***

- 2004:01 Gustafsson, L. Tools for Statistical Handling of Poisson Simulation: Documentation of StocRes and ParmEst

### ***Licentiatavhandling***

- 03 Forkman, J. 2005. Coefficients of variation: an approximate F-test.
- 04 Lindholm, E-L. 2006. Energy use in Swedish forestry and its environmental impact.
- 05 Niwagaba, C. 2007. Human excreta treatment technologies – prerequisites, constraints and performance.

### ***Kompendium***

- 2006:01 Lövgren, M. Publicering 2001-2005.
- 2005:01 Lövgren, M. Publicering 2000-2004.



Denna rapportserie som utges av Institutionen för biometri och teknik, SLU, innehåller uppsatser som anses lämpliga att publicera i denna form. Tidigare nummer redovisas på de sista sidorna och kan i mån av tillgång anskaffas från institutionen.

This series is published by Department of biometry and engineering. It contains reports or papers considered suitable for publication in this form. Earlier issues are listed on the last pages and can be obtained - if still available - upon application to the department.

---

DISTRIBUTION:

SLU

Institutionen för biometri och teknik

Box 7032

750 07 UPPSALA

Tel. 018-67 10 00

pdf.fil: [www.bt.slu.se](http://www.bt.slu.se)

SLU

Department of Biometry and Engineering

Box 7032

S-750 07 UPPSALA

SWEDEN

Phone +46 18 671000

---