

Glycerin från omförestning av vegetabiliska oljor som tillsatsmedel - praktiska försök med pelletering och eldning av några biobränslen

*Glycerine from transesterification of vegetable oils as an additive
- practical experiments with pelleting and incineration of some biofuels*

Sven Bernesson
Håkan Örberg
Robert Samuelsson
Mikael Thyrel
Björn Hedman
Gunnar Kalén

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för naturresurser och lantbruksvetenskap
Institutionen för energi och teknik

Glycerin från omförestning av vegetabiliska oljor som tillsatsmedel
– praktiska försök med pelletering och eldning av några biobränslen

Glycerine from transesterification of vegetable oils as an additive
– practical experiments with pelleting and incineration of some biofuels

Sven Bernesson
Håkan Örberg
Robert Samuelsson
Mikael Thyrel
Björn Hedman
Gunnar Kalén

Rapport 034
ISSN 1654-9406
Uppsala 2011

Nyckelord: biobränsle, glycerin, glycerol, inblandning, tillsatsmedel, pelletering, lagring, eldning, emissioner, nyckeltal, biofuel, glycerine, glycerol, admixture, additive, pelleting, storage, incineration, emissions, key numbers

SAMMANFATTNING

Vid omförestning av främst vegetabiliska oljor och även animaliskt fett och friteringsolja erhålls glycerin som en biprodukt. Det är av betydelse för omförestningens ekonomi att biprodukten glycerin kan avyttras till ett så bra pris som möjligt. I Sverige idag, säljs ofta glycerinet till biogasproduktion för någon krona kilot. Kan man hitta avsättning där glycerinet kan ersätta en dyrare produkt kan betalningsviljan för glycerinet öka. I det här projektet har man studerat om glycerinet kan användas som tillsatsmedel vid pelletering av några biobränsleslag, och det värde som detta i så fall skulle kunna få vid denna användning.

Syftet med projektet var att undersöka några lämpliga inblandningsmängder av glycerin, av några olika kvaliteter, vid pelletering av några bränsleslag (halm, rörflen och tall). Att ta reda på hur dessa påverkar pelletsens kvalitet, pelletspressens funktion, pelletsens lagringsbarhet, samt vid eldning av pelletsen hur risken för skadliga emissionsnivåer av kolmonoxid, kväveoxider, svaveloxider, aldehyder, risken för asksintring och korrosiva påslag i rök-gaskanaler påverkas. Dessutom att uppskatta glycerinets värde vid tillsats till pellets.

För att göra detta, gjordes pelleteringsförsök med inblandning av fyra glycerinsorter i tre bränsleslag vid 1 % och 5 % inblandning. Två stycken av glycerinsorterna var alkaliska, med ursprung i alkalisk omförestning av rapsolja, och två stycken var sura, med ursprung i sur förestning/omförestning följt av alkalisk omförestning, av i ett fall rapsolja och det andra fallet använd friteringsolja. Bränsleslagen var tall, rörflen och halm. Efter pelleteringarna mättes pelletsens hållfasthet, mängden finfraktion och skrymdensitet. Kemiska analyser gjordes av glycerinsorterna, bränsleslagen och glycerin/bränsleblandningarna med tanke på bl.a. en kommande utvärdering av asksmälttegenskaper och risken för korrosion i samband med alkaliklorider. Pelletsen från försöken lagrades i 6 månader, då fuktupptag och förekomst av mögel studerades. Efter lagringsförsöken mättes pelletsens hållfasthet igen. Där så möjligt, utvärderades försöksdesignen statistiskt med multivariat dataanalys.

Ungefär hälften av proverna eldades då emissioner av kolmonoxid (CO), kväveoxider (NO_x), svaveldioxid (SO₂), partiklar, akrolein och formaldehyd mättes. Dessutom mättes medeltemperatur och maximal temperatur vid förbränningen, och efter detta mängden förbränningsrest och dennas innehåll av oförbränt samt sintrat material. Några askor från förbränning av glycerin/tall-blandningarna skickades på kemisk analys.

Inblandningen av glycerin i bränsleslagen gav generellt pellets med sämre hållfasthet, högre andel finfraktion och med betydligt lägre skrymdensitet. Dock har pellets, med bibehållen eller något bättre hållfasthet, och bibehållen eller lägre andel finfraktion, erhållits vid inblandning av en procent surt glycerin i bränsleslagen. Ofta minskade den specifika energiåtgången vid pelletering av bränslen innehållande glycerin, vilket kan bero på glycerinets smörjande egenskaper. Tillsats av glycerin medförde i samtliga fall en minskning av pelletsens skrymdensitet. Rörflen hade bäst hållfasthet, minst andel finfraktion och högst skrymdensitet, medan halm normalt hade sämst hållfasthet, störst andel finfraktion och lägst skrymdensitet.

Vid lagringsförsöken tog pelletsen upp en del vatten, men kom aldrig upp i sådana nivåer att dess lagringsbarhet äventyrades. Pellets med glycerin tog upp mer vatten, och ofta mer ju mer glycerin de innehöll. Inte i några pellets från något försök kunde mögel hittas. Hållfastheten försämrades ofta mer ju mer glycerin pelletsen innehöll från början, och därmed ju sämre hållfastheten var från början. Även ursprungsfukthalten och därmed bränslet var av stor betydelse för fuktupptaget. Halm var både fuktigast från början och tog upp mest vatten. Dessutom försämrades hållfastheten, under lagringen, mest för halm.

Vid eldningarna är det främst problem med att mängden partiklar, i rök-gaserna, ökar med ökad glycerinblandning i bränslena. Beräkningar av mängden kalium som avgått med rök-

gaserna, utifrån analyser av bränslenas och deras askors sammansättning, tyder att denna ökar kraftigt vid ökad glycerintillsats. T.ex. vid eldning av tall med ca 1 % tillsatt glycerin, ökar mängden kalium som avgår med rökgaserna till samma nivå som vid eldning av halm. Det verkar finnas ett nära samband mellan mängden partiklar i rökgaserna och mängden kalium som avgått. Det är därför sannolikt att tillsats av glycerin kan orsaka problem med korrosiva beläggningar i rök-gaskanalerna för bränslen som normalt inte brukar ge sådana problem. Med bränslen som normalt ger sådana problem, t.ex. halm, är det emellertid troligt att man inte kommer att märka så stor skillnad. Glycerin (surt) som innehåller svavel kan troligen hålla tillbaka partikelavgången något, och därmed även risken för korrosion i samband med alkali-klorider i rökgaserna.

Emissionerna av akrolein och formaldehyd har inte ökat såsom kunde förväntas i försöken med glycerinblandning. Nivåerna av akrolein var under detektionsgränsen, och nivåerna av formaldehyd var mycket låga. Emissionerna av kolmonoxid, kväveoxider och svaveldioxid varierade stort mellan försöken på ett mer eller mindre slumpmässigt sätt. Eventuellt ökar kolmonoxid vid en lägre pellets-kvalitet. Svaveldioxid borde öka vid förbränning av pellets med höga svavelhalter.

Askans smältpunkter har sjunkit vid tillsats av glycerin till främst tall, men även till rörflen. Halmaskans smältpunkter har inte påverkats alls av glycerintillsatsen. Orsaken till att tallaska är mer känslig, är att mängderna av denna i tallen är så små, att glycerinaskans egenskaper lätt slår igenom även vid små tillsatser. Kaliumhalten i rörflen är så låg att det inte krävs så mycket glycerin med hög kaliumhalt för att dess askas egenskaper ska börja slå igenom. Halm däremot, har från början en hög askhalt, av en aska som redan innehåller mycket kalium, vilket gör att glycerinaskans kalium inte kan slå igenom även vid ganska stora tillsatser. Nyckeltalsberäkningarna har visat att främst rörflets asksmältpunkter bör påverkas neråt vid glycerintillsats, men även tallens i mer ringa grad, från en från början hög nivå. Halmaskan bör knappt påverkas alls. Höga avgångar av kalium med rökgaserna kan eventuellt hålla tillbaka problemen med asksmältpunktsnedsättning i bottenaskan.

Vissa av glycerinsorterna innehöll från början höga halter av metanol. Det är viktigt att denna kan avlägsnas, då den utgör en brandrisk vid pelletering och även vid transporter och hantering av glycerinet. Höga metanolhalter är även en hälsorisk, då metanol är giftigt.

Värdet på glycerinet kan ligga på tre olika nivåer beroende på hur det fungerar vid inblandning i olika bränslen. A) Om glycerinet vid inblandning försämrar ett bra bränsle såsom t.ex. trä, vad gäller risken för sura påslag i rök-gaskanalerna, så mycket att det hamnar i nivå med det för halm till eldning, så innebär detta att glycerinets värde blir negativt. B) Vid inblandning i ett dåligt bränsle som t.ex. halm, slår inte glycerinets egenskaper igenom, och dess värde räknat på energi blir därför som för detta bränsle. Detta motsvarar ca 0,6–0,9 kr/kg glycerin, vilket kan jämföras med att det betalats ca 1 kr/kg för glycerin till rötning. Tillsammans gör detta att det blir svårt att hitta en lönsam användning för glycerinet vid användning som tillsatsmedel vid pelletering eller vid användning som bränsle. Glycerinet skulle därför inte vara intressant att använda i dessa tillämpningar. C) Glycerinet fungerar som tillsatsmedel i mycket små mängder vid pelletering, då troligen som smörjmedel, och dess värde skulle då bli ca 3 kr/kg. Endast små mängder skulle kunna användas i denna tillämpning. Troligen bara ett par hundra ton.

Råden till näringen blir att glycerin inte bör användas vid pelletering, då det sannolikt inte fungerar bra vid denna tillämpning. Ska glycerinet eldas, bör det ske tillsammans med ett dåligt bränsle, för att ej bränslets egenskaper ska försämrats. Glycerinet är sannolikt lönsammare i andra tillämpningar än eldning till värmeproduktion. Vid små tillsatser kan glycerin sannolikt fungera som smörjmedel vid pelletering av vissa bränslen. Vill man ta reda på om glycerinet

kan fungera som smörjmedel tillsammans med något billigt bindemedel vid pelletering av bränslen, fordras mer forskning.

ABSTRACT

During transesterification of vegetable oils in particular, but also animal fats and used frying oils, glycerine is obtained as a by-product. It is important for transesterification economics that the glycerine by-product can be sold for the best possible price. In Sweden today, glycerine is often sold to biogas production for a few Swedish crowns per kilo. If other markets where glycerine replaces a more expensive product can be found, the willingness to pay for glycerine will increase. This project examined whether glycerine can be used as an additive in pelleting some biofuel types, and the value it would have in this use.

The project investigated admixtures of appropriate amounts of glycerine of varying quality during pelleting of some types of fuel (straw, reed canary grass and pine wood). To determine how these affect pellet quality, the function of the pellet press, pellet storage properties, the risk of harmful emission levels of carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NO_x), sulphur oxides (SO₂) and aldehydes during incineration of the pellets, the risk of ash sintering and the risk of corrosive deposits in flue gas channels were examined. In addition, the commercial value of the glycerine when added to pellets was estimated.

Pelleting trials were conducted using 1% and 5% admixtures of four types of glycerine in three types of fuel. Two of the glycerine products were alkaline, originating from alkaline transesterification of rapeseed oil, and two were acidic, originating from acid esterification/transesterification followed by alkaline transesterification, of rapeseed oil in one case and used frying oil in the other. The fuel types were pine wood, reed canary grass and straw. After pelleting, pellet durability, the amount of fine fraction and bulk density were measured. Chemical analyses were performed of glycerine types, fuel types and glycerine/fuel mixtures to evaluate ash melting behaviour and the risk of corrosion associated with alkali chlorides. Pellets from the trials were stored for 6 months, during which time moisture uptake and the incidence of mould were studied. After the storage experiments, pellet durability was measured again. Wherever possible, the experimental design was evaluated statistically using multivariate data analysis.

About half the samples were incinerated and emissions of CO, NO_x, SO₂, particulate matter, acrolein and formaldehyde were measured. In addition, the average temperature and maximum temperature during incineration were measured and the amount of combustion residues and their content of unburned and sintered material were determined. Some ash samples from the combustion of glycerine/pine wood mixes were sent for chemical analysis.

The admixture of glycerine in the fuel types generally resulted in pellets with lower durability, higher proportion of fines (fine fraction) and significantly lower bulk density. However, pellets with the same or slightly better durability and the same or lower proportion of fines were obtained by admixture of 1% acidic glycerine to the fuel types. The specific energy consumption for pelleting the fuels containing glycerine was generally lowered, which may have been due to the lubricating properties of the glycerine. The addition of glycerine in all cases resulted in a decrease in pellet bulk density. Reed canary grass had the best durability, least share of fines and highest bulk density, while straw usually had the worst durability, highest share of fines and lowest bulk density.

During the storage experiments the pellets took up some water, but never to such a level that the storability was compromised. Pellets with glycerine took up more water, often an increasing amount with increasing glycerine content. Mould was not found in any pellets from any experiment. Durability deteriorated more frequently with higher glycerine content, and thus low durability in the pellets at the outset. The initial moisture content and thus the type of fuel were also of great importance for moisture absorption. Straw contained most moisture

from the start and took up the most water. In addition, durability decreased most for straw during storage.

During incineration, the main problem with an increasing admixture of glycerine in the fuels was an increasing amount of particles in the flue gas. Calculations of potassium (K) losses with the flue gases, based on analysis of fuels and their ash composition, suggested that this increased sharply with increasing admixture of glycerine. For example, incineration of pine wood with about 1% added glycerine increased the amount of K leaving with the flue gases to the level observed with straw incineration. There seemed to be a close link between the amount of particles in the flue gas and the amount of K released. It is therefore likely that addition of glycerine will cause problems with corrosive deposits in the flues for fuels that normally do not present such problems. However, with fuels that normally give rise to such problems, e.g. straw, it is likely that there will be little obvious difference. Glycerine (acid) containing sulphur can probably prevent particle release and thus lower the risk of corrosion associated with alkali chlorides in the flue gas.

The emissions of acrolein and formaldehyde did not increase as might be expected in experiments with glycerine admixture. The levels of acrolein were below the detection limit, and the levels of formaldehyde were very low. Emissions of CO, NO_x and SO₂ varied widely between experiments in a more or less random way. However, CO emissions may have increased with lower pellet quality. Sulphur dioxide should be produced during incineration of pellets with high sulphur levels.

Ash melting point declined in pine wood in particular on addition of glycerine, but also in reed canary grass. The ash melting point for straw was not affected at all by glycerine admixture. The reason why pine wood ash was more sensitive is that the amounts produced from pine are so small that properties of the glycerine ash can have an impact even at small admixture rates. The K content of reed canary grass is so low that very little glycerine with high K content is required before its properties start to become apparent. However, straw has a high initial content of an ash that is already high in K, so the K content of glycerine ash is less obvious even at rather high admixture rates. Calculations using key numbers showed that the ash melting point of reed canary grass in particular should be lowered by the admixture of glycerine, but also that of pine wood to a lesser degree, from an initially high level. Straw ash should scarcely be affected at all. High losses of K in the flue gases can suppress the problem of ash melting point depression in bottom ash.

Some of the glycerine types initially had high contents of methanol. It is important that this can be removed, as it constitutes a fire hazard during pelleting and also during transport and handling of the glycerine. High methanol concentrations are also a human health risk, as methanol is toxic.

The commercial value of the glycerine is at one of three different levels depending on how it functions when mixed in different fuels. A) If glycerine admixture degrades a good fuel such as wood in terms of the risk of acid deposits in the flue so much that it is similar to straw as a fuel, glycerine value has a negative value. B) On admixture of glycerine in a poor fuel, such as straw, the properties of the glycerine are not evident and its value based on the energy is therefore the same as for the pure fuel. This is currently approximately SEK 0.6-0.9/kg glycerine, which can be compared with the current price of SEK 1/kg for glycerine in biodigestion applications. These factors combined make it difficult to find a profitable use for glycerine as an additive in pelleting or when used as fuel. Glycerine would therefore not be of commercial interest for use in these applications. C) If the glycerine acts as an additive in very small amounts at pelleting, most likely as a lubricant, the value would then be about SEK 3/kg.

However, only small amounts would be used in this application, probably just a few hundred tonnes per annum.

The advice to the industry is that glycerine should not be used in pelleting as it probably does not work well for this application. If glycerine is incinerated, it should be co-fired with a poor fuel, so as not to impair the properties of the fuel. Glycerine is probably more profitable in applications other than fuel to produce heat. At low addition rates glycerine could probably act as a lubricant during pelleting of certain fuels. However, more research is required to determine whether glycerine can act as a lubricant along with some cheap binding agent in pelleting of fuels.

FÖRORD

Vid omförestring av främst vegetabiliska oljor och även animaliskt fett och friteringsolja erhålls glycerin som en biprodukt. Det är av betydelse för omförestringens ekonomi att biprodukten glycerin kan avyttras till ett så bra pris som möjligt. I det här projektet har tillsats av glycerin, med olika ursprung, studerats vid pelletering av några biobränslen. Den erhållna pelletsens egenskaper har därefter studerats vid kemiska analyser, lagring och eldning. Slutligen har dess ekonomiska värde beräknats utifrån dess egenskaper jämfört med andra liknande bränslen. Projektet har varit ett gemensamt projekt mellan Inst f energi och teknik (Uppsala) och Enheten för biomassateknik och kemi (Umeå), båda vid Sveriges lantbruksuniversitet. Pelleterings-, lagrings- och eldningsförsöken gjordes vid Enheten för biomassateknik och kemiska Bränsletekniska centrum i Umeå.

Sven Bernesson har varit projektledare samt ansvarat för sammanställningen av slutrapporten. Håkan Örberg har varit ledare för de delprojekt som gjorts på Biomassa teknik och kemi. Planering och upprättande av försöksplan för pelletering gjordes gemensamt av Sven Bernesson, Mikael Thyrel, Robert Samuelsson och Håkan Örberg. Mikael Thyrel har gjort pelleteringsförsöken. Björn Hedman har gjort eldningsförsöken. Gunnar Kalén har gjort lagringsförsöken och biträtt vid pelleterings och eldningsförsöken. Robert Samuelsson har gjort de statistiska beräkningarna. Per Erlandsson Lantmännen Eco-bränsle AB bidrog med kunskaper om metanols, i glycerinet, farlighet vid transport och hantering. Per Erlandsson Lantmännen Eco-bränsle AB och Susanne Jonsson Ageratec bidrog med viss rådgivning i början av projektet. Författarna tackar dem för detta.

Glycerinet hämtades från Tolefors Gård utanför Linköping som drivs av Axel Lagerfelt, Brunsholms Säteri sydväst om Enköping som drivs av Erik och Peder Rinman, samt från Lantmännen Eco-bränsle AB i Karlshamn där Per Erlandsson är platschef. Halmen togs från Per Hanssons Maskinstation utanför Rydsgård. Författarna tackar dessa för sin insats.

Slutligen tackar författarna Stiftelsen Lantbruksforskning (SLF) som finansierat studien.

Uppsala i december 2010

Sven Bernesson
Håkan Örberg
Robert Samuelsson
Mikael Thyrel
Björn Hedman
Gunnar Kalén

INNEHÅLL

1 INLEDNING.....	13
1.1 Bakgrund	13
1.2 Olika typer av tillsatsmedel vid pelletering.....	13
1.3 Möjliga mängder som kan blandas in vid pelletering	14
1.4 Betydelsen av att glycerinet innehåller alkalimetaller såsom natrium eller kalium.....	14
1.5 Förbränning	15
1.6 Potential.....	15
1.7 Lagringsduglighet hos pelletter som innehåller glycerin	15
1.8 Glycerinfraktionen	16
1.9 Kostnad för glycerinet.....	17
1.10 Lämpliga bibränsleråvaror	17
2 SYFTE.....	17
3 METODIK	18
3.1 Pelleteringsförsök	18
3.1.1 Råvaror.....	18
3.1.2 Förbehandling av bibränsleslagen.....	19
3.1.3 Inblandning av glycerin och förberedelse inför pelletering	20
3.1.4 Pelletering.....	21
3.1.5 Mätning av pelletsens hållfasthet	22
3.1.6 Mätning av pelletsens skrymdensitet	23
3.2 Kemiska analyser, m.fl. laborativa analyser	24
3.2.1 Analyser av glycerin.....	24
3.2.2 Analyser av pellets	24
3.2.3 Hantering av analysdata vid glycerintillsats.....	25
3.2.4 Analyser av aska efter eldningsförsöken.....	25
3.3 Lagringsförsök	25
3.4 Eldningsförsök	26
3.5 Beräkningar av mängden kalium som avgått med rökgaserna.....	28
3.6 Statistiska analyser	28
3.7 Beräkning av askegenskaper med nyckeltal.....	29
3.7.1 Olika ämnen och deras påverkan på askans smältegenskaper	29
3.7.2 Beräkning av nyckeltal.....	30
3.8 Bortdunstning av metanol och avlägsning av skikt med fria fettsyror.....	32
3.9 Ekonomiska beräkningar	34
4 RESULTAT MED DISKUSSION	35
4.1 Resultat från statistisk utvärdering av pelleteringsförsök och lagringsförsök med multivariat dataanalys	35
4.2 Pelleteringsförsök	36
4.2.1 Hållfasthet, finfraktion, skrymdensitet och utseende	36
4.2.2 Medeleffektbehov, variationskoefficient, specifik energiåtgång och avverkning ..	38
4.2.3 Sammanfattande resultat från pelleteringsförsöken	41
4.3 Lagringsförsök	42
4.4 Kemiska analyser	43
4.4.1 Analyser av glycerin.....	44
4.4.2 Analyser av bränslepellets.....	46
4.4.3 Analyser av bränslepellets med inblandning av glycerin.....	47
4.5 Eldningsförsök	53
4.5.1 Luftöverskott, halt CO ₂ och O ₂ , samt mängd oförbränt	53
4.5.2 Emissioner av CO, NO _x , SO ₂ och partiklar	55

4.5.3 Emissioner av akrolein och formaldehyd.....	57
4.5.4 Förbränningstemperaturer, smälttemperaturer och mängd sintrat material	58
4.5.5 Beräkningar av mängden kalium som avgått med rök gaserna.....	60
4.5.6 Sammanfattande resultat från eldningsförsöken	62
4.6 Beräkning av askegenskaper med nyckeltal.....	62
4.6.1 Nyckeltal för ingående bränslen och glycerinsorter.....	63
4.6.2 Nyckeltal för bränsle/glycerin-blandningarna.....	69
4.6.2.1 Halm/glycerin-blandningar	69
4.6.2.2 Rörflen/glycerin-blandningar	71
4.6.2.3 Tall/glycerin-blandningar	74
4.6.2.4 Sammanfattning, de olika nyckeltalens användbarhet	77
4.6.2.5 Sammanfattning, nyckeltalens svar på bränsle/glycerin-blandningarnas egenskaper	77
4.7 Problem med förhöjd metanolhalt m.m. i vissa glycerinsorter	77
4.8 Ekonomiska beräkningar	79
5 GENERELL DISKUSSION	81
6 SLUTSATSER.....	84
7 REFERENSER.....	85
7.1 Tryckta referenser	85
7.2 Internetreferenser	87
7.3 Personliga meddelanden.....	87
BILAGA 1. INDELNING I FÖRSÖKSLED, RESULTAT LAGRINGSFÖRSÖK	89
BILAGA 2. RESULTAT FRÅN PELLETERINGSFÖRSÖKEN.....	90
BILAGA 3. RESULTAT FRÅN KEMISKA ANALYSER	96
BILAGA 4. RESULTAT FRÅN ELDNINGSFÖRSÖKEN	99
BILAGA 5. STUDIER AV RISK FÖR ASKRELATERADE PROBLEM UTIFRÅN NYCKELTAL.....	100
BILAGA 6. DATA SOM ANVÄNTS I DE STATISTISKA BERÄKNINGARNA	113
BILAGA 7. STATISTISKA MODELLER MED RESULTAT	114

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Vid omförestring av främst vegetabiliska oljor och även animaliskt fett och friteringsolja erhålles glycerin som en biprodukt. Det är av betydelse för omförestringens ekonomi att biprodukten glycerin kan avyttras till ett så bra pris som möjligt. I Sverige, idag, säljs ofta glycerinet till biogasproduktion för någon krona kilot. Kan man hitta avsättning där glycerinet kan ersätta en dyrare produkt kan betalningsviljan för glycerinet öka. Lönsamheten vid framställning av de ovan nämnda oljorna i omförestrat skick som biodiesel kan då förbättras.

Glycerin från omförestring har fungerat bra som tillsatsmedel vid tillverkning av foderpellets. Detta talar för att det borde kunna fungera även vid tillverkning av bränslepellets. I litteraturen finns flera exempel på där glycerin använts vid tillverkning av foderpellets (Schröder & Südekum, 1999; Löwe, 2000; Freistaat Sachsen, 2001), men inga vetenskapliga studier vid tillverkning av bränslepellets. Dock finns en del inofficiella tips om att glycerin kan tillsättas för att erhålla mer hållbara pellets vid pelletering av biobränslen. Uppgifter om mängder och om man kan drabbas av eventuella problem saknas. Detta utreds därför i det projekt som beskrivs i den här rapporten. En av slutsatserna från det av SLF finansierade projektet: Biprodukter vid pressning och omförestring av rapsolja (Bernesson, 2007), var att mer forskning behövs för att utreda glycerins egenskaper som tillsatsmedel i pellets.

I Sverige odlas ca 90 000 ha oljeväxter (höstraps, vårraps, höstrybs och vårrybs) idag (Bernesson, 2007). Från dessa kan ca 100 000 ton olja utvinnas, som om den omförestrades skulle kunna ge 10 000–11 000 ton glycerin. Det mesta av oljan används idag till livsmedel, men en hel del importeras, och efter bearbetning av statistik från SPI (2010), erhålls att drygt 150 000 ton fettsyrametylester (FAME) förbrukats i Sverige år 2008, merparten av detta som låginblandning (max 5 %) i dieselbränsle. Tillsammans har denna FAME, vid tillverkningen, gett upphov till ca 16 000 ton rent glycerin (om 10,55 g glycerin antas kunna utvinnas från 100 g olja).

Bernesson (2007) anger att glycerin, förutom att eldas, kan användas till utfodring, rötning till biogas, spridas som gödselmedel (bl.a. kalium från omförestringen som finns i glycerinfasen är ett gödselmedel), och användas som råvara vid tillverkning av vätgas eller Fischer-Tropsch-bränsle, råvara vid tillverkning av frysskyddsvätskan propylenglykol, råvara vid tillverkning av sprängmedel m.m.

1.2 Olika typer av tillsatsmedel vid pelletering

Bindemedel kan tillsättas i pelleteringsprocessen för att öka pelletarnas hållfasthet och smörjmedel för att minska friktionen vid pressningen. Om pelletarna har hög hållfasthet, blir det lättare att transportera och lagra dem med bibehållen kvalitet fram till slutkonsument. Om friktionen minskas vid pressningen, blir avverkningen högre, energibehovet lägre och slitaget mindre. De vanligaste bindemedlen är vatten/ånga, kemiska bindemedel (t.ex. lignin, Ligno-Bond, Wafolin och stärkelse) och naturliga bindemedel (t.ex. spannmål och gräs) (Cronholm m.fl., 1999). Lignin finns naturligt i ved och bark och fungerar som ett limämne som smälter när det upphettas (Cronholm m.fl., 1999). I pressningsögonblicket höjs temperaturen på materialet, och om råvaran innehåller tillräckligt med lignin, behöver man inte tillsätta något ytterligare bindemedel för att få en hållfast pellet. Behovet av bindemedel är därför inte särskilt stort, om än alls nödvändigt, vid tillverkning av träpellets. Vid tillverkning av halm- och rörflenspellets föreligger normalt ett behov av bindemedel då råvarorna till dessa är mer svårpelleterbara.

LignoBond och Wafolin är lignosulfonater som utvinns ur sulfitmassa vid pappersmassafabriker. Dessa tillsatser är främst framtagna som bindemedel i djurfoder, men används också vid tillverkning av bränslepellets. LignoBond och Wafolin innehåller relativt mycket svavel, natrium och kalcium, och de har också ganska hög askhalt. Sannolikt innebär detta att man kan få problem med igensättning i kvarnsiktar och påslag på panntuberna vid förbränning. Det är därför av intresse att andra bindemedel tas fram. I det här projektet undersöks om glycerin från omförestning kan fungera som ett sådant bindemedel.

Vid pelletering kan ibland även, förutom bindemedel, smörjmedel behöva tillsättas. Exempel finns där rapsolja använts som smörjmedel vid pelletering av avrens då melass använts som bindemedel (Nikolaisen m.fl., 2002; Nilsson & Bernesson, 2008). Knothe m.fl. (2005) anger att glycerin kan användas som smörjmedel, dock i andra tillämpningar än pelletering. Detta utesluter dock inte att glycerin skulle kunna användas som smörjmedel vid pelletering.

1.3 Möjliga mängder som kan blandas in vid pelleteringen

Glycerin fungerar bra som tillsatsmedel vid foderpelletering om 2–3 % (viktbasis) glycerin blandas in (Murphy, pers, 2007; Bernesson, 2007) och ger då fastare pellettar. Emellertid blir pellettarna mjuka om 7–8 % (viktbasis) glycerin blandas in, vilket ej är bra i den vidare hanteringen.

Ett annat problem är att glycerinet är hygroskopiskt och tar upp vatten från luften vid för stor inblandning i fodret. Detta försämrar hållbarheten. Detsamma kan förmodas gälla vid tillverkning av bränslepellets. Det finns därför troligen en optimal mängd glycerin som kan inblandas i olika typer av bränslepellets där dessa blir fastare men fortfarande inte tar upp för mycket vatten från luften. Detta utreds därför för några olika typer av bränslepellets från några olika typer av råvaror (tall (trä), halm och rörflen) i det här projektet.

1.4 Betydelsen av att glycerinet innehåller alkalimetaller såsom natrium eller kalium

Vid omförestning av vegetabilisk olja hamnar huvuddelen av resterna från katalysatorn i glycerinfraktionen, och då vanligen natrium- eller kaliumhydroxid används som katalysator, innebär detta att råglycerinet innehåller alkalimetallerna natrium eller kalium. Dessa är kända för att ge låga smälttemperaturer hos askan då de ingår i biobränslen i höga koncentrationer (Nilsson & Bernesson, 2008). Därför studerades askans smältegenskaper hos biobränsleslagen efter inblandningen av glycerinen, samt att proveldningar genomfördes, i det här projektet.

Kalium medverkar både vid glasbildning genom bildning av kaliumsilikat eller blandsilikat med kalcium (Ca) och natrium (Na), och vid saltsmältning genom bildning av kaliumklorid (KCl), och det kan även smälta i ren form (Nilsson & Bernesson, 2008). Natrium beter sig på liknande sätt som kalium. Höga kalciumhalter i askan tycks medföra högre asksmälttemperaturer. Bilden kompliceras dock av att mindre mängder kalcium i askan istället kan sänka asksmälttemperaturen. Vid eldning av t.ex. halm tillsätter man ibland dolomitkalk eller kalk för att höja asksmälttemperaturen (Nikolaisen m.fl., 1998). Om man får problem med låga asksmälttemperaturer vid tillsats av råglycerin vid pelletering av biobränslen kan detta problem eventuellt lösas om även kalk tillsätts.

En riskbedömning av askans egenskaper för sintring (låg smälttemperatur) kan göras för olika väl analyserade glycerinkvaliteter vid användning som tillsatsmedel vid pelletering av väl analyserade biobränslen med hjälp av nyckeltal och tillståndsdigram (Strömberg, 2005; Nilsson & Bernesson, 2008). Med nyckeltal har i det här projektet menats alkalinitetstal, förglasningstal, alkaliandel, fältspattal, eutektikumstal, saltkvot, S/Cl och Miles index (alkalikvot).

För att dessa nyckeltal ska kunna beräknas måste innehållet av: kalium, natrium, kalcium, järn, magnesium, aluminium, titan, kisel, fosfor, klor och svavel vara kända för samtliga ingående komponenter. Värden under eller över ett visst värde, för de olika nyckeltalen, medför risk att askan får en alltför låg smältpunkt eller liknande problem. Dessutom måste de kalorimetriska värmevärdena vara kända. På grund av detta analyserades förekomsten av de ovan nämnda grundämnena i de tre studerade bränslena, glycerinsorterna samt flera av bränsle/glycerin-blandningarna i projektet. Dessutom gjordes analyser av värmevärden. Med detta som utgångspunkt beräknades sedan de ovan beskrivna nyckeltalen.

1.5 Förbränning

Glycerin i ren form är svåreladat då det är en vätska med hög viskositet. Dessutom bildas den giftiga föreningen akrolein lätt vid eldning. Akrolein bildas bl.a. vid överhettning av fetter och oljor (Nationalencyklopedin, 2008). Det bildas då glycerin upphettas till 280°C (Wikipedia, 2008). Formaldehyd kan bildas från kvarvarande metanol i glycerinet. Man bör därför vara noga med att förbränningen blir fullständig vid eldning av bränslen som innehåller glycerin. Analyser av akrolein och formaldehyd gjordes därför vid några proveldningar i projektet.

Då alkalimetaller som kalium och natrium kan ge upphov till partiklar som kan ge korrosiva påslag i rök gaskanalerna (Nikolaisen m.fl., 1998; Bernesson & Nilsson, 2005) gjordes analyser av partiklar. Dessutom gjordes analyser av emissionerna kolmonoxid, kväveoxider och svaveldioxid vid eldningarna. Det effektiva värmevärdet för glycerin är 17,1 MJ/kg (Kaltschmitt & Reinhardt, 1997).

1.6 Potential

En uppfattning av potentialen för glycerin kan fås om tillförsel och/eller potential för bio-bränslen studeras. Dagens tillförsel av träpellets till Sverige är 9,0 TWh (1 918 000 ton) (Pelletsindustrin, 2010) då dessas effektiva värmevärde är 16,9 MJ/kg (Strömberg, 2005). Endast en begränsad del av dessa behöver bindemedel vid tillverkningen. Nilsson & Bernesson (2009a) anger halmtillgångarna i Sverige som kan användas till eldningsändamål till knappt 1 miljon ton (3–4 TWh) om de utnyttjades. Vid pelletering av halm, i Danmark, har 0,25 % av ett bindemedel (kalksåpa) tillsatts för att pelletarna ska bli fastare (Bernesson & Nilsson, 2005). Detta bindemedel borde kunna ersättas av en viss mängd glycerin om detta kan fungera som bindemedel vid pelletering. Pelletering av halm har i Danmark krävt tillsats av bindemedel, men det har inte pelletering av trä gjort. Det är även möjligt att glycerin skulle kunna fungera som smörjmedel vid pelletering, istället för som bindemedel, men då vid tillsats av mindre mängder. Att glycerin skulle kunna användas som smörjmedel vid pelletering, stöds av att Knothe m.fl. (2005) anger att glycerin använts som smörjmedel, även om detta har varit vid andra tillämpningar än pelletering. Vid odling av möjlig areal raps blir energiinnehållet i det glycerin som frigörs vid omförestningen av rapsoljan 0,09 TWh vilket bara är drygt 2 % av halmens värmepotential och ca 1 % av tillförseln av träpellets. I det här projektet undersöks om, och med vilken potential, glycerinet skulle kunna användas som tillsatsmedel i dessa bränslen.

1.7 Lagringsduglighet hos pelletar som innehåller glycerin

Pelleterat foder är lagringsbart med en glycerinhalt upp till 8 % (Bernesson, 2007). 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 (fukthalten 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. För att ta reda på vad som gäller för bränslepellets gjordes lagringsförsök, inom projektet, där bränslepellets innehållande glycerin lagrades under 6 månader i ett ouppvärt utrymme.

Trots att glycerinet är hygroskopiskt har inte fodrets hygieniska kvalitet påverkats negativt då glycerinet verkat ha en konserverande effekt på det pelleterade fodret (Schröder & Südekum, 1999). För att kontrollera om det här även gäller bränslepellets studerades förekomsten av mögel vid några tillfällen under den ovan beskrivna lagringen av bränslepelletsen.

1.8 Glycerinfraktionen

Glycerinet innehåller en del av den överskottsalkohol förutom 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-/bränslepelletsfabriken 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, efter alkalisk omförestning, kan t.ex. innehålla 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 innehållt 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). Skillnaden mellan Ageratecs omförestningsprocess och flertalet andra omförestningsprocesser är att den erhållna omföresttrade oljan tvättas med en annan substans än vatten. Det erhållna råglycerinet, från dessa anläggningar, innehåller därför inte vatten. De värden som analysvärden som anges ovan kan jämföras mot de, i projektet, analyserade i tabell B3:1, bilaga 3.

Natrium och kalium kan, då de ingår i biobränslen, ställa till problem med aska med låg smältpunkt som gör att askan sintrar och bildar klumpar vid förbränningen (Nilsson & Bernesson, 2008). Det är därför viktigt att pellets med råglycerin som tillsatsmedel proveldas för att klarlägga om problem med aska med låg smältpunkt föreligger vid de aktuella inblandningsnivåerna. Kalium- eller natriumhydroxid i glycerinet kan neutraliseras med fosforsyra och bildas då ett salt (kaliumfosfat eller natriumfosfat) som kan frånskiljas (Bernesson, 2007).

Då man vill framställa så billig biodiesel som möjligt letar man ofta efter billiga råvaror, såsom t.ex. använd friteringsolja eller slakterifett, istället för rapsolja. Detta kan medföra vissa problem. Använd friteringsolja innehåller 2–7 % fria fettsyror och animaliska fetter kan innehålla 5–30 % fria fettsyror (Knothe m.fl., 2005). Omförestningsreaktionen klarar upp till 5 %

fria fettsyror, men behovet av katalysator ökar då denna går åt till att bilda tvål istället för till katalysen.

Den tvål som bildas under reaktionen måste antingen föras bort med glycerinet eller tvättas bort med vatten. Förluster av råvara uppstår härvid. Då halten av fria fettsyror överstiger 5 % hindrar tvålen separationen mellan estern och glycerinet och medverkar till att en emulsion bildas vid tvättning med vatten. I sådana fall kan en sur katalysator såsom svavelsyra användas för att förestra de fria fettsyrorerna. Denna process kan användas som en förbehandling för att minska mängden fria fettsyror i en olja som ska omförestras. Oljan kan därefter omförestras på vanligt sätt med en alkalisk katalysator. Ageratec har utvecklat en process som liknar den ovan beskrivna, där oljor/fetter med hög halt fria fettsyror kan omförestras med ett högt utbyte (Jonsson, pers, 2008). Resulterande glycerin innehåller rester från både den sura (S) och den alkaliska (K eller Na) katalysatorn. Även Ecobränsle i Karlshamn har utvecklat en liknande omförestringsprocess, men med den skillnaden att här tvättas den omförestrade oljan med vatten, samt att man har större möjlighet att genom vakuumdestillation återvinna använd metanol (Erlandsson, pers, 2009).

Enligt vad som beskrivits ovan finns fyra huvudsorter av råglycerin, från mindre omförestringsanläggningar, som kan vara av intresse att testa som tillsatsmedel vid pelletering av biobränslen: 1) glycerin från alkalisk omförestring där tvätt skett med vatten (Ecobränsle); 2) glycerin från alkalisk omförestring där tvätt skett med annan substans än vatten (Ageratec); 3) glycerin från kombinerad sur förestring och alkalisk omförestring där tvätt skett med vatten (Ecobränsle); och 4) glycerin från kombinerad sur förestring och alkalisk omförestring där tvätt skett med annan substans än vatten (Ageratec).

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. Råglycerinet kan därför behöva spädas med vatten för att inblandningen med ett biobränsle under pelletering ska bli homogen.

1.9 Kostnad för glycerinet

Råglycerin som lämnats till rötning har betalats med ca 1 SEK/kg (Lagerfelt, pers, 2008). Farmarglycerin som innehåller 99,8 % glycerin har betingat ett pris på under 10 SEK/kg (Erlandsson, pers, 2008). Prisvariationerna är alltså stora för glycerinet som har flera olika användningsområden. Råglycerinet är dock betydligt billigare än t.ex. bindemedlen Ligno-Bond och Wafolin som kostar 2,8–4,0 SEK/kg i Europa.

1.10 Lämpliga biobränsleråvaror

Trä (tall) har ingått i studien då det är så vanligt i dagens pellets. Halm och rörflen är billigare åkerbiobränslen på frammarsch, särskilt nu när priset på träpellets stiger (Pelletsindustrin, 2010). Dessa har därför fått ingå i studien. Halm och rörflen är mer svårpelleterbara och har därför kunnat ge glycerinet en möjlighet att visa vad det går för som tillsatsmedel.

2 SYFTE

Syftet med projektet var att undersöka några lämpliga inblandningsmängder av glycerin, av några olika kvaliteter, vid pelletering av några bränsleslag (tall, halm och rörflen). Att ta reda på hur dessa påverkar pelletsens kvalitet, pelletspressens funktion, pelletsens lagringsbarhet,

samt vid eldning av pelletsen hur risken för skadliga emissionsnivåer av kolmonoxid, kväveoxider, svaveloxider, aldehyder (akrolein och formaldehyd), risken för asksintring, och korrosiva påslag i rökgaskanaler påverkas. Dessutom att uppskatta glycerinets ekonomiska värde vid tillsats till pellets.

3 METODIK

3.1 Pelleteringsförsök

3.1.1 Råvaror

Vid pelleteringsförsöken pelleterades biobränsleslagen halm, rörflen och tallspån, dels i ren form och dels med inblandning av 1 % eller 5 % av glycerin från omförestning av vegetabiliska oljor. Halmen befann sig ursprungligen i form av storbalar, ca 560 kg/st, rörflenet i form av briketter och tallspånet i malld form. Glycerinet var av fyra olika kvaliteter från både små och mellanstora omförestrare. Två av glycerinkvaliteterna härrörde från alkalisk omförestning och de andra två från sur förestning/omförestning följt av alkalisk omförestning (se tabell B3:1, bilaga 3). Analyser av biobränslena finns i tabell B3:2, bilaga 3.

Halmen var höstvetehalm med ursprung i trakten kring Rydsgård nära Ystad i södra Skåne. Rörflenet kom från Röbbäcksdalen utanför Umeå i Västerbotten. Tallspånet kom från ett sågverk i närheten av Umeå i nordöstra Sverige. Totalt fyra glycerinsorter varav två alkaliska och två sura sorter användes i projektet. En alkalisk (glycerin 1a) och en sur (glycerin 2a) glycerinsort båda med ursprung från omförestning av rapsolja kom från Lantmännen Ecobränsle AB i Karlshamn, en alkalisk glycerinsort (glycerin 1b) med ursprung från omförestning av rapsolja kom från Brunnscholms Säteri sydväst om Enköping, och en sur glycerinsort (glycerin 2b) med ursprung från omförestning av använd friteringsolja kom från Tolefors Gård utanför Linköping. Analyser av glycerinsorterna finns i tabell B3:1 i bilaga 3. Glycerinsorterna betecknas: glycerin 1a, glycerin 1b, glycerin 2a och glycerin 2b i den här rapporten (se tabell 1).

Glycerin 2b innehöll så mycket metanol att det mesta av detta var nödvändigt att kokas bort, främst av brandriskskäl, innan glycerinet kunde användas till inblandning i biobränsleslagen vid pelleteringsförsöken. Hur detta gick till beskrivs mer detaljerat i kapitel 3.8. Även en del metanol i glycerin 1b behövde kokas bort (se kapitel 3.8).

Då metanolen var svår att få bort vid bortdunstningen (se kapitel 3.8) var metanolhalterna höga även efter denna (15,6 % i glycerin 2b och 6,8 % i glycerin 1b, se tabell B3:1 i bilaga 3). Därför fick mängden av dessa glycerinsorter i försöken, men även antalet försök reduceras, främst av brandsäkerhetsskäl, vid pelleteringen. Av denna anledning pelleterades inte mer än 25 kg åt gången av dessa bränsle/glycerin-blandningar. Dessutom gjordes inga försök med 5 % inblandning av dessa båda glycerinsorter (se tabell B1:1, bilaga 1 och tabell B2:1, bilaga 2). Dock liknade glycerin 1b och glycerin 1a varandra och glycerin 2b och glycerin 2a varandra vad gäller sammansättningen, även om rätt stora avvikelser mellan främst glycerin 2a och glycerin 2b fanns (se tabell B3:1, bilaga 3). Försöken inriktades därför mer på tillsats av alkaliskt glycerin (högt pH, hög halt av kalium) och av surt glycerin (svagt surt pH, hög halt av svavel).

Efter analys av glycerininnehållet i de använda glycerinsorterna justerades, i pelleteringsförsöken och i nyckeltalsberäkningarna, den tillsatta mängden av dessa så att den motsvarade 1 % eller 5 % rent glycerin (se tabell 1). De inblandningsmängder som anges i tabell 1, gäller i fortsättningen överallt där det anges att 1 % eller 5 % glycerin blandats in i bränslena.

Tabell 1. Inblandning av råglycerin, % för att erhålla bränslen med 1 % och 5 % rent glycerin

Sort av glycerin	Glycerin 1a	Glycerin 2a	Glycerin 1b	Glycerin 2b ^a
Egenskaper	Alkaliskt	Surt	Alkaliskt	Surt
Ursprung	Ecobränsle	Ecobränsle	Brunnsholm	Tolefors
Innehåll av glycerin, %	64,4	86,7	69,5	60,9
Inblandning som rent glycerin, %	1	1	1	1
motsvarar inblandning av råglycerin, %	1,55	1,15	1,44	1,64
Inblandning som rent glycerin, %	5	5	5	5
motsvarar inblandning av råglycerin, %	7,76	5,77	7,19	8,21

^a Efter sista gången metanol dunstats bort.

3.1.2 Förbehandling av bibränsleslagen

Halmen kom in som storbalar på ca 560 kg (bild 1), matades till en halmrivare (av typ Lindner MS2000 med 15 mm:s såll) (bild 2), vidare till en kvarn (Bühler, Vertical rotor mill 70 kW DFZK-1 med 4 mm:s såll) (se bild 3), och slutligen till en industriblandare (av typ MAFA) (se bild 4). 300–400 kg material kan blandas om i blandaren tills det är helt homogent.



Bild 1. Storbala.



Bild 2. Halmrivare, typ Lindner MS2000.



Bild 3. Hammarkvarn typ Bühler.



Bild 4. Industriblandare typ MAFA.

Rörflenens som var i briketterad form maldes i kvarnen (se bild 3) och transporterades sedan till industriblandaren (se bild 4) för omblandning. Tallspånet blandas endast om i industriblandaren. Tallspånet var ursprungligen tallsågspån, från ett sågverk, som malts med 4 mm:s såll i en hammarkvarn. I tallsågspånet ingick en mindre mängd splitter och vävnader från kvistar och bark.

3.1.3 Inblandning av glycerin och förberedelse inför pelletering

Glycerinet blandades in i bränsleproverna med 1 % eller 5 % på torrsubstansbas. Man kompenserade för det varierande innehållet av glycerin i olika sorter av glycerin (se tabell B3:1, bilaga 3 för analyser av glycerin), dvs. mängden inblandat kemiskt rent glycerin var oberoende av glycerinhalten i de olika glycerinsorterna (se tabell 1, kapitel 3.1.1). Vatten blandades in i samtliga bränsleprover (även i referensproverna utan glycerin) till ca 11 % (våt bas), då detta är den optimala fukthalten vid pelletering. Den aktuella vattenmängden blandades in i glycerinet för att detta skulle bli mer tunnflytande och gå lättare att blanda in i bränslena homogent. Glycerin/vatten-blandningen blandades om noga med en propelleromrörare, kopplad till en bormaskin, innan inblandningen i bränslena. Bränsle/glycerin-blandningarna blandades om i en MAFA skruvfoderblandare (se bild 5) under minst en timme innan de ansågs färdiga för pelletering.



Bild 5. MAFA skruvblandare: t.v. själva blandaren, t.h. skruven i blandaren.

3.1.4 Pelletering

Vid pelleteringarna pelleterades 50 eller 25 kg material åt gången. Pelletspressen var av typ SPC (Swedish Power Chippers) AB, Type PP300 (se bild 6) med en matris (se bild 7) med 8 mm håldiameter och en presskanallängd på 55 mm. Rätt mängd material vägdes upp och handmatades sedan till pelletspressen. Vid pelleteringarna mättes strömstyrkan till pelletspressen varje sekund. På så sätt kunde man få en uppfattning om hur jämnt pressen arbetade, samt om energiåtgången och tidsåtgången för pressningen av de olika satserna. Efter pelletering fick pelletsen svalna över natten till nästa dag innan hållfastheten och skrymdensiteten mättes. Innan dessa mätningar sållades finmaterialet "fines" bort med ett såll med 5 mm:s håldiameter (se bild 8 och bild 9).



Bild 6. Pelletspress typ SPC PP 300.



Bild 7. Ringmatris med presshjul.



Bild 8. Säll för bortsällning av finfraktion.



Bild 9. Bortsällning av finfraktion.

3.1.5 Mätning av pelletsens hållfasthet

Pelletsens hållfasthet mäts med en Simon-Heesen Q-tester (se bild 10). Med denna maskin mäts två prover samtidigt, ett i vardera lådan. En mätning går till så att 500 g pellets, med ev. finfraktion bortsorterade, placeras i någon av lådorna på maskinens sidor. Maskinen startas varvid lådorna snurrar runt 500 varv. Finfraktionen (smått) sållas bort med det såll som sitter på maskinen (se bild 11). Andelen kvarvarande material i procent av den mängd material som tidigare placerades i lådorna är pelletsens hållfasthet (durability).



Bild 10. Hållfasthetsmätning med Simon-Heesen Q-tester.



Bild 11. Bortsållning av finfraktion vid hållfasthetsmätning med Simon-Heesen Q-tester.

3.1.6 Mätning av pelletsens skrymdensitet

Pelletsens skrymdensitet mäts med en speciell plåthink som rymmer 5,4 liter. Mätningen går till så att hinken fylls med pellets tills det rinner över och sedan lyfts hinken ca 1 dm och släpps från denna höjd (se bild 12). Sedan fylls mer pellets på tills det rinner över igen, hinken lyfts och släpps igen på samma sätt tills proceduren genomförs tre gånger. Sedan skrapas överflödigt pellets bort, i jämnhöjd med hinkens överkant, med en liten bräda. Innehållet i hinken vägs, och då volymen är känd så har man skrymdensiteten.



Bild 12. Mätning av skrymdensitet, t.v. påfyllning av hinken, t.h. avskrapning av överskottspellets.

3.2 Kemiska analyser, m.fl. laborativa analyser

Kemiska analyser gjordes av innehållet av vatten (fukt), aska, kol (C), väte (H), syre (O), kväve (N), svavel (S), klor (Cl), fosfor (P), kisel (Si), aluminium (Al), magnesium (Mg), kalium (K), natrium (Na), kalcium (Ca), järn (Fe), mangan (Mn), och titan (Ti) i studerade glycerinsorter, bränslen och bränslen med tillsats av glycerin samt i askor från några eldningar. Orsaken till att dessa ämnen analyserades var att de har betydelse för bl.a. askans smältegenskaper, risken för korrosiva slaggprodukter i rökgaserna, samt ingår i de nyckeltal som ofta används för att beskriva risken för askrelaterade problem hos bränslen (se kapitel 3.7). Använd metod vid de kemiska analyserna anges i tabellerna B3:1-3 i bilaga 3, där glycerinsorternas, bränslenas och bränslena med tillsats av glycerin, sammansättning anges. Metoden anges på samma rad, i tabellen, där innehållet av respektive ämne anges. I dessa tabeller anges även osäkerheterna hos de kemiska analyserna.

Utifrån bränslenas och de olika glycerinsorternas sammansättning, beräknades även sammansättningen av bränslena vid olika mängder tillsatt glycerin teoretiskt. Detta gjordes då de kemiska analyserna gav en förhållandevis stor variation i resultaten och hade förhållandevis höga osäkerheter (se bilaga 3). Sammansättningen hos de olika bränsle/glycerin-blandningarna kunde på så sätt lättare jämföras mot bränslets ursprungliga sammansättning (se tabellerna B5:2, B5:10 och B5:18, bilaga 5, och kapitel 4.4). Detta förfarande gjordes även för att underlätta beräkningar av nyckeltal utan inverkan från variationer i resultaten från de kemiska analyserna och dessa analysers osäkerheter.

Förutom dessa kemiska analyser analyserades askans smältbeteende mätt som temperaturer för begynnande sintring (krympningstemperatur, SST), mjukningstemperatur (deformations-temperatur, DT), hemisfärisk temperatur (halvsfärisk temperatur, HT), och flyttemperatur (flytande temperatur, FT). Andelen sintrad aska mättes dessutom upp efter eldningsförsöken. Resultaten från dessa analyser jämförs mot de som nyckeltalen gett för bedömning av vilka nyckeltal som är mest relevanta vid tillsats av glycerin till biobränsleslagen. Använd metod och osäkerheterna vid analyserna av askans smältbeteende anges i tabellerna B3:1-2 i bilaga 3 på samma sätt som vid de kemiska analyserna, se ovan.

Även värmevärdet (vanligen det effektiva) mättes upp för studerade glycerinsorter, bränslen och bränslen med tillsats av glycerin. Använd metod och osäkerheterna vid analyserna av bränslenas värmevärde anges i tabellerna B3:1-2 i bilaga 3 på samma sätt som vid de kemiska analyserna, se ovan.

3.2.1 Analyser av glycerin

Förutom ovan nämnda kemiska analyser analyserades mängderna metanol, glycerin och MONG (mängd (massa) organiskt material som ej är glycerin) i glycerinsorterna (se tabell B3:1, bilaga 3). Dessutom mättes pH och flampunkten bestämdes. Flampunkten hänger nära ihop med glycerinets innehåll av metanol, och påverkar de regler som gäller vid transport och hantering av de olika glycerinsorterna (se kapitel 4.7). Mätmetod och osäkerheter anges på samma sätt som vid elementaranalyserna.

Analyserna av glycerinet gjordes av ASG Analytik-Service Gesellschaft mbH i Tyskland (se tabell B3:1, bilaga 3).

3.2.2 Analyser av pellets

Analyserna av pelletsen (bränslen och bränslen med glycerintillsats) utfördes av Eurofins Environment Sweden AB i Lidköping (se tabell B3:2, bilaga 3).

3.2.3 Hantering av analysdata vid glycerintillsats

Analysdata för bränslena med tillsats av glycerin hanterades på två olika sätt som sedan ställdes mot varandra. Först beräknades innehållet av grundämnena utifrån de kemiska analyserna av de olika bränsleslagen (halm, rörflen och tall) och glycerinsorterna teoretiskt utifrån vad det skulle bli om bränsle och glycerin blandades i de proportioner man avsåg att studera. En teoretisk sammansättning av bränsle/glycerin-blandningarna, utan inverkan av osäkerheter från de kemiska analyserna och blandningarnas homogenitet erhöles på så sätt. Sedan studerades resultaten från de laborativa kemiska analyserna. De teoretiska och laborativa resultaten jämfördes.

3.2.4 Analyser av aska efter eldningsförsöken

Efter eldningsförsöken analyserades askan på i princip samma ämnen som analyserats i bränsle/glycerin-blandningarna. Detta gjordes för att främst kunna studera avgången av alkalimetaller vid eldningen. Balanser upprättades över ingående kalium i bränslet och utgående kalium med askan för att kaliumavgången i rökgaserna skulle kunna beräknas. Aska från tall med några glycerinblandningar analyserades. Som en bonus erhöles även innehållet av tungmetaller vid dessa analyser. Analyserna av askan utfördes av Eurofins Environment Sweden AB i Lidköping (se tabell B3:3, bilaga 3).

3.3 Lagringsförsök

I papperspåsar lagrades 2–3 kg av varje variant av pellets, ingående i försöken, under 6 månader från slutet av maj till slutet av november 2009. Påsarna var luftigt uppställda i ett ouppvärt och väl ventilerat utrymme (se bild 13). Lagrets position var Lat N63°48'41'' Long E20°14'05''. Vädret månadsvis för lagringsperioden redovisas i tabell 2. Fukthalt, hållfasthet samt förekomst av mögel studerades. Den initiala fukthalten i proverna mättes i samband med de kemiska analyserna (se kapitel 3.2). Den initiala hållfastheten mättes i samband med pelletteringsförsöken. Fukthalten mättes sedan för ungefär hälften av proverna den 26 juni och den 24 augusti samtidigt som prover frystes in för senare analys av mögelförekomst. Eventuell mögellukt och förekomst av synligt mögel noterades. Den 25 november mättes fukthaltarna och hållfastheterna för samtliga försöksled. Den 1 december togs prover för mögelanalys. Förekomsten av mögel i dessa bedömdes vad gäller lukt samt om det fanns något synligt mögel. Eventuell förekomst av synligt mögel bedömdes med hjälp av god belysning och förstoringsglas för samtliga prover.

Tabell 2. Vädret under lagringsförsöken sommaren och hösten 2009

Månad år 2009	Medel- temp ^a , °C	Max temp ^a , °C	Min temp ^a , °C	Medel- RF ^{bc} , %	Max RF ^{bc} , %	Min RF ^{bc} , %	Ant dag 100 % RF ^{bc}	Neder- börd ^a , mm	Antal dag nederb ^{ad}
Maj	9,6	25,0	-2,2	70	100	40	1	27	7
Juni	12,4	27,4	-3,6	70	100	40	2	47	7
Juli	14,6	26,7	4,0	81	100	57	4	201	13
Augusti	14,9	24,6	-0,4	83	100	60	2	43	7
September	11,0	22,5	-2,5	81	100	58	2	36	7
Oktober	1,3	9,5	-9,0	87	100	65	5	63	9
November	1,7	7,8	-8,8	95	100	85	22	119	20

^a Källa: SMHI (2009), temperatur: Umeå flygplats, nederbörd: Umeå Röbbäcksdalen.

^b Källa: TFE (2010), TFE väderstation, Umeå Universitet, N63°49', E20°18'.

^c RF = relativ luftfuktighet uttryckt i procentenheter.

^d Antal nederbördsdagar mäts som: Antal dygn (från kl. 07 till kl. 07) med nederbörd större än eller lika med 0,1 mm.



Bild 13. Lagring av pellets från pelleteringsförsöken.

3.4 Eldningsförsök

Den använda brännaren har en effekt på ca 30–50 kW, är framåtmatad och konstruerad för att kunna hantera bränslen med stora askmängder (WIPO 2007) (bild 14). Brännarkoppen har inga rörliga delar utan är utformad som en ränna där det frammatade bränslet skjuter askan framför sig och ut i brännkammaren och undviker på så sätt att elden kvävs av den bildade askan. Brännaren var monterad i en 90 kW bibränslepanna (Teem, Eryl, Falun).



Bild 14. Brännare för askrika bränslen.

Innan eldning vägdes bränslet och efter eldning vägdes förbränningsresten eller bottenaskan, dvs. kvarstoden i pannan, bestående av aska och oförbränt bränsle. I det följande kommer termen ”förbränningsrest” att föredras framför ”bottenaska” för att förtydliga att den består av mer än den egentliga askan. Andelen av aska och oförbränt i förbränningsresten bestämdes genom inaskning i 550°C. Andelen sintrad aska definierades som den del av askan som inte passerade genom ett 3,15 mm såll.

Före förbränningen av försöksbränslet eldades först kommersiella träpellets (Solett) av gran i ca en timme för att keramiken i ugnen skulle bli uppvärmd och stabila förbränningsförhållanden skulle uppnås. Under förbränningen försökte vi att i rökgaserna hålla en nivå av ca 10–12 % koldioxid (CO₂), vilket anses optimalt för förbränning, och med minimal emission av kolmonoxid (CO), om möjligt under 100 ppm. Hela tiden loggades kolmonoxid (CO), koldioxid (CO₂), syre (O₂), kväveoxid (NO), kvävedioxid (NO₂) (redovisas som NO_x = NO + NO₂) och svaveldioxid (SO₂). Gaserna analyserades med hjälp av kalibrerade instrument på följande sätt: infraröd absorbans av för varje ämne specifikt band av våglängder inom det infraröda området - IR (CO, CO₂ och SO₂), paramagnetisk resonans (O₂) och kemiluminiscens (NO_x) (Mutor 610, Maihak, Tyskland). Ett termoelement av K-typ (Pentronic) registrerade temperaturer vid sidan av brännaren. Det ska poängteras att temperaturloggningarna, p.g.a. av lågornas varierande läge, storlek och intensitet, endast kan ge en ungefärlig uppfattning om de temperaturer som påverkar förbränningsförhållandena.

Efter den initiala uppstartstimmen infördes det aktuella provbränslet och provtagning av stoft och akrolein pågick i ca 90 min. Detta gjordes samtidigt i serie med samma pump på så sätt att provtagningsgasen först passerade ett uppvägt stofffilter och därefter leddes ner i två serie-

kopplade gastvättflaskor med vardera ca 50 ml reagenslösning (DNF = dinitrofenylhydrazin). Båda provtagningarna har följaktligen samma provtagningsflöde och volym. Reagenslösningarna skickades till SP-Sveriges Tekniska Forskningsinstitut i Borås för analys med hjälp av LC-MS (Liquid chromatography-mass spectrometry).

Eftersom förbränningsresten härrör från både träpellets (Solett) och bränsle/glycerin-pellets är det svårt att klart relatera den till det studerade bränslet, men mängden aska som kommer från Solettpellets torde vara liten och nästan försumbar i jämförelse med askan från de flesta bränsle/glycerin-blandningarna. En eldning genomfördes med enbart Solett som referensprov.

3.5 Beräkningar av mängden kalium som avgått med rökgaserna

Vid förbränning avgår vissa komponenter med rökgaserna bl.a. en stor del av bränslets innehåll av alkalimetaller (Hadders & Flodén, 1997; Nikolaisen m.fl., 1998; Glazer m.fl., 2005). Dessa alkalimetaller kan ge upphov till beläggningar och korrosion, särskilt vid höga temperaturer i rökgaserna. Det är därför viktigt att känna till den mängd alkalimetaller som ingår i det bränsle som man planerar att elda, samt hur mycket av dessa som riskerar att avsättas i rökgaskanalerna och där ge upphov till problem. Därför har kaliumbalanser för det studerade tallbränslet vid inblandning av glycerin av olika sort och mängd studerats i tabell 28.

För att kunna beräkna mängden kalium som avgått med rökgaserna vid eldningen, beräknades först mängden tillfört kalium, både i det bränsle man ville studera och i uppstartsbränslet (Solett), utifrån bränsleanalyserna (se tabell B3:2, bilaga 3). Sedan subtraherades den mängd kalium som gått bort med askan. Denna mängd beräknades utifrån analyser av förbränningsresterna ("askorna") (se tabell B3:3, bilaga 3) och kaliumbalansen vid eldning av rent uppstartsbränsle (Solett) (se tabell 28). Kaliummängden i rökgaserna beräknades med två olika antaganden: a) att lika andelar av kaliuminnehållet i uppstartsbränslet (Solett) och i det studerade bränslet avgår med rökgaserna, eller b) att lika stor andel av kaliuminnehållet i uppstartsbränslet (Solett) har avgått som vid försöket med enbart eldning av Solett. Resterande kalium har antagits avgå från det studerade bränslet. Dessutom beräknades medelvärdet av resultaten från antagande a) och antagande b).

3.6 Statistiska analyser

Utvärderingen gjordes med hjälp av PLS (programvara Modde Version 9.0.0.0, Umetrics AB) (PLS: partial least squares).

I samtliga fall har Q^2 -värdet använts som mått på prediktionsförmågan hos modellen (se beskrivning nedan).

Alla värden centrerades innan utvärderingen. Leave-one-out cross-validering (Uteslut-ettvärde-korsvalidering) användes för att beräkna residualen för varje valideringsrunda. Dessa residualer (\mathbf{f}_i) mellan observerade värden (\mathbf{y}) och förutspådda (predicerade) värden (\mathbf{y}_p), dvs. $\mathbf{f}_i = \mathbf{y} - \mathbf{y}_p$, inordnades i en kolumn ($I \times 1$) och användes som diagnostik tillsammans med en hävstångseffekt för varje observation. De olika multivariata modellerna utvärderades sedan med den multipla determinationskoefficienten (Q^2) som beräknades som:

$$Q^2 = 1 - \text{PRESS}/(\mathbf{y}^T \mathbf{y})^\circ$$

där $\mathbf{y}^T \mathbf{y}$ är den totala kvadratsumman av datat och PRESS är leave-one-out kors-validerings prediktorn för kvadratsumman och beräknas enligt Myers (1986) som:

$$\text{PRESS} = \mathbf{1}^T (\mathbf{f}_i^2 (\mathbf{1} - \text{diag}(\mathbf{H}))^{-2})^\circ$$

här är $\mathbf{1}$ en kolumnvektor av $I \times 1$ ettor, och T betecknar en transponerad vektor eller matris, \mathbf{f}_t^2 är en kolumnvektor av de $i \times 1$ kvadrerade residualerna, $\text{diag}(\mathbf{H})$ (diagonalen av \mathbf{H}) representerar hävstångseffekten av varje observation, och $^\circ$ är $I \times 1$ diagonalelementen (värdena) i den symmetriska ($I \times I$) hatt-matrisen \mathbf{H} , $^\circ$ beräknas här som $\mathbf{X}(\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T$ med dimensionen $I \times I$ innehållande modellparametrarna inordnade i en \mathbf{X} -matris.

Q^2 -värdet anger hur mycket av variansen hos responsvariabeln (y) som kan prediceras och kan i bästa fall bli 1, medan ett värde på 0 indikerar ingen prediktiv förmåga alls. Antalet faktorer som används i modellerna bestämdes genom optimering av Q^2 .

I tabell B6:1 i bilaga 6 anges de data som använts i de statistiska beräkningarna av resultaten från pelleteringsförsöken.

3.7 Beräkning av askgenskaper med nyckeltal

Vid förbränning erhålls ett antal olika askfraktioner (Strömberg, 2005). Man brukar tala om bottenaska/slagg, flygaska, cyklonaska, filteraska och rök gasreningrester. Vilka fraktioner och mängder som bildas beror på bränslet och förbrännings- och reningstekniken. I de förbränningsförsök som gjordes försöken erhöles en bottenaska. Flygaska kunde inte samlas in men beräkningar av dess sammansättning kunde i vissa fall göras utifrån det inmatade bränslets och bottenaskans sammansättningar.

Askans egenskaper kan till viss del beräknas utifrån bränslets elementarsammansättning (Strömberg, 2005).

3.7.1 Olika ämnen och deras påverkan på askans smältegenskaper

Askbildande lättmetaller: Al, Ca, K, Mg, och Na:

De flesta bränslen innehåller lättmetaller i någon form (Strömberg, 2005). Dessa är askbildande, och några av dem (alkalimetallerna kalium (K) och natrium (Na)) kan dessutom bilda flyktiga former (t.ex. klorider) som tidvis förångas för att i ett senare skede återkondensera. Normalt förekommer lättmetallerna, i bränslet, bundna i någon kemisk form t.ex. som organiska föreningar, oorganiska salter, eller upplösta i cellvätska. Kalcium (Ca) och kalium (K) är de lättmetaller som förekommer i de högsta halterna i biobränslen. Natrium förekommer normalt i mycket lägre halter än vad kalcium och kalium gör, men har stor betydelse för askrelaterade problem i förbränningsanläggningar. Aluminium kan ingå i den askbildande fraktionen i ett flertal former.

Icke sönderdelat eller återbildat kalciumkarbonat kan ibland fungera som smältpunktssänkare (Strömberg, 2005).

Askbildande icke-metaller: klor och svavel:

Klor kan bilda saltsyra (HCl) och lämna en förbränningsanläggning i gasform, men den kan även bindas i askor under saltbildning, särskilt då i alkaliska askor (Strömberg, 2005). Klor är därför en askbildande komponent även om inte alltid allt klor binds i askan. Det är inte ovanligt att klor "pendlar" mellan gasform (som saltsyra (HCl) eller förångad klorid) och askbunden form (som salt). Kloromsättningen vid eldning av klorhaltiga bränslen är starkt beroende av bindningsformen i bränslet.

Kalium och natrium är tillsammans med klor lättflyktiga och orsakar gärna påslagsproblem på värmeöverföringsytor (Strömberg, 2005). De fungerar som smältpunktssänkare i saltblandningar.

Svavel kan bilda svavelväte (H₂S) (vid underskott av syre), svaveldioxid (SO₂) och svaveltrioxid (SO₃) samt andra "följdprodukter" (Strömberg, 2005). I reducerande miljö bildar svavel främst svavelväte och binds till alkaliska askor under sulfidbildning. Då svavelväte är en svag syra behövs antingen en starkt alkalisk aska eller metalljoner (såsom t.ex. kadmium (Cd), kvicksilver (Hg), bly (Pb) eller zink (Zn)) i askan med en särskilt hög bindningstendens för sulfidsvavel. I oxiderande miljö bildas främst svaveldioxid (SO₂) och mindre mängder svaveltrioxid (SO₃) (i regel mindre än 5 %). Båda kan bindas till alkaliska askor, emellertid är svaveldioxid en svagare syra än svaveltrioxid och binds därför lösare. Sulfat i askor beter sig mest inert tillsammans med kalcium. Då andra sulfatbildare såsom kalium och natrium tillkommer kan det bildas lägresmältande sulfateutektika. Ännu värre blir det när även klorider förekommer och kan spela in i förloppet.

Fosfor i form av fosfat kan leda till lägre smältpunkter i saltblandningar med bl.a. kalcium (Strömberg, 2005). Aluminium i fosfatform är mer eller mindre inert.

3.7.2 Beräkning av nyckeltal

Det finns ett antal nyckeltal som relaterar de olika ämnena som ingår i askan till varandra (Strömberg, 2005). Nyckeltalen är baserade på de relativa molten och ger en möjlighet att "vaska fram" kritiska mängdförhållanden mellan olika ämnen som direkt kan relateras till riskkomponenter eller riskabla blandningar av komponenter. Nedan, i ekvation 1-7, beskrivs nyckeltalen.

Alkalinitetstalet redovisar om askan har ett överskott eller underskott av alkaliska ämnen (Ca, Mg, Na, K, Fe) jämfört med mineralbildare (Al, Si, Ti, P) (Strömberg, 2005), se ekvation 1. Talet är viktigt vid bedömning om en sintringsrisk föreligger när bränslet eldas i t.ex. kvarts-sand. Värdet under 1 markerar underskott av alkalinitet medan värdet över 1 markerar överskott av alkalinitet. Farligt område vid fluidbäddeldning med kvartssand är över 1, medan värdet över 0,8 är varningstecken, som antyder att det kan finnas mycket reaktiva lättmetalloxider som kan angripa kisel syran i kisel syrarika bäddmaterial, vilket kan leda till glasbildning och bäddsintring. Farligt område vid annan eldning beskrivs av förglasningstalet (sodaglastalet), se nedan. Även värdet under 0,8 kan vara dåliga, men då är det snarare tal om glasbildning med bränsleegna andelar av t.ex. kisel som bildar kisel syra. Risker för sådan askegen bildning av silikatglas belyses av nyckeltalen: alkaliandel, saltkvot, eutektikumstal och fältspattal som beskrivs nedan.

$$\text{Alkalinitetstal} : \frac{2Ca + 3Fe + Na + 2Mg + K}{2Si + Al + 3P + 2Ti} \quad (1)$$

Förglasningstalet (sodaglastalet) är en kvotbildning av summa alkalimetall mot kisel (Strömberg, 2005), se ekvation 2. Med kisel menas här det kisel som finns i själva bränslet, dvs. kisel i t.ex. bäddsand ingår ej. Alla värden mellan 0,2 och strax under 1 kan anses vara dåliga, medan värdet över 1 och under 0,2 kan anses som varandes mindre farliga. Förglasningstalet kan anses visa hur mycket alkaliglas (typ sodaglas) som kan bildas i bränsleaskan, och därmed beskriva glasbildningsrisken i eldstäder som fungerar utan bäddsand. Ett lågt förglasningstal, under ca 0,25, visar att endast små mängder glas kan bildas i askan. Detta glas börjar dessutom bildas vid högre temperaturer än då förglasningstalet har höga värden. Ett högt värde (allt över 0,5) visar att mycket glas kan bildas i askan och att askan därmed kan bli klibbig. Typiska temperaturer där denna askbildning börjar är kring 750°C eller vid inblandning av

mycket kalcium (Ca) fr.o.m. 800°C. Vid ogynnsamma värden på eutektikumstalet kan smälttemperaturen som lägst sjunka ner mot ca 550°C.

$$\text{Förglasningstalet} : \frac{2(K + Na)}{3Si} \quad (2)$$

Alkaliandel beräknas som kvoten mellan andelen alkalimetall (Na + K) och totalandelen vanliga metaller (Na + K + Ca + Mg + Fe) (Strömberg, 2005), se ekvation 3. Alkaliandel är ett av de nyckeltal som beskriver risken för bildning av silikatglas med askegen kiselsyra, se ovan. Ju högre andel av de vanliga metallerna som utgörs av natrium (Na) och/eller kalium (K) ju lägre smältpunkter kan man förvänta sig. Detta samband gäller oavsett om blandningarna som bildas är silikatblandningar (glassystem) eller saltblandningar. Därför är alla värden större än 0,3 direkt dåliga och värden större än 0,5 mycket dåliga. K voten kan aldrig bli större än 1.

$$\text{Alkaliandel} : \frac{Na + K}{2Ca + K + 2Mg + Na} \quad (3)$$

Fältspattalet beräknas som förhållandet mellan kisel (Si) och aluminium (Al) i askan (Strömberg, 2005), se ekvation 4. Fältspattalet är ett av de nyckeltal som beskriver risken för bildning av silikatglas med askegen kiselsyra, se ovan. Värden under 6 indikerar låg risk. Dessa värden indikerar nämligen områden som är typiska för aluminiumsilikater, och sådana silikater med t.ex. kalium (K) eller natrium (Na) som smälter vid högre temperaturer än de rena silikaterna av samma lättmetaller. Deras bildning är därför att föredra framför bildningen av lägre smältande silikater utan aluminium. Ett värde under 6 indikerar att fältspatliknande aluminosilikater kan finnas i eller bildas i askan istället för silikater med lägre smältpunkt. Vid värden över 6 räcker inte mängden aluminium i askan till och det blir därför kisel (Si) över för bildning av rena silikater med lägre smältpunkter. Emellertid, så är värden under 6 ingen säkerhetsgaranti och värden över 6 ger ingen automatisk larmsignal, men en stark koppling existerar.

$$\text{Fältspattal} : \frac{2Si}{Al} \quad (4)$$

Eutektikumstalet beräknas som kvoten mellan halten natrium (Na) och totalhalten av alkalimetaller (Na + K) (Strömberg, 2005), se ekvation 5. Eutektikumstalet är ett av de nyckeltal som beskriver risken för bildning av silikatglas med askegen kiselsyra, se ovan. Värden runt 0,5 är farligast, men hela området mellan 0,2 och 0,8 är farligt. Problemet är att närvaro av båda alkalimetallerna i jämförbara halter leder till särskilt låga smältpunkter och detta gäller för både silikatsmältor (glasbildning) och saltsmältor. Många biobränslen innehåller mycket kalium (K) men lite natrium (Na) och hamnar därför utanför det farligaste området.

$$\text{Eutektikumstal} : \frac{Na}{Na + K} \quad (5)$$

Saltkvoten beräknas som kvoten mellan andelen svavel plus klor (S + Cl) och alkalimetaller (K + Na), och visar risken för bildning av saltblandningar med svavel (sulfat) och klor (klorid) (Strömberg, 2005), se ekvation 6. Saltkvoten är ett av de nyckeltal som beskriver risken för bildning av silikatglas med askegen kiselsyra, se ovan. Fyra olika saltkvoter har definierats, men här presenteras endast den som tar hänsyn till bildning av sulfat och klorid med natrium och kalium, då det är ett av de ”farligaste” systemen. Det farliga intervallet är tyvärr stort (0,2–4). Att även värden större än 1 bedöms som farliga hänger samman med de ofta höga halterna av kalcium (Ca) som ofta förekommer i biobränslen. Detta kalcium kan bindas in i lågsmltande saltblandningar med svavel och klor. Låga värden ända ner till 0,2 är kritiska därför att en inblandning av även fosfat kan ge en mängdökning.

$$\text{Saltkvot} : \frac{Cl + 2S}{K + Na} \quad (6)$$

Molförhållandet mellan svavel och klor (S/Cl) ger en uppfattning om det finns tillräckligt med svavel i överskott för att minska korrosionsrisker i samband med alkaliklorider (Strömberg, 2005). Erfarenhetsmässigt har man funnit att om molförhållandet (S/Cl) ligger i intervallet mellan 2 och 4 så minskar risken för kloridinducerad korrosion.

Miles index, även kallat alkaliindex enligt Miles, beräknas såsom askans innehåll av natrium- och kaliumoxid dividerat med bränslets energiinnehåll i gigajoule (GJ) (energiinnehåll mätt som det övre eller kalorimetriska värmevärdet) (Strömberg, 2005), se ekvation 7. Beräknade värden relateras till erfarenheter från förbränningsförsök med olika biobränslen. Detta har utmynnat i följande kriterier: 0–0,17 användbara bränslen; 0,17–0,33 tveksamma bränslen; och över 0,34 oanvändbara bränslen.

$$\text{Miles index} : \frac{A * (K_2O + Na_2O)}{H_s} : \text{där } A \text{ är askhalten och } H_s \text{ det övre värmevärdet} \quad (7)$$

Hög alkalihalt i ett bränsle innebär risk för problem med beläggningar och sintringar (speciellt för svavelfattiga bränslen med hög kloridhalt) (Strömberg, 2005). Även ett bränsle med låg alkalihalt kan dock ge problem om alkalihalten i askan är hög, dvs. om askhalten samtidigt är låg. Nyckeltalet Na + K mg/kg aska ger ett grovt mått på detta, och är speciellt användbart vid jämförelser av bränslen som har olika askhalt.

3.8 Bortdunstning av metanol och avlägsning av skikt med fria fettsyror

Då särskilt glycerin 2b (se tabell 1 och tabell B3:1 i bilaga 3) innehöll väldigt mycket metanol, var så mycket som möjligt av denna tvunget att dunstas bort, innan glycerinet kunde användas som tillsatsmedel vid pelleteringsförsöken. Även glycerin 1b innehöll från början för mycket metanol. Metanolen dunstades, i ett första steg, bort genom att dunkarna, med glycerinet i, sattes i ett vattenbad under 1–2 dygn vid en temperatur på 65–80°C, se bild 15 nedan. För att göra detta placerades dunkarna i en gammal mjölk tank försedd med några doppvärmarer. Lock lades på, med några centimeters glipa för fri luftgenomströmning men skydd mot

nederbörd, och omrörning i dunkarna skedde manuellt med någon eller några timmars mellanrum beroende på tid på dygnet.



Bild 15. Bortkokning av metanol i vattenbad i en gammal mjölk tank.

Glycerin 2b skiktades, då ett lager av glycerin bildades under ett lager av fria fettsyror. För att metanolen skulle kunna kokas bort var det nödvändigt att glycerinskiktet först dekanterades bort. Detta gjordes med hjälp av en enkel sughävert med vars hjälp glycerinfraktionen kunde pumpas över till en annan dunk (se bild 16).



Bild 16. Bortpumpning av glycerinfraktionen till en annan dunk med hjälp av en sughävert.

Då metanolhalten fortfarande var för hög efter bortdunstningen i dunkarna fick den sista metanolen dunstas bort med rullindunstare (se bild 17). Detta gällde endast glycerin 2b. Med rullindunstaren kunde den roterande rundkolven med glycerinet sättas i ett tempererat vattenbad, samtidigt som ett undertryck från en vattensug lades på. På så sätt kunde mer metanol avlägsnas från glycerinet, se tabell B3:1, bilaga 3 (efter att mer metanol dunstats bort).

Då metanolhalterna i främst glycerin 2b men även i glycerin 1b var höga (metanolinnehåll 15,6 respektive 6,8 %, se tabell B3:1 i bilaga 3) även efter bortdunstningen enligt ovan, fick mängden av dessa glycerinsorter i försöken men även antalet försök reduceras, främst av brandsäkerhetsskäl vid pelletering. Av denna anledning pelleterades inte mer än 25 kg åt gången av dessa bränsle/glycerin-blandningar. Dessutom gjordes inga försök med 5 % inblandning av dessa glycerinsorter (se tabell B1:1, bilaga 1 och tabell B2:1, bilaga 2).



Bild 17. Rullindunstare för bortkokning av den sista metanolen (LabTech America, 2010).

3.9 Ekonomiska beräkningar

Värdet hos glycerinet beräknades utifrån några olika strategier med utgångspunkt från de erhållna resultaten:

- Glycerinet går att använda som ett användbart tillsatsmedel och priset antas då vara jämförbart med det för andra tillsatsmedel vid pelletering.
- Glycerinet påverkar ej bränslepellettsens värde och då beräknas priset på dessa utifrån priset på bränslepelletts till värmeverk, mätt på dess energinnehåll som det effektiva värmevärdet.
- Glycerinet försämrar det bränsle som det tillsätts till i sådan grad, vad gäller avgång av kalium med rökgaserna och sänkning av asksmältpunkten, att ett bra bränsle (t.ex. trä) försämrats så mycket att det blir jämförbart med ett besvärligt stråbränsle (t.ex. halm).

4 RESULTAT MED DISKUSSION

4.1 Resultat från statistisk utvärdering av pelleteringsförsök och lagringsförsök med multivariat dataanalys

Den genomförda försöksdesignen utvärderades med hjälp av multivariat dataanalys. Endast för skrymdensitet erhöles en prediktionsmodell från vilken någorlunda säkra slutsatser kunde dras. Hållfasthet gav en modell där vissa indikationer med avseende på pelleteringsegenskaper och pellets kvalitet kunde uttydas. För finfraktion och effektbehov erhöles inga användbara prediktionsmodeller. De resultat som ingått i den statistiska utvärderingen sammanfattas i tabell B6:1 i bilaga 6 och från denna kan följande slutsatser dras (de använda statistiska modellerna med resultat, redovisas i bilaga 7):

Skrymdensitet:

- * Rörflen uppvisade den högsta skrymdensiteten, medan halm hade den lägsta.
- * Tillsats av glycerin medförde i samtliga fall en minskning i skrymdensitet.

Hållfasthet:

- * Rörflen uppvisade även i detta fall den högsta kvaliteten, medan halm hade den lägsta.
- * Tillsatser av glycerin 1a och 1b (alkaliskt glycerin) medförde i samtliga fall en försämring av hållfastheten.
- * Små tillsatser (1%) av glycerin 2a och 2b (surt glycerin) gav en bibehållen och i vissa fall en liten förbättring i hållfasthet. Resultaten är emellertid mycket osäkra.
- * Vid högre tillsatser (5%) av glycerin 2a och 2b försämrades hållfastheten avsevärt (undantaget 5 % tillsats av glycerin 2a till rörflen).

Finfraktion:

- * Från tabell 4 och tabell B6:1 i bilaga 6 finns vissa indikationer på en liten förbättring i kvaliteten, dvs. finfraktionen minskar, vid små tillsatser av glycerin 2a och 2b (surt glycerin).
- * Tillsats av glycerin 1a och 1b (alkaliskt glycerin) ökar i samtliga fall mängden finfraktion vid pelletering (undantaget 1 % tillsats av glycerin 1a till halm).

Effektbehov:

- * Inga slutsatser kan dras från resultatet av effektbehovet.

Hållfasthet 6 månader:

- * Parametern utvärderades genom att analysera minskningen i hållfasthet efter 6 månader.
- * Minskningen i hållfasthet verkar vara kopplad till den fukthalt som pelletsen har efter 6 månader, dvs. ju högre fukthalt desto större försämring av hållfastheten (se bilaga 7, dokument med modeller samt figurerna B7:2-4).
- * Fukthalten i pelletsen vid 6 månader är kopplad till ursprungsfukthalten i pelletsen (se dokument med modeller) och dessa två fukthalter verkar vara kopplade till mängden glycerin i pelletsen, dvs. ju högre glycerinhalten desto högre pelletsfukthalt.

Fukthalt 6 månader:

- * Pelletsfukthalten efter 6 månader är till största delen kopplad till ursprungsfukthalten i pelletsen och denna är beroende av råmaterialet samt mängden tillsatt glycerin (se bilaga 7, dokument med modeller samt figur B7:1).
- * Pellets med hög glycerinhalten verkar ta åt sig mera fukt vid lagring. Det kan förklaras med att glycerin är vattenlösligt och drar åt sig fukt.

4.2 Pelleteringsförsök

4.2.1 Hållfasthet, finfraktion, skrymdensitet och utseende

Vid pelletering med tillsats av glycerin försämrades vanligtvis pelletsens hållfasthet i jämförelse med pelletering utan glycerin (se tabell 3 och tabell B2:1, bilaga 2 och statistisk analys kapitel 4.1) och mängden finfraktion ("fines": smått material som sållades bort, se kapitel 3.1.4 Pelletering bild 8 och 9) ökade (se tabell 4 och tabell B2:1, bilaga 2 och statistisk analys kapitel 4.1). Emellertid så blev hållfastheten bibehållen eller något högre (se tabell 3) vid inblandning av 1 % av glycerin 2a och 2b (se tabell 1) jämfört med ingen inblandning av glycerin för alla de tre studerade bränslena. Dessutom blev mängden finfraktion lägre vid 1 %:s inblandning av dessa båda glycerinsorter (se tabell 4) (undantaget 1 % inblandning av glycerin 2b i rörflen). Vid inblandning av 5 % glycerin förbättrades hållfastheten, och mängden finfraktion minskade, enbart för glycerin 2a vid inblandning i rörflen. Vid inblandning i halm och i tall försämrades hållfastheten avsevärt (se tabell 3) och mängden finfraktion ökade avsevärt (se tabell 4). För glycerin 1a och 1b (tabell 1) minskade alltid hållfastheten (se tabell 3) och ökade nästan alltid mängden finfraktion (se tabell 4) med inblandningsnivåerna. Mängden finfraktion minskade endast vid 1 %:s inblandning av glycerin 1a i halm.

Nämnas bör att halmpelletsen jämfört med de andra två bränslena hade låg hållfasthet, hög andel finfraktion och låg skrymdensitet redan innan inblandningen av glycerin (se tabell 3, 4 och 5, och statistisk analys kapitel 4.1).

Skrymdensiteten minskade alltid vid pelletering med glycerin (se tabell 5 och tabell B2:1, bilaga 2, och statistisk analys kapitel 4.1), mer ju mer glycerin som blandades in. Skrymdensiteten var högre vid inblandning av glycerin 2a och 2b i rörflen jämfört med inblandning av glycerin 1a och 1b. Detsamma, fast i något mindre grad, gällde även vid inblandning av 1 % glycerin i tall.

I bilaga 2, bild B2:1-2, visas bilder på pelletsen från pelleteringsförsöken. Pellets med hög hållfasthet och liten andel finfraktion är långa och ofta blanka, medan pellets med låg hållfasthet är korta, spruckna och smuliga. Vilken typ av pellets (bränsle, sort av inblandat glycerin och inblandningsnivå) som visas förklaras i texten under bilderna. Synas pelletsen visuellt vad gäller främst pelletsens längd och förekomst av smulad pellets kan man alltså få en uppfattning om pelletsens kvalitet (nedan anges försöksleden med de beteckningar som användes vid pelleterings- och eldningsförsöken, inom parentes anges mängd inblandat glycerin följt av sortbeteckningen för det inblandade glycerinet):

- Vad gäller halm så ser Gly1 (inget); följt av Gly6 (1 % 2a); och Gly8 (1 % 2b) bäst ut; följt av Gly3 (1 % 2a); Gly2 (1 % 1a); och Gly7 (1 % 1b); sämst är Gly5 (5 % 2a). Gly4 (5 % 1a) gick ej att pelletera.
- Vad gäller rörflen så ser Gly11 (inget) bäst ut; följt av Gly15 (5 % 2a); Gly10 (1 % 2b); Gly13 (1 % 2a); Gly12 (1 % 1a); Gly9 (1 % 1b); sämst är Gly16 (5 % 1a); och Gly14 (5 % 1a).
- Vad gäller tall så ser Gly19 (1 % 2a) bäst ut; tätt följt av Gly22 (inget); och Gly17 (inget); följt av Gly24 (1 % 2b); näst sämst är Gly25 (1 % 1b); Gly23 (1 % 1b); och Gly18 (1 % 1a); sämst är Gly21 (5 % 2a); och Gly20 (5 % 1a).
- Rörflenspelletsen ser bäst ut, följt av tallpelletsen, medan halmpelletsen ser sämst ut. I stort sett följer detta resultaten från hållfasthetstesten (tabell 3) och mätningen av mängden finfraktion (tabell 4).

Resultaten kan tyda på att ett optimum finns vad gäller inblandning av glycerin i bränslen vid pelletering, då både högre hållfasthet och lägre andel finfraktion kunde erhållas vid inbland-

ning av 1 % glycerin 2a och 2b, jämfört med ingen glycerinblandning. Motsvarande optimum kunde ej ses vid inblandning av alkaliskt glycerin. En orsak till detta kan vara att optimum här ligger vid en lägre nivå än vad som studerades i det här projektet. Tyvärr hade vi inom projektet ej resurser till att undersöka detta mer noggrant.

De båda sura glycerinsorterna 2a och 2b betedde sig på ett likartat sätt trots att de egentligen är ganska olika (se tabell B3:1, bilaga 3, och statistisk analys kapitel 4.1). Glycerin 2a har en glycerinhalt på 87 % medan glycerin 2b bara innehåller 61 % glycerin. Vidare innehåller glycerin 2a 0,26 % metanol, 6,1 % vatten, 2,4 % aska och 4,8 % MONG (mängd (massa) organiskt material som ej är glycerin), medan motsvarande siffror för glycerin 2b är 15,6 %, 5,4 %, 6,6 % respektive 27,1 %. Dessutom motsvaras mängden tillsatt glycerin av rent glycerin, dvs. 1 % tillsatt glycerin 2a och 2b är i båda fallen en lika stor glycerintillsats som rent glycerin, alltså 1 % (se förklaring i tabell 1, kapitel 3.1.1). Detta tyder på att det är glycerinet i de båda glycerinsorterna som har störst inverkan på pelleteringsresultatet. De andra ingående ämnena skulle då ha en underordnad betydelse.

En orsak till att pelletsens hållfasthet blev lägre, i många fall, vid pelletering med inblandning av glycerin, kan vara att glycerin är smörjande och pelletsen därmed glider igenom pelletspressens presskanaler med för lågt motstånd. Med för lågt motstånd i presskanalen blir trycket för lågt för att fasta hållfasta pelletar ska bildas och pelleterna blir lösa. I litteraturen (Knothe m.fl., 2005) anges att glycerin använts som smörjmedel på många ställen där man inte kan använda mineraloljor t.ex. där smörjmedlet kommer i kontakt med mat, läkemedel eller kosmetika, eller där mineraloljor skulle riskera att lösas upp av t.ex. bensin. Omvänt gäller, att går pelletsen utan glycerin för trögt genom pelletspressens presskanaler, kan smörjeffekt från tillsatt glycerin underlätta pelleteringen, så att pelletsen får en högre hållfasthet. Det kan ha varit detta som observerats vid 1 %:s inblandning av de sura glycerinsorterna 2a och 2b i de tre studerade bränslena.

Tabell 3. Hållfasthet, medel av tre prover, %, vid tillsats av olika glycerinsorter i olika mängder

Bränsle / Sort av glycerin	Mängd glycerin / Hållfasthet, %		
	Inget	1 %	5 %
Halm			
Glycerin 1a	82,9	80,9	n.a.
Glycerin 1b		80,2	n.a.
Glycerin 2a		84,6	85,1
Glycerin 2b		82,4	n.a.
<i>Medel</i>	82,9	82,7	78,3
Rörflen			
Glycerin 1a	Inget	1 %	5 %
Glycerin 1b	97,0	93,1	79,2
Glycerin 2a		91,7	89,8
Glycerin 2b		97,2	n.a.
<i>Medel</i>	97,0	97,5	n.a.
Tall			
Glycerin 1a	Inget	1 %	5 %
Glycerin 1b	89,1	82,4	67,4
Glycerin 2a	92,7	81,7	85,3
Glycerin 2b		91,8	82,0
<i>Medel</i>	90,9	91,9	n.a.
		86,6	74,7

Tabell 4. Mängd finfraktion, medel av tre prover, %, vid tillsats av olika glycerinsorter i olika mängder

Bränsle / Sort av glycerin	Mängd glycerin / Mängd finfraktion, %		
	Inget	1 %	5 %
Halm			
Glycerin 1a	2,29	1,79	n.a.
Glycerin 1b		2,81	n.a.
Glycerin 2a		1,44	4,31
Glycerin 2b		1,79	n.a.
<i>Medel</i>	2,29	1,89	4,31
Rörflen			
Glycerin 1a	0,70	1,62	3,66
Glycerin 1b		1,83	n.a.
Glycerin 2a		0,56	0,54
Glycerin 2b		0,76	
<i>Medel</i>	0,70	1,19	1,73
Tall			
Glycerin 1a	0,93	3,22	8,87
Glycerin 1b	0,63	2,66	n.a.
Glycerin 2a		0,56	2,85
Glycerin 2b		0,43	n.a.
<i>Medel</i>	0,78	1,69	5,86

Tabell 5. Skrymdensitet, medel av 3 prover, kg/m³, vid tillsats av olika glycerinsorter i olika mängder

Bränsle / Sort av glycerin	Mängd glycerin / Skrymdensitet, kg/m ³		
	Inget	1 %	5 %
Halm			
Glycerin 1a	546	518	n.a.
Glycerin 1b		521	n.a.
Glycerin 2a		530	377
Glycerin 2b		515	n.a.
<i>Medel</i>	546	514	377
Rörflen			
Glycerin 1a	718	653	513
Glycerin 1b		624	n.a.
Glycerin 2a		679	619
Glycerin 2b		685	n.a.
<i>Medel</i>	718	660	572
Tall			
Glycerin 1a	593	553	508
Glycerin 1b	612	527	n.a.
Glycerin 2a		575	475
Glycerin 2b		587	n.a.
<i>Medel</i>	602	562	492

4.2.2 Medeleffektbehov, variationskoefficient, specifik energiåtgång och avverkning

Det är svårt att dra några slutsatser eller se några trender för medeleffektbehovet vid pelleteringen vid inblandning av glycerin i de tre studerade bränslena (se tabell 6). Variationen mellan proverna är större än trenderna. För halm är medeleffektbehovet lägst vid 1 % glycerinblandning och högst vid ingen glycerinblandning, det motsatta mot vad som gäller för rörflen. För tall minskar medeleffektbehovet vid ökad inblandning av glycerin. För halm har medeleffektbehovet varit större för de sura glycerinsorterna 2a och 2b jämfört med för de alkaliska glycerinsorterna 1a och 1b.

Variationskoefficienten för effekten är densamma även för strömförbrukningen under en pelleteringskörning, och kan ses som ett mått på hur jämnt pelletspressen gått under pelletering. Denna minskade vid ökad glycerinblandning för samtliga tre studerade bränslen (se tabell 7). Den är även något lägre vid pelletering av halm jämfört med vid pelletering av de andra två bränslena. Möjligen kan detta tyda på att variationskoefficienten hos effektbehovet varit lägre då pellets med låg hållfasthet producerats. Att variationskoefficienten minskar vid ökad glycerinblandning kan ha att göra med glycerinets smörjande egenskaper. Påpekas bör även att spridningen är stor mellan de båda prover som gjordes med tallspån utan inblandning av glycerin (variationskoefficient på 19,2 respektive 42,2, se tabell 7). Detta tyder på en stor slumpmässig variation i data som då får en i motsvarande grad större osäkerhet. I diagram B2:1-3 visas hur elbehovet varierat under pelleteringarna av de tre bränslena. Kurvornas ojämnheter, i dessa diagram, är direkt kopplade till effektbehovet vid pelleteringarna och därmed variationskoefficienterna för effekten via pelleteringskörningarna.

För den specifika energiåtgången (se tabell 8) är variationen stor mellan enskilda mätningar (40,1–117,7 kWh/ton pellets) och trender är svåra att se. För 1 % inblandning av glycerin 1b i tallspån är spridningen 56,6–105,7 kWh/ton pellets. Detta tyder på en stor osäkerhet i erhållna data. För halm är den specifika energiåtgången högst för 1 % inblandning av glycerin, för rörflen vid ingen glycerinblandning, och för tall vid 5 % glycerinblandning, vilket är förvirrande. För rörflen verkar den specifika energiåtgången vara större för de sura glycerinsorterna 2a och 2b, än för de alkaliska glycerinsorterna 1a och 1b, vid 1 % inblandning. 1 procent inblandning av glycerinsorterna 2a och 2b, jämfört med glycerinsorterna 1a och 1b, gav pellets med högre hållfasthet och mindre andel finfraktion (se tabellerna 3 och 4). Det är inte så enkelt att pelletering av pellets med låg hållfasthet generellt ger lägre energiförbrukning (tabellerna 3 och 8), på grund av att hur pass bra pelletering går och att denna fungerar utan avbrott och störningar, är av mycket stor betydelse för energiåtgången (se diagram B2:1-3, bilaga 2) (långa perioder med låg strömförbrukning och höga toppar tyder på störningar i pelletspressens funktion).

Avverkningen varierar en hel del (se tabell 9) mycket beroende på om pelletering gått utan avbrott (se diagram B2:1-3, bilaga 2). Några trender är svåra att se. Högt avverkning ger oftast låg specifik energiåtgång och vice versa (se tabellerna 9 och 8). Högst har avverkningen blivit vid pelletering av halm utan glycerintillsats och vid pelletering av rörflen med 1 % tillsats av glycerin 1a. Lägst har avverkningen varit vid pelletering av tall med tillsats av 5 % av glycerin 1a (se tabell 9), där pelletering gick igång under någon minut för att därefter stå och tugga i 10 minuter innan den går igång under 3 enminuters perioder (se bilaga 2, diagram B2:3), vilket även gav den högsta specifika energiförbrukningen 117,7 kWh/ton pellets (se tabell 8). Detta följt av det andra provet med 1 % tillsats av glycerin 1b till tall (se tabell 9) (0,19 ton pellets/tim), där pelletspressen gick oroligare (se diagram B2:1-3, bilaga 2) än vid det första provet (0,39 ton pellets/tim). Avverkningen var även låg för rörflen med ingen tillsats av glycerin (tabell 9) (0,24 ton pellets/tim) då pelletspressen gått stötvis under en knapp minut upprepat ca 9 gånger, och sedan stått och tuggat i 2 minuter innan det sista gick igenom (se diagram B2:2, bilaga 2) med en hög specifik energiförbrukning som en följd (76,5 kWh/ton pellets, se tabell 8). Provet med 5 % inblandning av glycerin 1a i halm gick inte att pellertera överhuvudtaget. Spridningen i avverkning på 0,19–0,39 ton/tim för pelletering av de båda proverna med 1 % inblandning av glycerin 1b i tallspån tyder på en stor osäkerhet i data.

Det verkar som om pelletering av rörflen gynnas av en viss (låg) glycerintillsats, pelletspressen har ofta gått mer jämnt (se diagram B2:2, bilaga 2), hållfastheten har ofta blivit bättre vid en låg inblandning (se tabell 3), mängden finfraktion minskat (se tabell 4) och den specifika energiförbrukningen (se tabell 8) blivit lägre. Skrymdensiteten har dock blivit sämre (se tabell 5).

Tabell 6. Medeleffektbehov, under en pelleteringskörning, kW, vid tillsats av olika glycerin-sorter i olika mängder

Bränsle / Sort av glycerin	Mängd glycerin / Medeleffektbehov, kW		
	Inget	1 %	5 %
Halm			
Glycerin 1a	20,0	15,4	n.a.
Glycerin 1b		16,7	n.a.
Glycerin 2a		18,6	18,1
Glycerin 2b		18,4	n.a.
<i>Medel</i>	<i>20,0</i>	<i>17,5</i>	<i>18,1</i>
Rörflen			
Glycerin 1a	18,4	22,6	14,9
Glycerin 1b		16,6	n.a.
Glycerin 2a		20,3	18,3
Glycerin 2b		20,1	n.a.
<i>Medel</i>	<i>18,4</i>	<i>19,9</i>	<i>18,9</i>
Tall			
Glycerin 1a	20,2	17,8	12,1
Glycerin 1b	22,3	22,1	n.a.
Glycerin 2a		20,4	21,5
Glycerin 2b		17,5	n.a.
<i>Medel</i>	<i>21,2</i>	<i>19,7</i>	<i>16,8</i>

Tabell 7. Variationskoefficient för effekten, under en pelleteringskörning, %, vid tillsats av olika glycerin-sorter i olika mängder

Bränsle / Sort av glycerin	Mängd glycerin / Variationskoefficient hos effekten, %		
	Inget	1 %	5 %
Halm			
Glycerin 1a	29,8	13,6	n.a.
Glycerin 1b		18,5	n.a.
Glycerin 2a		11,0	12,9
Glycerin 2b		23,0	n.a.
<i>Medel</i>	<i>29,8</i>	<i>17,0</i>	<i>12,9</i>
Rörflen			
Glycerin 1a	40,3	20,8	18,9
Glycerin 1b		22,1	n.a.
Glycerin 2a		20,1	21,0
Glycerin 2b		18,8	n.a.
<i>Medel</i>	<i>40,3</i>	<i>20,4</i>	<i>20,6</i>
Tall			
Glycerin 1a	19,2	27,5	22,8
Glycerin 1b	42,2	16,0	n.a.
Glycerin 2a		33,8	17,8
Glycerin 2b		15,4	n.a.
<i>Medel</i>	<i>30,7</i>	<i>23,5</i>	<i>20,3</i>

Tabell 8. Specifik energiåtgång, medeltal under en pelleteringskörning, kWh/ton pellets, vid tillsats av olika glycerinsorter i olika mängder

Bränsle / Sort av glycerin	Mängd glycerin / Specifik energiåtgång, kWh/ton pellets		
Halm	Inget	1 %	5 %
Glycerin 1a	40,1	48,1	n.a.
Glycerin 1b		52,0	n.a.
Glycerin 2a		50,0	47,5
Glycerin 2b		49,3	n.a.
<i>Medel</i>	<i>40,1</i>	<i>49,4</i>	<i>41,5</i>
Rörflen	Inget	1 %	5 %
Glycerin 1a	76,5	44,4	49,8
Glycerin 1b		56,2	n.a.
Glycerin 2a		55,5	57,4
Glycerin 2b		69,2	n.a.
<i>Medel</i>	<i>76,5</i>	<i>56,3</i>	<i>60,8</i>
Tall	Inget	1 %	5 %
Glycerin 1a	71,0	63,9	117,7
Glycerin 1b	75,2	56,6	105,7
Glycerin 2a		90,5	60,4
Glycerin 2b		70,0	n.a.
<i>Medel</i>	<i>73,1</i>	<i>77,3</i>	<i>89,0</i>

Tabell 9. Avverkning, medeltal under en pelleteringskörning, ton/tim, vid tillsats av olika glycerinsorter i olika mängder

Bränsle / Sort av glycerin	Mängd glycerin / Avverkning, ton/tim		
Halm	Inget	1 %	5 %
Glycerin 1a	0,50	0,32	n.a.
Glycerin 1b		0,32	n.a.
Glycerin 2a		0,37	0,39
Glycerin 2b		0,37	n.a.
<i>Medel</i>	<i>0,50</i>	<i>0,36</i>	<i>0,44</i>
Rörflen	Inget	1 %	5 %
Glycerin 1a	0,24	0,51	0,30
Glycerin 1b		0,30	n.a.
Glycerin 2a		0,37	0,32
Glycerin 2b		0,29	n.a.
<i>Medel</i>	<i>0,24</i>	<i>0,37</i>	<i>0,31</i>
Tall	Inget	1 %	5 %
Glycerin 1a	0,28	0,28	0,10
Glycerin 1b	0,30	0,39	0,19
Glycerin 2a		0,23	0,36
Glycerin 2b		0,25	n.a.
<i>Medel</i>	<i>0,29</i>	<i>0,27</i>	<i>0,23</i>

4.2.3 Sammanfattande resultat från pelleteringsförsöken

Det verkar som om pelleteringen av bränslena gynnas av en viss (låg) tillsats av de båda sura glycerinsorterna. Hållfastheten har ofta blivit bättre, mängden finfraktion minskat, och för rörflen har även den specifika energiförbrukningen minskat och avverkningen ökat. Skrymdensiteterna har dock blivit sämre. För de alkaliska glycerinsorterna har de ovan nämnda positiva egenskaperna vid låg tillsats av glycerin istället varit de motsatta, uteblivit helt eller varit mindre tydliga. Det är möjligt att ett optimum då egenskaperna förbättras finns även för dessa glycerinsorter, men då ligger vid en lägre inblandningsnivå än vad som studerades i den

här studien. Vid stora glycerintillsatser (5 %) försämras vanligen pelletsens hållfasthet rejält, mängden finfraktion ökar rejält, samt skrymdensiteten försämras rejält för samtliga bränslen och glycerinsorter. Undantag finns. Avverkningen minskar och den specifika energiåtgången ökar. Pelletering kan i vissa fall bli omöjlig. Det är viktigt att pelletspressen går jämnt och utan avbrott för att den specifika energiåtgången ska bli låg och avverkningen hög.

4.3 Lagringsförsök

Vid lagringsförsöken tog pelletsen upp mer fukt allteftersom luftfuktigheten steg under hösten. Ju mer glycerin som pelletsen innehöll, desto mer fukt tog de upp (se tabell 10). Sorten av tillsatt glycerin verkade inte ha så stor inverkan på den vattenmängd som togs upp. Ursprungsfukthalten verkade ha stor betydelse för hur mycket vatten som togs upp (se figur B7:1, bilaga 7), och därmed pelletsfukthalten efter 6 månaders lagring. Halmen var både det bränsle som från början innehöll mest vatten och det bränsle som upptog mest vatten under lagringsförsöket. Halm med tillsats av 5 % glycerin innehöll 16,8 % vatten vid försökets avslutande. Tall var både det bränsle som från början innehöll minst vatten, och det bränsle som upptog minst vatten under lagringsförsöket. Fukthalten ökade mest under sommaren, juni till slutet av augusti, men översteg då inte i något fall 14 % (se tabell B1:1, bilaga 1). Den ökning av fukthalten som i tabell 10 anges inom parentes, är beräknad från den fukthalt som anges i tabell B3:2, bilaga 3 för analys av bränslen gjorda av Eurofins. Fukthalten mätt vid kemisk analys och efter 1 månad (26 juni), 3 månader (24 augusti) och 6 månader (25 november) anges i tabell B1:1.

Tabell 10. Fukthalt 6 mån, %, vid tillsats av olika glycerinsorter i olika mängder. Värdet inom parentes anger skillnaden mot mätningen på färsk pellets i procentenheter

Bränsle / Sort av glycerin	Mängd glycerin / Fukthalt, %		
	Inget	1 %	5 %
Halm			
Glycerin 1a	14,0 (+4,1)	14,7 (+5,0)	n.a.
Glycerin 1b		15,5 (+6,3)	n.a.
Glycerin 2a		14,8 (+5,7)	14,8 (n.a.)
Glycerin 2b		14,8 (+5,6)	n.a.
<i>Medel</i>	14,0 (+4,1)	14,9 (+5,6)	16,8 (+6,9)
Rörflen			
Glycerin 1a	13,1 (+4,6)	14,4 (+5,7)	14,6 (+5,5)
Glycerin 1b		13,3 (n.a.)	n.a.
Glycerin 2a		13,3 (+4,9)	14,3 (n.a.)
Glycerin 2b		13,0 (n.a.)	n.a.
<i>Medel</i>	13,1 (+4,6)	13,5 (+5,0)	14,6 (+5,5)
Tall			
Glycerin 1a	12,7 (+5,0)	13,2 (+4,7)	13,6 (+4,9)
Glycerin 1b	12,6 (n.a.)	12,9 (+4,4)	12,9 (n.a.)
Glycerin 2a		12,7 (+4,8)	14,0 (+5,5)
Glycerin 2b		13,1 (+4,2)	n.a.
<i>Medel</i>	12,7 (+5,0)	13,0 (+4,5)	13,8 (+5,2)

Under lagringen har pelletsens hållfasthet normalt minskat, mer desto mer glycerin som ingått i pelletsen (se siffrorna inom parentes i tabell 11). Ett undantag finns vid tillsats av 1 % glycerin 2a till tallpellets. Det verkar inte ha varit några större skillnader mellan de olika glycerinsorterna vad gäller förändringen i hållfasthet. De skillnader som finns, verkar ha varit slumpmässiga, då det är svårt att se mönster och trender för skillnaderna mellan glycerinsorterna. Liksom före lagringsförsöket, försämrades vanligtvis pelletsens hållfasthet i jämförelse med pelletering utan glycerin (se tabellerna 11 och 3, samt tabell B2:1 i bilaga 2). Emellertid så blev hållfastheten fortfarande högre vid inblandning av 1 % av glycerin 2a och 2b (se tabell 11), jämfört med ingen inblandning av glycerin för rörflen, men inte för halm. För tall pekar glycerin 2a och 2b nu, emellertid, i olika riktning. Vid inblandning av 5 % glycerin förbättra-

des fortfarande hållfastheten enbart för glycerin 2a vid inblandning i rörflen. Vid inblandning av 5 % glycerin i halm och i tall försämrades hållfastheten avsevärt, och i ännu högre grad än före lagringsförsöket (se tabellerna 11 och 3). För glycerin 1a och 1b minskade fortfarande alltid hållfastheten (se tabell 11) med inblandningsnivåerna. Minskningen i hållfasthet verkar vara kopplad till den fukthalt som pelletsen har efter 6 månader, dvs. ju högre fukthalt desto större försämring av hållfastheten (se bilaga 7, dokument med modeller samt figurerna B7:2-4).

Tabell 11. Hållfasthet efter 6 mån lagring, %, vid tillsats av olika glycerinsorter i olika mängder. Värdet inom parentes anger skillnaden mot mätningen på färsk pellets i procentenheter

Bränsle / Sort av glycerin	Mängd glycerin / Hållfasthet, %			
Halm	Inget	1 %		5 %
Glycerin 1a	81,5 (-1,4)	76,5 (-4,4)		n.a.
Glycerin 1b		73,7 (-6,5)		n.a.
Glycerin 2a		75,2 (-9,4)	79,8 (-5,3)	56,1 (-22,2)
Glycerin 2b		74,7 (-7,7)		n.a.
<i>Medel</i>	<i>81,5 (-1,4)</i>	<i>76,0 (-6,7)</i>		<i>56,1 (-22,2)</i>
Rörflen	Inget	1 %		5 %
Glycerin 1a	92,9 (-4,1)	91,8 (-1,3)		65,4 (-13,8) 81,8 (-8,0)
Glycerin 1b		90,1 (-1,6)		n.a.
Glycerin 2a		96,5 (-0,7)		94,5 (-2,9)
Glycerin 2b		97,5 (-0,4)		n.a.
<i>Medel</i>	<i>92,9 (-4,1)</i>	<i>94,0 (-1,0)</i>		<i>80,6 (-8,3)</i>
Tall	Inget	1 %		5 %
Glycerin 1a	88,4 (-0,7)	76,4 (-6,0)		53,9 (-13,5)
Glycerin 1b	91,2 (-1,5)	80,6 (-1,0)	74,6 (-10,7)	n.a.
Glycerin 2a		93,7 (+1,9)		71,5 (-10,5)
Glycerin 2b		87,0 (-5,0)		n.a.
<i>Medel</i>	<i>89,8 (-1,1)</i>	<i>82,5 (-4,2)</i>		<i>62,7 (-12,0)</i>

Inte i något fall, vid något tillfälle, kunde synligt mögel hittas eller mögellukt kännas från något prov. Detta beror på att proverna var förhållandevis torra efter pelleteringen (9,1–9,9 % vatten, våt bas i halmpelletsen, 8,4–9,1 % i rörflenspelletsen, och 7,7–8,9 % i tallpelletsen, se tabell B1:1 i bilaga 1), samt att de svalnade ganska snabbt då det rörde sig om mindre kvantiteter (25–50 kg) som pelleterades i försöken. Förhållandena efter pelleteringen var därför inte gynnsamma för mögeltillväxt i något fall. Inte heller vid lagringsförsökens slut var fukthalten (våt bas) tillräckligt hög för att mögeltillväxt skulle ske (14,0–16,8 % i halmpelletsen, 13,1–14,9 % i rörflenspelletsen, och 12,6–14,0 % i tallpelletsen, se tabell 10 och tabell B1:1).

Inga mögelsvampar som orsakar skador i spannmål kan växa vid fukthalter under 14 % (Deacon, 1997). Under de 3 första lagringsmånaderna (sommaren) gick inte fukthalten över 14 % i något prov (se Fukthalt efter 3 mån, tabell B1:1). Detta skedde i halm- och i rörflensprover med tillsatt glycerin först under oktober och november månad, då den genomsnittliga relativa luftfuktigheten uppgick till 90–95 % (se tabell 2, kapitel 3.3). Den genomsnittliga temperaturen låg då på endast +1–2°C, vilket är så lågt att väldigt få mögelsvampar som orsakar problem kan växa till. Det brukar rekommenderas att man ska undvika att pressa halm med fukthalter över 18 % (våt bas) (Nilsson & Bernesson, 2009b).

4.4 Kemiska analyser

Kemiska analyser, av glycerinsorterna, bränsleslagen och bränsle/glycerin-blandningarna (se bilaga 3, tabellerna B3:1-2), gjordes för att möjliggöra en teoretisk bedömning av hur de olika glycerinsorterna påverkar askans smältegenskaper och risken för att korrosiva beläggningar i

rökgas kanalerna ska bildas. Dessa analyser ligger till grund för beräkningen av nyckeltalen som närmare beskrivs i kapitel 3.7 och 4.6.

Analyserna av bränsleslagen och bränsle/glycerin-blandningarna presenteras på två olika sätt: a) först i tabellerna 12-18, varje grundämne för sig, men med analyserade (uppmätta) och beräknade halter och alla bränsleslagen i samma tabell för enklare jämförelser ämnesvis och mellan bränsleslagen, och sedan b) i bilaga 5, tabellerna B5:2-3, B5:6-7, B5:10-11, B5:14-15, B5:18-19 och B5:22-23, där alla analyserade ämnen redovisas, bränsleslag för bränsleslag, i samma tabell för bättre överblick, och dessutom den procentuella förändringen av dessas halt i askan vid tillsats av de olika glycerinsorterna i olika mängder.

4.4.1 Analyser av glycerin

Analyserna av de olika sorterna av glycerin redovisas i tabell B3:1 i bilaga 3. Mest utmärkande är de höga kaliumhalterna i de alkaliska glycerinsorterna (11 300 mg/kg i glycerin 1b och 9 070 mg/kg i glycerin 1a). Även i de sura glycerinsorterna är kaliumhalterna höga (6 386 mg/kg i glycerin 2b och 3 330 mg/kg i glycerin 2a). Glycerin 2b har dessutom en hög natriumhalt (4 277 mg/kg). De höga halterna av dessa alkalimetaller är sannolikt det som i störst utsträckning påverkar askans smältgenskaper och risken för korrosiva beläggningar i rökgas kanalerna vid inblandning i andra bränslen. Halterna av kalium och natrium är dessutom nästan lika stora i det sura glycerin 2b, vilket gör att eutektikumstalet (ekvation 6, kapitel 3.7.2) hamnar inom det farligaste området för smältpunktssänkning i salter och i silikater (se tabell B5:1). Askhalten var 6,6 % både i det alkaliska glycerin 1b och i det sura glycerin 2b. Askhalten var 4,3 % i det alkaliska glycerin 1a och 2,4 % i det sura glycerin 2a.

Glycerin 1b från Brunns holms Säteri är det enda som härrör från rå kallpressad rapsolja. Detta är sannolikt orsaken till de högre halterna av särskilt kalcium men även fosfor, aluminium, magnesium, järn och kisel. Fosforinnehållet är nästan lika högt som i glycerin 2b från Tolefors. I glycerin 2b beror detta sannolikt på att det här glycerinet härrör från vegetabilisk olja som använts till fritering av mat innan den omförestrades. I övriga glycerinsorter är innehållet av de här nämnda ämnena låga eller mycket låga (se tabell B3:1). Halterna av svavel (1,99 vikt-%) och klor (0,44 vikt-%) är höga i glycerin 2b. Svavelhalten är även hög (0,61 vikt-%) i det sura glycerin 2a. Den höga svavelhalten beror på att omförestringen av råvaran till de sura glycerinsorterna, i ett första steg, gjordes med svavelsyra.

Metanolhalten var ursprungligen mycket hög (ca 41 %) i glycerin 2b. Metanolen i detta glycerin kokades bort i två omgångar, först på Ultuna (se kapitel 3.8) och sedan med rullindunstare på BTC i Umeå. Metanolhalten i glycerinet var 22 % (flampunkt 20°C) efter den första avkokningen, vilket bedömdes vara för högt vid tillsats i pelleteringen främst beroende på brandrisken. Efter rullindunstningen var metanolhalten 15,6 % (flampunkt 32,5°C) (se tabell B3:1) vilket fick accepteras trots riskerna. Metanolhalten i det alkaliska glycerin 1b var 6,8 % (flampunkt 41°C) efter bortkokningen på Ultuna. Ursprungsmetanolhalten i detta glycerin var 14,1 %. Metanolhalterna i det alkaliska glycerin 1a var 2,4 % (flampunkt 67°C) och i det sura glycerin 2a 0,26 % (flampunkt 196°C). Restriktioner vad gäller transporter av vätskor gäller om flampunkten är lägre än 60°C, och då klassas dessa som farligt gods (MSB, 2009a) på grund av sin brandfarlighet (se kapitel 4.7).

Glycerinhalten i de fyra glycerinkvaliteterna varierade mellan 61 och 87 % i det glycerin som blandades in i bränsleslagen (se tabell B3:1). Högst (87 %) var den i det sura glycerin 2a med ursprung i rapsolja, följt av det alkaliska glycerin 1b (70 %) även detta med ursprung i rapsolja. Det alkaliska glycerin 1a med ursprung i rapsolja innehöll 64 % glycerin. Lägst var glycerinhalten i det sura glycerin 2b (61 %) med ursprung i använd friteringsolja. Från början, före bortkokningarna av metanol, var glycerinhalten ännu lägre i detta glycerin, enligt beräk-

ningar ca 39 %. I glycerin 1b var glycerinhalten 64 % före bortkokningen av metanol. Vid inblandningen av glycerinet i bränsleslagen kompenseras för den lägre glycerinhalten så att bränsleblandningarnas torrsubstans alltid bestod av 1 % eller 5 % rent glycerin (se tabell 1).

MONG (mängd (massa) organiskt material som inte är glycerin) varierade från 5 till 27 % i det glycerin som blandades in i bränsleslagen (se tabell B3:1). Lägst (5 %) var den i det sura glycerin 2a, följt av det alkaliska glycerin 1b (24 %), även detta med ursprung i rapsolja och det alkaliska glycerin 1a (25 %). Högst (27 %) var MONG-halten i det sura glycerin 2b. MONG består huvudsakligen av fria fettsyror, samt av överskottsmetanol från omförestringen, partiella glycerider (partiella fettsyraestrar med glycerin), oxidationsprodukter (främst av glycerin), sockerarter och polymeriserade föreningar av glycerin (Yong m.fl., 2001; Knothe m.fl., 2005). Även tvål (kalium- eller natriumsalt av fettsyror) ingår i denna fraktion. Det sura glycerin 2b skiktade sig, där ett lager av fria fettsyror bildades ovanpå glycerinfraktionen. Detta skikt dekanterades (se bild 16) så att endast glycerinfraktionen återstod innan metanolen i glycerinet kunde kokas bort. Skiktet hindrade effektivt metanolen från att gå bort.

Det effektiva värmevärdet var högst i de alkaliska glycerinsorterna (20,3 MJ/kg i glycerin 1a och 19,6 MJ/kg i glycerin 1b, se tabell B3:1). Även det sura glycerin 2a hade ett högt effektivt värmevärde (18,6 MJ/kg). Gemensamt för dessa tre glycerinsorter är att de har ett ursprung i rapsolja. Det sura glycerin 2b, med ursprung i friteringsolja, hade ett lägre effektivt värmevärde på 15,3 MJ/kg. En orsak till detta kan vara att en annorlunda fettsyrasammansättning i ursprungsprodukten kan spela en roll. Rent glycerin har ett effektivt värmevärde på 17,1 MJ/kg (Kaltschmitt & Reinhardt, 1997) och metanol har ett effektivt värmevärde på 19,8 MJ/kg (Mörtstedt & Hellsten, 1982). Det är främst fettsyror i råglycerinet som möjliggör att detta kan ha ett högre värmevärde än rent glycerin. Detta förklarar att de alkaliska glycerinsorterna med förhållandevis låg metanolhalt och hög MONG-halt har de högsta värmevärdena. För de vanligaste fettsyrorna ligger de effektiva värmevärdena på 37,4–41,8 MJ/kg (efter Knothe m.fl., 2005) (14:0: 37,4 MJ/kg; 16:0: 38,3 MJ/kg; 18:0: 38,9 MJ/kg; 18:1: 38,7 MJ/kg; 22:1: 41,8 MJ/kg). Fukthalten i glycerin 1b ligger på 0,1 % medan det i övriga glycerinsorter ligger på 5,4–6,3 %. Värmevärdet ökar alltså vid en hög halt fria fettsyror (som skulle kunna användas till produktion av den omförestrade vegetabiliska oljan), och minskar vid en hög fukthalt. Även höga askhalter är negativt för värmevärdet, då aska inte har något värmevärde. Glycerin och metanol påverkar värmevärdet i mindre grad, i vilken riktning beroende på innehållet av andra komponenter. En annan tänkbar orsak till det lägre värmevärdet i glycerin 2b kan vara att en del av de ämnen som ingår i glycerinet har blivit oxiderade, och att då en del av fettsyrorna (de av dessa som varit omättade) som ingår, i MONG, i glycerinet har blivit oxiderade. Dessa ämnen har då reagerat med syre då de ursprungliga oljorna användes till fritering. För fettsyrorna kan detta bara skett med dubbelbindningar i omättade fettsyror, och är troligen av ringa betydelse då det inte är något som kan ha skett i stor omfattning, då antalet dubbelbindningar relativt sett är ganska få.

I de alkaliska glycerinsorterna är pH högt (>13,5 i glycerin 1a och >10 i glycerin 1b) vilket är väntat då kaliummetylat (metanol som reagerat med kaliumhydroxid) använts som katalysator. I båda de sura glycerinsorterna är pH ungefär 6. Att det inte är lägre berodde på att den sura katalysen följdes av en alkalisk katalys som gav alkaliska produkter som blandades med de sedan tidigare erhållna sura produkterna från den sura katalysen. Resultatet blev i båda fallen glycerinkvaliteter med nästan neutralt (svagt surt) pH.

Asksmältpunkterna hos glycerinsorternas askor (tabell B3:1) varierar beroende på dess sammansättning. Lägst smältpunkter har askorna från de båda alkaliska glycerinsorterna (från glycerin 1a och 1b, begynnande sintring vid 800°C respektive 820°C) då dessa innehåller mycket kalium (9 070 mg/kg råglycerin respektive 11 300 mg/kg råglycerin) (se förklaring

kapitel 3.7). Glycerin 1b innehåller även små mängder kalcium (176 mg/kg), aluminium (70 mg/kg) och fosfor (198 mg/kg) vilket inte glycerin 1a gör. Detta är troligen orsaken till den något högre smältpunkten hos askan från glycerin 1b. Högst smältpunkt (begränsande sintring vid 1 000°C) har askan från det sura glycerin 2a. Detta glycerin utmärks av ett ganska högt innehåll av kalium (3 330 mg/kg) och svavel (6 070 mg/kg), samt små mängder av andra ämnen. Detta gör att saltkvoten i tabell B5:1 i bilaga 5 ligger på 4,36 utanför riskområdet för bildning av lågsmältande saltblandningar (se även kapitel 3.7.2 och ekvation 6). Asksmältpunkten hos askan från det sura glycerin 2b är betydligt lägre (920°C), vilket kan bero på att denna aska förutom stora mängder av kalium (6 386 mg/kg) och svavel (19 900 mg/kg) även innehåller stora mängder natrium (4 277 mg/kg) och klor (4 370 mg/kg) (tabell B5:1). Kalium och natrium i ungefär lika stora mängder är asksmältpunktsnedsättande, jämför eutektikumstalet som i tabell B5:1 hamnar på 0,53 i riskområdet för smältpunktsänkning i salter eller silikater (kapitel 3.7.2 och ekvation 5). Även höga halter av klor och svavel i förhållande till mängderna av kalium och natrium är negativt för asksmältpunkten, jämför saltkvoten som i tabell B5:1 hamnar på 3,90 i utkanten av riskområdet för bildning av lågsmältande saltblandningar (kapitel 3.7.2 och ekvation 6).

4.4.2 Analyser av bränslepellets

Tre olika bränslen ingick i studien, halm, rörflen och tall, och analysdata för dessa finns i tabell B3:2 i bilaga 3. Halmen och rörflenet är stråbränslen med höga askhalter, 3,6 respektive 5,9 % av torrsustansvikten. Tallen hade en låg askhalt, endast 0,4 %. Fukthalten var låg i samtliga bränslen (halm 9,9 %, rörflen 8,5 %, och tall 7,7 %). Vad gäller elementarsammansättningen kännetecknas halmen av en hög kaliumhalt (10 000 mg/kg ts) jämfört med de andra bränslena (2 300 mg/kg ts för rörflen och 620 mg/kg ts för tall). Detta tyder på att halmen i betydligt större grad än de andra bränslena bör ge problem med låga asksmältpunkter och beläggningar i rök-gaskanalerna. Halmen kännetecknas även av en högre klorhalt (1 400 mg/kg ts) än de andra bränslena (500 mg/kg ts för rörflen och <100 mg/kg ts för tall). Även detta är negativt på den förväntade asksmältpunkten och risken för att korrosiva beläggningar ska bildas i rök-gaskanalerna. Rörflenet kännetecknas av en hög kiselhalt (17 200 mg/kg ts) jämfört med de andra bränslena (4 600 mg/kg ts för halm och <1 100 mg/kg ts för tall). Även fosforhalten är högre (1 000 mg/kg ts) jämfört med de andra bränslena (360 mg/kg ts för halm och 89 mg/kg ts för tall). Tallen utmärker sig med, förutom med vad som sagts ovan, låga kalcium- och magnesiumhalter (1 000 mg/kg ts respektive 190 mg/kg ts) jämfört med de andra bränslena (3 500 mg/kg ts respektive 510 mg/kg ts för halm och 2 100 mg/kg ts respektive 670 mg/kg ts för rörflen).

Som väntat är asksmältpunkten för halmen (begränsande sintring vid 880°C och helt flytande vid 1 040°C) lägre än för de andra bränslena (rörflen: begränsande sintring vid 900°C och helt flytande vid 1 540°C; tall: begränsande sintring vid 1 240°C och helt flytande vid 1 350°C). Anmärkningsvärt kan vara att för rörflen är spannet mellan begränsande sintring (900°C) och helt flytande (1 540°C) stort. Vad gäller sammansättningen så är det enda som rörflenet utmärker sig med, den höga kiselhalten (se ovan).

Det effektiva värmevärdet för torrt prov vid konstant tryck är högst för tall (19,3 MJ/kg ts) följt av halm (18,0 MJ/kg ts) och rörflen (17,3 MJ/kg ts). Tallprovet har betydligt lägre askinnehåll (0,4 % av ts) jämfört med de andra båda bränsleproverna (3,6 % av ts för halm och 5,9 % av ts för rörflen). En stor del av förklaringen ligger här. Kolhalten är även högre i tallen (51,9 % av ts) jämfört med halm (48,2 % av ts) och rörflen (46,7 % av ts), vilket även det är en del av förklaringen till skillnaden i värmevärdet.

4.4.3 Analyser av bränslepellets med inblandning av glycerin

Här gjordes kemiska analyser av de intressantaste bränsle/glycerin-blandningarna, men även beräkningar av bränslenas sammansättning teoretiskt utifrån kemiska analyser av de rena bränslena (se kapitel 4.4.2 och tabell B3:2) och glycerinsorterna (se kapitel 4.4.1 och tabell B3:1). Vid beräkningarna av sammansättningen kommer man till viss del ifrån osäkerheterna i de kemiska analyserna, samt att resultaten slår (varierar) en hel del mellan analyserna. Osäkerheter anges för varje typ av analys i tabellerna B3:1-2. Nedan i tabell 12-18 anges både uppmätta och beräknade värden för de ämnen som bedömts viktigast för askans egenskaper, dvs. kalium, natrium, svavel, klor, kisel, kalcium och aluminium. De värden som finns i tabell 12-18 finns även i en annan typ av uppställning i tabellerna B3:2 (uppmätta) och B5:2 (halm), B5:10 (rörflen) och B5:18 (tall) (beräknade), tillsammans med några fler ämnen än vad som anges i tabell 12-18. Inför beräkningarna av nyckeltalen räknades bränslenas sammansättning från de kemiska analyserna om till innehåll såsom procent av aska.

Glycerinhalten i bränsle/glycerin-blandningarna beräknades så att den motsvarade 1 % eller 5 % rent glycerin, på samma sätt som gjordes i pelleteringsförsöken i det här projektet (se kapitel 3.1.1, tabell 1). Detta för att beräknade och analyserade (uppmätta) värden skulle motsvara varandra.

Tabell 12. Mängd kalium, % av aska, vid tillsats av olika glycerinsorter i olika mängder

Bränsle / Sort av glycerin	Mängd glycerin / Mängd kalium, % av aska	Mängd kalium, % av aska			
		Inget	1 % uppmätt	5 % uppmätt	1 % beräknat
Halm					
	Inget				
Glycerin 1a	27,78	30,29	31,32	27,67	27,26
Glycerin 1b		28,92	n.a.	27,62	27,01
Glycerin 2a		30,00	29,12	27,62	26,98
Glycerin 2b		30,00	n.a.	27,48	26,29
<i>Medel</i>	<i>27,78</i>	<i>29,80</i>	<i>30,22</i>	<i>27,60</i>	<i>26,88</i>
Rörflen					
	Inget				
Glycerin 1a	3,90	5,71	8,65	4,17	5,23
Glycerin 1b		n.a.	n.a.	4,09	4,85
Glycerin 2a		6,14	n.a.	4,01	4,47
Glycerin 2b		n.a.	n.a.	3,99	4,37
<i>Medel</i>	<i>3,90</i>	<i>5,93</i>	<i>8,65</i>	<i>4,07</i>	<i>4,73</i>
Tall					
	Inget				
Glycerin 1a	15,50	16,67	31,11	15,59	15,93
Glycerin 1b		22,00	n.a.	15,52	15,62
Glycerin 2a		18,33	18,40	15,48	15,41
Glycerin 2b		21,43	n.a.	15,40	15,02
<i>Medel</i>	<i>15,50</i>	<i>19,61</i>	<i>24,76</i>	<i>15,50</i>	<i>15,49</i>

Tabell 13. Mängd natrium, % av aska, vid tillsats av olika glycerinsorter i olika mängder

Bränsle / Sort av glycerin	Mängd glycerin / Mängd natrium, % av aska				
	Inget	1 % uppmätt	5 % uppmätt	1 % beräknat	5 % beräknat
Halm	Inget	1 % uppmätt	5 % uppmätt	1 % beräknat	5 % beräknat
Glycerin 1a	0,25	0,19	0,16	0,24	0,23
Glycerin 1b		0,15	n.a.	0,25	0,24
Glycerin 2a		0,18	0,18	0,25	0,24
Glycerin 2b		0,41	n.a.	0,35	0,76
Medel	0,25	0,23	0,17	0,27	0,37
Rörflen	Inget	1 % uppmätt	5 % uppmätt	1 % beräknat	5 % beräknat
Glycerin 1a	0,092	0,110	0,102	0,090	0,085
Glycerin 1b		n.a.	n.a.	0,092	0,092
Glycerin 2a		0,095	n.a.	0,093	0,098
Glycerin 2b		n.a.	n.a.	0,196	0,616
Medel	0,092	0,102	0,102	0,118	0,223
Tall	Inget	1 % uppmätt	5 % uppmätt	1 % beräknat	5 % beräknat
Glycerin 1a	1,35	0,90	0,61	1,33	1,25
Glycerin 1b		1,08	n.a.	1,33	1,26
Glycerin 2a		0,90	1,08	1,34	1,28
Glycerin 2b		1,57	n.a.	1,43	1,77
Medel	1,35	1,11	0,85	1,36	1,39

Tabell 14. Mängd svavel, % av aska, vid tillsats av olika glycerinsorter i olika mängder

Bränsle / Sort av glycerin	Mängd glycerin / Mängd svavel, % av aska				
	Inget	1 % uppmätt	5 % uppmätt	1 % beräknat	5 % beräknat
Halm	Inget	1 % uppmätt	5 % uppmätt	1 % beräknat	5 % beräknat
Glycerin 1a	2,22	2,29	1,58	2,19	2,06
Glycerin 1b		1,89	n.a.	2,19	2,07
Glycerin 2a		2,35	2,65	2,49	3,55
Glycerin 2b		1,47	n.a.	2,68	4,51
Medel	2,22	2,00	2,11	2,39	3,05
Rörflen	Inget	1 % uppmätt	5 % uppmätt	1 % beräknat	5 % beräknat
Glycerin 1a	1,53	1,63	1,54	1,50	1,42
Glycerin 1b		n.a.	n.a.	1,51	1,43
Glycerin 2a		1,58	n.a.	1,80	2,90
Glycerin 2b		n.a.	n.a.	1,99	3,87
Medel	1,53	1,61	1,54	1,70	2,40
Tall	Inget	1 % uppmätt	5 % uppmätt	1 % beräknat	5 % beräknat
Glycerin 1a	5,00	1,67	2,22	4,92	4,62
Glycerin 1b		2,00	n.a.	4,93	4,65
Glycerin 2a		5,00	6,00	5,23	6,17
Glycerin 2b		5,71	n.a.	5,41	7,06
Medel	5,00	3,60	4,11	5,13	5,63

Tabell 15. Mängd klor, % av aska, vid tillsats av olika glycerinsorter i olika mängder

Bränsle / Sort av glycerin	Mängd glycerin / Mängd klor, % av aska				
	Inget	1 % uppmätt	5 % uppmätt	1 % beräknat	5 % beräknat
Halm					
Glycerin 1a	3,89	4,29	3,68	3,83	3,59
Glycerin 1b		4,32	n.a.	3,84	3,63
Glycerin 2a		4,41	4,71	3,85	3,68
Glycerin 2b		4,71	n.a.	3,93	4,11
<i>Medel</i>	<i>3,89</i>	<i>4,43</i>	<i>4,20</i>	<i>3,86</i>	<i>3,75</i>
Rörflen					
Glycerin 1a	0,85	0,82	0,96	0,83	0,78
Glycerin 1b		n.a.	n.a.	0,84	0,80
Glycerin 2a		0,88	n.a.	0,84	0,81
Glycerin 2b		n.a.	n.a.	0,94	1,32
<i>Medel</i>	<i>0,85</i>	<i>0,85</i>	<i>0,96</i>	<i>0,86</i>	<i>0,93</i>
Tall					
Glycerin 1a	2,50	1,67	1,11	2,46	2,31
Glycerin 1b		2,00	n.a.	2,47	2,34
Glycerin 2a		1,67	2,00	2,47	2,37
Glycerin 2b		2,86	n.a.	2,57	2,84
<i>Medel</i>	<i>2,50</i>	<i>2,05</i>	<i>1,56</i>	<i>2,49</i>	<i>2,46</i>

Tabell 16. Mängd kisel, % av aska, vid tillsats av olika glycerinsorter i olika mängder

Bränsle / Sort av glycerin	Mängd glycerin / Mängd kisel, % av aska				
	Inget	1 % uppmätt	5 % uppmätt	1 % beräknat	5 % beräknat
Halm					
Glycerin 1a	12,78	14,86	14,74	12,58	11,79
Glycerin 1b		13,24	n.a.	12,60	11,87
Glycerin 2a		14,41	9,12	12,63	12,05
Glycerin 2b		12,65	n.a.	12,57	11,73
<i>Medel</i>	<i>12,78</i>	<i>13,79</i>	<i>11,93</i>	<i>12,59</i>	<i>11,86</i>
Rörflen					
Glycerin 1a	29,15	39,39	43,08	28,70	26,89
Glycerin 1b		n.a.	n.a.	28,73	27,06
Glycerin 2a		37,72	n.a.	28,82	27,48
Glycerin 2b		n.a.	n.a.	28,67	26,76
<i>Medel</i>	<i>29,15</i>	<i>38,55</i>	<i>43,08</i>	<i>28,73</i>	<i>27,05</i>
Tall					
Glycerin 1a	27,50	18,33	12,22	27,07	25,37
Glycerin 1b		22,00	n.a.	27,11	25,53
Glycerin 2a		18,33	22,00	27,18	25,92
Glycerin 2b		15,71	n.a.	27,05	25,25
<i>Medel</i>	<i>27,50</i>	<i>18,60</i>	<i>17,11</i>	<i>27,10</i>	<i>25,52</i>

Tabell 17. Mängd kalcium, % av aska, vid tillsats av olika glycerinsorter i olika mängder

Bränsle / Sort av glycerin	Mängd glycerin / Mängd kalcium, % av aska				
	Inget	1 % uppmätt	5 % uppmätt	1 % beräknat	5 % beräknat
Halm	Inget	1 % uppmätt	5 % uppmätt	1 % beräknat	5 % beräknat
Glycerin 1a	9,72	10,00	9,74	9,57	8,97
Glycerin 1b		10,81	n.a.	9,59	9,04
Glycerin 2a		10,00	9,41	9,61	9,16
Glycerin 2b		9,71	n.a.	9,56	8,92
Medel	9,72	10,13	9,57	9,58	9,02
Rörflen	Inget	1 % uppmätt	5 % uppmätt	1 % beräknat	5 % beräknat
Glycerin 1a	3,56	4,29	3,85	3,50	3,29
Glycerin 1b		n.a.	n.a.	3,51	3,32
Glycerin 2a		4,04	n.a.	3,52	3,36
Glycerin 2b		n.a.	n.a.	3,50	3,27
Medel	3,56	4,16	3,85	3,51	3,31
Tall	Inget	1 % uppmätt	5 % uppmätt	1 % beräknat	5 % beräknat
Glycerin 1a	25,00	16,33	9,11	24,61	23,06
Glycerin 1b		17,00	n.a.	24,64	23,22
Glycerin 2a		14,83	15,40	24,71	23,56
Glycerin 2b		15,71	n.a.	24,59	22,95
Medel	25,00	15,97	12,26	24,64	23,20

Tabell 18. Mängd aluminium, % av aska, vid tillsats av olika glycerinsorter i olika mängder

Bränsle / Sort av glycerin	Mängd glycerin / Mängd aluminium, % av aska				
	Inget	1 % uppmätt	5 % uppmätt	1 % beräknat	5 % beräknat
Halm	Inget	1 % uppmätt	5 % uppmätt	1 % beräknat	5 % beräknat
Glycerin 1a	0,158	0,114	0,097	0,157	0,149
Glycerin 1b		0,108	n.a.	0,158	0,155
Glycerin 2a		0,135	0,076	0,157	0,150
Glycerin 2b		0,082	n.a.	0,156	0,147
Medel	0,158	0,110	0,087	0,157	0,150
Rörflen	Inget	1 % uppmätt	5 % uppmätt	1 % beräknat	5 % beräknat
Glycerin 1a	0,203	0,245	0,288	0,201	0,191
Glycerin 1b		n.a.	n.a.	0,202	0,196
Glycerin 2a		0,228	n.a.	0,201	0,193
Glycerin 2b		n.a.	n.a.	0,200	0,189
Medel	0,203	0,236	0,288	0,201	0,192
Tall	Inget	1 % uppmätt	5 % uppmätt	1 % beräknat	5 % beräknat
Glycerin 1a	1,38	1,83	0,52	1,35	1,27
Glycerin 1b		0,94	n.a.	1,36	1,28
Glycerin 2a		0,63	0,74	1,36	1,30
Glycerin 2b		0,70	n.a.	1,35	1,26
Medel	1,38	1,03	0,63	1,36	1,28

Halm:

Halmen kännetecknas av höga kaliumhalter, vilket gör att även halterna kalium plus natrium blir höga (se tabellerna 12 och 13 och tabellerna B5:2 och B5:6). Askfraktionen innehåller även en hel del kisel (tabell 16). Vid teoretisk beräkning av sammansättningen utifrån halmens och glycerinsorternas sammansättning är det främst halterna av svavel som påverkas i

nämnevrd grad vid tillsats av glycerin 2a och glycerin 2b (se tabell 14 och tabellerna B5:2-3). Även natrium påverkas vid tillsats av glycerin 2b. Kaliumhalterna, som var rätt höga (28 %) i ren halm, minskar något vid tillsats av samtliga glycerinsorter. Den höga askhalten i den rena halmen (3,6 %) gör att askan från glycerinet inte slår igenom så mycket.

För halm, i de kemiska analyserna, ökar halterna svavel vid tillsats av glycerin 2a (+6 % och +19 %, tabell 14 och tabellerna B5:6-7), men ej i samma utsträckning som de teoretiska beräkningarna indikerar (+12 % och +60 %, tabell 14 och tabellerna B5:2-3). För glycerin 2b minskar svavelhalten (-34 % vid 1 % tillsats, tabell 14, och tabellerna B5:6-7) istället för att öka (+21 % vid 1 % tillsats, tabell 14, och tabellerna B5:2-3) som den borde enligt beräkningarna. Detta tyder på att svavelhalterna varit lägre än de borde i de prover där glycerin 2a och 2b blandats in. Detta i sin tur kan tyda på en alltför hög osäkerhet i provtagningen och i de kemiska analyserna. Natriumhalten, vid tillsats av 1 % glycerin 2b, har ökat med 67 % (tabell 13 och tabellerna B5:6-7) vilket ligger i nivå med de +41 % (tabell 13 och tabellerna B5:2-3) som indikeras i de teoretiska beräkningarna. Kaliumhalterna, som skulle minska (-0,4– -2,9 % vid 1–5 % inblandning av glycerin 1a och 2a samt 1 % av glycerin 1b och 2b, tabell 12 och tabellerna B5:2-3) enligt de teoretiska beräkningarna, har ökat (+4,1– +12,7 %, tabell 12 och tabellerna B5:6-7) i ringa omfattning i de kemiska analyserna. Klorhalterna stiger i de kemiska analyserna, med något undantag, (tabell 15 och tabellerna B5:6-7) där de teoretiska beräkningarna tyder på att de skulle minska något (tabell 15 och tabellerna B5:2-3) utom för glycerin 2b. För glycerin 2b (1 % inblandning) ökar klorhalten med 1,2 % (tabell 15 och tabellerna B5:2-3) i de teoretiska beräkningarna, men ökar med 21 % (tabell 15 och tabellerna B5:6-7) vid de kemiska analyserna. Aluminium minskar kraftigt (-15– -52 %, tabell 18 och tabellerna B5:6-7) i de kemiska analyserna, medan de teoretiska beräkningarna tyder på en måttlig minskning (-0,5– -5,7 % vid 1–5 % inblandning av glycerin 1a och 2a samt 1 % av glycerin 1b och 2b, tabell 18 och tabellerna B5:2-3) för motsvarande prover. Järn beter sig med något undantag på liknande sätt. Stora avvikelser finns även i vissa kisel- och manganprover mellan de teoretiska beräkningarna (tabell 16 och tabellerna B5:2-3) och de kemiska analyserna (tabell 16 och tabellerna B5:6-7).

Rörflen:

Rörflen kännetecknas av höga kiselhalter i askfraktionen. Inga andra ämnen förekommer i anmärkningsvärt hög koncentration (se tabell 16 och tabellerna B5:10 och B5:14). Vid beräkningar av rörflens/glycerin-bränslenas sammansättning teoretiskt utifrån rörflenets och de olika glycerinsorternas sammansättning är det främst halterna av svavel som påverkas i nämnevrd grad vid tillsats av glycerin 2a (+18– +180 %, se tabell 14 och tabellerna B5:10-11) och glycerin 2b (+31– +308 %). Natriumhalten ökar från en låg nivå (0,09 %), väldigt mycket, vid tillsats av glycerin 2b (till 0,62 % vid 5 % inblandning, en ökning med 573 %; se tabell 13 och tabellerna B5:10-11). Kaliumhalterna, som var rätt låga (3,9 %) i ren rörflen, ökar vid tillsats av samtliga glycerinsorter, dock mest av glycerinsorterna 1a och 1b (se tabell 12, tabellerna B5:10-11 och B5:14-15). Klorhalten ökas av glycerinsorten 2b. Askhalten i rörflenet är hög (5,9 %), vilket gör att askan från mineralämnena i glycerinet endast slår igenom för de ämnen som förekommer lägre halter i rörflenet än i glycerinet, såsom t.ex. natrium, kalium och svavel (se tabellerna B3:1-2).

För rörflen är det, i de kemiska analyserna för 1–5 % glycerin 1a och 1 % glycerin 2a, främst kaliumhalterna som påverkas kraftigt vid tillsats av glycerin (+47– +122 %, tabell 12 och tabellerna B5:14-15), betydligt mer än för motsvarande mätprover i de teoretiska beräkningarna (+3,0– +34 %, tabell 12 och tabell B5:10-11), men ändå i rätt riktning. Svavelhalten ökar för glycerin 2a endast med 3,5 %, där de teoretiska beräkningarna tyder på att den skulle öka med

18 % (se tabell 14 och tabellerna B5:10-11 och B5:14-15). För de flesta övriga ämnen är ökningarna några tiotals procentenheter (se tabellerna B5:14-15) i de kemiska analyserna, där de teoretiska beräkningarna tyder på en minskning med någon eller några procentenheter (se tabellerna B5:10-11).

Tall:

Askfraktionen från tallen kännetecknas av höga koncentrationer av kisel och kalcium (se tabellerna 16, 17 och B5:18). Även koncentrationen av kalium och därmed kalium plus natrium är hög (se tabellerna 12, 13 och tabell B5:18). Askhalterna är låga. För tall ökar mängden aska vid tillsats av glycerinet (tabellerna B5:18-19 och B5:22-23), mycket beroende på att tallen har en så låg askhalt från början (endast 0,4 % av ts). Halterna av de flesta ämnena minskar, vid teoretiska beräkningar utifrån tallens och de ingående glycerinsorternas sammansättning, i den storleksordning som glycerin blandats in i tallpelletsen. För tall är det främst halterna av svavel som påverkas i nämnvärd grad vid tillsats av glycerin 2a (ökning 4,7–47 %, tabell 14 och tabellerna B5:18-19) och glycerin 2b (ökning 8,2–82 %). Natriumhalten ökar en del vid tillsats av glycerin 2b (+6,2– +62 %, tabell 13 och tabellerna B5:18-19), likaså men i något mindre grad även klorhalten (+2,7– +27 %, tabell 15 och tabellerna B5:18-19). Askhalterna ökar med 6–270 % beroende på mängd tillsatt och sort av glycerin. Kaliumhalterna ökar vid tillsats av glycerin 1a och glycerin 1b, medan de minskar vid tillsats av glycerinsorterna 2a och 2b (se tabell 12 och B5:18-19). De ämnen som förekommer i höga halter i glycerinet jämfört med i tallen slår igenom, t.ex. svavel och natrium, och i något fall klor.

För tall ökar mängden aska vid tillsats av glycerinet med ungefär samma storleksordning i de kemiska analyserna (+25– +125 %, tabellerna B5:22-23) och i de teoretiska beräkningarna (+6– +81 %, tabellerna B5:18-19), för motsvarande prover. För tall, i de kemiska analyserna, ökar mängden kalium med 7,5–101 % (se tabell 12 och tabellerna B5:22-23), medan den för motsvarande prover i de teoretiska beräkningarna förändras med -0,6– +2,8 % (se tabell 12 och tabellerna B5:18-19). För glycerin 2b ökar halterna av natrium, svavel och klor med 16, 14, respektive 14 % (se tabellerna 13, 14 och 15 och tabellerna B5:22-23) för de kemiska analyserna, medan de för motsvarande prover i de teoretiska beräkningarna ökar med 6,2, 8,2, respektive 2,7 % (se tabellerna B5:18-19). För glycerin 2a, vid 1 % och 5 % inblandning, ökar halterna av svavel med 0 respektive 20 % (se tabell 14 och tabellerna B5:22-23) för de kemiska analyserna, medan de för de teoretiska beräkningarna ökar med 4,7 respektive 23 % (se tabell 14 och tabellerna B5:18-19) för motsvarande prover. För glycerin 2a ökar halten fosfor, vid 1 % inblandning, med 132 % (halt fosfor av aska i provet 5,2 %) och minskar, vid 5 % inblandning, med 46 % (1,2 % fosfor av aska i provet) (se tabellerna B5:22-23) i de kemiska analyserna, medan fosforhalten i motsvarande prover i de teoretiska beräkningarna minskar med 1,1 % (2,2 % fosfor av aska i provet), respektive 5,6 % (2,1 % fosfor av aska i provet) (tabellerna B5:18-19). För de flesta övriga ämnen är minskningarna några tiotals procentenheter (se tabellerna B5:22-23) i de kemiska analyserna, där de teoretiska beräkningarna tyder på en minskning med någon eller några procentenheter (se tabellerna B5:18-19).

För samtliga bränslen gäller:

De kalorimetriska värmevärdena har endast ändrats ett par procentenheter upp eller ner, vid inblandning av samtliga glycerinsorter, i samtliga mängder, i de tre studerade bränslena, och oberoende av om dessa varit teoretiskt beräknade eller kemiskt analyserade.

De förhållandevis vanliga stora avvikelserna mellan de teoretiska beräkningarna och kemiska analyserna, tyder på att antingen är osäkerheten för stor i provtagningen av bränslena (prov-

erna är ej homogena eller liknande), eller så är osäkerheten i de kemiska analyserna för stor. Det kan även vara en kombination av dessa båda faktorer.

Ofta är det de ämnen som är viktigast för askans smältegenskaper och för risken att korrosiva beläggningar ska bildas i rökgaserna, dvs. kalium, natrium, svavel och klor, som påverkas mest vid tillsatserna av glycerin till de tre bränsleslagen. Dessa ämnen ingår bl.a. i ekvationerna 1, 2, 3, 5, 6 och 7 vid beräkning av nyckeltalen som beskrivs mer ingående i kapitlen 3.7 och 4.6.

4.5 Eldningsförsök

Vid eldningsförsöken mättes bl.a. emissionerna av CO, NO, NO₂, NO_x (NO + NO₂) och SO₂ i rökgaserna (torra) (tabellerna 21-23). Dessutom mättes syre- och koldioxidhalterna, som vid mätning i rökgaserna är ett mått på luftöverskottet vid förbränningen (se tabell 19), samt emissionerna av aldehyder (akrolein och formaldehyd, se tabell 24) och partiklar (tabell 23). Under förbränningens gång mättes även maximal och genomsnittlig (medel) förbrännings-temperatur (tabell 26). Efter varje förbränningsförsök vägdes förbränningsresten in och inskades för att andelen oförbränt (tabell 20) i denna skulle erhållas, samt uppmättes mängden sintrat material i förbränningsresten (se tabell 25). Slutligen gjordes kemiska analyser av metaller i förbränningsresten (tabell B3:3 i bilaga 3) från några eldningar för att bl.a. avgången av kalium med rökgaserna skulle kunna beräknas (tabell 28).

Alla resultat från förbränningsförsöken finns även i tabell B4:1 i bilaga 4. I denna tabell ges även en bättre översikt över bl.a. vilka mätvärden som saknas.

4.5.1 Luftöverskott, halt CO₂ och O₂, samt mängd oförbränt

Högre koldioxidhalt och lägre syrehalt tyder på ett lägre luftöverskott och vice versa. Koldioxidhalterna (torra) var ganska höga vid eldningen av halm (vid eldning av halm utan glycerin över de optimala 10–12 %), vilket tyder på inte alltför höga luftöverskott, vilket även syns som ganska låga syrehalter i rökgaserna (se tabell 19). Vid eldningen av rörflen och tall har koldioxidhalterna varit lägre beroende på högre luftöverskott och ligger oftast något under de optimala nivåerna (10–12 %). Luftöverskottsfaktorerna har då blivit ganska höga ofta över 2 (anges i tabell 19 inom parentes i samband med att CO₂-halterna anges). Syrehalterna har vanligen följt koldioxidhalterna på det sätt som sagts ovan.

Tabell 19. CO₂-halt (torr) och O₂-halt (torr), % i rökgaser, vid tillsats av olika glycerinsorter i olika mängder. Värdet inom parentes avser ungefärlig luftöverskotts faktor

Bränsle / Sort av glycerin	Mängd glycerin / CO ₂ -halt, % i rökgaser			Mängd glycerin / O ₂ -halt, % i rökgaser		
	Inget	1 %	5 %	Inget	1 %	5 %
Halm						
Glycerin 1a	14,3 (1,4)	n.a.	n.a.	5,5	n.a.	n.a.
Glycerin 1b		n.a.	n.a.		n.a.	n.a.
Glycerin 2a		n.a.	11,1 (1,8)		n.a.	9,1
Glycerin 2b		n.a.	n.a.		n.a.	n.a.
<i>Medel</i>	<i>14,3</i>	<i>n.a.</i>	<i>11,1</i>	<i>5,5</i>	<i>n.a.</i>	<i>9,1</i>
Rörflen						
Glycerin 1a	8,5 (2,4)	10,3 (2,0)	10,5 (1,9)	11,9	n.a.	9,7
Glycerin 1b		n.a.	n.a.		n.a.	n.a.
Glycerin 2a		8,7 (2,3)	n.a.		n.a.	n.a.
Glycerin 2b		n.a.	n.a.		n.a.	n.a.
<i>Medel</i>	<i>8,5</i>	<i>9,5</i>	<i>10,5</i>	<i>11,9</i>	<i>n.a.</i>	<i>9,7</i>
Tall						
Glycerin 1a	9,7 (2,1)	9,8 (2,1)	9,3 (2,2)	10,5	10,3	10,8
Glycerin 1b		8,6 (2,4)	n.a.		11,7	n.a.
Glycerin 2a		9,3 (2,2)	7,9 (2,6)		11,0	11,8
Glycerin 2b		9,2 (2,2)	n.a.		11,1	n.a.
<i>Medel</i>	<i>9,7</i>	<i>9,2</i>	<i>8,6</i>	<i>10,5</i>	<i>11,0</i>	<i>11,3</i>

Ett mått på hur fullständig förbränningen varit kan vara andelen oförbränt, av den förbränningsrest (aska + oförbränt), som återstår av varje bränsle/glycerin-blandning efter eldningen (se tabell 20). De genomsnittliga värdena av denna har legat i samma storleksordning för alla tre bränslena oberoende av glycerinblandning. För halm har den minskat vid inblandning av 5 % glycerin 2a. För rörflen har inget hänt vid glycerinblandningen. För tall har andelen oförbränt varit betydligt högre vid inblandning av 5 % glycerin 1a och vid inblandning av 1 % glycerin 2a. Betydligt lägre har andelen oförbränt varit vid 5 % inblandning av glycerin 2a och vid inblandning av 1 % glycerin 2b. För provet med 5 % inblandning av glycerin 1a har hållfastheten varit lägre och mängden finfraktion högre än för intilliggande prov (tabellerna 3-4), vilket kan vara en förklaring till den höga andelen oförbränt (tabell 20). För provet med 1 % glycerin 2a är svårt att hitta någon förklaring till den höga andelen oförbränt. För provet med 1 % inblandning av glycerin 2b har hållfastheten varit hög och mängden finfraktion lägre än för intilliggande prov, vilket kan vara en förklaring till den låga andelen oförbränt. För provet med 5 % glycerin 2a är det svårt att hitta någon förklaring till den låga andelen oförbränt. Då askhalten i tallpelletsen är låg (betydligt lägre än i halm och i rörflen, se tabell B3:2 i bilaga 3) får små variationer i mängden oförbränt lättare ett stort genomsnitt mätt som procentuell andel av förbränningsresten. Detta kan göra att slumpen får ett större inflytande på mängden oförbränt från tallpelletsen än från halm- respektive rörflenspelletsen.

Tabell 20. Oförbränt, andel av förbränningsrest (aska + oförbränt), %, vid tillsats av olika glycerinsorter i olika mängder

Bränsle / Sort av glycerin	Mängd glycerin /		
	Oförbränt, andel av förbränningsrest, %		
Halm	Inget	1 %	5 %
Glycerin 1a	29,4	n.a.	n.a.
Glycerin 1b		n.a.	n.a.
Glycerin 2a		n.a.	21,0
Glycerin 2b		n.a.	n.a.
<i>Medel</i>	<i>29,4</i>	<i>n.a.</i>	<i>21,0</i>
Rörflen	Inget	1 %	5 %
Glycerin 1a	22,3	18,9	22,9
Glycerin 1b		n.a.	n.a.
Glycerin 2a		25,4	n.a.
Glycerin 2b		n.a.	n.a.
<i>Medel</i>	<i>22,3</i>	<i>22,2</i>	<i>22,9</i>
Tall	Inget	1 %	5 %
Glycerin 1a	23,2	23,2	45,1
Glycerin 1b		25,0	n.a.
Glycerin 2a		43,7	10,6
Glycerin 2b		14,2	n.a.
<i>Medel</i>	<i>23,2</i>	<i>26,5</i>	<i>27,9</i>

4.5.2 Emissioner av CO, NO_x, SO₂ och partiklar

Kolmonoxidhalterna blev ganska höga vid eldningarna och faktiskt, i samtliga eldningsförsök, över de 100 ppm som eftersträvdades. Vid eldning av halm utan glycerin blev kolmonoxidhalten mycket hög (se tabell 21), vilket sannolikt har samband med det lägre luftöverskottet (se tabell 19) jämfört med de andra eldningarna, vid denna eldning. Vid eldning av halm med 5 % glycerintillsats blev kolmonoxidhalten betydligt lägre, och i nivå med vad som erhöles vid eldning av tallpellets med inblandning av 1 % glycerin 1b. Vid eldning av rörflenspellets tycks inte inblandning av glycerin haft någon större inverkan på mängden CO i rökgaserna, då ökningen av mängden CO i rökgaserna blivit ringa. Vid eldning av tallpellets har kolmonoxidhalten mer än fördubblats vid tillsats av glycerin, men är genomsnittligt lägre vid 5 %:s inblandning än vid 1 %:s inblandning. Variationerna mellan olika mätningar är stora. Möjligen har kolmonoxidhalten varit något lägre då pelletsen haft en högre hållfasthet (jämför tabell 21 med tabell 3). Resultaten är dock inte helt entydiga, men tyder på att halmpellets ger mer CO, medans det är troligt, men något osäkert, att glycerinblandningen ger ökad mängd CO i rökgaserna. Kvalitén hos den erhållna pelletsen kan ha en inverkan.

Mängden kväveoxider i rökgaserna har varit betydligt lägre vid eldning av tall än vid eldning av rörflen och halm (se tabell 22). Högst har de varit vid eldning av rörflen. Detta stämmer bra överens med att kvävehalterna i rörflen (0,9 % av ts) och i halm (0,4 % av ts) är högre än dem i tall (<0,1 % av ts) (se tabell B3:2, bilaga 3). Mängden kväveoxider i rökgaserna har ökat något vid glycerinblandning i halm och i rörflen, medan de genomsnittligt har varit konstanta eller minskat något vid inblandning i tall (se tabell 22). Vid inblandning av glycerin i tall är värdena för 1 % glycerin 1b och 5 % glycerin 2a lägre än övriga värden och värdet för 1 % glycerin 2a högre än övriga värden. Är dessa värden slumpmässiga extremvärden så tyder detta på att kväveoxidhalterna i rökgaserna inte påverkas av glycerinblandning i tall. Det kan då vara rimligt att detsamma gäller för rörflen och halm. Resultaten är förhållandevis samstämmiga mellan NO + NO₂ som sammanslagits till NO_x (se tabellerna 21 och 22). Kvävehalterna i de fyra glycerinsorterna är låga (0,4–0,6 %) (se tabell B3:1, bilaga 3).

Mängden svavel är högst i rörflen och i halm (0,08–0,09 %) och lägst i tall (0,02 %) (se tabell B3:2, bilaga 3), vilket kan observeras som lägre SO₂-halter i rök-gaser vid eldning av tall (se tabell 23). Emellertid så har mängden SO₂ i rök-gaser från rörflen blivit betydligt högre än i rök-gaser från halm (tabell 23) vilket inte stöds av dessa bränslens svavelinnehåll (se tabell B3:2). För tall har svavelhalterna blivit högre vid inblandning av glycerinsorterna 2a och 2b medan de inte slår igenom alls vid inblandning i rörflen och i halm som från början har en högre svavelhalt (se tabell B3:2). Halten svaveldioxid i rök-gaserna borde öka mest för de bränsle/glycerin-blandningar med högst inblandning av de sura svavelrika glycerinsorterna 2a (0,6 % S) och 2b (2,0 % S), och då särskilt för tall med en från början låg svavelhalt (se tabellerna B3:1 och B3:2). Detta är emellertid inget som kan observeras i tabell 23. För halm är mängden SO₂ i rök-gaserna, vid inblandning av 5 % glycerin 2a, mycket lägre än vid eldning av ren halmpellets. För rörflen har mängden SO₂ i rök-gaserna blivit hög vid inblandning av 5 % glycerin 1a som har en låg svavelhalt. För tall har mängden SO₂ i rök-gaserna blivit väldigt (orimligt) låg vid inblandning av 1 % glycerin 1a och väl låg vid inblandning av 1 % glycerin 2a. Tillsammans tyder detta på att mätningarna av SO₂ i rök-gaserna inte är tillförlitliga. Trogligtvis följer SO₂-halten i rök-gaserna svavelhalten i bränslena så som den borde göra, även om dessa mätningar ej kan bekräfta detta.

Partikelhalterna i rök-gaserna (tabell 23) kan förväntas ha samband med höga halter av kalium och/eller natrium i bränslet (tabellerna 12-13 och tabell B3:2 i bilaga 3). De borde därför vara höga för halm (inga mätningar) och vid ökade inblandningsnivåer av speciellt glycerin 1a och 1b. Detta stämmer bra för de observationer som gjorts vid inblandning av glycerin i tall och i rörflen. Partikelhalten har ökat vid ökad mängd inblandat glycerin (tabell 23). Partikelhalten har ökat mest för tall som har en låg askhalt (0,4 % av ts för tall jämfört med 5,9 % av ts för rörflen, se tabell B3:2).

Tabell 21. CO- och NO-halt, ppm i rök-gaser, vid tillsats av olika glycerinsorter i olika mängder

Bränsle / Sort av glycerin	Mängd glycerin / CO-halt, ppm i rök-gaser			Mängd glycerin / NO-halt, ppm i rök-gaser		
	Inget	1 %	5 %	Inget	1 %	5 %
Halm						
Glycerin 1a	5 209	n.a.	n.a.	186	n.a.	n.a.
Glycerin 1b		n.a.	n.a.		n.a.	n.a.
Glycerin 2a		n.a.	1 210		n.a.	203
Glycerin 2b		n.a.	n.a.		n.a.	n.a.
<i>Medel</i>	<i>5 209</i>	<i>n.a.</i>	<i>1 210</i>	<i>186</i>	<i>n.a.</i>	<i>203</i>
Rörflen						
Glycerin 1a	302	n.a.	327	256	n.a.	288
Glycerin 1b		n.a.	n.a.		n.a.	n.a.
Glycerin 2a		n.a.	n.a.		n.a.	n.a.
Glycerin 2b		n.a.	n.a.		n.a.	n.a.
<i>Medel</i>	<i>302</i>	<i>n.a.</i>	<i>327</i>	<i>256</i>	<i>n.a.</i>	<i>288</i>
Tall						
Glycerin 1a	290	669	778	66	73	64
Glycerin 1b		1 170	n.a.		56	n.a.
Glycerin 2a		687	478		73	52
Glycerin 2b		352	n.a.		70	n.a.
<i>Medel</i>	<i>290</i>	<i>720</i>	<i>628</i>	<i>66</i>	<i>68</i>	<i>58</i>

Tabell 22. NO₂- och NO_x-halt, ppm i rökgas, vid tillsats av olika glycerinsorter i olika mängder

Bränsle / Sort av glycerin	Mängd glycerin / NO ₂ -halt, ppm i rökgas			Mängd glycerin / NO _x -halt, ppm i rökgas		
	Inget	1 %	5 %	Inget	1 %	5 %
Halm						
Glycerin 1a	12,7	n.a.	n.a.	199	n.a.	n.a.
Glycerin 1b		n.a.	n.a.		n.a.	n.a.
Glycerin 2a		n.a.	14,2		n.a.	218
Glycerin 2b		n.a.	n.a.		n.a.	n.a.
<i>Medel</i>	<i>12,7</i>	<i>n.a.</i>	<i>14,2</i>	<i>199</i>	<i>n.a.</i>	<i>218</i>
Rörflen						
Glycerin 1a	33,7	n.a.	26,5	290	n.a.	315
Glycerin 1b		n.a.	n.a.		n.a.	n.a.
Glycerin 2a		n.a.	n.a.		n.a.	n.a.
Glycerin 2b		n.a.	n.a.		n.a.	n.a.
<i>Medel</i>	<i>33,7</i>	<i>n.a.</i>	<i>26,5</i>	<i>290</i>	<i>n.a.</i>	<i>315</i>
Tall						
Glycerin 1a	9,6	6,1	9,3	75	79	73
Glycerin 1b		7,0	n.a.		63	n.a.
Glycerin 2a		22,9	5,7		95	58
Glycerin 2b		9,9	n.a.		80	n.a.
<i>Medel</i>	<i>9,6</i>	<i>11,5</i>	<i>7,5</i>	<i>75</i>	<i>79</i>	<i>66</i>

Tabell 23. SO₂-halt, ppm i rökgas, och partikelhalt, mg/kg bränsle i rökgas vid tillsats av olika glycerinsorter i olika mängder

Bränsle / Sort av glycerin	Mängd glycerin / SO ₂ -halt, ppm i rökgas			Mängd glycerin / Partikelhalt, mg/kg bränsle i rökgas		
	Inget	1 %	5 %	Inget	1 %	5 %
Halm						
Glycerin 1a	1,8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Glycerin 1b		n.a.	n.a.		n.a.	n.a.
Glycerin 2a		n.a.	0,2		n.a.	n.a.
Glycerin 2b		n.a.	n.a.		n.a.	n.a.
<i>Medel</i>	<i>1,8</i>	<i>n.a.</i>	<i>0,2</i>	<i>n.a.</i>	<i>n.a.</i>	<i>n.a.</i>
Rörflen						
Glycerin 1a	7,3	n.a.	20,9	0,56	0,85	1,50
Glycerin 1b		n.a.	n.a.		n.a.	n.a.
Glycerin 2a		n.a.	n.a.		0,78	n.a.
Glycerin 2b		n.a.	n.a.		n.a.	n.a.
<i>Medel</i>	<i>7,3</i>	<i>n.a.</i>	<i>20,9</i>	<i>0,56</i>	<i>0,82</i>	<i>1,50</i>
Tall						
Glycerin 1a	0,7	0,015	0,8	0,51	1,33	2,99
Glycerin 1b		2,1	n.a.		1,12	n.a.
Glycerin 2a		0,1	0,4		0,93	n.a.
Glycerin 2b		1,3	n.a.		1,69	n.a.
<i>Medel</i>	<i>0,7</i>	<i>0,9</i>	<i>0,6</i>	<i>0,51</i>	<i>1,27</i>	<i>2,99</i>

4.5.3 Emissioner av akrolein och formaldehyd

Emissioner av akrolein tycks inte vara något problem vid eldning av bränslen med inblandning av glycerin, då nivåerna i samtliga eldningar låg under detektionsgränsen för den använda mätutrustningen. Förbränningen var god och i de flesta fall luftöverskottet stort (tabell 19) vilket gör det svårt för akrolein att bildas.

Mängden formaldehyd i rökgaserna var nästan 3 gånger så hög vid eldning av halm med 5 % inblandning av glycerin 2a, jämfört med eldning av halm utan glycerin (se tabell 24). Glycerin

2a innehöll dock nästan ingen metanol alls (metanolinnehåll 0,26 %, se tabell B3:1, bilaga 3). Vid eldning av rörflen och tall blev inte mängden formaldehyd högre i rökgaserna från de bränsleprover som innehöll glycerin (se tabell 24), detta trots en högre metanolhalt i glycerin 1a (metanolinnehåll 2,4 %, se tabell B3:1). Tillsammans kan detta tyda på att mängden formaldehyd i rökgaserna ej påverkas av att bränslet innehåller glycerin och av att detta glycerin har en hög halt av metanol.

Tabell 24. Mängd formaldehyd i rökgaserna, mg/m³, vid tillsats av olika glycerinsorter i olika mängder

Bränsle / Sort av glycerin	Mängd glycerin /		
	Mängd formaldehyd i rökgaserna, mg/m ³	1 %	5 %
Halm	Inget	1 %	5 %
Glycerin 1a	1,23	n.a.	n.a.
Glycerin 1b		n.a.	n.a.
Glycerin 2a		n.a.	3,28
Glycerin 2b		n.a.	n.a.
<i>Medel</i>	<i>1,23</i>	<i>n.a.</i>	<i>3,28</i>
Rörflen	Inget	1 %	5 %
Glycerin 1a	0,03	n.a.	<0,06
Glycerin 1b		n.a.	n.a.
Glycerin 2a		n.a.	n.a.
Glycerin 2b		n.a.	n.a.
<i>Medel</i>	<i>0,03</i>	<i>n.a.</i>	<i><0,06</i>
Tall	Inget	1 %	5 %
Glycerin 1a	0,18	n.a.	0,14
Glycerin 1b		n.a.	n.a.
Glycerin 2a		n.a.	0,09
Glycerin 2b		n.a.	n.a.
<i>Medel</i>	<i>0,18</i>	<i>n.a.</i>	<i>0,115</i>

4.5.4 Förbränningstemperaturer, smälttemperaturer och mängd sintrat material

Mängden sintrat material är betydligt högre (nästan 65 % av askan) vid eldning av halm, jämfört med vid eldning av rörflen (6–11 % av askan) och tall (0,1–10 % av askan) (se tabell 25). Mängderna sintrat material tycks inte bero på mängden inblandat glycerin i bränslena. Mängderna sintrat material har ju till och med varit något lägre eller lägre vid de högsta inblandningsnivåerna av glycerin i bränslena, jämfört med vid lägsta inblandningsnivån och vid ingen inblandning av glycerin.

Det är värt att notera, att vid eldningen av halm var både den genomsnittliga och den maximala förbränningstemperaturen (969 respektive 1 057°C utan glycerin och 676 respektive 869°C med 5 % glycerin 2a, se tabell 26) betydligt högre än vid eldningarna av rörflen och tall. Detta har naturligtvis påverkat resultatet. Temperaturerna överskred även krympningstemperaturen (temperaturen för begynnande smältning) (880°C) och flytttemperaturen (1 040°C) (se tabell 27) för halm utan glycerin. Vid eldning av rörflen och tall, med och utan glycerin, kommer inte ens de maximalt uppmätta förbränningstemperaturerna i något fall upp till krympningstemperaturerna för de studerade bränslena (se tabell 26 och tabell 27). Det är förklaringen till den lilla mängden sintrat material i askan från dessa prover.

Både de genomsnittliga och de maximala förbränningstemperaturerna har minskat med ökad glycerinblandning i bränslena (tabell 26). Detta kan tyda på sämre förbränningsförhållanden med ökad glycerinblandning, och ha att göra med t.ex. pelletskvalitén (se tabell 3 och 4 för hållfasthet och mängd finfraktion hos pelletsen). Undantag är inblandning av 1 % glycerin 1a och 1 % glycerin 2a i rörflen där de genomsnittliga förbränningstemperaturerna ökade i jäm-

föreelse med ren rörflen (tabell 26). Hållfastheten hos dessa prover var i nivå med eller endast något lägre än för rörflen utan glycerin (se tabell 3).

För halm förändras inte krympningstemperatur (temperatur för begynnande smältning) och flytttemperatur med ökad glycerinblandning (se tabell 27). Orsaker till detta är att halmen har en hög askhalt från början, samt en så hög halt av kalium (se tabell 12 och tabell B3:2, bilaga 3) att det kalium som ingår i glycerinet ej slår igenom vid inblandningen. För rörflen och tall minskar krympningstemperaturerna (begynnande smältning) med ökad inblandning av glycerin (se tabell 27). För rörflen är andelen kalium i askan så låg att kaliumet i det inblandade glycerinet kan slå igenom mer, och för tall är askhalten så låg att kaliumet kan slå igenom mer (se tabellerna 12 och B3:2). För rörflen minskar flytttemperaturerna vid ökad inblandning av glycerin medan de ökar något (dock inom området för felmarginalen) för tall (se tabellerna 27 och B3:2). Beräkningar av kaliumavgång med rökgaserna (tabell 28) kan tyda på att andelen av kaliumet som avgår med rökgaserna vid tillsats av glycerin ökar (se kapitel 4.5.5). Detta kan vara förklaringen till att asksmälttemperaturerna (se tabell 27) ej sjönk mer än vad de gjorde. Kaliumet från glycerinet skulle i så fall huvudsakligen hamna i flygaskan och inte i bottenaskan.

Tabell 25. Mängd sintrat material, % av aska, vid tillsats av olika glycerinsorter i olika mängder

Bränsle / Sort av glycerin	Mängd glycerin / Mängd sintrat material, % av aska		
	Inget	1 %	5 %
Halm			
Glycerin 1a	64,7	n.a.	n.a.
Glycerin 1b		n.a.	n.a.
Glycerin 2a		n.a.	63,5
Glycerin 2b		n.a.	n.a.
<i>Medel</i>	<i>64,7</i>	<i>n.a.</i>	<i>63,5</i>
Rörflen			
Glycerin 1a	7,7	11,4	6,0
Glycerin 1b		n.a.	n.a.
Glycerin 2a		8,5	n.a.
Glycerin 2b		n.a.	n.a.
<i>Medel</i>	<i>7,7</i>	<i>9,9</i>	<i>6,0</i>
Tall			
Glycerin 1a	2,6	4,5	2,0
Glycerin 1b		1,4	n.a.
Glycerin 2a		0,9	0,1
Glycerin 2b		9,8	n.a.
<i>Medel</i>	<i>2,6</i>	<i>4,2</i>	<i>1,0</i>

Tabell 26. Förbränningstemperatur, medel och max, °C, vid tillsats av olika glycerinsorter i olika mängder

Bränsle / Sort av glycerin	Mängd glycerin / Förbrännings- temperatur, medel, °C			Mängd glycerin / Förbrännings- temperatur, max, °C		
	Inget	1 %	5 %	Inget	1 %	5 %
Halm						
Glycerin 1a	969	n.a.	n.a.	1 057	n.a.	n.a.
Glycerin 1b		n.a.	n.a.		n.a.	n.a.
Glycerin 2a		n.a.	676		n.a.	869
Glycerin 2b		n.a.	n.a.		n.a.	n.a.
<i>Medel</i>	<i>969</i>	<i>n.a.</i>	<i>676</i>	<i>1 057</i>	<i>n.a.</i>	<i>869</i>
Rörflen						
Glycerin 1a	556	583	480	741	702	537
Glycerin 1b		n.a.	n.a.		n.a.	n.a.
Glycerin 2a		566	n.a.		702	n.a.
Glycerin 2b		n.a.	n.a.		n.a.	n.a.
<i>Medel</i>	<i>556</i>	<i>574</i>	<i>480</i>	<i>741</i>	<i>702</i>	<i>537</i>
Tall						
Glycerin 1a	710	648	638	760	691	798
Glycerin 1b		684	n.a.		750	n.a.
Glycerin 2a		640	538		701	602
Glycerin 2b		663	n.a.		704	n.a.
<i>Medel</i>	<i>710</i>	<i>659</i>	<i>588</i>	<i>760</i>	<i>712</i>	<i>700</i>

Tabell 27. Krympningstemperatur och flyttemperatur, °C, vid tillsats av olika glycerinsorter i olika mängder

Bränsle / Sort av glycerin	Mängd glycerin / Krympningstemperatur, °C			Mängd glycerin / Flyttemperatur, °C		
	Inget	1 %	5 %	Inget	1 %	5 %
Halm						
Glycerin 1a	880	880	n.a.	1 040	1 040	n.a.
Glycerin 1b		900	n.a.		1 050	n.a.
Glycerin 2a		850	870		1 050	1 040
Glycerin 2b		890	n.a.		1 120	n.a.
<i>Medel</i>	<i>880</i>	<i>880</i>	<i>870</i>	<i>1 040</i>	<i>1 065</i>	<i>1 040</i>
Rörflen						
Glycerin 1a	900	880	720	1 540	1 470	1 370
Glycerin 1b		n.a.	n.a.		n.a.	n.a.
Glycerin 2a		920	n.a.		>1 550	n.a.
Glycerin 2b		n.a.	n.a.		n.a.	n.a.
<i>Medel</i>	<i>900</i>	<i>900</i>	<i>720</i>	<i>1 540</i>	<i>n.a.</i>	<i>1 370</i>
Tall						
Glycerin 1a	1 240	910	810	1 350	1 330	1 360
Glycerin 1b		810	n.a.		1 430	n.a.
Glycerin 2a		980	870		1 250	1 480
Glycerin 2b		880	n.a.		1 300	n.a.
<i>Medel</i>	<i>1 240</i>	<i>895</i>	<i>840</i>	<i>1 350</i>	<i>1 328</i>	<i>1 420</i>

4.5.5 Beräkningar av mängden kalium som avgått med rökgaserna

En betydligt större andel av kaliumet i de tallbränslen som hade glycerin tillsatt, avgick med rökgaserna (81–110 % beroende på tillsatt glycerin och antaganden), jämfört med vid eldning av tallpellets utan glycerintillsats (60–75 % beroende på antaganden) och vid eldning av uppstartsbränslet Solett (38 %) (se tabell 28).

Då andelen kalium som avgått med rökgaserna överstiger 100 % för vissa glycerintillsatser (1 % tillsats av glycerinsorterna 1a och 1b), tyder detta på att antingen har en större andel kalium

avgått vid eldningen av uppstartsbränslet (Solett) än vid mätningarna enbart på detta bränsle, eller så har mätfelen vid mätning av kalium i bränslet ($\pm 10\%$) (tabell B3:2, bilaga 3) och i dess resulterande aska ($\pm 20\%$) (tabell B3:3) slagit igenom. På grund av dessa båda felkällor beräknades ett medelvärde mellan antagande a) (lika andelar av kaliuminnehållet i uppstartsbränslet (Solett) och i det studerade bränslet avgår med rökgaserna) och antagande b) (lika andelar av kaliuminnehållet i uppstartsbränslet (Solett) har avgått som vid försöket med enbart eldning av Solett, samt att resterande kalium har antagits avgå från det studerade bränslet) (se fotnoter tabell 28) för mängden kalium i rökgaserna (g/kg ts bränsle). Det kan vara troligt att detta medelvärde är det som ligger närmst det sanna värdet.

Mängden kalium som avgår med rökgaserna ökar med mängden tillsatt glycerin (se tabell 28) från ca 0,4 g/kg ts bränsle för tallpellets utan glycerintillsats och ca 1,0 g/kg ts bränsle för tallpellets med 1 % glycerin (glycerinsorterna 1a, 1b och 2a), till ca 2,6 g/kg ts glycerin för tallpellets med 5 % glycerin. Skillnaderna var mycket små mellan de olika glycerinsorterna vid en tillsats av 1 % glycerin. Ökningen av kaliumavgången i rökgaserna vid tillsats av glycerin verkar vara betydligt större än den mängd kalium som tillförs med glycerinet (i tabell 28 nedan, om tall Gly18 med glycerin jämförs med tall Gly17 utan glycerin erhålls (som g/kg ts bränsle): $0,97 - 0,42 = 0,55 > 0,14$, mängden kalium tillsatt med 1 % glycerin 1a). Korrelationen blev stark mellan den beräknade mängden kalium i rökgaserna och den uppmätta mängden partiklar i rökgaserna (se tabellerna 28 och 23). Det sura glycerinet gav en något lägre partikelhalt i rökgaserna, vilket kan ha att göra med den högre svavelhalten (tabell B3:1 i bilaga 3) i detta, och därmed högre S/Cl-kvot (kapitel 3.7.2 och tabell B5:1 i bilaga 5), som indikerar en lägre risk för korrosion i samband med alkaliklorider i rökgaserna. Den ökade andelen kalium som avgår med rökgaserna vid tillsats av glycerin, minskar mängden kalium i bottenaskan, som i denna ger upphov till lägre asksmältpunkter. Detta kan vara förklaringen till att askans flytttemperatur kunde öka vid tillsats av 5 % glycerin 2a till tall (se tabell 27), men även till att övriga asksmälttemperaturer ej sjönk mer än de gjorde vid tillsats av glycerin. Detta tyder på att kaliumet från glycerinet i stor utsträckning hamnar i flygaskan och inte i bottenaskan.

För uppstartsbränslet (Solett) var mängden kalium med rökgaserna mycket liten (ca 0,2 g/kg ts bränsle). Som en jämförelse kan nämnas att 1,2 g K/kg ts bränsle för halm kan erhållas efter bearbetning av data i Glazer m.fl. (2005). Detta kan tyda på att vid tillsats av 1 % glycerin från omförestning till tallbränsle, erhålles en kaliumavgång med rökgaserna i storleksordning med den från eldning av halm. Problemen med påslag och korrosiva föreningar kan därför, för ett sådant bränsle, förväntas ligga i nivå med den vid halmeldning. Vid större tillsatser av glycerin kan dessa problem förväntas bli större än vid halmeldning.

Tabell 28. Mängd kalium som avgår med rökgaserna vid eldning av tallpellets med inblandning av glycerin

Bränsleprov / Beteckning	Solett	Tall, Gly 17	Tall, Gly 18	Tall, Gly 19	Tall, Gly 20	Tall, Gly 23
Sort av glycerin tillsatt egenskaper	Inget Uppstarts- bränsle	Inget	Glycerin 1a Alkaliskt	Glycerin 2a Surt	Glycerin 1a Alkaliskt	Glycerin 1b Alkaliskt
Mängd tillsatt som rent glycerin (%)	0	0	1	1	5	1
Andel av kalium i rökgaserna (%), antagande a ^a	37,8	60,0	85,0	81,4	88,8	82,6
Andel av kalium i rökgaserna (%), antagande b ^b		74,9	109,7	97,9	96,7	100,4
Mängd kalium i rökgaserna (g/kg ts bränsle), antagande a ^a	0,19	0,37	0,85	0,90	2,49	0,91
Mängd kalium i rökgaserna (g/kg ts bränsle), antagande b ^b		0,46	1,10	1,08	2,71	1,10
Mängd kalium i rökgaserna (g/kg ts bränsle), medel av antagande a och b ^c		0,42	0,97	0,99	2,60	1,01
Mängd kalium tillsatt via inblandat glycerin (g/kg ts bränsle)	0	0	0,14	0,038	0,70	0,16
Mängd partiklar i rökgaserna (mg/kg ts bränsle)		0,51	1,33	0,93	2,99	1,12

^a Antaget att lika andelar av kaliuminnehållet i uppstartsbränslet (Solett) och i det studerade bränslet avgår med rökgaserna.

^b Antaget att lika andelar av kaliuminnehållet i uppstartsbränslet (Solett) har avgått som vid försöket med enbart eldning av Solett. Resterande kalium har antagits avgå med det studerade bränslet.

^c Medelvärde av antagande a och antagande b.

4.5.6 Sammanfattande resultat från eldningsförsöken

Emissionerna av främst partiklar ökar vid ökad glycerinblandning i bränslena. Detta har nog till stor del att göra med den stora mängden alkalimetaller (främst kalium) som ingår i glycerinsorterna. Emissionerna av kolmonoxid och kväveoxider påverkas troligtvis i ringa utsträckning av glycerinblandningen. Mängden kolmonoxid kan möjligen öka, troligen beroende på sämre pellets. Emissionerna av svaveldioxid följer troligtvis bränslets svavelhalt. Emissionerna av aldehyder, såsom akrolein och formaldehyd, påverkas inte av inblandningen av glycerin i bränslena då förbränningen är bra. För rörflen och tall sjunker asksmältemperaturerna vid inblandning av glycerin, men asksmältemperaturerna är för dessa bränslen trots detta så höga att normalt ska ingen ökad sintring ske, beroende på att de fortfarande ligger över förbränningstemperaturerna. För halm påverkas asksmältemperaturerna knappt alls av glycerinblandningen, men här har bränslet redan innan glycerinblandningen så låg asksmältemperatur att det från början råder stora problem med asksintring. Mängden kalium, som ger korrosiva påslag i rökgaskanaler, värmväxlare, överhettare m.m., och som avgår med rökgaserna, ökar mycket kraftigt vid tillsats av glycerin, då kaliumet i detta verkar vara mer löst bundet och lättflyktigt. Dessutom verkar glycerinet bidra till att även kalium som inte tillförts med glycerinet avgår i större utsträckning med rökgaserna. Detta kan vara förklaringen till att askans flytttemperatur, i vissa fall, kunde öka vid tillsats av glycerin, men även till att övriga asksmältemperaturer ej sjönk mer än de gjorde vid tillsats av glycerin. Detta kan tyda på att kaliumet från glycerinet i stor utsträckning hamnar i flygaskan och inte i bottenaskan.

4.6 Beräkning av askegenskaper med nyckeltal

Då asksmältegenskaperna i första hand påverkas av dess innehåll av alkalimetaller såsom kalium och natrium, men även av svavel och klor, så är det i huvudsak nyckeltal där dessa ämnen ingår som är intressanta att analysera. Detta gäller alkalinitetstalet, förglasningstalet, alkaliandel, eutektikumstal, saltkvot och Miles index (ekvation 1, 2, 3, 5, 6 och 7).

Nyckeltalen för bränsleslagen och bränsle/glycerinblandningarna presenteras på två olika sätt: a) först i tabellerna 29-36, varje nyckeltal för sig, men med analyserade (uppmätta) och

beräknade halter och alla bränsleslagen i samma tabell för enklare jämförelser inom varje nyckeltal och mellan bränsleslagen, och sedan b) i bilaga 5, i tabellerna B5:1, B5:4-5, B5:8-9, B5:12-13, B5:16-17, B5:20-21 och B5:24-25, där alla de olika nyckeltalen redovisas, bränsleslag för bränsleslag, i samma tabell för bättre överblick, och dessutom den procentuella förändringen av dessas värde nyckeltal för nyckeltal av de olika glycerinsorterna i olika mängder.

Då nyckeltalen baseras på kemiska analyser av bränslena, kan vid beräkningen av dessa inte tas någon hänsyn till avgång av alkalimetaller med flera ämnen med rökgaserna och flygaskan. Detta kan göra att farligheten i askans smältegenskaper jämfört med de verkliga fallen kan överskattas. Detta gäller både nyckeltal som baseras på analyserade (uppmätta) och beräknade halter av ingående ämnen. Vi valde att basera nyckeltalsberäkningarna på analyser av bränslena, då vi ville att alla analyser skulle göras på samma sätt för att bli jämförbara, och ej hade resurser till att elda alla bränsle/glycerin-blandningar.

4.6.1 Nyckeltal för ingående bränslen och glycerinsorter

Vad gäller alkalinitetstalet (ekvation 1) så ligger samtliga glycerinsorter (11–54) (tabell B5:1, bilaga 5) långt in i det farliga området ($>0,8$) vilket innebär att de bör öka risken för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial vid fluidbäddselddning med kvartssand. Av bränslena ligger både halm (1,32) och tall (1,01) inom det farliga området ($>0,8$), medan rörflen (0,18) ligger långt därifrån (tabell 29: Inget). Man får därför se upp med hur alkalinitetstalen påverkas vid inblandning av glycerin i bränsleslagen. Alkalinitetstalet kan vara viktigt att studera för bränsle/glycerin-blandningarna om de ska eldas i fluidbäddar med kvartssand.

Tabell 29. Alkalinitetstal, riskområde $>0,8$, vid tillsats av olika glycerinsorter i olika mängder

Bränsle / Sort av glycerin	Alkalinitetstal				
	Inget	1 % uppmätt	5 % uppmätt	1 % beräknat	5 % beräknat
Halm	1,32	1,21	1,23	1,33	1,36
Glycerin 1a		1,34	n.a.	1,33	1,35
Glycerin 1b		1,24	1,80	1,33	1,34
Glycerin 2a		1,37	n.a.	1,33	1,36
Glycerin 2b		1,32	1,52	1,33	1,36
Medel	1,32	1,29	1,52	1,33	1,36
Rörflen	Inget	1 %	5 %	1 %	5 %
		uppmätt	uppmätt	beräknat	beräknat
Glycerin 1a	0,18	0,17	0,17	0,18	0,20
Glycerin 1b		n.a.	n.a.	0,18	0,19
Glycerin 2a		0,17	n.a.	0,18	0,19
Glycerin 2b		n.a.	n.a.	0,18	0,20
Medel	0,18	0,17	0,17	0,18	0,20
Tall	Inget	1 %	5 %	1 %	5 %
		uppmätt	uppmätt	beräknat	beräknat
Glycerin 1a	1,01	1,15	1,51	1,02	1,03
Glycerin 1b		1,06	n.a.	1,02	1,03
Glycerin 2a		0,89	0,94	1,02	1,02
Glycerin 2b		1,35	n.a.	1,02	1,03
Medel	1,01	1,11	1,23	1,02	1,03

Vad gäller förglasningstalen (tabell B5:1) (ekvation 2) så ligger endast tall (0,31) en bit in i det farliga området (0,2–1) medan halm (1,06) och rörflen (0,07) ligger utanför (tabell 30: Inget), på var sin sida. Glycerinsorterna ligger mycket långt ifrån det farliga området. Risken

för bildning av lågsmältande sodaglas i askan borde därför inte vara något problem vid inblandningen av glycerin i bränsleslagen.

Tabell 30. Förglasningstal, riskområde 0,2–1, vid tillsats av olika glycerinsorter i olika mängder

Bränsle / Sort av glycerin	Förglasningstal				
	Inget	1 % uppmätt	5 % uppmätt	1 % beräknat	5 % beräknat
Halm	Inget	1 % uppmätt	5 % uppmätt	1 % beräknat	5 % beräknat
Glycerin 1a	1,06	0,99	1,03	1,07	1,12
Glycerin 1b		1,06	n.a.	1,07	1,11
Glycerin 2a		1,01	1,55	1,06	1,09
Glycerin 2b		1,16	n.a.	1,07	1,13
<i>Medel</i>	<i>1,06</i>	<i>1,05</i>	<i>1,29</i>	<i>1,07</i>	<i>1,11</i>
Rörflen	Inget	1 % uppmätt	5 % uppmätt	1 % beräknat	5 % beräknat
Glycerin 1a	0,07	0,07	0,10	0,07	0,10
Glycerin 1b		n.a.	n.a.	0,07	0,09
Glycerin 2a		0,08	n.a.	0,07	0,08
Glycerin 2b		n.a.	n.a.	0,07	0,10
<i>Medel</i>	<i>0,07</i>	<i>0,08</i>	<i>0,10</i>	<i>0,07</i>	<i>0,09</i>
Tall	Inget	1 % uppmätt	5 % uppmätt	1 % beräknat	5 % beräknat
Glycerin 1a	0,31	0,48	1,26	0,32	0,34
Glycerin 1b		0,52	n.a.	0,31	0,33
Glycerin 2a		0,52	0,44	0,31	0,33
Glycerin 2b		0,73	n.a.	0,32	0,34
<i>Medel</i>	<i>0,31</i>	<i>0,56</i>	<i>0,85</i>	<i>0,31</i>	<i>0,34</i>

Vad gäller alkaliandelen (tabell B5:1) (ekvation 3), som ger ett mått på nivån hos smältpunkter i salter och silikater, så ligger halm (0,55) inom det farliga området (>0,3), medan tall (0,22) och rörflen (0,28) ligger utanför (tabell 31: Inget). Samtliga glycerinsorter (0,96–1,00) ligger en bra bit in i det farliga området. Risken är därför stor att glycerinsorterna påverkar asksmältpunkterna i negativ riktning (mot lägre temperaturer) vid inblandning i bränsleslagen. Detta nyckeltal stämmer bra med observerad betydligt lägre asksmältpunkt för halm (flyttemperatur 1 040°C) jämfört med rörflen (flyttemperatur 1 540°C) och tall (flyttemperatur 1 350°C) (se tabell 27 och tabell B3:2, bilaga 3). För glycerinen låg flyttemperaturerna på 880–1 100°C (tabell B3:1). Den höga andelen kalium i halmen och glycerinsorterna, och för glycerin 2b även natrium, är något som här slår igenom. Tillsammans tyder detta på att alkaliandel är ett viktigt nyckeltal för de studerade bränslena och glycerinsorterna.

Tabell 31. Alkaliandel, riskområde >0,3, vid tillsats av olika glycerinsorter i olika mängder

Bränsle / Sort av glycerin	Alkaliandel				
	Inget	1 % uppmätt	5 % uppmätt	1 % beräknat	5 % beräknat
Halm	Inget	1 % uppmätt	5 % uppmätt	1 % beräknat	5 % beräknat
Glycerin 1a	0,55	0,56	0,58	0,55	0,56
Glycerin 1b		0,53	n.a.	0,55	0,56
Glycerin 2a		0,56	0,56	0,55	0,55
Glycerin 2b		0,57	n.a.	0,55	0,56
<i>Medel</i>	<i>0,55</i>	<i>0,55</i>	<i>0,57</i>	<i>0,55</i>	<i>0,56</i>
Rörflen	Inget	1 % uppmätt	5 % uppmätt	1 % beräknat	5 % beräknat
Glycerin 1a	0,28	0,32	0,44	0,29	0,35
Glycerin 1b		n.a.	n.a.	0,29	0,34
Glycerin 2a		0,35	n.a.	0,28	0,32
Glycerin 2b		n.a.	n.a.	0,29	0,36
<i>Medel</i>	<i>0,28</i>	<i>0,33</i>	<i>0,44</i>	<i>0,29</i>	<i>0,34</i>
Tall	Inget	1 % uppmätt	5 % uppmätt	1 % beräknat	5 % beräknat
Glycerin 1a	0,22	0,31	0,58	0,22	0,23
Glycerin 1b		0,35	n.a.	0,22	0,23
Glycerin 2a		0,32	0,34	0,22	0,23
Glycerin 2b		0,38	n.a.	0,22	0,23
<i>Medel</i>	<i>0,22</i>	<i>0,34</i>	<i>0,46</i>	<i>0,22</i>	<i>0,23</i>

Vad gäller fältspattalet (ekvation 4), som mäter förekomst av eller bildning av lättmetall-aluminosilikater, så ligger samtliga bränsleslag (38–275) (se tabell B5:1 och tabell 32: Inget) långt in i det farliga området (> 6). Glycerinsorterna 1a, 1b och 2b ligger utanför det farliga området, medan glycerin 2a (6,9) ligger en liten bit in i det farliga området. Tillsammans tyder detta på att fältspattalet inte är något viktigt nyckeltal för de studerade bränslena och glycerinsorterna. Fältspattalet studerar dessutom förhållandet mellan kisel och aluminium, som endast ingår i mycket små mängder (tabell B3:1) i de studerade glycerinsorterna.

Tabell 32. Fältspattal, riskområde >6, vid tillsats av olika glycerinsorter i olika mängder

Bränsle / Sort av glycerin		Fältspattal			
Halm	Inget	1 %	5 %	1 %	5 %
		uppmätt	uppmätt	beräknat	beräknat
Glycerin 1a	155,0	249,7	290,7	154,4	151,7
Glycerin 1b		235,3	n.a.	153,5	147,5
Glycerin 2a		204,6	229,0	154,8	153,8
Glycerin 2b		295,0	n.a.	154,6	152,9
<i>Medel</i>	155,0	246,2	259,9	154,3	151,5
Rörflen	Inget	1 %	5 %	1 %	5 %
		uppmätt	uppmätt	beräknat	beräknat
Glycerin 1a	275,3	309,0	286,9	274,5	270,7
Glycerin 1b		n.a.	n.a.	273,3	264,7
Glycerin 2a		317,7	n.a.	275,0	273,7
Glycerin 2b		n.a.	n.a.	274,8	272,3
<i>Medel</i>	275,3	313,3	286,9	274,4	270,3
Tall	Inget	1 %	5 %	1 %	5 %
		uppmätt	uppmätt	beräknat	beräknat
Glycerin 1a	38,4	19,2	45,0	38,4	38,3
Glycerin 1b		45,0	n.a.	38,4	38,2
Glycerin 2a		55,6	57,1	38,4	38,4
Glycerin 2b		43,1	n.a.	38,4	38,4
<i>Medel</i>	38,4	40,7	51,0	38,4	38,3

Vad gäller eutektikumstalet (ekvation 5), som beskriver risken för bildning av silikatglas med askegen kisel syra med risk för smältpunktssänkning i salter eller silikater, så är det bara glycerin 2b (0,53) (tabell B5:1) som ligger inom riskområdet (0,2–0,8) på grund av sin höga natriumhalt (tabell B3:1). Bränsleslagen och övriga glycerinsorter ligger långt från riskområdet beroende på låga natriumhalter (tabell 33: Inget).

Tabell 33. Eutektikumstal, riskområde 0,2–0,8, vid tillsats av olika glycerinsorter i olika mängder

Bränsle / Sort av glycerin		Eutektikumstal			
Halm	Inget	1 %	5 %	1 %	5 %
		uppmätt	uppmätt	beräknat	beräknat
Glycerin 1a	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Glycerin 1b		0,01	n.a.	0,01	0,01
Glycerin 2a		0,01	0,01	0,01	0,02
Glycerin 2b		0,02	n.a.	0,02	0,05
<i>Medel</i>	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Rörflen	Inget	1 %	5 %	1 %	5 %
		uppmätt	uppmätt	beräknat	beräknat
Glycerin 1a	0,04	0,03	0,02	0,04	0,03
Glycerin 1b		n.a.	n.a.	0,04	0,03
Glycerin 2a		0,03	n.a.	0,04	0,04
Glycerin 2b		n.a.	n.a.	0,08	0,19
<i>Medel</i>	0,04	0,03	0,02	0,05	0,07
Tall	Inget	1 %	5 %	1 %	5 %
		uppmätt	uppmätt	beräknat	beräknat
Glycerin 1a	0,13	0,08	0,03	0,13	0,12
Glycerin 1b		0,08	n.a.	0,13	0,12
Glycerin 2a		0,08	0,09	0,13	0,12
Glycerin 2b		0,11	n.a.	0,14	0,17
<i>Medel</i>	0,13	0,09	0,06	0,13	0,13

Vad gäller saltkvoten, som mäter risken för bildning av lågsmltande saltblandningar som kvoten mellan andelen svavel plus klor och mängden alkalimetaller (se ekvation 6), så ligger samtliga bränsleslag (0,34–1,15) (tabell B5:1 och tabell 34: Inget) inom riskområdet (0,2–4). Båda de alkaliska glycerinsorterna (0,02–0,04) ligger långt från riskområdet. Av de sura glycerinsorterna med hög svavelhalt ligger glycerinsorten 2a alldeles utanför gränsområdet (4,4) (tabell B5:1), medan glycerin 2b ligger precis innanför riskområdet (3,9). Det förhållandet att alla bränsleslagen ligger inom riskområdet kan göra att resultatet, vad gäller saltkvoten från bränsle/glycerin-blandningarna, bör tolkas med viss försiktighet. Dessutom är observationerna att halmaskan har låg smältpunkt, men så inte rörfrens- och tallaskorna (tabell 27).

Tabell 34. Saltkvot, riskområde 0,2–4, vid tillsats av olika glycerinsorter i olika mängder

Bränsle / Sort av glycerin	Saltkvot				
	Inget	1 % uppmätt	5 % uppmätt	1 % beräknat	5 % beräknat
Halm					
Glycerin 1a	0,34	0,34	0,25	0,34	0,33
Glycerin 1b		0,32	n.a.	0,34	0,33
Glycerin 2a		0,35	0,40	0,37	0,46
Glycerin 2b		0,29	n.a.	0,39	0,56
<i>Medel</i>	0,34	0,32	0,32	0,36	0,42
Rörflen	Inget	1 % uppmätt	5 % uppmätt	1 % beräknat	5 % beräknat
Glycerin 1a	1,15	0,83	0,55	1,06	0,80
Glycerin 1b		n.a.	n.a.	1,08	0,87
Glycerin 2a		0,76	n.a.	1,27	1,72
Glycerin 2b		n.a.	n.a.	1,36	2,01
<i>Medel</i>	1,15	0,80	0,55	1,20	1,35
Tall	Inget	1 % uppmätt	5 % uppmätt	1 % beräknat	5 % beräknat
Glycerin 1a	0,84	0,32	0,21	0,83	0,77
Glycerin 1b		0,30	n.a.	0,83	0,78
Glycerin 2a		0,71	0,83	0,87	1,00
Glycerin 2b		0,71	n.a.	0,90	1,13
<i>Medel</i>	0,84	0,51	0,52	0,86	0,92

Vad gäller kvoten, S/Cl, som mäter svavelöverskottet, så ligger halm (0,63) (tabell B5:1 och tabell 35: Inget) långt in i riskområdet (<2) medan rörflen ligger precis innanför riskområdet (1,99) och tall utanför (2,21). Av glycerinsorterna ligger bara glycerin 1b inom riskområdet (0,76) (tabell B5:1), medan övriga glycerinsorter ligger utanför (5–112). För halm, stämmer observationen av att halm ofta ger korrosion i samband med alkaliklorider i rökgaserna (Nikolaisen m.fl., 1998; Bernesson & Nilsson, 2005), med att kvoten S/Cl ligger inom riskområdet. Då de sura glycerinsorterna 2a och 2b har höga svavelhalter, och glycerin 2b även en hög klorhalt (se tabell B3:1), så därför skulle särskilt glycerin 2a kunna medverka till att kvoten S/Cl höjs vid tillsats, och därmed kunna minska risken för korrosion i samband med alkaliklorider i rökgaserna. Detta stöds i tabell 35 av högre S/Cl kvoter då de sura glycerinsorterna, och då särskilt för glycerin 2a, då de tillsätts de olika bränsleslagen. Detta tyder på att kvoten S/Cl är viktig vid bedömning om risk för korrosion i samband med alkaliklorider i rökgaserna föreligger.

Tabell 35. S/Cl, riskområde <2, vid tillsats av olika glycerinsorter i olika mängder

Bränsle / Sort av glycerin		S/Cl			
Halm	Inget	1 % uppmätt	5 % uppmätt	1 % beräknat	5 % beräknat
Glycerin 1a	0,63	0,59	0,47	0,63	0,64
Glycerin 1b		0,48	n.a.	0,63	0,63
Glycerin 2a		0,59	0,62	0,71	1,07
Glycerin 2b		0,35	n.a.	0,75	1,21
<i>Medel</i>	0,63	0,50	0,55	0,68	0,89
Rörflen	Inget	1 % uppmätt	5 % uppmätt	1 % beräknat	5 % beräknat
Glycerin 1a	1,99	2,21	1,77	1,99	2,00
Glycerin 1b		n.a.	n.a.	1,98	1,96
Glycerin 2a		1,99	n.a.	2,37	3,94
Glycerin 2b		n.a.	n.a.	2,34	3,24
<i>Medel</i>	1,99	2,10	1,77	2,17	2,78
Tall	Inget	1 % uppmätt	5 % uppmätt	1 % beräknat	5 % beräknat
Glycerin 1a	2,21	1,11	2,21	2,21	2,21
Glycerin 1b		1,11	n.a.	2,21	2,20
Glycerin 2a		3,32	3,32	2,34	2,88
Glycerin 2b		2,21	n.a.	2,33	2,75
<i>Medel</i>	2,21	1,93	2,76	2,27	2,51

Miles index (ekvation 7) mäter alkalihålllet i förhållande till askhalten och kalorimetriska värmevärdet. Halm (0,67) (tabell B5:1 och tabell 36: Inget) ligger klart inom riskområdet (>0,34) vilket inte tall (0,04) och rörflen (0,17) gör. Glycerinsorterna 1a, 1b, och 2b (0,52–1,02) ligger klart inom riskområdet, medan glycerin 2a (0,21) ligger utanför riskområdet (>0,34), även om det ligger inom området för tveksamma bränslen (0,17–0,33). Orsaken till att glycerin 2a får ett lägre värde är främst dess lägre askhalt (2,4 %, tabell B3:1) jämfört med övriga glycerinsorter (4,3–6,6 %). Ovan nämnda observation för glycerin 2a stöds även av observationen att asksmältpunkterna är högre för denna sort av glycerin (1 000°C för begynnande sintring och 1 100°C för helt smält aska, tabell B3:1) jämfört med övriga glycerinsorter (820–920°C för begynnande sintring och 880–990°C för helt smält aska). Att Miles index stämmer med gjorda observationer tyder på att detta nyckeltal är viktigt vid studier av glycerinblandning i bränslen.

Tabell 36. Miles index, riskområde >0,34, vid tillsats av olika glycerinsorter i olika mängder

Bränsle / Sort av glycerin		Miles index				
Halm	Inget	1 %	5 %	1 %	5 %	
		uppmätt	uppmätt	beräknat	beräknat	
		0,67	0,72	0,78	0,67	0,66
			0,72	n.a.	0,68	0,69
			0,69	0,67	0,67	0,64
			0,70	n.a.	0,68	0,71
<i>Medel</i>	<i>0,67</i>	<i>0,71</i>	<i>0,72</i>	<i>0,67</i>	<i>0,68</i>	
Rörflen	Inget	1 %	5 %	1 %	5 %	
		uppmätt	uppmätt	beräknat	beräknat	
		0,17	0,20	0,31	0,17	0,21
			n.a.	n.a.	0,17	0,20
			0,24	n.a.	0,17	0,18
			n.a.	n.a.	0,18	0,22
<i>Medel</i>	<i>0,17</i>	<i>0,22</i>	<i>0,31</i>	<i>0,17</i>	<i>0,21</i>	
Tall	Inget	1 %	5 %	1 %	5 %	
		uppmätt	uppmätt	beräknat	beräknat	
		0,04	0,07	0,18	0,05	0,08
			0,07	n.a.	0,05	0,09
			0,07	0,06	0,05	0,06
			0,10	n.a.	0,06	0,11
<i>Medel</i>	<i>0,04</i>	<i>0,08</i>	<i>0,12</i>	<i>0,05</i>	<i>0,08</i>	

4.6.2 Nyckeltal för bränsle/glycerin-blandningarna

För bränsle/glycerin-blandningarna finns nyckeltal som tagits fram på två olika sätt: dels a) beräknats utifrån den sammansättning som erhålls på bränsle/glycerin-blandningarna då deras sammansättning beräknats teoretiskt från respektive bränsleslags och glycerinsorts kemiska sammansättning då dessa adderas (se tabellerna B5:4-5, B5:12-13 och B5:20-21 och tabellerna 29-36), och dels b) beräknats utifrån den kemiska sammansättning som erhållits vid kemiska analyser av vissa av bränsle/glycerin-blandningarna (se tabellerna B5:8-9, B5:16-17 och B5:24-25 och tabellerna 29-36). Vid de teoretiska beräkningarna av sammansättningarna kommer man ifrån problemet att variationen mellan de kemiska analyserna är så stor (variationskoefficienterna så höga) att de trender som glycerintillsatserna orsakar på nyckeltalen kan bli svåra att observera. Å andra sidan ger de kemiska analyserna en uppfattning om analyserna av det rena bränslet är representativt eller ej. Om så ej är fallet (nyckeltalen utifrån teoretiskt beräknad sammansättning och nyckeltalen utifrån kemiska analyser ej stämmer överens) får det sannolika verkliga resultatet erhållas efter en diskussion utifrån var detta bör ligga.

Glycerinhalten i bränsle/glycerin-blandningarna beräknades så att den motsvarade 1 % eller 5 % rent glycerin på samma sätt som gjordes i pelleteringsförsöken i det här projektet (se kapitel 3.1.1, tabell 1).

4.6.2.1 Halm/glycerin-blandningar

Nyckeltal utifrån teoretisk sammansättning:

För halm, påverkas inget av nyckeltalen så mycket, vid tillsats av någon av glycerinsorterna (tabellerna 29-36 och tabell B5:4), att man kommer in i eller ut ur ett farligt område där det rena halmbränslet placerat sig. Detta då nyckeltalen beräknats utifrån teoretisk sammansättning.

Eutektikumstalet, som ligger mycket lågt i rent halmbränsle, påverkas med upp till +437 % (tabell B5:5) vid tillsats av glycerin 2b. Orsaken till detta är att glycerin 2b har en hög natriumhalt (tabell B3:1). Påverkan är dock inte på långa vägar så stor att man kommer i närheten av något farligt område.

Saltkvoten och kvoten S/C1 påverkas av de båda sura glycerinsorterna 2a och 2b beroende på att dessa innehåller svavel. Tillsats av glycerin 2a leder till att saltkvoten stiger med 7–72 % (tabell B5:5), och hamnar på 0,37–0,59 (se tabell 34 och tabell B5:4), och till att S/C1 stiger med 13–146 % (tabell B5:5) och hamnar på 0,71–1,56 (se tabell 35 och tabell B5:4), som båda liksom för det rena halmbränslet ligger inom de farliga områdena (0,2–4 för saltkvoten och <2 för S/C1). Tillsats av glycerin 2b leder till att saltkvoten stiger med 13–130 % (tabell B5:5) och hamnar på 0,39–0,79 (tabell 34 och tabell B5:4), och till att S/C1 stiger med 19–174 % (tabell B5:5) och hamnar på 0,75–1,73 (tabell 35 och tabell B5:4), som båda liksom för det rena halmbränslet ligger inom de farliga områdena (0,2–4 för saltkvoten och <2 för S/C1).

Tillsammans indikerar värdena, som erhållits i analysen ovan av nyckeltalen, att tillsatsen av glycerin (alla sorterna) till halm, med en hög askhalt med höga kaliumhalter, inte påverkar askans smält- och slaggningssegenskaper märkbart, och så ej heller risken för korrosion i samband med alkaliklorider.

Nyckeltal utifrån kemiska analyser:

Vid beräkning av nyckeltalen, utifrån kemiska analyser av halmen, påverkas endast ett nyckeltal, förglasningstalet för 1 % tillsats av glycerin 1a så det blir 0,99 (tabell 30 och tabell B5:8) och precis kommer in i det farliga området. I övrigt påverkas inget nyckeltal så mycket, av någon glycerinsort, att man kommer in i eller ut ur ett farligt område där det rena halmbränslet placerat sig.

För glycerin 2a, vid 5 % inblandning, ökar alkalinitetstalet med 36 % och förglasningstalet med 46 % (se tabell B5:9), där dessa nyckeltal bara borde ha ändrats ett par procentenheter (se tabell B5:5).

Fältspattalen som nästan inte borde ha påverkats alls har ökat med 32–90 % (se tabell B5:9) beroende på tillsatt mängd och sort av glycerin. Detsamma gäller för eutektikumstalen för glycerin 1a, 2a, och 1b som minskat med 30–42 % (se tabell B5:9), där de inte borde ha påverkats mer än ett par procentenheter (tabell B5:5). För glycerin 2b (1 % tillsats) har eutektikumstalet ökat med 53 % (tabell B5:9) till 0,02 (tabell 33 och tabell B5:8), vilket ligger i nivå med vad som kunde förväntas (tabell B5:5).

Saltkvoten minskar med 17 % (tabell B5:9) för glycerin 2b (1 % tillsats) där den istället på grund av en hög svavelhalt i glycerinet borde ha ökat med 12,5 % (tabell B5:5). För 5 % inblandning av glycerin 1a minskar saltkvoten 27 % (tabell B5:9) där den borde ha minskat med ungefär 6 % (tabell B5:5). För glycerin 2a, med 5 % inblandning, har saltkvoten ökat med 15 % (tabell B5:9) där den borde ha ökat med 35 % (tabell B5:5).

För glycerin 1a (5 % tillsats) och 1b (1 % tillsats) har S/C1 minskat med 25 % respektive med 23 % (tabell B5:9) där den borde ha varit näst intill konstant (tabell B5:5). För glycerin 2b (1 % tillsats) har S/C1 minskat med 45 % (tabell B5:9) där den borde ha stigit med ca 19 % (tabell B5:5).

Miles index har endast ändrats i mindre omfattning baserat på de kemiska analyserna.

Diskussion om var det verkliga resultatet bör ligga:

En orsak till skillnaderna hos indexen då dessa baserats på beräkningar utifrån sammansättningen, och jämfört med då dessa baserats på kemiska analyser, är att kaliumhalterna som ingår i flertalet index var högre i de flesta halm/glycerin-blandningarna än de borde varit i förhållande till kaliumhalten i ren halm (se tabell 12). Orsaken till detta är att kaliumhalten i provet för ren halm (som ligger till grund till de beräknade värdena) på grund av slumpen blev lägre än vad den borde ha blivit. För natrium gäller det omvända, men då mängderna här var mindre borde det vara av mindre betydelse. Tillsammans gör detta, och de ovan beskrivna avvikelserna från förväntade värden hos indexen, att nyckeltal utifrån kemiska analyser av halm/glycerin-blandningar måste studeras med stor försiktighet, då de innehåller en stor andel slumpmässig variation. Nyckeltalen blir lättare att förstå om de studeras tillsammans med beräkningar där bränsleblandningars ingående komponenter, utifrån sina kemiska analyser, teoretiskt lagts ihop.

Nyckeltalen, utifrån teoretiskt beräknade sammansättningar hos halm/glycerin-blandningar, som jämförts med nyckeltal utifrån kemiska analyser av halm/glycerin-blandningar, har visat att halmens asksmältgenskaper och sintringsgenskaper endast påverkas i mycket ringa grad av inblandningen av de olika glycerinsorterna.

4.6.2.2 Rörflen/glycerin-blandningar

Nyckeltal utifrån teoretisk sammansättning:

För rörflen, påverkas nyckeltalet alkaliandel, som i det ursprungliga bränslet ligger på 0,28 mycket nära gränsen till det farliga området ($>0,3$), så att det för samtliga glycerinsorter vid tillsats av 5 och 10 % glycerin hamnar inom det farliga området (värden på 0,32–0,43) (se tabell 31 och tabell B5:12). Dessutom hamnar alkaliandelen inom det farliga området vid tillsats av 2 % glycerin 1a (0,31), 1b (0,30) och 2b (0,31). Detta tyder på en ökad risk för låga smältpunkter hos askan vid tillsats av större mängder glycerin, vilket stämmer med observationen att försöksled Gly14 (5 % tillsats av glycerin 1a, som rent glycerin) givit lägre asksmältpunkter, begynnande sintring vid 720°C istället för 900°C och flyttemperatur 1 370°C istället för 1 540°C (se tabell 27 och tabell B3:2). Emellertid så var andelen sintrat lägre (6,0 % av totala mängden aska) för Gly14 jämfört med ren rörflenspellets (7,7 % av totala mängden aska) i eldningsförsöken (Tabell 25 och tabell B4:1).

Miles index påverkas så att alla värden ökar något, och går från säkra 0,165 för rent rörflen till tveksamma (tveksamt intervall: 0,17–0,33) 0,172–0,286, för alla rörflens/glycerin-blandningar utom för 1 % inblandning av glycerin 2a som ger säkra 0,169 (se tabell 36 och tabell B5:12). Detta motsvarar att Miles index ökat med 2,0–73 % (se tabell B5:13) beroende på mängd och sort av tillsatt glycerin.

Kvoten S/Cl, som i det ursprungliga bränslet ligger på 1,99 (tabell 35 och tabell B5:12) inom det farliga området men mycket nära gränsen till det farliga området (<2), och hamnar utanför det farliga området för glycerin 2a (2,37–6,06) och glycerin 2b (2,34–3,83) samt för 5–10 % inblandning av glycerin 1a (2,00–2,02) (tabell 35 och tabell B5:12). Detta skulle kunna tyda på en minskad risk för korrosion i samband med alkaliklorider, vid inblandning av de tre ovan nämnda glycerinsorterna.

Eutektikumstalet, som beskriver risken för bildning av silikatglas med askegen kiselsyra, ökar mycket kraftigt (+101– +644 %) med ökad tillsats av natriumrikt glycerin 2b, och hamnar (0,29) inom det farliga området (0,2–0,8) vid tillsats av 10 % glycerin (se tabell 33 och tabell-

erna B5:12-13). Vid tillsats av övriga natriumfattiga glycerinsorter påverkas knappt det mycket låga eutektikumstalet i rörflen alls.

Inget av de övriga nyckeltalen påverkas så mycket vid tillsats av någon av glycerinsorterna (se tabellerna 29-36 och tabell B5:12) att man kommer in i eller ut ur ett farligt område där det rena rörflensbränslet placerat sig. Detta då nyckeltalen beräknats utifrån den sammansättning som erhålls på rörflens/glycerin-blandningarna då deras sammansättning beräknats teoretiskt från rörflenets och glycerinsorternas kemiska sammansättning.

Saltkvoten påverkas av de båda sura glycerinsorterna 2a och 2b beroende på att dessa innehåller svavel. Tillsats av glycerin 2a leder till att saltkvoten stiger med 11–88 % (tabell B5:13), och hamnar på 1,27–2,16 (tabell 34 och tabell B5:12), och tillsats av glycerin 2b leder till att saltkvoten stiger med 19–120 % (tabell B5:13) och hamnar på 1,36–2,53 (tabell 34 och tabell B5:12), som båda liksom för det rena rörflensbränslet ligger inom de farliga områdena (0,2–4).

Även kvoten S/C1 påverkas av de båda sura glycerinsorterna 2a och 2b beroende på att dessa innehåller svavel. Tillsats av glycerin 2a leder till att kvoten S/C1 stiger med 19–204 % (tabell B5:13) och hamnar på 2,37–6,06 (tabell 35 och tabell B5:12), och tillsats av glycerin 2b leder till att S/C1 stiger med 18–92 % (tabell B5:13) och hamnar på 2,34–3,83 (tabell 35 och tabell B5:12), som båda till skillnad från det rena rörflensbränslet (1,99, tabell 35 och tabell B5:12) ligger utanför det farliga området (<2). Vid tillsats av glycerin 1a, ökar S/C1 bara med 0,1–1,4 % (tabell B5:13), och går från 1,99 innanför det farliga området till 2,02 utanför det farliga området (tabell 35 och tabell B5:12), vid tillsats av 1–10 %. Omvänt minskar S/C1 med 0,3–2,8 % och går från 1,99 till 1,98–1,93 inom det farliga området vid tillsats av 1–10 % glycerin 1b.

Vid stora glycerintillsatser påverkas även förglasningstalet mycket (+46– +100 % vid 10 % glycerintillsats beroende på sort) (se tabell B5:13), men ej så mycket att man kommer in i eller nära ett farligt område (0,2–1) (se tabell 30 och tabell B5:12). Alkalinetstalet påverkas i betydligt mindre utsträckning (+12– +26 % vid 10 % glycerintillsats beroende på sort) (se tabell B5:13), vilket inte på långa vägar innebär att man kommer i närheten av ett farligt område (>0,8) (se tabell 29 och tabell B5:12). Detta innebär att riskerna för bildning av lågsmltande sodaglas i askan, respektive riskerna för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial, bör vara små vid tillsats av studerade glycerinsorter till rörflen.

Nyckeltal utifrån kemiska analyser:

Vid beräkning av nyckeltalen, utifrån kemiska analyser av rörflenet, har förutom att alla värden för alkaliandel gick in i det farliga området, man i bara ett fall (kvoten S/C1) kommit in i eller ut ur ett farligt område i jämförelse med rent rörflensbränsle (tabellerna 29-36 och tabell B5:16).

För alkaliandelen rörde sig alla värden från ofarliga 0,28 till farliga 0,32–0,44 (tabell 31 och tabell B5:16). Alkaliandelen har, vid beräkning utifrån de kemiska analyserna jämfört med beräkning utifrån teoretisk sammansättning, rört sig i samma riktning med ungefär det dubbla, vid analyser för glycerin 1a (vid 1 % inblandning +16 % jämfört med +6 %, och vid 5 % inblandning +58 % jämfört med +28 %, se tabellerna B5:17 och B5:13), och +26 % mot förväntat +2,9 % för 1 % tillsats av glycerin 2a. De höga kaliumhalterna vid de kemiska analyserna (tabell B3:2) finns, vid beräkning av alkaliandelen, med både i täljaren och i nämnaren (se ekvation 3).

För 1 % tillsats av glycerin 1a har kvoten S/C1 lämnat det farliga området (<2) och hamnat på 2,21, medan den vid 5 % tillsats är tillbaka i farligt område och ligger på 1,77 (tabell 35 och tabell B5:16). Detta är tvärtom mot resultaten från de teoretiska beräkningarna, där 1 % tillsats av glycerin 1a hamnar på farliga 1,99 och 5 % tillsats av glycerin 1a hamnar på 2,00, precis utanför det farliga området (tabell 35 och tabell B5:12). 1 % tillsats av glycerin 2a ligger på 1,99 precis inom det farliga området (tabell 35 och tabell B5:16), då de teoretiska beräkningarna ger 2,37 (tabell 35 och tabell B5:12) utanför det farliga området. Trots dessa vandringar in och ut ur farligt område blir de procentuella rörelserna små för kvoten S/C1. Detta betyder rörelser på +11 % respektive -11 % (tabell 35 och tabell B5:17), för 1 % respektive 5 % inblandning av glycerin 1a, där kvoten borde ha varit oförändrad (+0,1 % respektive +0,7 %, tabell B5:13) för glycerin 1a. Kvoten har varit oförändrad (0 %) (tabell B5:17) där den borde ha stigit med 19 % (tabell B5:13) för 1 % inblandning av glycerin 2a. Orsaken är att svavelhalten mellan proverna varierat mer än inflytandet från glycerinet.

Alkalinitetstalen som borde ha rört sig uppåt, har istället rört sig neråt med 4,5–6,4 %-enheter (tabell 29 och tabellerna B5:17 och B5:13), vilket bl.a. beror på att kiselhalterna i de prover med glycerin som analyserats (tabell 16 och tabell B3:2) varit betydligt högre än i provet med rent rörfilen (2Si i nämnaren, se ekvation 1). Kisel är det ämne som förekommer i högst koncentration i rörfilensaskan.

Fältspattalen har rört sig i motsatt riktning mot förväntat, men det har liten betydelse då rörelserna endast är 4–15 % (tabell 32 och tabellerna B5:13 och B5:17). Även här är det höga kiselhalter i aska från rörfilen med glycerinblandning som är problemet (2Si i täljaren, se ekvation 4).

Eutektikumstalen har rört sig i förväntad riktning, men betydligt mer än vad de nyckeltal som beräknats för rörfilens/glycerin-blandningarnas teoretiska sammansättningar anger (-17– -49 %, tabell B5:17, mot förväntat -1,5– -30 %, tabell B5:13). Här är det de högre kaliumhalterna i aska från rörfilen med glycerinblandning som är problemet (se tabell 12 och tabell B3:2). Kalium finns i nämnaren i ekvation 5.

Saltkvoterna har, för glycerin 1a, rört sig i förväntad riktning, men betydligt mer än vad de nyckeltal som beräknats för rörfilens/glycerin-blandningarnas teoretiska sammansättningar anger (-28– -53 %, tabell B5:17, mot förväntat -7,5– -30 %, tabell B5:13, se även tabell 34). För glycerin 2a har saltkvoten minskat med 33 % (tabell B5:17) där den förväntades öka med 11 % (tabell B5:13). Även här är det de högre kaliumhalterna i aska från rörfilen med glycerinblandning som är problemet (se tabell 12 och tabell B3:2). Kalium finns i nämnaren i ekvation 6.

Miles index för glycerin 1a och glycerin 2a (0,20–0,31, tabell B5:16) hamnade i det tveksamma området (0,17–0,33), och dessutom rörde sig indexet betydligt mer (+18– +85 %, tabell 36 och tabell B5:17) än de värden som beräknats från den teoretiska sammansättningen (+2,0– +28 %, tabell B5:13) från det ingående rörfilens och glycerinsorternas kemiska sammansättning. Orsaken är de högre kaliumhalterna i rörfilensproverna med glycerinblandning (se tabell 12 och bilaga B3:2). Kalium finns i täljaren i ekvation 7.

Förglasningstalen har rört sig så som man kunde förvänta sig utifrån de nyckeltal som beräknats för rörfilens/glycerin-blandningarnas teoretiska sammansättning från rörfilens och de olika glycerinsorterna (tabell 30 och tabellerna B5:17 och B5:13). Orsaken är att de för höga kaliumhalterna finns i täljaren och de för höga kiselhalterna i nämnaren (tabell B3:2) för proverna med glycerinblandning, och dessa tar då till stor utsträckning ut varandra, se ekvation 2.

Tillsammans gör de ovan diskuterade avvikelserna från förväntade värden, att nyckeltal utifrån kemiska analyser av rörfbens/glycerin-blandningar måste studeras med stor försiktighet, då de innehåller en stor andel slumpmässig variation. Nyckeltalen blir lättare att förstå om de studeras tillsammans med beräkningar där bränsleblandningars ingående komponenter, utifrån sina kemiska analyser, teoretiskt lagts ihop. Nyckeltalen utifrån de kemiska analyserna ger en uppfattning om mätningarnas förhållandevis stora osäkerhetsnivå.

Diskussion om var det verkliga resultatet bör ligga:

Nyckeltalen, utifrån teoretiskt beräknade sammansättningar hos rörfbens/glycerin-blandningarna, som jämförts med nyckeltal utifrån kemiska analyser av rörfbens/glycerin-blandningarna, har visat att rörfbens asksmältegenskaper och därmed sintringsegenskaper påverkas då glycerin tillsätts rörfbenet. Detta stämmer med observationer av askans smältpunkter (begynnande sintring vid 900°C för rent rörfben och vid 720–920°C för rörfben med inblandning av glycerin; flyttemperatur 1 540°C för rent rörfben och vid 1 370–1 550°C för rörfben med inblandning av glycerin, tabell 27).

Man bör alltså vara observant på askans smältegenskaper då både alkaliandel (mäter nivå på smältpunkter i salter och silikater) och Miles index (mäter alkaliandel i förhållande till värmevärde) ligger nära sina farliga områden och ibland inom dessa. Detta gör att förändringar i det ingående rörfbensbränslets sammansättning lätt kan påverka resultatet och därmed vilket inflytande alkalimetallerna i det tillsatta glycerinet får på rörfbens/glycerin-blandningarnas asksmältegenskaper. Avvikelserna från förväntade värden hos indexen, gör att nyckeltal utifrån kemiska analyser av rörfbens/glycerin-blandningar måste studeras med försiktighet då de innehåller en stor andel slumpmässig variation. Denna variation ger ett mått på osäkerheten hos de erhållna nyckeltalen. Nyckeltalen blir lättare att förstå om de studeras tillsammans med beräkningar där bränsleblandningars ingående komponenter, utifrån sina kemiska analyser, teoretiskt lagts ihop.

4.6.2.3 Tall/glycerin-blandningar

Nyckeltal utifrån teoretisk sammansättning:

För tall, påverkas inget av nyckeltalen så mycket vid tillsats av någon av glycerinsorterna (tabellerna 29-36 och tabell B5:20) att man kommer in i eller ut ur ett farligt område där det rena tallbränslet placerat sig. Detta då nyckeltalen har beräknats utifrån ingående bränslets teoretiska sammansättning.

För alkalinitetstalen och fältspattalen är förändringarna vid tillsatsen av glycerinsorterna obefintliga (tabellerna 29 och 32 och tabell B5:21). Miles index stiger med 6–288 % (tabell 36 och tabell B5:21) beroende på sort av tillsatt glycerin och mängd tillsatt glycerin. En orsak till att Miles index förändras så mycket vid tillsats av glycerin är att det är mycket lågt (0,04, tabell 36 och tabell B5:20) i ren tallpellets. Miles index har kalium i täljaren (se ekvation 7) och ökar därför vid ökade kaliumhalter. Utgår man från låga kaliumhalter, och därmed låga värden på indexet, ger små förändringar av kaliumkoncentrationen en stor förändring av indexet.

Vad gäller förglasningstalen, risken för bildning av lågsmältande sodaglas i askan, så ökar de med 22, 10, 16, och 23 % (tabellerna 30 och B5:21) för glycerinsorterna 1a, 2a, 1b, respektive 2b vid 10 % s tillsats, vilket tyder på en liten men dock påverkan, troligen ej av praktisk betydelse. För förglasningstalet finns kaliumhalten i täljaren (se ekvation 2).

Vad gäller alkaliandelen, nivån på asksmältpunkten i salter och silikater, så ökar dessa med 16, 8, 12, och 17 % (tabellerna 31 och B5:21) för glycerinsorterna 1a, 2a, 1b, respektive 2b vid 10 procents tillsats, vilket tyder på en liten men dock viss påverkan, då de absoluta värdena 0,25, 0,23, 0,24, respektive 0,25 (se tabell B5:20) ligger utanför det farliga området ($>0,3$).

Eutektikumstalet som ligger mycket lågt i rent tallbränsle påverkas med upp till +58 % (tabell 33 och tabell B5:21) vid tillsats av glycerin 2b. Orsaken till denna större påverkan för glycerin 2b är att detta har en hög natriumhalt (tabell B3:1) och eutektikumstalet anger andelen natrium av natrium plus kalium (se ekvation 5). Påverkan är dock inte så stor att man kommer i närheten av något farligt område, mer än just vid tillsats av 10 % glycerin 2b då eutektikumstalet 0,20 erhålls (tabell B5:20), precis innanför gränsen till det farliga området (farligt område 0,2–0,8). För de andra tre glycerinsorterna minskar eutektikumstalen vid tillsats till biobränslena (tabellerna B5:20 och B5:21).

Saltkvoten (ekvation 6) påverkas av de båda sura glycerinsorterna 2a och 2b beroende på att dessa innehåller svavel. Tillsats av glycerin 2a leder till att saltkvoten stiger med 4–40 % (tabell B5:21) och hamnar på 0,87–1,17 (tabell 34 och tabell B5:20), och tillsats av glycerin 2b leder till att saltkvoten stiger med 7–68 % (tabell B5:21) och hamnar på 0,90–1,41 (tabell 34 och tabell B5:20), som båda liksom för det rena tallbränslet ligger inom de farliga områdena (0,2–4). För de andra båda glycerinsorterna minskar saltkvoten vid tillsats till biobränslena (tabellerna B5:20 och B5:21).

Även kvoten S/C1 påverkas av de båda sura glycerinsorterna 2a och 2b beroende på att dessa innehåller svavel. Tillsats av glycerin 2a leder till att kvoten S/C1 stiger med 6–64 % (tabell B5:21) och hamnar på 2,34–3,62 (tabell 35 och tabell B5:20), och tillsats av glycerin 2b leder till att S/C1 stiger med 5–44 % (tabell B5:21) och hamnar på 2,33–3,17 (tabell 35 och tabell B5:20), som båda liksom det rena tallbränslet (2,21) ligger utanför det farliga området (<2). För de andra båda glycerinsorterna är förändringarna av S/C1 obefintliga vid tillsats till biobränslena (tabellerna B5:20 och B5:21).

Nyckeltal utifrån kemiska analyser:

Vid beräkning av nyckeltalen, utifrån kemiska analyser av tallpellets/glycerin-blandningarna hamnade alkaliandelen för samtliga prover (0,31–0,58, tabell 31 och tabell B5:24) en liten bit in i det farliga området ($>0,3$), i kontrast till då alkaliandelen beräknades utifrån den teoretiskt beräknade sammansättningen (0,22–0,25, tabell 31 och tabell B5:20). Orsaken till detta är främst att i de kemiskt analyserade proverna med glycerintillsats, har kaliumhalterna varit högre och kalciumhalterna varit lägre än i det rena tallprovet, som ligger tillgrund för de teoretiska beräkningarna (tabellerna B3:2, 12 och 17). Vid beräkning av alkaliandelen finns kalium i både täljaren och nämnaren (ekvation 3) och dominerar för tall helt över natrium och råder därmed nästan ensam över täljaren. Dessutom finns kalcium och magnesium multiplicerat med 2 i nämnaren (se ekvation 3) vilket gör att låga värden på dessa ger höga tal ut. Dessa observationer styrks av observerade data då temperaturen för begynnande sintring är 1 240°C (tabell 27 och tabell B3:2) för rent tallbränsle och 810–980°C för tallbränsle med glycerin. Temperaturerna för helt flytande aska påverkas dock ej lika mycket då denna temperatur för rent tallbränsle är 1 350°C, och 1 250–1 480°C för tallbränsle med inblandning av glycerin. För inblandning av 5 % glycerin 1a i tallpelletsen, motsvarar vad som sagts ovan, en ökning av alkaliandelen med 166 % (tabell B5:25), medan 1 % inblandning av övriga glycerinsorter resulterar i ökning av alkaliandelen med 41–73 %.

Förglasningstalen, som mäter risken för bildning av lågsmältande sodaglas i askan, hamnar för alla prover, utom ett, liksom för rent tallbränsle i riskområdet (0,2–1). För provet med inblandning av 5 % glycerin 1a hamnar förglasningstalet på 1,26, en bra bit in i det ofarliga området (tabell 30 och tabell B5:24). Högre asksmältpunkter för denna mätpunkt (begynnande sintring 810°C, tabell 27 och tabell B3:2) jämfört med ren tallpellets (begynnande sintring 1240°C) motsägs dock av gjorda observationer. Det här beskrivna förglasningstalet hade stigit med 306 % (tabellerna 30, B5:24 och B5:25) i jämförelse med förglasningstalet för ren tallpellets. Även förglasningstalet för inblandning av 1 % av glycerin 2b steg väldigt mycket (med 137 %, tabellerna 30, B5:24 och B5:25) i jämförelse med ren tallpellets. Orsaken till de höga förglasningstalen är bl.a. höga kaliumhalter (se tabell 12 och tabell B3:2) (kalium i täljaren) (se ekvation 2), jämfört med provet för ren tallpellets.

Miles index, som mäter alkaliinnehåll i förhållande till aska och värmevärde, beter sig på mycket likartat sätt som förglasningstalen, och ökar med 296 % (tabellerna 36, B5:24 och B5:25) vid inblandning av 5 % glycerin 1a, samt ökar med 134 % vid inblandning av 1 % av glycerin 2b. Höga kaliumhalter i proverna som baseras på kemiska analyser, i jämförelse med provet med ren tallpellets (tabell 12 och tabell B3:2), är huvudorsaken till de höga Miles indexen, då Miles index (se ekvation 7) har kalium i täljaren.

Kvoten S/C1 som mäter om det finns tillräckligt med svavel i överskott för att minska korrosionsrisker i samband med alkaliklorider, hamnar innanför riskområdet (<2) vid tillsats av 1 % glycerin 1a (alkaliskt) (1,11, tabell 35 och tabell B5:24) och 1 % glycerin 1b (alkaliskt) (1,11, tabell 35 och tabell B5:24). Dessa observationer stöds av beräkningarna av hög kaliumavgång med rökgaserna (tabell 28 och kapitel 4.5.5) för dessa prover, samt en hög uppmätt mängd partiklar i rökgaserna då dessa prover eldades (se tabell 23). Låga svavelhalter i proverna som baseras på kemiska analyser, i jämförelse med provet med ren tallpellets (tabell 14 och tabell B3:2), är huvudorsaken till de låga S/C1 kvoterna.

Ofta har nyckeltalen beräknade utifrån kemiska analyser av tall/glycerin-bränslena, förändrats med några tiotal procentenheter uppåt eller neråt i jämförelse med rent tallbränsle (tabell B5:25 och tabellerna 29-36). Dessa förändringar av nyckeltalen har nästan alltid varit betydligt större än vad nyckeltalen beräknade utifrån teoretiskt beräknade sammansättningar hos tall/glycerin-blandningarna har angivit (tabell B5:21 och tabellerna 29-36).

Diskussion om var det verkliga resultatet bör ligga:

Nyckeltalen, utifrån teoretiskt beräknade sammansättningar hos tall/glycerin-blandningarna, som jämförts med nyckeltal utifrån kemiska analyser av tall/glycerin-blandningarna, har visat att tallens asksmältegenskaper och därmed sintringsegenskaper till viss del påverkas då glycerin tillsätts tallbränslet. Detta stämmer med observationer av askans smältpunkter.

Avvikelsena från förväntade värden hos indexen, gör att nyckeltal utifrån kemiska analyser av tall/glycerin-blandningar måste studeras med försiktighet, då de innehåller en stor andel slumpmässig variation. Denna variation ger ett mått på osäkerheten hos de erhållna nyckeltalen. Nyckeltalen blir lättare att förstå om de studeras tillsammans med beräkningar där bränsleblandningars ingående komponenter, utifrån sina kemiska analyser, teoretiskt lagts ihop. Variationer i tallbränslets sammansättning före glycerintillsatsen kan i vissa fall ha en ganska stor inverkan på resultaten.

4.6.2.4 Sammanfattning, de olika nyckeltalens användbarhet

Vad gäller nyckeltalen, så har alkaliandel, Miles index, och eutektikumstal bäst stämt med gjorda observationer (krympningstemperatur och flytttemperatur för aska i tabell 27) och även bäst passat in på vad som studerats (alkalimetallerna, främst K men även Na) vid inblandning av glycerin i bränslena. Alkalinitetstalet är även av intresse men ger större avvikelser från gjorda observationer. Saltkvoten är av intresse då surt glycerin som innehåller svavel ska utvärderas, men stämmer ej alltid med gjorda observationer. Kvoten S/Cl har stämt såtillvida, att den indikerat hög risk för korrosion i samband med alkaliklorider där man erfarenhetsmässigt vet att man haft sådana problem (t.ex. för halm). Förglasningstal och fältspattal avviker ofta stort från gjorda observationer, och är därför av mindre intresse.

Man bör dock tänka på att då nyckeltalen, i den här studien, baserats på kemiska analyser av bränslena, har vid nyckeltalsberäkningarna inte kunnat tas någon hänsyn till avgång av alkalimetaller med flera ämnen med rökgaserna och flygaskan. Detta gör att det finns en risk att farligheten i askans smältegenskaper jämfört med de verkliga fallen kan ha överskattats.

4.6.2.5 Sammanfattning, nyckeltalens svar på bränsle/glycerin-blandningarnas egenskaper

Askans smältegenskaper har med stor hjälp av särskilt alkaliandelen i teoretiskt beräknade bränsle/glycerin-blandningar bedömts ha följande egenskaper: Rörflen är känsligt för inblandning av stora (mer än 5 %) mängder glycerin i bränslet, då rörflenet initialt har en låg kaliumhalt, så slår glycerinets kaliumhalt snabbt igenom och påverkar askans smältegenskaper. Även tall är ganska känslig för inblandning av glycerin. Tallbränslet har en låg askhalt, vilket gör att det krävs mindre mängder glycerin för att glycerinets egenskaper ska slå igenom. Detta motverkas emellertid av att tallbränsle har en förhållandevis hög kaliumhalt som gör att det krävs mer kalium från glycerin innan dess egenskaper slår igenom. Halm har en hög askhalt, aska med en hög halt kalium och som redan har låg asksmältpunkt och sintringsproblem. Detta gör att de dåliga egenskaperna från glycerin, vid inblandning i halm, mer drunknar i de dåliga egenskaperna som redan finns. Slutsatsen är: måste man elda glycerin är det smartast att blanda in det i ett bränsle som redan har dåliga eldningsegenskaper (låga asksmältemperaturer) än att förstöra ett bra bränsle.

4.7 Problem med förhöjd metanolhalt m.m. i vissa glycerinsorter

Den höga metanolhalten i vissa av glycerinsorterna (15,6 % i glycerin 2b, 6,8 % i glycerin 1b, och 2,4 % i glycerin 1a, se tabell B3:1, bilaga 3) medför en del problem då metanolen gör att flampunkten blir låg (32,5°C i glycerin 2b, 41°C i glycerin 1b, och 67°C i glycerin 1a). Låg flampunkt innebär en brandrisk vid hanteringen av glycerin och även av glycerin/bränsleblandningarna. Risken borde vara högst vid pelleteringen, då temperaturer kring 70°C uppnås här, vilket gör att en stor del av metanolen i glycerin går bort som lättantändliga metanolångor. Glycerin 2b hade en mycket låg metanolhalt (0,26 %) som ger en hög flampunkt (196°C) som inte innebär några säkerhetsrisker.

Från början var metanolhalten mycket högre i glycerinsorterna 1b och 2b. En stor andel av metanolen kokades bort i dunkarna under en indunstning (se kapitel 3.8). Före denna indunstning har metanolhalten i glycerin 2b respektive 1b beräknats till 41 respektive 14 %. Glycerinhalten, i dessa båda glycerinsorter, beräknades på samma sätt till 39 respektive 64 %. Dessutom gjordes en kompletterande metanolindunstning av glycerin 2b, med rullindunstare, för att detta överhuvudtaget skulle gå att använda vid pelleteringsförsöken. Metanolhalten

sänktes då från 22,1 till 15,6 % och flampunkten steg från 20°C till 32,5°C (se tabell B3:1, bilaga 3).

Metanolen var ganska svår att dunsta bort från glycerinet. Detta påstående stöds av att för glycerin 1a (alkaliskt) hade man på Ecobränsle dunstat bort metanol tills flampunkten översteg 100°C. Metanolhalten uppgick då troligen till några tiondels procentenheter. Några veckor senare gjordes en förnyad analys av detta glycerin, och metanolinnehållet befanns vara 2,4 % och flampunkten 67°C. Förklaringen till detta är troligen att en jämvikt förelåg mellan metylat och metanol. Denna jämvikt har ställt in sig så långsamt att vid den första analysen var flampunkten över 100°C, sedan har jämvikten under de följande dagarna förskjutits mot metanol så att den vid nästkommande analys var på 2,4 % och flampunkten 67°C. Detta gör att för alkaliskt glycerin kan två metanolindunstningar med ett par dagars mellanrum behöva göras för att metanolhalten och därmed flampunkten ska bli tillräckligt låg för att glycerinet inte ska betraktas som brandfarligt. Jämvikter med metylat i glycerinet förekommer bara efter alkalisk omförestring.

Vätskor räknas som brandfarliga om deras flampunkt är lika med eller lägre än 100°C (MSB, 2010). För hantering av stora mängder sådana vätskor kan, beroende på förutsättningarna, tillstånd krävas. För närmare råd angående hanteringen av sådana vätskor hänvisas till MSB:s (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap) hemsida. Brandfarliga vätskor med en flampunkt som är lika med eller lägre än 60°C klassas vid transport som farligt gods Klass 3 (MSB, 2009a). För farligt gods gäller att (MSB, 2009b) avsändaren ska försäkra sig om att:

- det farliga godset är rätt klassificerat och tillåtet för transport;
- endast godkända och lämpliga förpackningar och tankar används;
- godset är rätt märkt och etiketterat;
- de handlingar som krävs för transporten överlämnas till transportören;
- bestämmelser om försändningssätt och transportrestriktioner uppfylls;
- tömnda, ej rengjorda tankar, fordon och containrar är korrekta, märkta och etiketterade.

Dessutom ska transportören försäkra sig om att:

- det farliga godset är tillåtet för transport;
- föreskrivna handlingar finns med i transportenheten;
- fordon, järnvägsvagnar och last inte uppvisar några synliga brister, otätheter eller sprickor och att inga utrustningsdetaljer fattas;
- datum för nästa kontroll av tankar inte har överskridits;
- fordon eller järnvägsvagnar inte är överlastade;
- rätt etiketter och märkning finns på fordon och järnvägsvagnar;
- utrustning som föreskrivs i de skriftliga instruktionerna (transportkort) finns i fordonet vid vägtransport.

Mottagaren ska försäkra sig om att:

- föreskriven rengöring och sanering av fordon, järnvägsvagnar och containrar utförs;
- farligt gods-märkning på fullständigt tömda, rengjorda containrar samt avgasade och sanerade järnvägsvagnar är borttagen.

Det krävs att förare som transporterar farligt gods ska ha genomgått en utbildning för detta. Mer att läsa finns i skriften: Transport av farligt gods, Väg och järnväg 2009-2010 (MSB, 2009b).

Det är alltså ganska omfattande extra krav som ställs vid transporterna om glycerinet blir klassat som farligt gods. Här gäller det för glycerin 1b (flampunkt 41°C) och 2b (flampunkt 32,5°C).

Glycerin 1a och glycerin 1b är, förutom att de innehåller metanol, så alkaliska att de är frätande (har pH värde >13,5 och >10, se tabell B3:1, bilaga 3).

4.8 Ekonomiska beräkningar

Glycerinsorternas värde om dessa: a) fungerar som tillsatsmedel (bindemedel eller smörjmedel), b) fungerar som bränsle tillsammans med ett besvärligt bränsle såsom t.ex. halm, eller c) eldas tillsammans med ett träbränsle vars egenskaper försämras så att det istället motsvarar ett besvärligt bränsle som t.ex. halm, redovisas i tabell 37.

I det första fallet har den aktiva komponenten, rent glycerin, antagits ha ett pris på 3 kr/kg. Detta kan ställas mot att bindemedlen Lignobond och Wafolin kostar 2,8–4,0 kr/kg i Europa. Det kan därför vara rimligt att anta att rent glycerin skulle ha haft ett värde på ca 3 kr/liter om det fungerat som ett tillsatsmedel som förbättrar pelletsens egenskaper. I våra försök har hållfastheten förbättrats något (tabell 3), men ej så mycket att det har någon praktisk betydelse, vid inblandning av 1 % av de båda sura glycerinsorterna i samtliga 3 studerade bränslen. Emellertid så försämrades skrymdensiteten i de nämnda fallen (tabell 5). I beräkningarna har kompenseras för den varierande glycerinhalten i de studerade glycerinsorterna (se tabell B3:1, bilaga 3), vilket är orsaken till skillnaderna i de beräknade priserna för dessa (se tabell 37).

I det andra fallet har det antagits att glycerinsorterna har samma värde (pris per MWh) som bärgad halm. För bärgad halm är genomsnittspriset 155 kr/MWh, vilket beräknats som genomsnittet mellan det högsta (170 kr/MWh) och det lägsta priset (140 kr/MWh) som Nilsson & Bernesson (2010) redovisar för balad halm till en mindre panna i en tätort efter simuleringar av några halmhanteringssystem. Har denna halm ett effektivt värmevärde på 15,95 MJ/kg motsvarar detta ett halmpris på 0,69 kr/kg, ca 10 gånger halmens växtnäringvärde på fältet. Beräknas glycerinsorternas värde utifrån deras effektiva värmevärden (tabell B3:1, bilaga 3) och priset 155 kr/MWh så blir deras ekonomiska värden de som anges i tabell 37.

I diagram 1 redovisas vad som händer om det studerade bränslets, t.ex. halms, värde varierar och hur då råglycerinets värde påverkas, för de studerade glycerinsorterna, vid användning som bränsle där glycerinet fungerar på liknande sätt som det studerade bränslet. Förhållandet är linjärt och ordningsföljden mellan glycerinsorterna påverkas inte om priset på bränslet de blandas in i förändras. Det värdefullaste glycerinet (glycerin 1a) får ett värde på 1 kr/kg (samma som betalats för glycerin till rötning, pers. medd. Lagerfelt, 2008) då det får samma värde som ett bränsle som är värt 177 kr/MWh. För det minst värdefulla glycerinet (glycerin 2b) gäller på samma sätt att det får ett värde på 1 kr/kg då det får samma värde som ett bränsle som är värt 235 kr/MWh. Som en jämförelse kan här nämnas att genomsnittspriset för träflis till värmeverk i Sverige var 181 kr/MWh under 2009 (Energimyndigheten, 2010). Sämre bränslen som t.ex. halm har ett lägre värde. Det blir därför svårt att tänka sig att betalningsviljan för glycerinsorterna skulle kunna bli så hög vid denna typ av användning.

I det tredje fallet antogs att glycerinet blandades in i ett bra bränsle, såsom t.ex. träbränsle, och då försämrade dess egenskaper så mycket att dessa kom att motsvara de hos ett dåligt bränsle (vad gäller asksmältgenskaper och risk för bildning av korrosiva beläggningar i rök-gaskanalerna) som t.ex. halm. Detta bränsles värde sjunker då från 181 kr/MWh (181 kr/MWh är det preliminära genomsnittspriset för skogsflis till värmeverk för hela Sverige 2009; Energimyndigheten, 2010) till 155 kr/MWh (se förklaring ovan). Inblandningen antas ha gjorts tills träbränsle/glycerin-blandningarna innehöll 1 % rent glycerin på samma sätt som gjordes i pelleteringsförsöken i det här projektet (se kapitel 3.1.1, tabell 1). Sker dessutom kompensation för de olika glycerinsorternas effektiva värmevärden (tabell B3:1, bilaga

3) blir deras ekonomiska värden de som anges i tabell 37. Dessa värden blir negativa, dvs. man måste betala för att blanda in glycerinsorterna i trädbränslet, beroende på att trädbränslets värde minskar vid inblandningen.

Tabell 37. Beräknat pris på glycerinet beroende på antaganden om dess funktion vid inblandning i bränslena

Sort av glycerin / Antagen funktion vid inblandning i bränsle	Fungerar som tillsats- medel ^a , Pris på råglyce- rin (kr/kg)	Fungerar som bränsle ^b , Pris på råglycerin (kr/kg)	Försämrar ett trädbränsle så att det får egenskaper motsvarande ett besvärligt bränsle ^c , Pris på råglycerin (kr/kg)
Glycerin 1a	1,93	0,87	-7,2
Glycerin 2a	2,60	0,80	-10,1
Glycerin 1b	2,09	0,84	-7,9
Glycerin 2b	1,83	0,66	-7,0

^a Antagen prisnivå hos den aktiva komponenten glycerin, 3 kr/kg.

^b Antag att vid eldning har den avgivna värmen ett värde motsvarande det som hos ett besvärligt bränsle såsom t.ex. halm, dvs. ca 155 kr/MWh (0,69 kr/kg halm med effektiva värmevärdet 15,95 MJ/kg).

^c Antag att vid inblandning i ett trädbränsle, så försämrar dess eldningsegenskaper så att det istället kommer att motsvara de hos ett besvärligt bränsle såsom t.ex. halm.

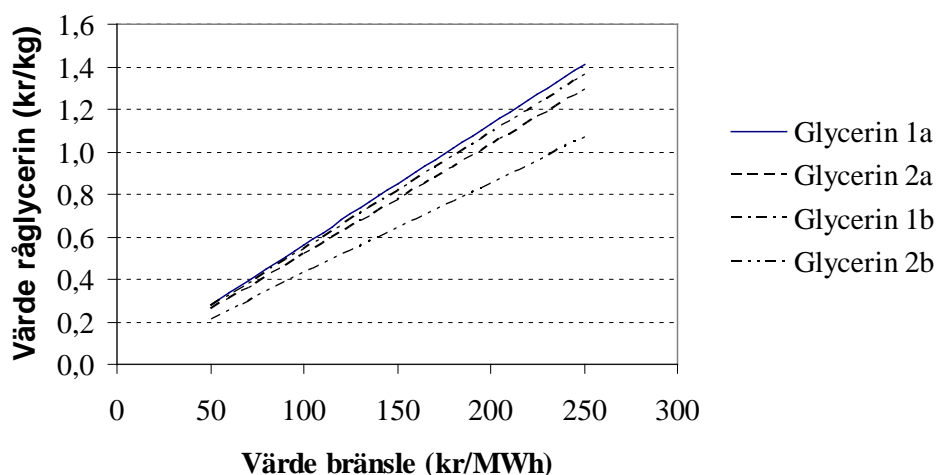


Diagram 1. Det studerade bränslets värdes inverkan på råglycerinets värde, för de studerade glycerinsorterna, vid användning som bränsle där glycerinet fungerar på liknande sätt som det studerade bränslet.

Då glycerinet endast vid några enstaka tillfällen lyckats höja pelletsens hållfasthet, medan skrymdensiteten försämrats, så bedöms det knappast kunna fungera som bindemedel i bränslen, vilket gör att det första fallet blir orimligt i praktiken. Det finns dock en möjlighet att det skulle kunna fungera som smörjmedel, vid tillsats i låga doser, tillsammans med ett annat billigt bindemedel. Det andra fallet, vid användning som bränsle, borde kunna vara rimligt om glycerinet sameldas med något besvärligt bränsle såsom t.ex. riven halm. Pelletering fungerar ju ej med glycerin tillsammans med halm. Emellertid så är de framräknade priserna på glycerinsorterna (0,66–0,87 kr/kg) lägre än vad som betalats för glycerin till rötning (ca 1 kr/kg, Lagerfelt, pers, 2008). Försämrar glycerinet ett trädbränsle så att det får egenskaper liknande de för ett besvärligt bränsle, som t.ex. halm, blir dess ekonomiska värde negativt (-7– -10 kr/kg), vilket gör dess inblandning i sådant bränsle ekonomiskt orimligt. Slutsatserna måste därför bli att glycerin från omförestring av vegetabiliska oljor sannolikt varken är lämpligt att använda vid pelletering av bränslen eller att elda för produktion av värme.

5 GENERELL DISKUSSION

Vid pelleteringsförsöken var det normalt att hållfastheten försämrades (tabell 3) och andelen finfraktion ökade (tabell 4) vid inblandning av glycerin. Emellertid bibehölls eller förbättrades hållfastheten i ringa grad och mängden finfraktion minskade vid inblandning av 1 % surt glycerin i bränsleslagen. Skrymdensiteten försämrades i samtliga försök med glycerinblandning (tabell 5). Dessa resultat avviker alltså från de försök som gjorts med foderpellets (Schröder & Südekum, 1999; Löwe, 2000; Freistaat Sachsen, 2001). Orsaken till detta finns i att sammansättningen skiljer sig åt mellan fodermedel och bränslen. Fodermedlen har till skillnad från bränslena haft en hög halt av stärkelse. Bränslena har knappt innehållit någon stärkelse alls, medan halten av cellulosa och hemicellulosa varit hög. Troligen är det stärkelsen i fodermedlen som gjort att dessa fungerat vid pelleteringen. I dessa har troligen stärkelsen fungerat som bindemedel, och glycerinet som smörjmedel som underlättat pelleteringen. Vid pelleteringen av bränslena har då troligen glycerinet smörjt för bra, friktionen blivit för låg, och därmed presstrycket för lågt för att bra pellets skulle kunna bildas. Resultatet har blivit pellets med lägre hållfasthet och betydligt lägre skrymdensitet (se tabellerna 3 och 5). Detta stöds av att den specifika energiåtgången ofta minskat vid pelletering av bränslen innehållande glycerin (se tabell 8).

Tyvärr var halmen knappt pelleterbar i våra försök, så det får nog därför röra sig om inblandning i riven eller i hackad halm om glycerin ska eldas tillsammans med denna. Skulle man hitta ett tillräckligt billigt bindemedel som fungerar ihop med glycerin, vid pelletering, så skulle även detta fungera. För att finna ett bindemedel som fungerar ihop med glycerin och halm, och rätt inblandningsnivåer för detta bränsle, krävs mer forskning.

Vid lagringsförsöken tog pelletsen upp en del vatten, och kom som högst upp i ca 15 % för halm med 1 % glycerinblandning och ca 17 % för halm med 5 % glycerinblandning efter november månads slut (se tabell 10), med luftfuktigheter nästan kontinuerligt överstigande 95 %. Övriga bränslen fick vanligen fukthalter på 13–14 %. Alltså inga anmärkningsvärda fukthalter, även om bränslena tog upp 4–7 % vatten under lagringen, och då ofta mer ju mer glycerin de innehöll. Hållfastheten försämrades ofta mer ju mer glycerin pelletsen innehöll, och därmed ju sämre hållfastheten var från början (se tabell 11). Hållfastheten hos mycket hårda pelletsar försämrades endast i mycket ringa grad under lagringen. Inte i något försöksled kunde något synligt mögel hittas under eller efter lagringsstudien. Detta kan förklaras med att pelletsen kunde svalna snabbt efter pressningen, samt att fukthalterna inte nådde farliga nivåer under försökets gång. Det borde därför inte vara några problem att lagra pellets innehållande glycerin, under en period på 6 månader, under förutsättning att dessa kunnat av svalna snabbt efter pelleteringen.

Vid eldningarna var det främst problem med att mängden partiklar, i rök gaserna, ökar med ökad glycerinblandning i bränslena (se tabell 23). Beräkningar av mängden kalium som avgått med rök gaserna utifrån analyser av bränslenas och deras askors sammansättning tyder på att denna ökar kraftigt vid ökad glycerintillsats. T.ex. vid eldning av tall med ca 1 % tillsatt glycerin, ökar mängden kalium som avgår med rök gaserna till samma nivå som vid eldning av halm. Dessutom verkar det finnas ett nära samband mellan mängden partiklar i rök gaserna och mängden kalium som avgått (se tabell 28). Det är därför sannolikt att tillsats av glycerin kan orsaka problem med korrosiva beläggningar i rök gaskanalerna för bränslen som normalt inte brukar ge sådana problem. Med bränslen som normalt ger sådana problem, t.ex. halm, är det emellertid troligt att man inte kommer att märka så stor skillnad. Glycerin (surt) som innehåller svavel kan troligen hålla tillbaka partikelavgången något, och därmed även risken för korrosion i samband med alkaliklorider i rök gaserna.

Emissionerna av akrolein och formaldehyd har inte ökat, såsom kunde förväntas, i försöken med glycerinblandning. Nivåerna av akrolein var under detektionsgränsen, och nivåerna av formaldehyd har varit mycket låga (tabell 24). Detta tyder på att dessa aldehyder går att förbränna fullständigt vid god förbränning, och borde därför inte vara något problem vid eldning av bränslen innehållande glycerin. Emissionerna av kolmonoxid, kväveoxider och svaveldioxid varierade stort mellan försöken på ett mer eller mindre slumpmässigt sätt, vilket gör dessa mätningar osäkra. Oftast ökade mängderna kolmonoxid och kväveoxider något med ökad glycerinblandning, men trenderna är osäkra beroende på en del avvikande värden (se tabellerna 21-22). Mängden kolmonoxid kan möjligen öka beroende på en sämre pelletskvalitet. Svaveldioxidhalterna borde öka med ökad svavelhalt i bränslet även om detta ej kunde påvisas i mätningarna (se tabell 23).

Askans smältpunkter (se tabell 27: krympningstemperatur mest relevant) har sjunkit vid tillsats av glycerin till främst tall, men även till rörflen. Halmaskans smältpunkter har i mätningarna inte påverkats alls av glycerintillsatsen. Orsaken till att tallaska är mer känslig, är att mängderna av denna i tallen är så små, att glycerinaskans egenskaper lätt slår igenom även vid små tillsatser. Dock är kaliumhalten i tallaskan inte från början så låg. Kaliumhalten i rörflen är så låg (tabell 12) att det inte krävs så mycket glycerin med hög kaliumhalt för att dess askas egenskaper ska börja slå igenom. Halm däremot, har från början en hög askhalt, av en aska som redan innehåller mycket kalium, vilket gör att glycerinaskans kalium inte kan slå igenom även vid ganska stora tillsatser. Nyckeltalsberäkningarna har visat att främst rörflegets asksmältpunkter bör påverkas neråt vid glycerintillsats men även tallens, i mer ringa grad, från en från början hög nivå (se tabell 31 alkaliandel och tabell 36 Miles index som nog är mest relevanta). Halmens asksmältpunkter är redan låga och ligger redan utan glycerintillsats i riskområdet.

Då glycerinet verkar bidra till att även kalium som inte tillförts med glycerinet avgår i större utsträckning med rökgaserna (se tabell 28), kan detta vara förklaringen till att askans flytttemperatur, i vissa fall, kunde öka vid tillsats av glycerin, men även till att övriga asksmältemperaturer ej sjönk mer än de gjorde vid tillsats av glycerin. Detta kan tyda på att kaliumet från glycerinet i stor utsträckning hamnar i flygaskan och inte i bottenaskan. Höga avgångar av kalium med rökgaserna kan eventuellt hålla tillbaka problemen med asksmältpunktsnedsättning i bottenaskan.

Då i de kemiska analyserna, nyckelämnena för askornas egenskaper: kalium, natrium, svavel och klor, ofta tycks variera mer mellan olika prover än vad som de påverkas av tillsatsen av de olika glycerinsorterna (särskilt då vid låg inblandning) är det viktigt att studier som denna i fortsättningen inkluderar större provtagningsserier för att eliminera risken för slumpmässiga fel. Det är dessutom bra om sådana kemiska analyser kan kompletteras med teoretiska resonemang. Nyckeltal (ekvation 1, 2, 3, 5, 6 och 7 som innehåller bl.a. K, Na, S och Cl) kan härvid vara till en hjälp. Nyckeltalen: alkaliandel (ekvation 3) och Miles index (ekvation 7) är de som, i den här studien, stämmer bäst överens med observationer av askans smälteegenskaper. Kvoten S/Cl kan ge en uppfattning om korrosionsriskerna i samband med alkaliklorider.

Det faktum att många biobränslen innehåller mycket kalium och lite natrium (Strömberg, 2005), gör att vid omförestringen bör kaliumhydroxid väljas framför natriumhydroxid som katalysator om det erhållna glycerinet ska blandas in i dessa biobränslen vid eldning, då jämförbara halter i askan av dessa båda alkalimetaller leder till särskilt låga asksmältpunkter för både silikat (glasbildning) och salt. Är halterna av natrium och kalium i askan, i samma storleksordning, hamnar eutektikumstalet (ekvation 5) inom det farliga området. Då alkalimetallerna till en övervägande del hamnar i glycerinfraktionen, är det viktigt att vara medveten om både biobränslets och glycerinets halter av dessa alkalimetaller i den blandning som man vill

elda. Det är även en fördel om glycerinet innehåller kalium, framför natrium, om detta eller dess aska ska användas som gödselmedel (Bernesson, 2007).

Framförallt det sura glycerin 2b innehöll mycket höga halter av metanol (16 %, flampunkt 32°C) även efter bortdunstning, men även det alkaliska glycerin 1b (7 %, flampunkt 41°C). Detta är betydligt mer än de 0,4 % som Murphy (pers, 2007) angav att man inte bör överskrida för att metanolångorna inte ska bli ett arbetsmiljöproblem vid pelletering. Metanol är ju giftigt. Dessutom innebär flampunkter lika med eller under 100°C att en vätska betraktas som brandfarlig (MSB, 2010), och flampunkter lika med eller under 60°C att vätskan vid transport klassas som farligt gods Klass 3 (MSB, 2009a), vilket bl.a. innebär att en mängd föreskrifter måste uppfyllas vid transport gällande bl.a. dokumentation, märkning, hantering och utbildning hos föraren (MSB, 2009b). Endast det sura glycerinet från Ecobräsle (glycerin 2a) klarade de ovan beskrivna kraven (0,3 % metanol, flampunkt 196°C). Ska metanolen kunna transporteras på ett enkelt sätt, pelletering ska ske på ett brandsäkert sätt och arbetsmiljön bli godtagbar, är det viktigt att kraven, max 0,4 % metanol och en flampunkt överstigande 100°C, följs. Erfarenheterna från projektet tyder på att detta kan vara svårare än det först verkar, då för t.ex. det alkaliska glycerinet föreligger långsamma jämvikter, troligen med metylat, som gör att metanol kan frigöras i glycerinet, efter det att bortdunstning gjorts tills dess att kraven uppfyllts. Då innehåller glycerinet efter en tid, igen för mycket metanol. Med glycerin 1a (alkaliskt) drabbades vi troligen av detta problem då metanol bortdunstades tills kraven uppfylldes, och en analys efter några dagar sedan visade att glycerinet innehöll 2,4 % metanol och flampunkten var 67°C. Detta kan tyda på att ett utvecklingsbehov föreligger för processer för effektiv och säker metanoltortdunstning från glycerin.

Det bör påpekas att Ageratec kontinuerligt vidareutvecklar sina omförestningsprocesser. Därför kommer mängden metanol att minska i glycerin från deras anläggningar i takt med att metanoltärvinnningen förbättras. Vid sur förestning/omförestning kommer även en ökad mängd fria fettsyror att bli till biodiesel (FAME, fettsyrametylester), och därmed kommer mängden fria fettsyror att minska i det sura glycerinet. På sikt kommer därför det alkaliska glycerin 1b som produceras på Brunns holms Säteri att bli mer likt det alkaliska glycerin 1a som produceras av Lantmännen Ecobräsle, och det sura glycerin 2b som produceras på Tolefors Gård att bli mer likt det sura glycerin 2a som produceras av Lantmännen Ecobräsle. Det bör dock här påpekas att råvaran till Lantmännen Ecobräsles sura glycerin var rapsolja med en låg halt fria fettsyror, och råvaran till Tolefors sura glycerin var använd friteringsolja med en hög halt fria fettsyror. Detta har naturligtvis en stor inverkan på mängden fria fettsyror i slutprodukten.

Värdet på glycerinet kan ligga på tre olika nivåer beroende på hur det fungerar vid inblandning i olika bränslen.

A) Då glycerinet troligen kan försämra ett bra bränsle, såsom t.ex. trä, vad gäller risken för sura påslag i rökkanalerna, så mycket att det hamnar i nivå med den vid eldning av halm, så sjunker värdet på detta bränsle i motsvarande grad vid inblandningen av glycerin. Detta gör att glycerinet värde blir negativt vid inblandning i ett bra bränsle (tabell 37). Man måste betala flera kronor per kilogram glycerin för att få elda det med ett sådant bränsle. Dessutom försämras pelletsen vid inblandningen.

B) Vid inblandning i ett dåligt bränsle, som t.ex. halm, händer inte lika mycket beroende på att glycerinet egenskaper då inte slår igenom, förutom att pelletsen försämras. Glycerinet värde vid inblandning i ett sådant bränsle blir därför ungefär lika stort som för detta räknat på energiinnehåll. Detta motsvarar 0,6–0,9 kr/kg glycerin (se tabell 37), vilket kan jämföras med att det betalats ca 1 kr/kg för glycerin till rötning (Lagerfelt, pers, 2008). Tillsammans gör detta att det blir svårt att hitta en lönsam användning för glycerinet, vid användning som tillsatsmedel vid pelletering, eller vid användning som bränsle. Glycerinet skulle därför inte vara

intressant att använda i dessa tillämpningar.

C) Det finns dock en möjlighet att glycerinet skulle kunna ge positiva effekter som smörjmedel vid pelletering, vid lägre tillsatser än vad som studerats i den här studien, och då troligen tillsammans med något bindemedel. Detta är något som kan undersökas i kommande forskningsprojekt. Knothe m.fl. (2005) har ju angett att glycerin kan användas som smörjmedel. Glycerinet skulle då kunna få ett värde på ca 3 kr/kg (se tabell 37) då det finns exempel på att bindemedel vid pelletering betalats med 2,8–4,0 kr/kg. Potentialen för detta kan kanske vara ungefär 1 % av dagens träpelletsanvändning, och då kanske vid en inblandning på 0,2–0,5 %, vilket skulle motsvara ungefär 40–100 ton glycerin. Skulle 5 % av 1 miljon ton halm pelletteras med en inblandning på 0,2–0,5 % glycerin, skulle detta motsvara 100–250 ton glycerin. Om potentialen på grund av detta bedöms vara 150–350 ton glycerin, skulle det motsvara 0,9–2 % av det glycerin som bildats då alla fettsyraestrar som användes i Sverige 2008 omförestrades (se även kapitel 1.1 Bakgrund och kapitel 1.6 Potential). Lokalt, från någon eller några mindre omförestringsanläggningar, skulle denna typ av användning för glycerinet kunna få betydelse.

De generella råd som kan ges till näringen utifrån resultaten från den här studien är att glycerin inte fungerar bra som bindemedel vid pelletering av biobränslen, och ska därför inte användas som ett sådant. Det kan möjligen fungera som smörjmedel vid pelletering vid mycket låg inblandning, men detta är osäkert. Vid eldning blir sannolikt ekonomin sämre än vid andra användningar. Ska glycerin eldas tillsammans med ett annat bränsle, så elda det tillsammans med ett bränsle som redan ger problem vid förbränning med korrosiva påslag i rökkanaler m.m., t.ex. hackad eller riven halm. Det är sannolikt inte lämpligt att elda tillsammans med ett bra bränsle, t.ex. trä, och särskilt då inte om rök gaserna ska värmeväxlas vid hög temperatur i en ånggenerator eller en ångöverhettare.

6 SLUTSATSER

Inblandningen av glycerin i bränsleslagen har generellt givit pellets med sämre hållfasthet, högre andel finfraktion och med betydligt lägre skrymdensitet. Dock har pellets med något bättre hållfasthet och lägre andel finfraktion erhållits vid inblandning av en procent surt glycerin.

Vid lagring har pellets med glycerinblandning tagit upp mer vatten än pellets utan glycerin, men inte i så stor utsträckning att farligt höga fukthalter har nåtts. Inga problem med mögel har förekommit vid lagringen.

Vid eldningen är det främst problem med att mängden partiklar i rök gaserna ökar med ökad glycerinblandning i bränslet. Analyser av kalium i ingående bränsle och i utgående aska har visat att mängden kalium som avgår med rök gaserna ökar vid inblandning av glycerin. Glycerinblandning leder därför sannolikt till en ökad risk för korrosiva påslag i pannans rökkanaler. Detta borde främst märkas vid eldning av bränslen som normalt inte har detta problem. Vid eldning av problembränslen med höga kaliumhalter, t.ex. halm, bör detta ej märkas så mycket. Det kan vara så att kaliumavgången från bränslet ökar då glycerin tillsätts, vilket då motverkar problemen med sjunkande asksmälttemperaturer vid tillsats av glycerin. Detta kan tyda på att kaliumet från glycerinet i stor utsträckning hamnar i flygaskan och inte i bottenaskan. Emellertid så kan glycerin (surt) som innehåller svavel troligen hålla tillbaka partikelavgången något och därmed även risken för korrosion i samband med alkaliklorider i rök gaserna.

Emissionerna av akrolein och formaldehyd blir mycket låga vid god förbränning.

Det är mer osäkert hur övriga emissioner t.ex. kolmonoxid, kväveoxider och svaveldioxid påverkas av glycerinet i bränslet. Kolmonoxidhalten kan möjligen öka beroende på en sämre pellets-kvalitet. Mängden svaveldioxid borde vara bundet till bränslets svavelhalt och då öka med glycerin som innehåller svavel från sur förestring/omförestring.

Askans smältpunkt påverkas i viss utsträckning neråt för främst rörflen där askan från början har en mycket låg kaliumhalt, men även i mer ringa omfattning för tall med en låg askhalt. Halmaskans redan låga smältpunkt påverkas ej märkbart av glycerinblandningen.

Det viktigt att kraven, max 0,4 % metanol och en flampunkt överstigande 100°C, följs för att metanolen ska kunna transporteras på ett enkelt sätt, pelleteringen ske på ett brandsäkert sätt och arbetsmiljön vid pelleteringen bli godtagbar.

Då glycerin försämrar egenskaperna hos bra bränslen, som t.ex. trädbränslen, så blir dess värde negativt vid inblandning i sådana bränslen. Vid inblandning i sämre bränslen, som t.ex. halm, blir dess värde ungefär lika med detta bränsles värde per energiinnehåll. Då dess värde vid andra användningar är högre, så blir inte ens denna användning lönsam. Det finns en viss möjlighet att glycerinet kan fungera som smörjmedel vid låga tillsatser, vid pelletering av vissa bränslen, och då kunna betinga ett högre värde. Dock är potentialen i dessa användningar liten då det sannolikt skulle röra sig om små mängder.

Råden till näringen blir att glycerin inte bör användas vid pelletering, då det sannolikt inte fungerar bra vid denna tillämpning. Ska glycerinet eldas, bör det ske tillsammans med ett dåligt bränsle, för att ej bränslets egenskaper ska försämrats. Glycerinet är sannolikt lönsammare i andra tillämpningar än eldning till värmeproduktion. Vid små tillsatser kan glycerin sannolikt fungera som smörjmedel vid pelletering av vissa bränslen.

Vill man ta reda på om glycerinet kan fungera som smörjmedel tillsammans med något billigt bindemedel vid pelletering av bränslen, fordras mer forskning.

7 REFERENSER

7.1 Tryckta referenser

- 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. 2007. *Användningsområden för biprodukterna vid pressning och omförestring av rapsolja. Fields of application for the by-products of extraction and transesterification of rapeseed oil*. Sveriges lantbruksuniversitet, Inst f biometri och teknik, Rapport – miljö, teknik och lantbruk 2007:04. Uppsala. 101 s. ISSN 1652-3237.
- Bernesson S., Nilsson D. 2005. *Halm som energikälla. Översikt av existerande kunskap. Straw as an energy source. A review of existing knowledge*. Sveriges lantbruksuniversitet, Inst f biometri och teknik, Rapport – miljö, teknik och lantbruk 2005:07. Uppsala. 82 s. ISSN 1652-3237.
- Cronholm L-Å., Dejfors C., Wiklund S-E. 1999. *Bindemedel i pellets. Påverkan på kvarnar och beläggning i eldstäder*. Rapport nr 659. Värmeforsk, Stockholm. ISSN 0282-3772.
- Deacon J.W. 1997. *Modern Mycology*. Third edition. Blackwell Science, Oxford, United Kingdom. 307 s. ISBN 0-632-03077-1.
- Energimyndigheten, 2010. *Prisblad för biobränslen, torv m.m.* Nr. 1, 2010, Statens energimyndighet, Eskilstuna. 2 s.
- Freistaat Sachsen. 2001. *Informationsmaterial zu Futterzusatzstoffen, Juni 2001*. Freistaat Sachsen, Sächsisches Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden, Tyskland. 66 s.

- Glazer M.P., Khan N.A., de Jong W., Spliethoff H., Schürmann H., Monkhouse P. 2005. Alkali Metals in Circulating Fluidized Bed Combustion of Biomass and Coal: Measurements and Chemical Equilibrium Analysis. *Energy & Fuels*, 19(5), s. 1889-1897.
- Hadders G., Flodén S. 1997. *Spridning av aska från stråbränslen på åkermark. Förutsättningar och rekommendationer*. JTI-rapport Lantbruk & Industri Nr 234, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala. 33 s. ISSN 1401-4963.
- Kaltschmitt M., Reinhardt G.A. 1997. *Nachwachsende Energieträger. Grundlagen, Verfahren, Ökologische Bilanzierung*. Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft, Braunschweig/Wiesbaden, Germany. 548 s. ISBN 3-528-06778-0.
- Knothe G., Krahl J., Van Gerpen J. (editorer) 2005. *The Biodiesel handbook*. AOCS Press-Champaign, Illinois, USA. 311 s.
- Löwe R. 2000. *Verarbeitung von Rohglycerin in Mischfutter*. Veredlungsproduktion 2, Zeitschrift für Tierhaltung, Informationssystem Nachwachsende Rohstoffe, Institut für Umweltgerechte Landwirtschaft, Müllheim, Tyskland. S. 46-47.
- MSB. 2009a. *ADR-S Myndigheten för samhällsskydd och beredskaps föreskrifter om transport av farligt gods på väg och i terräng*. MSBFS 2009:2, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, Karlstad. 1088 s. ISSN 2000-1886. ISBN 978-91-7253-408-7.
- MSB. 2009b. *Transport av farligt gods Väg och järnväg 2009-2010*. Publ.nr MSB 0070-09, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, Karlstad. 93 s. ISBN 978-91-7383-033-1.
- Myers R.H. 1986. *Classical and Modern Regression with Applications*. Duxbury Press, Boston, Massachusetts, USA. 359 s. ISBN-10: 0871509466. ISBN-13: 9780871509468.
- Mörtstedt S-E., Hellsten G. 1982. *Data och Diagram. Energi- och kemitekniska tabeller*. Eselte Studium AB, Stockholm, Sweden. 96 s. ISBN 91-24-31145-6.
- Nikolaisen L. (red), Nielsen C., Larsen M.G., Nielsen V., Zielke U., Kristensen J.K., Holm-Christensen B. 1998. *Straw for energy production*. Technology - Environment - Economy. 2:nd edition. The Centre for Biomass Technology, Köpenhamn, Danmark. 53 s. ISBN 87-90074-20-3.
- Nikolaisen L. (red), Nørgaard Jensen T., Hjuler K., Busk J., Junker H., Sander B., Baxter L., Bloch L. 2002. *Quality characteristics of biofuel pellets*. Danish Technological Institute. Aarhus, Danmark.
- Nilsson D., Bernesson S. 2008. *Pelletering och brikettering av jordbruksråvaror - En systemstudie. Processing biofuels from farm raw materials - A systems study*. Sveriges lantbruksuniversitet, Inst f energi och teknik, Report 001. Uppsala. 164 s. ISSN 1654-9406.
- Nilsson D., Bernesson S. 2009a. *Halm som bränsle – Del 1: Tillgångar och skördetidpunkter. Straw as fuel - Part 1: Available resources and harvest times*. Sveriges lantbruksuniversitet, Inst f energi och teknik, Report 011. Uppsala. 85 s. ISSN 1654-9406.
- Nilsson D., Bernesson S. 2009b. *Halm som bränsle – Del 2: Fuktegenskaper. Straw as fuel – Part 2: Moisture characteristics*. Sveriges lantbruksuniversitet, Inst f energi och teknik, Report 018. Uppsala. 52 s. ISSN 1654-9406.
- Nilsson D., Bernesson S. 2010. *Halm som bränsle – Del 3: Dynamisk simulering av hanteringssystem. Straw as fuel – Part 3: Dynamic simulation of handling systems*. Sveriges lantbruksuniversitet, Inst f energi och teknik, Report 021. Uppsala. 66 s. ISSN 1654-9406.
- 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.
- 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.
- SMHI. 2009. *Väder och vatten*. En tidskrift från SMHI. Nr 6 Juni 2009, Nr 7 Juli 2009, Nr 8 Augusti 2009, Nr 9 September 2009, Nr 10 Oktober 2009, Nr 11 November 2009, Nr 12 December 2009. SMHI - Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut, Norrköping.

- Strömberg B. 2005. *Bränslehandboken. Handbook of fuels*. Miljö- och förbränningsteknik, Rapport nr 911, Värmeforsk Service AB, Stockholm. 312 s + elektroniska bilagor. ISSN 0282-3772.
- Yong K.C., Ooi T.L., Dzulkefly K., Wan Yunus W.M.Z., Hazimah A.H. 2001. Refining of crude glycerine recovered from glycerol residue by simple vacuum distillation. *Journal of Oil Palm Research*, 13(2), s. 39-44.

7.2 Internetreferenser

- LabTech America. 2010. *Rotary evaporator*. www.labtechamerica.com/product/equipment/ (9:e maj 2010). LabTech America, Columbia, Missouri, USA.
- MSB. 2010. *Brandfarliga vätskor*. www.msb.se/sv/Forebyggande/Brandfarligt--explosivt/Brandfarliga-vatskor/ (29:e mars 2010). MSB – Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, Karlstad.
- Nationalencyklopedin. 2008. *Akrolein*. www.ne.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=110072 (25:e september 2008). Nationalencyklopedins Internettjänst.
- Pelletsindustrin. 2010. *Leveransstatistik Sverigemarknaden 1997-2009 inkl. prognos*. www.pelletsindustrin.org/web/Leveransstatistik.aspx (9:e maj 2010). Pelletsindustrins Riksförbund, Stockholm.
- SPI. 2010. *Leveranser av förnybara drivmedel under 2008*. www.spi.se/statistik.asp?art=120 (9:e maj 2010). SPI - Svenska Petroleum Institutet, Stockholm.
- TFE. 2010. *TFE's Väderstation*. www8.tfe.umu.se/weather/1280/800/12/sv-SE/history.htm. (12:e februari 2010). Institutionen för tillämpad fysik och elektronik, Umeå Universitet, Umeå.
- Wikipedia. 2008. *Acrolein*. en.wikipedia.org/wiki/Acrolein (25:e september 2008). Wikipedia, the free encyclopedia.

7.3 Personliga meddelanden

- Erlandsson, P. Pers. medd. 2007. Lantmännen Ecobränsle AB, Karlshamn. 0454-82 400, 0454-82 715 / per.erlandsson@lantmannen.com. 2007-06-15.
- Erlandsson, P. Pers. medd. 2008. Lantmännen Ecobränsle AB, Karlshamn. 0454-82 400, 0454-82 715 / per.erlandsson@lantmannen.com. 2008-09-25.
- Erlandsson, P. Pers. medd. 2009. Lantmännen Ecobränsle AB, Karlshamn. 0454-82 400, 0454-82 715 / per.erlandsson@lantmannen.com. 2009-04-09.
- Frykerås, D. Pers. medd. 2007. Ageratec, Norrköping. 011-33 52 70 / info@ageratec.com. 2006-09-22, 2007-07-19.
- Jonsson, S. Pers. medd. 2008. Ageratec, Norrköping. 011-33 52 70 / susanne.jonsson@ageratec.com. 2008-09-26.
- Lagerfelt, A. Pers. medd. 2008. Tolefors Gård, Linköping. 0708-299398 / axel@tolefors.se. 2008-09-25.
- Murphy, M. Pers. medd. 2007. Lantmännen Foderdivisionen, Stockholm. 08-657 43 31, 0702-07 29 14 / michael.murphy@lantmannen.com. 2007-09-19.

BILAGA 1. INDELNING I FÖRSÖKSLED, RESULTAT LAGRINGSFÖRSÖK

I tabell B1:1, nedan, anges hur indelningen i försöksled har gjorts med avseende på ingående bränsleslag, sort av glycerin samt ingående mängd av detta glycerin räknat som rent glycerin. Även fukthalter: initialt i ingående bränsleslag, önskade fukthalter vid pelletering samt erhållna fukthalter vid de kemiska analyserna redovisas. Därefter redovisas resultat från lagringsstudien såsom: fukthalter efter 1, 3 och 6 månader; förekomst av synligt mögel efter 1, 3 och 6 månader; samt förekomst mögellukt efter 1, 3 och 6 månader. Hållfastheten efter 6 månaders lagring redovisas i tabell B2:1.

Tabell B1:1. Indelning i försöksled, samt resultat från lagringsstudien

Pelleteringsförsök	Försöksled																								
	Gly 1	Gly 2	Gly 3	Gly 4	Gly 5	Gly 6	Gly 7	Gly 8	Gly 9	Gly 10	Gly 11	Gly 12	Gly 13	Gly 14	Gly 15	Gly 16	Gly 17	Gly 18	Gly 19	Gly 20	Gly 21	Gly 22	Gly 23	Gly 24	Gly 25
Bränsleslag	Halm	Halm	Halm	Halm	Halm	Halm	Halm	Halm	Rörflen	Rörflen	Rörflen	Rörflen	Rörflen	Rörflen	Rörflen	Rörflen	Tall	Tall	Tall	Tall	Tall	Tall	Tall	Tall	Tall
Sort av glycerin	Inget	1a	2a	1a	2a	2a	1b	2b	1b	Inget	1a	2a	1a	2a	1a	Inget	1a	2a	1a	2a	Inget	1b	2b	1b	1b
Konc glycerin, %	0	1	1	5	5	1	1	1	1	1	0	1	1	5	5	5	0	1	1	5	5	0	1	1	1
Initial fukthalt i bränsleslag, %	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1
Önskad fukthalt vid pelletering, %	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0
Fukthalt vid kemisk analys, %	9,9	9,7	9,1	13,9	9,9	-	9,2	9,2	-	-	8,5	8,7	8,4	9,1	-	-	7,7	8,5	7,9	8,7	8,5	-	8,5	8,9	-
Fukthalt efter 1 mån, %	9,7	9,0	9,2	-	9,1	-	9,1	9,5	-	-	8,9	8,9	8,7	-	-	9,0	8,3	8,8	8,5	-	-	-	-	-	-
Fukthalt efter 3 mån, %	12,4	12,3	12,4	-	13,7	-	12,6	12,2	-	-	11,7	12,0	11,5	-	-	12,4	11,2	11,5	11,4	-	-	-	-	-	-
Fukthalt efter 6 mån, %	14,0	14,7	14,8	-	16,8	14,8	15,5	14,8	13,3	13,0	13,1	14,4	13,3	14,6	14,3	14,9	12,7	13,2	12,7	13,6	14,0	12,6	12,9	13,1	12,9
Synligt mögel efter 1 mån	Nej	Nej	Nej	-	Nej	-	Nej	Nej	-	-	Nej	Nej	Nej	-	-	-	Nej	Nej	Nej	-	-	-	-	-	-
Synligt mögel efter 3 mån	Nej	Nej	Nej	-	Nej	-	Nej	Nej	-	-	Nej	Nej	Nej	-	-	-	Nej	Nej	Nej	-	-	-	-	-	-
Synligt mögel efter 6 mån	Nej	Nej	Nej	-	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej
Lukt av mögel efter 1 mån	Nej	Nej	Nej	-	Nej	-	Nej	Nej	-	-	Nej	Nej	Nej	-	-	-	Nej	Nej	Nej	-	-	-	-	-	-
Lukt av mögel efter 3 mån	Nej	Nej	Nej	-	Nej	-	Nej	Nej	-	-	Nej	Nej	Nej	-	-	-	Nej	Nej	Nej	-	-	-	-	-	-
Lukt av mögel efter 6 mån	Nej	Nej	Nej	-	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej

BILAGA 2. RESULTAT FRÅN PELLETERINGSFÖRSÖKEN

Tabell B2:1. Resultat från pelleteringsförsöken

Pelleteringsförsök	Försöks led																								
	Gly1	Gly2	Gly3	Gly4	Gly5	Gly6	Gly7	Gly8	Gly9	Gly10	Gly11	Gly12	Gly13	Gly14	Gly15	Gly16	Gly17	Gly18	Gly19	Gly20	Gly21	Gly22	Gly23	Gly24	Gly25
Bränsleslag	Halm	Halm	Halm	Halm	Halm	Halm	Halm	Halm	Rörflen	Rörflen	Rörflen	Rörflen	Rörflen	Rörflen	Rörflen	Rörflen	Tall	Tall	Tall	Tall	Tall	Tall	Tall	Tall	Tall
Sort av glycerin	Inget	1a	2a	1a	2a	2a	1b	2b	1b	2b	Inget	1a	2a	1a	2a	1a	Inget	1a	2a	1a	2a	Inget	1b	2b	1b
Konc glycerin, %	0	1	1	5	5	1	1	1	1	1	0	1	1	5	5	5	0	1	1	5	5	0	1	1	1
Finfraktion 1, %	1,3	1,7	1,4	n.a. ^a	4,0	1,9	2,8	1,4	1,0	0,5	0,7	1,3	0,9	2,9	0,4	0,9	0,8	2,3	0,5	3,7	2,9	0,4	3,0	0,5	1,4
Finfraktion 2, %	2,9	2,2	0,9	n.a. ^a	4,6	1,5	2,9	1,7	2,0	0,9	0,6	1,7	0,4	5,9	0,4	0,9	1,2	3,9	0,8	9,4	3,0	0,9	2,6	0,4	1,4
Finfraktion 3, %	2,6	1,5	2,1	n.a. ^a	4,3	1,5	2,8	2,2	2,4	0,9	0,7	1,8	0,4	2,2	0,8	1,3	0,8	3,4	0,5	13,5	2,6	n.a.	2,4	0,4	1,9
Finfraktion, medel, %	2,3	1,8	1,4	n.a.^a	4,3	1,6	2,8	1,8	1,8	0,8	0,7	1,6	0,6	3,7	0,5	1,0	0,9	3,2	0,6	8,9	2,9	0,63	2,7	0,4	1,6
Skrymdensitet 1, kg/m ³	526	532	530	n.a. ^a	384	456	502	533	596	688	716	672	679	508	600	595	602	556	581	532	470	627	512	600	574
Skrymdensitet 2, kg/m ³	556	513	541	n.a. ^a	370	502	524	500	628	691	725	646	684	497	625	583	590	554	577	504	470	597	521	585	581
Skrymdensitet 3, kg/m ³	557	509	519	n.a. ^a	378	508	536	512	648	674	713	641	673	535	632	570	585	549	567	489	486	n.a.	548	577	556
Skrymdensitet, medel, kg/m³	546	518	530	n.a.^a	377	489	521	515	624	685	718	653	679	513	619	583	593	553	575	508	475	612	527	587	570
Hållfasthet 1, %	85,9	83,4	85,1	n.a. ^a	78,5	84,8	77,4	84,1	90,6	97,8	97,4	94,2	97,6	78,7	97,2	94,7	90,2	82,6	92,4	75,8	80,7	94,4	79,6	93,2	86,8
Hållfasthet 2, %	82,2	80,0	85,3	n.a. ^a	77,8	86,2	81,2	81,3	94,0	97,8	97,2	92,2	97,3	74,9	97,5	89,3	88,7	83,1	91,9	63,6	81,1	91,4	81,4	91,7	86,8
Hållfasthet 3, %	80,4	79,4	83,4	n.a. ^a	78,4	84,4	82,2	81,6	90,5	98,1	96,4	92,9	96,7	84,1	97,7	85,4	88,5	81,5	91,2	62,8	84,2	92,3	84,0	91,0	82,4
Hållfasthet, medel, %	82,9	80,9	84,6	n.a.^a	78,3	85,1	80,2	82,4	91,7	97,9	97,0	93,1	97,2	79,2	97,5	89,8	89,1	82,4	91,8	67,4	82,0	92,7	81,7	91,9	85,3
Hållfasthet efter 6 mån lagring, %	81,5	76,5	75,2	n.a. ^a	56,1	79,8	73,7	74,7	90,1	97,5	92,9	91,8	96,5	65,4	94,5	81,8	88,4	76,4	93,7	53,9	71,5	91,2	80,6	87,0	74,6
Medelströmsstyrka, A	33,8	26,0	31,3	n.a. ^a	30,6	31,5	28,1	31,1	28,0	33,9	31,0	38,2	34,2	25,1	30,8	39,8	34,1	30,0	34,5	20,5	36,3	37,6	37,4	29,6	34,4
Medeleffektbehov, kW	20,0	15,4	18,6	n.a. ^a	18,1	18,7	16,7	18,4	16,6	20,1	18,4	22,6	20,3	14,9	18,3	23,6	20,2	17,8	20,4	12,1	21,5	22,3	22,1	17,5	20,4
Variationskoefficient, %	29,8	13,6	11,0	n.a. ^a	12,9	19,1	18,5	23,0	22,0	18,8	40,3	20,8	20,1	18,9	21,0	22,0	19,2	27,5	33,8	22,8	17,8	42,2	16,0	15,4	24,8
Specifikenergiåtgång, kWh/ton	40,1	48,1	50,0	n.a. ^a	41,5	47,5	52,0	49,3	56,2	69,2	76,5	44,4	55,5	49,8	57,4	75,1	71,0	63,9	90,5	117,7	60,4	75,2	56,6	70,0	105,7
Max strömstyrka, A	63,9	41,5	40,3	n.a. ^a	38,4	48,4	43,6	42,5	53,1	48,8	87,4	58,1	57,2	41,7	46,5	52,2	59,0	72,7	74,3	42,5	50,1	93,3	48,6	45,8	58,6
Min strömstyrka, A	19,3	18,1	21,4	n.a. ^a	19,7	19,3	18,6	17,0	18,1	17,6	17,2	19,4	19,2	18,4	19,2	17,3	20,2	17,6	19,8	17,0	21,2	19,0	22,1	19,9	17,7
Materialåtgång inkl glycerin o vatten, kg	50,0	50,0	50,0	n.a. ^a	50,0	25,0	50,0	50,0	25,0	25,0	50,0	50,0	50,0	25,0	25,0	25,0	50,0	50,0	50,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Avverklning, ton/tim	0,50	0,32	0,37	n.a. ^a	0,44	0,39	0,32	0,37	0,30	0,29	0,24	0,51	0,37	0,30	0,32	0,31	0,28	0,28	0,23	0,10	0,36	0,30	0,39	0,25	0,19
Gångtid, s	361	563	485	n.a. ^a	412	229	562	481	305	310	749	353	493	302	283	287	632	647	797	873	253	304	230	359	466

^a För Gly4 finns inga värden då detta försöksled inte gick att pelletera med den tillgängliga pelletspressen.

Bilder på pelletsen efter lagringsförsöket.



Bild B2:1. Pellets Gly 1–13. Gly1: Halm, inget glycerin; Gly2: Halm, 1 % glycerin 1a; Gly3: Halm, 1 % glycerin 2a; Gly5: Halm, 5 % glycerin 2a; Gly6: Halm, 1 % glycerin 2a; Gly7: Halm, 1 % glycerin 1b; Gly8: Halm, 1 % glycerin 2b; Gly9: Rörflen, 1 % glycerin 1b; Gly10: Rörflen, 1 % glycerin 2b; Gly11: Rörflen, inget glycerin; Gly12: Rörflen, 1 % glycerin 1a; Gly13: Rörflen, 1 % glycerin 2a.



Bild B2:2. Pellets Gly 14–25. Gly14: Rörflen, 5 % glycerin 1a; Gly15: Rörflen, 5 % glycerin 2a; Gly16: Rörflen, 5 % glycerin 1a; Gly17: Tall, inget glycerin; Gly 18: Tall, 1 % glycerin 1a; Gly 19: Tall, 1 % glycerin 2a; Gly 20: Tall, 5 % glycerin 1a; Gly 21: Tall, 5 % glycerin 2a; Gly 22: Tall, inget glycerin; Gly 23: Tall, 1 % glycerin 1b; Gly 24: Tall, 1 % glycerin 2b; Gly 25: Tall, 1 % glycerin 1b.

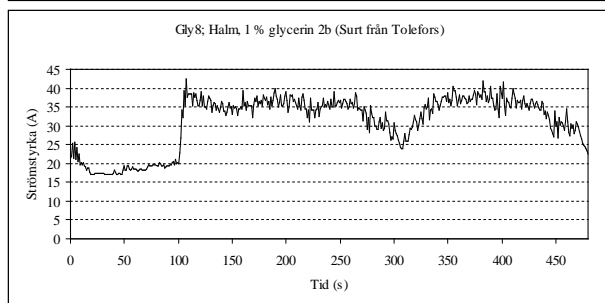
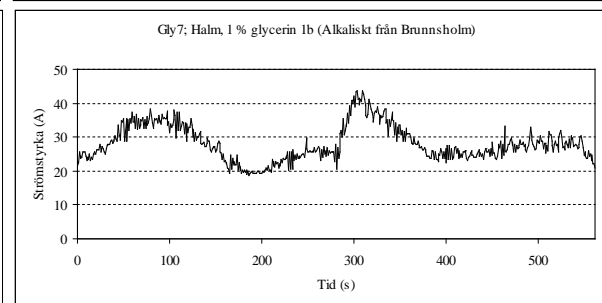
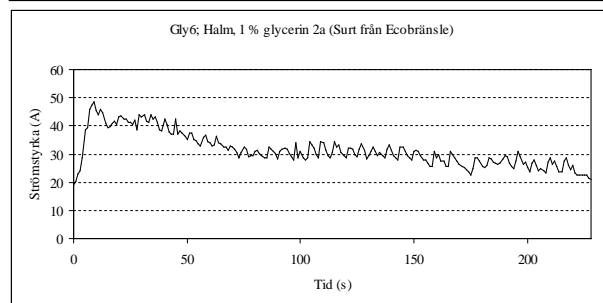
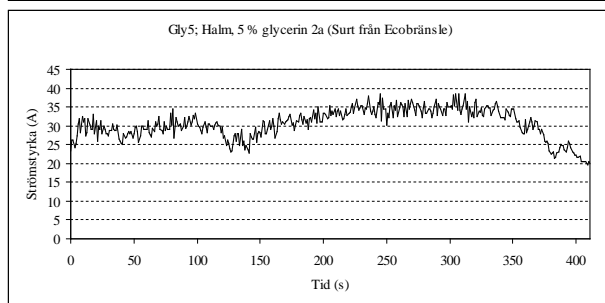
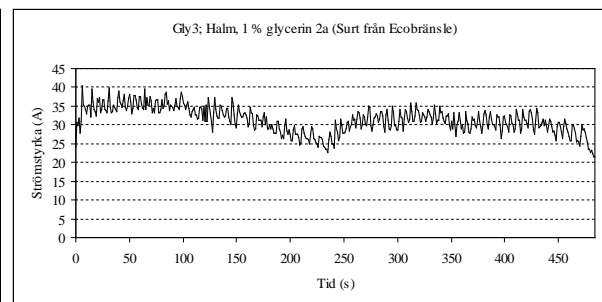
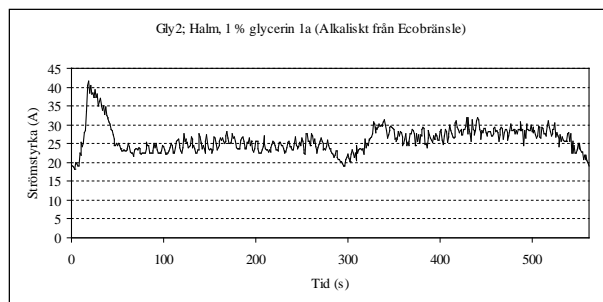
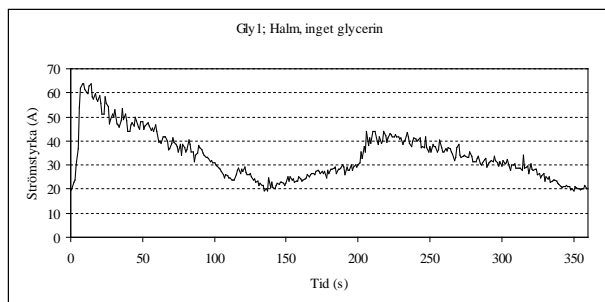


Diagram B2:1. Diagram, elbehov vid pelleteringsförsöken, halm.

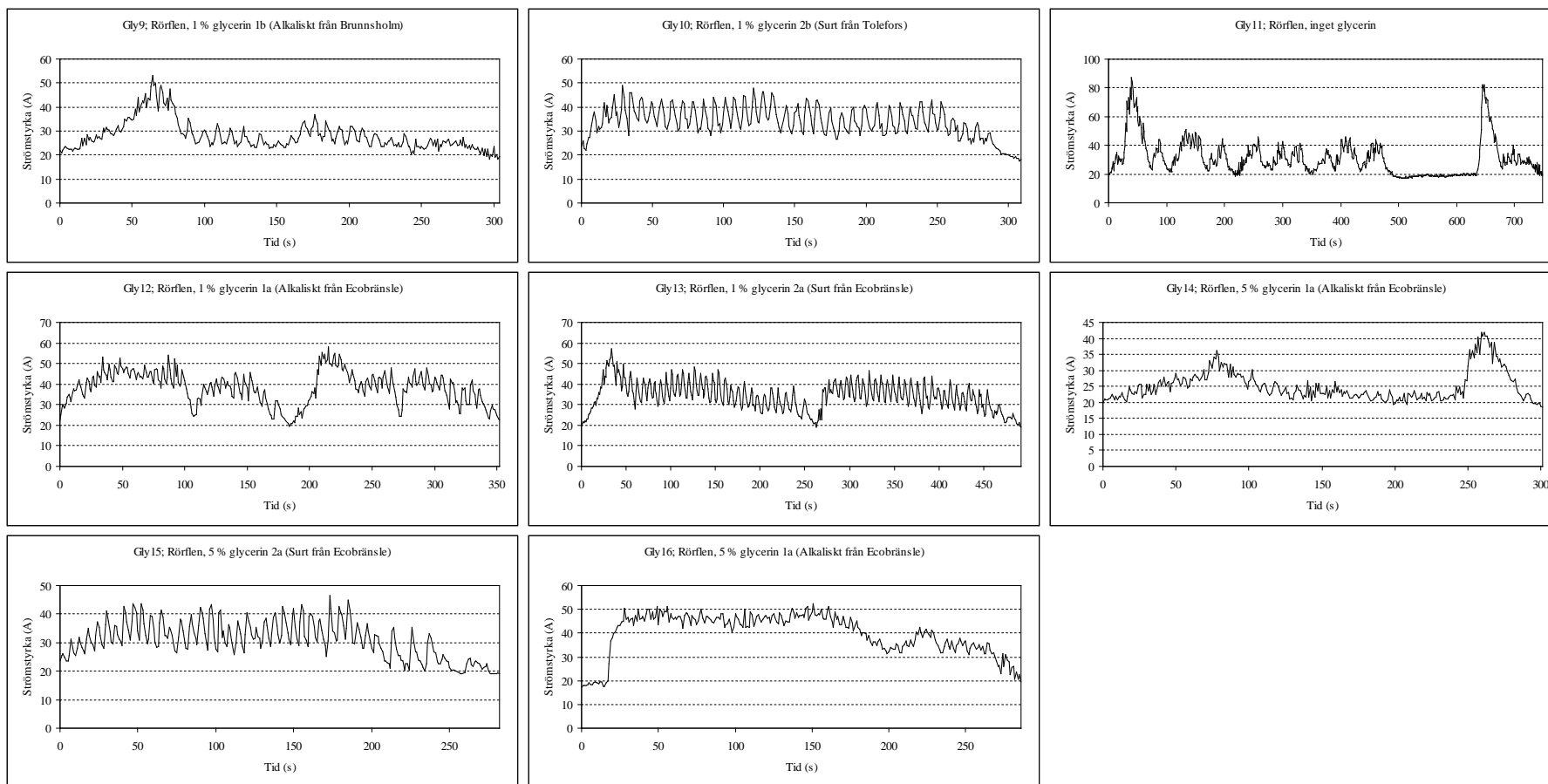


Diagram B2:2. Diagram, elbehov vid pelleteringsförsöken, rörflen.

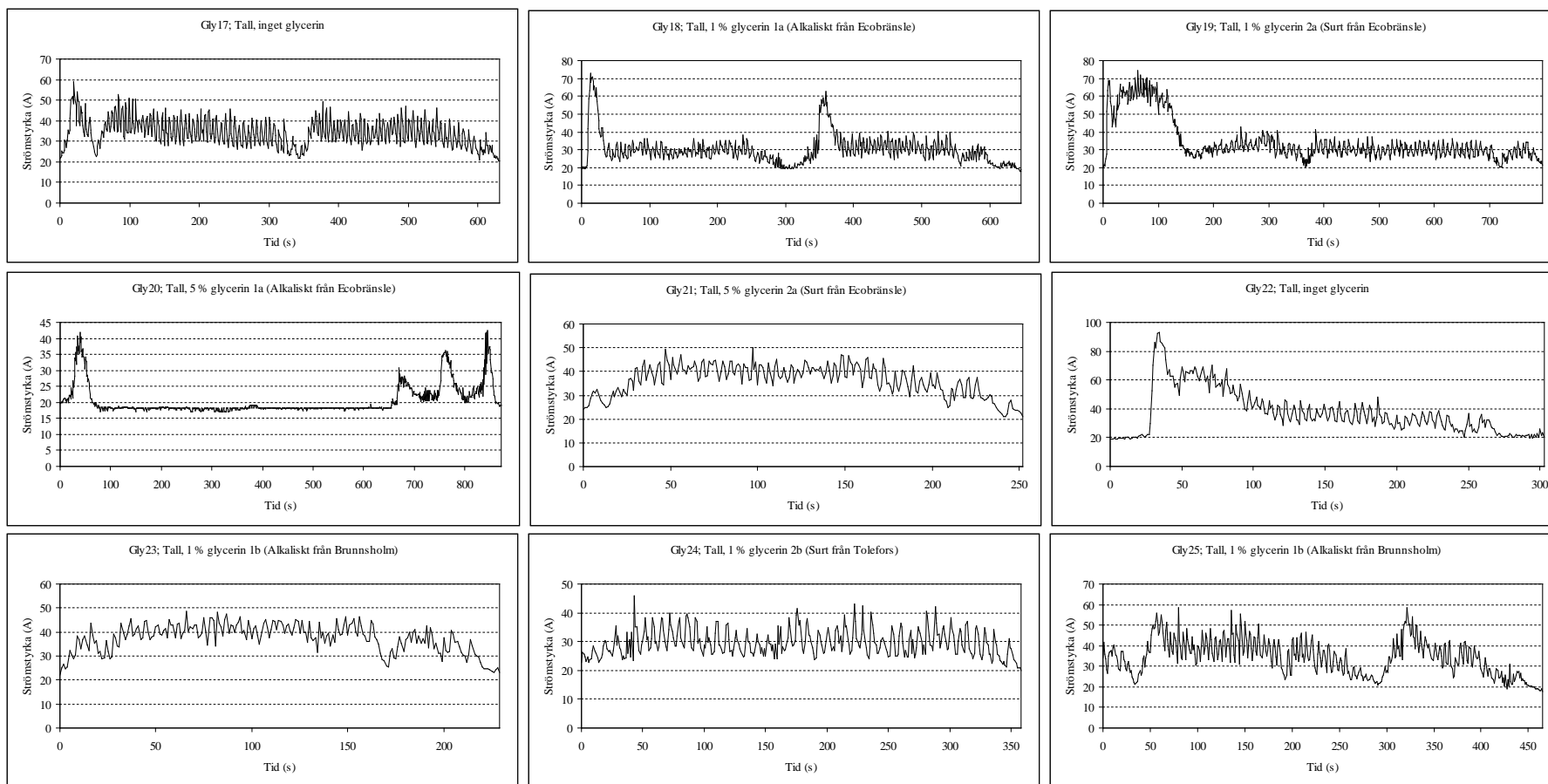


Diagram B2:3. Diagram, elbehov vid pelleteringsförsöken, tall.

BILAGA 3. RESULTAT FRÅN KEMISKA ANALYSER

Tabell B3:1. Analys av glycerin gjort av ASG Analytik-Service Gesellschaft mbH

Parameter	Metod	Enhet ^a	Sort av glycerin: Resultat				
			Eco-bränsle	Eco-bränsle	Brunnsholm	Tolefors	Tolefors
Ursprung			Alkaliskt	Surt	Alkaliskt	Surt	Surt
Sort av glycerin			Glycerin 1a	Glycerin 2a	Glycerin 1b	Glycerin 2b	Glycerin 2b (efter att mer metanol dunstats bort)
Beteckning i försöksdesignen							
pH			>13,5	6	>10	6	
Metanol-halt	GC-FID	% (m/m)	2,4	0,26	6,8	22,1	15,6
Fukt-halt	BS 5711-8	% (m/m)	6,3	6,1	0,1	6	5,4
Glycerin-halt	BS 5711-3	% (m/m)	64,4	86,7	69,5	51,7	60,9
Ask-halt	BS 5711-6	% (m/m)	4,3	2,4	6,6	5,9	6,6
MONG ^b	BS 5711-9	% (m/m)	25	4,8	23,8	36,4	27,1
Effektivt värmevärde	DIN 51 900-2	J/g	20317	18584	19572	16211	15321
Kalorimetriskt värmevärde ^c		J/g	22215	20381	21430	18109	17098
Kalorimetriskt värmevärde ^c		J/g ts	23709	21706	21452	19265	18074
Flampunkt	DIN EN ISO 2719	°C	67	196	41	20	32,5
Kol-halt		% (m/m)	44,5	37,4	43,6	35	34,9
Väte-halt	DIN 51 732	% (m/m)	9,4	8,9	9,2	9,4	8,8
Kväve-halt		% (m/m)	0,6	<0,5	<0,5	0,5	0,41
Syre-halt	DIN 51 732 mod.	% (m/m)	42,1	51,4	42,4	50,2	50
Svavel-halt	DIN EN ISO 20884	% (m/m)	0,007	0,607	0,011	1,65	1,99 ^d
Klor-halt	DIN 51 577-3	% (m/m)	0,001	0,006	0,016	0,363	0,437 ^d
Aluminium-innehåll	XRF	mg/kg	18	5	70	14	17 ^d
Kalcium-innehåll		mg/kg	12	<5	176	<5	<5 ^d
Järn-innehåll		mg/kg	3	<5	14	22	26,5 ^d
Kalium-innehåll		mg/kg	9070	3330	11300	5300	6386 ^d
Magnesium-innehåll		mg/kg	<5	<5	47	<5	<5 ^d
Mangan-innehåll		mg/kg	<5	<5	<5	<5	<5 ^d
Natrium-innehåll		mg/kg	<5	47	67	3550	4277 ^d
Fosfor-innehåll		mg/kg	19	13	198	196	236 ^d
Kisel-innehåll		mg/kg	23	18	66	27	33 ^d
Titan-innehåll		mg/kg	<5	<5	<5	<5	<5 ^d
Askans smältbeteende:							
Begynnande sintring	DIN 51 730	°C	800	1000	820	920	
Mjukningstemperatur		°C	840	1040	Ej ob-	970	
Hemisfärisk temperatur		°C	860	1050	serverat	980	
Flytttemperatur (helt smält)		°C	880	1100	900	990	

^a Gäller per massa, kg eller gram som råglycerin.

^b MONG = Mängd (massa) organiskt material som ej är glycerin.

^c Kalorimetriskt värmevärde beräknat utifrån det effektiva värmevärdet, fukthalt och vätehalt enl tabell ovan, vattnets specifika ångbildningsentalpi: 2260 kJ/kg (Mörtstedt & Hellsten, 1982).

^d Värderna beräknade från värdena i kolumnen närmast till vänster, utifrån att 17 % av massan gått bort från detta glycerin vid rullindustning för att avlägsna en för hög halt kvarvarande metanol, under antagande att inget av de angivna ämnena följt med bort vid denna rullindustning.

Tabell B3:3. Analys av askor gjorda av Eurofins

Pelletningsförsök ^a :	Gly17	Gly18	Gly19	Gly20 ^b	Gly23 ^b	Solett ^b	Osäkerhet	Metod/ref
Bränsleslag	Tall	Tall	Tall	Tall	Tall	Gran		
Sort av glycerin	Inget	1a	2a	1a	1b	Inget		
Konc glycerin, %	0	1	1	5	1	0		
Fukthalt, %	0,7	0,9	0,6	1,6	1,6	0,6	± 10 %	CEN/TS 14774 / 14780
Kisel Si, mg/kg ts	86600	86800	39200	71100	63000	51300	± 20 %	SS-EN 14385
Kiseloxid SiO ₂ , mg/kg ts	190000	190000	84000	150000	130000	110000	± 20 %	SS-EN 14385
Kalcium Ca, mg/kg ts	93700	131200	57300	66100	93500	49300	± 30 %	EN 13656 mod.
Kalciumoxid CaO, mg/kg ts	130000	180000	80000	93000	130000	69000	± 30 %	EN 13656 mod.
Aluminium Al, mg/kg ts	11100	19200	13100	8500	9900	9400	± 25 %	EN 13656 mod.
Aluminiumoxid Al ₂ O ₃ , mg/kg ts	21000	36000	25000	16000	19000	18000	± 25 %	EN 13656 mod.
Järn Fe, mg/kg ts	26200	61600	47300	24400	49800	33200	± 25 %	EN 13656 mod.
Järnoxid Fe ₂ O ₃ , mg/kg ts	37000	88000	68000	35000	71000	47000	± 25 %	EN 13656 mod.
Kalium K, mg/kg ts	44300	50500	36200	28500	47800	27200	± 20 %	EN 13656 mod.
Kaliumoxid K ₂ O, mg/kg ts	54000	61000	44000	34000	58000	33000	± 20 %	EN 13656 mod.
Magnesium Mg, mg/kg ts	20100	26200	12100	15200	21300	10100	± 20 %	EN 13656 mod.
Magnesiumoxid MgO, mg/kg ts	34000	44000	20000	25000	36000	17000	± 20 %	EN 13656 mod.
Mangan Mn, mg/kg ts	10100	14100	6600	7000	13200	5500	± 20 %	EN 13656 mod.
Manganoxid MnO ₂ , mg/kg ts	16000	22000	10000	11000	21000	8700	± 20 %	EN 13656 mod.
Natrium Na, mg/kg ts	4300	5100	2400	3300	6000	3600	± 20 %	EN 13656 mod.
Natriumoxid Na ₂ O, mg/kg ts	5800	6900	3200	4500	8100	4900	± 20 %	EN 13656 mod.
Fosfor P, mg/kg ts	7900	9000	4700	4600	7700	4100	± 20 %	EN 13656 mod.
Fosforoxid P ₂ O ₅ , mg/kg ts	18000	21000	11000	11000	18000	9400	± 20 %	EN 13656 mod.
Titan Ti, mg/kg ts	620	830	360	410	700	400	± 20 %	EN 13656 mod.
Titanoxid TiO ₂ , mg/kg ts	1000	1400	600	680	1200	670	± 20 %	EN 13656 mod.
Antimon Sb, mg/kg ts	<2,5	<2,5	3,2	<2,5	2,9	<2,5	± 15 %	EN 13656 mod.
Arsenik As, mg/kg ts	12	13	110	8,2	12	68	± 25 %	EN 13656 mod.
Bly Pb, mg/kg ts	2,7	2,4	17	<1,0	6,3	11	± 20 %	EN 13656 mod.
Barium Ba, mg/kg ts	800	970	470	550	920	480	± 30 %	EN 13656 mod.
Beryllium Be, mg/kg ts	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	± 25 %	EN 13656 mod.
Bor B, mg/kg ts	74	95	84	48	110	81	± 20 %	SS028150-2
Kadmium Cd, mg/kg ts	<0,50	<0,50	0,65	<0,51	<0,51	<0,50	± 30 %	EN 13656 mod.
Kobolt Co, mg/kg ts	31	67	58	34	68	36	± 30 %	EN 13656 mod.
Koppar Cu, mg/kg ts	130	280	230	140	260	150	± 20 %	EN 13656 mod.
Kvicksilver Hg, mg/kg ts	<0,045	<0,045	<0,045	<0,046	<0,046	<0,045	± 25 %	SS028150-2
Krom Cr, mg/kg ts	3700	8000	7600	4300	7800	4200	± 25 %	EN 13656 mod.
Molybden Mo, mg/kg ts	61	140	100	76	160	69	± 25 %	EN 13656 mod.
Nickel Ni, mg/kg ts	1700	3600	3700	2100	4100	2400	± 35 %	EN 13656 mod.
Vanadin V, mg/kg ts	89	190	58	58	120	25	± 25 %	EN 13656 mod.
Tenn Sn, mg/kg ts	2,8	24	7,3	2,8	5,4	5,0	± 20 %	EN 13656 mod.
Zink Zn, mg/kg ts	160	210	1300	93	200	570	± 25 %	EN 13656 mod.

BILAGA 4. RESULTAT FRÅN ELDNINGSFÖRSÖKEN

Tabell B4:1. Resultat från eldningsförsöken

Eldningsförsök:	Gly 1	Gly 5	Gly 11	Gly 12	Gly 13	Gly 14	Gly 17	Gly 18	Gly 19	Gly 20	Gly 21	Gly 23	Gly 24	Solett
Bränsleslag	Halm	Halm	Rörflen	Rörflen	Rörflen	Rörflen	Tall	Tall	Tall	Tall	Tall	Tall	Tall	Gran
Sort av glycerin	Inget	2a	Inget	1a	2a	1a	Inget	1a	2a	1a	2a	1b	2b	Inget
Konc glycerin, %	0	5	0	1	1	5	0	1	1	5	5	1	1	0
Träpellets (Solett), g	11208	7687	5969	6276	6990	6376	5980	7677	5743	5246	6165	6547	6035	6442
Halm- rörflens-, tallpellets mix med glycerin, g	9556	5249	8153	8810	6413	5749	7509	7672	7199	6381	5927	7837	8238	0
Summa bränsle, g	20764	12936	14122	15086	13402	12125	13489	15349	12942	11627	12092	14384	14273	6442
Bränsleflöde, kg/h	9,56	5,25	5,44	5,87	4,28	6,16	5,43	5,11	4,80	4,40	3,95	4,35	5,20	9,66
Förbränningsrest (aska + oförbränt), g	472,2	238,5	532,5	502,5	614,9	371,4	61,64	30,53	49,25	71,09	25,84	38,8	59,44	64,40
Förbränningsrest, % av bränsle, % av bränsle	2,27	1,84	3,77	3,33	4,59	3,06	0,46	0,20	0,38	0,61	0,21	0,27	0,42	1,00
Oförbränt, andel av förbränningsrest, %	29,4	21,0	22,3	18,9	25,4	22,9	23,2	23,2	43,7	45,1	10,6	25,0	14,2	64,3
Aska, andel av förbränningsrest, %	61,7	79,5	76,7	79,7	73,2	76,3	76,8	76,8	56,3	54,9	89,4	75,0	85,8	35,7
Oförbränt räknat som andel av halmpellets, %	1,45	0,95	1,46	1,08	2,44	1,48	0,19	0,09	0,30	0,50	0,05	0,12	0,10	0,64
Oförbränt räknat som andel av allt bränsle, %	0,67	0,39	0,84	0,63	1,17	0,70	0,11	0,05	0,17	0,28	0,02	0,07	0,06	0,64
Sintrat (rejekt efter sällning), g	188,5	120,5	31,6	45,5	38,1	16,9	1,25	1,06	0,26	0,76	0,019	0,406	4,99	0
Sintrat, % av aska, % av aska	64,7	63,5	7,74	11,4	8,47	5,97	2,64	4,54	0,94	1,96	0,08	1,40	9,78	0
Sintrat, räknat som andel av halmpellets, %	1,97	2,30	0,39	0,52	0,59	0,29	0,017	0,014	0,0036	0,012	0,0003	0,0052	0,061	0
Sintrat, räknat som andel av allt bränsle, %	0,91	0,93	0,22	0,30	0,28	0,14	0,0093	0,0069	0,0020	0,0066	0,0002	0,0028	0,035	0
Medelvärden av rökgasemissioner loggade under provtagning:														
CO, ppm	5209	1210	302			327	290	669	687	778	478	1170	352	
CO ₂ , %	14,3	11,1	8,5	10,3	8,7	10,5	9,7	9,8	9,3	9,3	7,9	8,6	9,2	
NO, ppm	186	203	256			288	65,9	73,1	72,6	64,2	52,1	56,2	69,6	
NO ₂ , ppm	12,7	14,2	33,7			26,5	9,6	6,1	22,9	9,3	5,7	7,0	9,9	
NO _x , ppm	199	218	290			315	75,5	79,4	95,4	73,4	57,9	63,3	79,6	
O ₂ , %	5,52	9,07	11,9			9,71	10,5	10,3	11,0	10,8	11,8	11,7	11,1	
SO ₂ , ppm	1,83	0,19	7,35			20,9	0,66	0,015	0,077	0,80	0,41	2,08	1,33	
T, medel, °C	969	676	556	583	566	480	710	648	640	638	538	684	663	
T, max, °C	1057	869	741	702	702	537	760	691	701	798	602	750	704	
Analyser SP:														
Åkrolein, Ej detekterbart i något fall, mg/m ³	<0,15	<0,16	<0,028			<0,06	<0,030			<0,024	<0,024			
Formaldehyd, Låga värden, tycks ej bero på glycerinet, mg/m ³	1,23	3,28	0,025			<0,06	0,18			0,14	0,09			
Partiklar, mg/kg bränsle			0,56	0,85	0,78	1,50	0,51	1,33	0,93	2,99		1,12	1,69	0,09

^a Endast försöken: Gly 1; Gly 5; Gly 11; Gly 12; Gly 13; Gly 14; Gly 17; Gly 18; Gly 19; Gly 20; Gly 21; Gly 23; och Gly 24 eldades.

BILAGA 5. STUDIER AV RISK FÖR ASKRELATERADE PROBLEM UTIFRÅN NYCKELTAL

Tabell B5:1. Nyckeltal för grundbränslena och de tillsatta glycerinsorterna

Typ av nyckeltal	Tolkning	Riskområde	Halm	Rörflen	Tall	Glycerin 1a	Glycerin 1b	Glycerin 2a	Glycerin 2b
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	>0,8	1,32	0,18	1,01	53,60	11,44	30,03	13,49
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0,2–1	1,06	0,07	0,31	189,05	82,83	90,73	201,11
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	>0,3	0,55	0,28	0,22	1,00	0,96	0,99	1,00
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	>6	155,03	275,34	38,42	2,45	1,81	6,92	3,70
Eutektikumstal	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0,2–0,8	0,01	0,04	0,13	0,00	0,01	0,02	0,53
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0,2–4	0,34	1,15	0,84	0,02	0,04	4,36	3,90
S/Cl	Överkott av svavel	<2	0,63	1,99	2,21	7,74	0,76	111,80	5,02
Miles index	Alkaliinnehåll i förhållande till värmevärde	>0,34	0,67	0,17	0,04	0,52	0,68	0,21	1,02

Tabell B5:2. Sammansättning och värmevärde hos halmpellets innehållande glycerin, baserat på beräkningar utifrån sammansättningen hos halm och de olika glycerinslagen

Innehåll av glycerin, sort mängd, %	Ingen 0	Gly 1a 1	Gly 1a 2	Gly 1a 5	Gly 1a 10	Gly 2a 1	Gly 2a 2	Gly 2a 5	Gly 2a 10	Gly 1b 1	Gly 1b 2	Gly 1b 5	Gly 1b 10	Gly 2b 1	Gly 2b 2	Gly 2b 5	Gly 2b 10
Askhalt, % av ts	3,60	3,62	3,63	3,68	3,75	3,59	3,58	3,54	3,48	3,64	3,69	3,82	4,03	3,66	3,71	3,88	4,15
Al, % av aska	0,16	0,16	0,15	0,15	0,14	0,16	0,16	0,15	0,14	0,16	0,16	0,15	0,15	0,16	0,15	0,15	0,14
Ca, % av aska	9,72	9,57	9,42	8,97	8,22	9,61	9,50	9,16	8,60	9,59	9,45	9,04	8,36	9,56	9,40	8,92	8,13
Fe, % av aska	0,31	0,30	0,30	0,28	0,26	0,30	0,30	0,29	0,27	0,30	0,30	0,29	0,26	0,30	0,30	0,28	0,26
K, % av aska	27,78	27,67	27,57	27,26	26,74	27,62	27,46	26,98	26,17	27,62	27,47	27,01	26,24	27,48	27,18	26,29	24,81
Mg, % av aska	1,42	1,39	1,37	1,31	1,20	1,40	1,38	1,34	1,26	1,40	1,38	1,32	1,22	1,39	1,37	1,30	1,19
Mn, % av aska	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07	0,06	0,06
Na, % av aska	0,25	0,24	0,24	0,23	0,21	0,25	0,25	0,24	0,24	0,25	0,24	0,24	0,23	0,35	0,45	0,76	1,27
P, % av aska	1,00	0,99	0,97	0,93	0,85	0,99	0,98	0,95	0,89	0,99	0,98	0,95	0,90	0,99	0,98	0,95	0,89
Si, % av aska	12,78	12,58	12,38	11,79	10,80	12,63	12,48	12,05	11,31	12,60	12,41	11,87	10,95	12,57	12,36	11,73	10,69
Ti, % av aska	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
S, % av aska	2,22	2,19	2,16	2,06	1,90	2,49	2,75	3,55	4,88	2,19	2,16	2,07	1,93	2,68	3,14	4,51	6,80
Cl, % av aska	3,89	3,83	3,77	3,59	3,29	3,85	3,80	3,68	3,47	3,84	3,78	3,63	3,36	3,93	3,98	4,11	4,34
K+Na, % av aska	28,03	27,92	27,81	27,49	26,95	27,86	27,70	27,22	26,42	27,87	27,71	27,25	26,47	27,83	27,64	27,05	26,08
Kal. värmev., MJ/kg ts	19,26	19,33	19,39	19,60	19,95	19,28	19,31	19,40	19,54	19,29	19,32	19,41	19,57	19,24	19,22	19,16	19,06

Tabell B5:3. Förändring av sammansättning och värmevärde hos halmpellets vid tillsats av glycerin, baserat på beräkningar utifrån sammansättningen hos halm och de olika glycerinslagen

Innehåll av glycerin, sort mängd, %	Gly 1a 1	Gly 1a 2	Gly 1a 5	Gly 1a 10	Gly 2a 1	Gly 2a 2	Gly 2a 5	Gly 2a 10	Gly 1b 1	Gly 1b 2	Gly 1b 5	Gly 1b 10	Gly 2b 1	Gly 2b 2	Gly 2b 5	Gly 2b 10
Askhalt, förändring, %	0,43	0,85	2,13	4,27	-0,33	-0,67	-1,67	-3,35	1,20	2,40	6,01	12,02	1,54	3,08	7,70	15,40
Al, förändring, %	-1,14	-2,28	-5,71	-11,42	-1,00	-2,00	-5,01	-10,02	-0,48	-0,95	-2,38	-4,75	-1,38	-2,75	-6,88	-13,77
Ca, förändring, %	-1,55	-3,10	-7,74	-15,48	-1,15	-2,30	-5,75	-11,51	-1,40	-2,80	-7,00	-13,99	-1,64	-3,28	-8,20	-16,40
Fe, förändring, %	-1,52	-3,03	-7,59	-15,17	-1,07	-2,15	-5,37	-10,75	-1,34	-2,68	-6,69	-13,39	-1,43	-2,85	-7,13	-14,26
K, förändring, %	-0,37	-0,75	-1,87	-3,74	-0,58	-1,15	-2,89	-5,77	-0,55	-1,10	-2,76	-5,52	-1,07	-2,14	-5,35	-10,70
Mg, förändring, %	-1,54	-3,08	-7,70	-15,40	-1,14	-2,27	-5,68	-11,36	-1,37	-2,73	-6,83	-13,67	-1,63	-3,26	-8,16	-16,31
Mn, förändring, %	-1,29	-2,59	-6,46	-12,93	-0,81	-1,61	-4,04	-8,07	-1,28	-2,56	-6,41	-12,82	-1,43	-2,85	-7,13	-14,26
Na, förändring, %	-1,48	-2,96	-7,40	-14,80	-0,24	-0,48	-1,20	-2,40	-0,85	-1,70	-4,24	-8,48	41,40	82,80	207,00	414,01
P, förändring, %	-1,48	-2,97	-7,42	-14,84	-1,09	-2,18	-5,45	-10,91	-1,01	-2,01	-5,04	-10,07	-1,05	-2,11	-5,27	-10,55
Si, förändring, %	-1,55	-3,09	-7,73	-15,46	-1,15	-2,29	-5,73	-11,47	-1,43	-2,86	-7,14	-14,28	-1,64	-3,27	-8,18	-16,36
Ti, förändring, %	-0,96	-1,92	-4,81	-9,62	-0,37	-0,73	-1,83	-3,67	-1,08	-2,16	-5,41	-10,82	-1,15	-2,30	-5,76	-11,52
S, förändring, %	-1,44	-2,88	-7,20	-14,39	11,97	23,95	59,87	119,74	-1,33	-2,66	-6,65	-13,31	20,61	41,23	103,07	206,14
Cl, förändring, %	-1,54	-3,09	-7,72	-15,44	-1,08	-2,16	-5,40	-10,79	-1,35	-2,70	-6,75	-13,49	1,16	2,31	5,78	11,56
K+Na, förändring, %	-0,38	-0,77	-1,92	-3,83	-0,57	-1,15	-2,87	-5,74	-0,55	-1,11	-2,77	-5,55	-0,70	-1,39	-3,48	-6,95
Kal. värmev., förändring, %	0,36	0,72	1,80	3,59	0,15	0,29	0,73	1,47	0,16	0,33	0,82	1,64	-0,10	-0,20	-0,50	-1,01

Tabell B5:4. Nyckeltal vid tillsats av glycerin till halm, baserat på beräkningar utifrån sammansättningen hos halm och de olika glycerinslagen

Innehåll av glycerin, sort mängd, %	Risk- område	Ingen 0	Gly 1a 1	Gly 1a 2	Gly 1a 5	Gly 1a 10	Gly 2a 1	Gly 2a 2	Gly 2a 5	Gly 2a 10	Gly 1b 1	Gly 1b 2	Gly 1b 5	Gly 1b 10	Gly 2b 1	Gly 2b 2	Gly 2b 5	Gly 2b 10
Alkalinitetstal	>0,8	1,32	1,33	1,34	1,36	1,42	1,33	1,33	1,34	1,37	1,33	1,33	1,35	1,39	1,33	1,34	1,36	1,41
Förglasningstal	0,2-1	1,06	1,07	1,08	1,12	1,20	1,06	1,07	1,09	1,13	1,07	1,08	1,11	1,16	1,07	1,08	1,13	1,21
Alkaliandel	>0,3	0,55	0,55	0,55	0,56	0,58	0,55	0,55	0,55	0,56	0,55	0,55	0,56	0,57	0,55	0,55	0,56	0,58
Fältpattal	>6	155,03	154,39	153,74	151,70	147,95	154,80	154,57	153,84	152,53	153,54	152,04	147,46	139,52	154,62	154,20	152,87	150,37
Eutektikumstal	0,2-0,8	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,08
Saltkvot	0,2-4	0,34	0,34	0,34	0,33	0,31	0,37	0,39	0,46	0,59	0,34	0,34	0,33	0,32	0,39	0,43	0,56	0,79
S/Cl	<2	0,63	0,63	0,63	0,64	0,64	0,71	0,80	1,07	1,56	0,63	0,63	0,63	0,63	0,75	0,87	1,21	1,73
Miles index	>0,34	0,67	0,67	0,67	0,66	0,65	0,67	0,66	0,64	0,61	0,68	0,68	0,69	0,70	0,68	0,69	0,71	0,75

Tabell B5:5. Förändring av nyckeltal hos halmpellets vid tillsats av glycerin, baserat på beräkningar utifrån sammansättningen hos halm och de olika glycerinslagen

Innehåll av glycerin, sort mängd, %	Gly 1a 1	Gly 1a 2	Gly 1a 5	Gly 1a 10	Gly 2a 1	Gly 2a 2	Gly 2a 5	Gly 2a 10	Gly 1b 1	Gly 1b 2	Gly 1b 5	Gly 1b 10	Gly 2b 1	Gly 2b 2	Gly 2b 5	Gly 2b 10
Alkalinitetstal, förändring, %	0,62	1,27	3,32	7,25	0,31	0,62	1,60	3,41	0,45	0,90	2,36	5,10	0,60	1,22	3,20	7,00
Förglasningstal, förändring, %	1,17	2,39	6,26	13,68	0,58	1,18	3,05	6,49	0,88	1,79	4,69	10,16	1,22	2,48	6,53	14,33
Alkaliandel, förändring, %	0,53	1,07	2,76	5,79	0,26	0,53	1,37	2,86	0,38	0,78	2,00	4,20	0,55	1,12	2,87	6,06
Fältpattal, förändring, %	-0,41	-0,83	-2,14	-4,56	-0,15	-0,30	-0,76	-1,61	-0,96	-1,92	-4,88	-10,00	-0,26	-0,53	-1,39	-3,00
Eutektikumstal, förändring, %	-1,09	-2,20	-5,56	-11,34	0,33	0,67	1,71	3,53	-0,29	-0,59	-1,50	-3,09	42,02	84,41	213,86	437,49
Saltkvot, förändring, %	-1,10	-2,21	-5,58	-11,39	6,82	13,71	34,89	71,89	-0,79	-1,58	-4,02	-8,29	12,51	25,12	63,65	130,22
S/Cl, förändring, %	0,11	0,22	0,57	1,24	13,20	26,68	68,99	146,32	0,02	0,04	0,10	0,21	19,24	38,04	91,98	174,42
Miles index, förändring, %	-0,32	-0,65	-1,63	-3,28	-1,05	-2,09	-5,18	-10,19	0,47	0,93	2,22	4,08	1,20	2,39	5,88	11,48

Tabell B5:6. Sammansättning och värmevärde hos halmpellets innehållande glycerin, baserat på kemiska analyser

Innehåll av glycerin, sort mängd, %	Ingen 0	Gly 1a 1	Gly 1a 2	Gly 1a 5	Gly 1a 10	Gly 2a 1	Gly 2a 2	Gly 2a 5	Gly 2a 10	Gly 1b 1	Gly 1b 2	Gly 1b 5	Gly 1b 10	Gly 2b 1	Gly 2b 2	Gly 2b 5	Gly 2b 10
Kal. värmev., MJ/kg ts	19,3	19,1		19,7		19,1		19,1		19,1				19,0			
Askhalt, % av ts	3,6	3,5		3,8		3,4		3,4		3,7				3,4			
Al, % av aska	0,16	0,11		0,10		0,14		0,08		0,11				0,08			
Ca, % av aska	9,72	10,00		9,74		10,00		9,41		10,81				9,71			
Fe, % av aska	0,31	0,23		0,23		0,21		0,21		0,18				0,32			
K, % av aska	27,78	30,29		31,32		30,00		29,12		28,92				30,00			
Mg, % av aska	1,42	1,46		1,32		1,41		1,35		1,41				1,41			
Mn, % av aska	0,07	0,08		0,06		0,06		0,07		0,06				0,06			
Na, % av aska	0,25	0,19		0,16		0,18		0,18		0,15				0,41			
P, % av aska	1,00	1,09		0,97		1,03		0,97		1,05				1,24			
Si, % av aska	12,78	14,86		14,74		14,41		9,12		13,24				12,65			
Ti, % av aska	0,03	0,03		0,03		0,03		0,03		0,03				0,03			
S, % av aska	2,22	2,29		1,58		2,35		2,65		1,89				1,47			
Cl, % av aska	3,89	4,29		3,68		4,41		4,71		4,32				4,71			
K+Na, % av aska	28,03	30,47		31,48		30,18		29,29		29,07				30,41			

Tabell B5:7. Förändring av sammansättning och värmevärde hos halmpellets vid tillsats av glycerin, baserat på kemiska analyser

Innehåll av glycerin, sort mängd, %	Gly 1a 1	Gly 1a 2	Gly 1a 5	Gly 1a 10	Gly 2a 1	Gly 2a 2	Gly 2a 5	Gly 2a 10	Gly 1b 1	Gly 1b 2	Gly 1b 5	Gly 1b 10	Gly 2b 1	Gly 2b 2	Gly 2b 5	Gly 2b 10
Kal. värmev., förändring, %	-0,60		2,10		-0,93		-0,68		-0,89				-1,44			
Askhalt, förändring, %	-2,78		5,56		-5,56		-5,56		2,78				-5,56			
Al, förändring, %	-27,82		-38,50		-14,55		-51,70		-31,72				-47,99			
Ca, förändring, %	2,86		0,15		2,86		-3,19		11,20				-0,17			
Fe, förändring, %	-25,19		-24,21		-32,62		-30,70		-39,85				5,88			
K, förändring, %	9,03		12,74		8,00		4,82		4,11				8,00			
Mg, förändring, %	2,86		-7,12		-0,35		-4,50		-0,79				-0,35			
Mn, förändring, %	15,20		-9,05		-6,82		1,65		-6,59				-6,82			
Na, förändring, %	-23,72		-35,07		-28,62		-28,62		-38,78				66,56			
P, förändring, %	8,57		-2,63		2,94		-2,94		5,41				23,53			
Si, förändring, %	16,27		15,33		12,79		-28,64		3,64				-1,02			
Ti, förändring, %	2,86		-5,26		5,88		5,88		-2,70				5,88			
S, förändring, %	2,86		-28,95		5,88		19,12		-14,86				-33,82			
Cl, förändring, %	10,20		-5,26		13,45		21,01		11,20				21,01			
K+Na, förändring, %	8,74		12,32		7,68		4,53		3,73				8,52			

Tabell B5:8. Nyckeltal vid tillsats av glycerin till halm, baserat på kemiska analyser

Innehåll av glycerin, sort mängd, %	Risk- område	Ingen 0	Gly 1a 1	Gly 1a 2	Gly 1a 5	Gly 1a 10	Gly 2a 1	Gly 2a 2	Gly 2a 5	Gly 2a 10	Gly 1b 1	Gly 1b 2	Gly 1b 5	Gly 1b 10	Gly 2b 1	Gly 2b 2	Gly 2b 5	Gly 2b 10
Alkalinitetstal	>0,8	1,32	1,21		1,23		1,24		1,80		1,34				1,37			
Förglasningstal	0,2-1	1,06	0,99		1,03		1,01		1,55		1,06				1,16			
Alkaliandel	>0,3	0,55	0,56		0,58		0,56		0,56		0,53				0,57			
Fältspattal	>6	155,03	249,73		290,74		204,62		229,04		235,32				295,01			
Eutektikumstal	0,2-0,8	0,01	0,01		0,01		0,01		0,01		0,01				0,02			
Saltkvot	0,2-4	0,34	0,34		0,25		0,35		0,40		0,32				0,29			
S/Cl	<2	0,63	0,59		0,47		0,59		0,62		0,48				0,35			
Miles index	>0,34	0,67	0,72		0,78		0,69		0,67		0,72				0,70			

Tabell B5:9. Förändring av nyckeltal hos halmpellets vid tillsats av glycerin, baserat på kemiska analyser

Innehåll av glycerin, sort mängd, %	Gly 1a 1	Gly 1a 2	Gly 1a 5	Gly 1a 10	Gly 2a 1	Gly 2a 2	Gly 2a 5	Gly 2a 10	Gly 1b 1	Gly 1b 2	Gly 1b 5	Gly 1b 10	Gly 2b 1	Gly 2b 2	Gly 2b 5	Gly 2b 10
Alkalinitetstal, förändring, %	-8,41		-6,77		-6,32		36,19		1,71				3,66			
Förglasningstal, förändring, %	-6,65		-2,87		-4,73		46,20		-0,17				10,00			
Alkaliandel, förändring, %	2,44		5,70		2,26		3,51		-2,32				3,94			
Fältspattal, förändring, %	61,09		87,54		31,99		47,74		51,79				90,30			
Eutektikumstal, förändring, %	-29,73		-42,04		-33,57		-31,58		-40,83				52,98			
Saltkvot, förändring, %	-2,24		-27,23		1,65		14,98		-6,59				-16,96			
S/Cl, förändring, %	-6,67		-25,00		-6,67		-1,56		-23,44				-45,31			
Miles index, förändring, %	6,16		15,81		2,44		-0,80		7,30				4,33			

Tabell B5:10. Sammansättning och värmevärde hos rörflenspellets innehållande glycerin, baserat på beräkningar utifrån sammansättningen hos rörflen och de olika glycerinslagen

Innehåll av glycerin, sort mängd, %	Ingen 0	Gly 1a 1	Gly 1a 2	Gly 1a 5	Gly 1a 10	Gly 2a 1	Gly 2a 2	Gly 2a 5	Gly 2a 10	Gly 1b 1	Gly 1b 2	Gly 1b 5	Gly 1b 10	Gly 2b 1	Gly 2b 2	Gly 2b 5	Gly 2b 10
Askhalt, % av ts	5,90	5,88	5,86	5,80	5,70	5,86	5,82	5,71	5,51	5,91	5,92	5,95	6,00	5,92	5,94	5,99	6,08
Al, % av aska	0,20	0,20	0,20	0,19	0,18	0,20	0,20	0,19	0,18	0,20	0,20	0,20	0,19	0,20	0,20	0,19	0,17
Ca, % av aska	3,56	3,50	3,45	3,29	3,01	3,52	3,48	3,36	3,15	3,51	3,46	3,32	3,09	3,50	3,44	3,27	2,98
Fe, % av aska	0,49	0,48	0,48	0,45	0,42	0,49	0,48	0,46	0,44	0,48	0,48	0,46	0,42	0,48	0,48	0,45	0,42
K, % av aska	3,90	4,17	4,43	5,23	6,57	4,01	4,13	4,47	5,05	4,09	4,28	4,85	5,80	3,99	4,09	4,37	4,85
Mg, % av aska	1,14	1,12	1,10	1,05	0,96	1,12	1,11	1,07	1,01	1,12	1,10	1,06	0,98	1,12	1,10	1,04	0,95
Mn, % av aska	0,24	0,23	0,23	0,22	0,20	0,23	0,23	0,22	0,21	0,23	0,23	0,22	0,20	0,23	0,23	0,22	0,20
Na, % av aska	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,20	0,30	0,62	1,14
P, % av aska	1,69	1,67	1,64	1,57	1,44	1,68	1,66	1,60	1,51	1,67	1,65	1,59	1,49	1,67	1,65	1,59	1,48
Si, % av aska	29,15	28,70	28,25	26,89	24,63	28,82	28,48	27,48	25,80	28,73	28,32	27,06	24,97	28,67	28,20	26,76	24,37
Ti, % av aska	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
S, % av aska	1,53	1,50	1,48	1,42	1,31	1,80	2,07	2,90	4,27	1,51	1,49	1,43	1,33	1,99	2,46	3,87	6,22
Cl, % av aska	0,85	0,83	0,82	0,78	0,72	0,84	0,83	0,81	0,78	0,84	0,83	0,80	0,76	0,94	1,04	1,32	1,80
K+Na, % av aska	3,99	4,26	4,52	5,32	6,65	4,11	4,22	4,57	5,15	4,18	4,37	4,94	5,89	4,19	4,39	4,99	5,99
Kal. värmev., MJ/kg ts	18,50	18,58	18,66	18,90	19,31	18,54	18,57	18,68	18,87	18,54	18,58	18,71	18,92	18,49	18,49	18,47	18,43

Tabell B5:11. Förändring av sammansättning och värmevärde hos rörlenspellen vid tillsats av glycerin, baserat på beräkningar utifrån sammansättningen hos rörlen och de olika glycerinslagen

Innehåll av glycerin, sort mängd, %	Gly 1a 1	Gly 1a 2	Gly 1a 5	Gly 1a 10	Gly 2a 1	Gly 2a 2	Gly 2a 5	Gly 2a 10	Gly 1b 1	Gly 1b 2	Gly 1b 5	Gly 1b 10	Gly 2b 1	Gly 2b 2	Gly 2b 5	Gly 2b 10
Askhalt, förändring, %	-0,35	-0,69	-1,73	-3,45	-0,65	-1,31	-3,27	-6,54	0,17	0,34	0,86	1,72	0,30	0,60	1,50	3,00
Al, förändring, %	-1,23	-2,47	-6,17	-12,33	-1,04	-2,07	-5,18	-10,35	-0,69	-1,38	-3,44	-6,89	-1,44	-2,87	-7,18	-14,36
Ca, förändring, %	-1,54	-3,08	-7,70	-15,41	-1,15	-2,29	-5,73	-11,47	-1,33	-2,66	-6,66	-13,31	-1,64	-3,28	-8,19	-16,38
Fe, förändring, %	-1,53	-3,06	-7,65	-15,31	-1,10	-2,21	-5,52	-11,05	-1,38	-2,75	-6,88	-13,77	-1,51	-3,02	-7,54	-15,08
K, förändring, %	6,85	13,70	34,25	68,49	2,95	5,90	14,76	29,52	4,88	9,76	24,40	48,81	2,43	4,87	12,17	24,33
Mg, förändring, %	-1,54	-3,07	-7,68	-15,37	-1,13	-2,26	-5,66	-11,32	-1,35	-2,70	-6,74	-13,49	-1,63	-3,26	-8,14	-16,29
Mn, förändring, %	-1,48	-2,95	-7,38	-14,77	-1,05	-2,10	-5,26	-10,52	-1,39	-2,79	-6,96	-13,93	-1,58	-3,16	-7,89	-15,79
Na, förändring, %	-1,36	-2,71	-6,78	-13,56	1,31	2,63	6,57	13,14	0,16	0,31	0,79	1,57	114,62	229,25	573,11	1146,23
P, förändring, %	-1,51	-3,02	-7,56	-15,12	-1,12	-2,23	-5,58	-11,17	-1,18	-2,37	-5,92	-11,84	-1,30	-2,59	-6,48	-12,95
Si, förändring, %	-1,55	-3,10	-7,75	-15,50	-1,15	-2,30	-5,75	-11,50	-1,43	-2,87	-7,17	-14,34	-1,64	-3,28	-8,20	-16,39
Ti, förändring, %	-0,79	-1,58	-3,96	-7,92	-0,14	-0,28	-0,70	-1,41	-0,98	-1,96	-4,90	-9,79	-1,01	-2,02	-5,05	-10,10
S, förändring, %	-1,39	-2,77	-6,94	-13,87	17,97	35,94	89,85	179,70	-1,28	-2,56	-6,41	-12,82	30,78	61,56	153,91	307,81
Cl, förändring, %	-1,51	-3,02	-7,55	-15,10	-0,81	-1,63	-4,07	-8,13	-1,03	-2,05	-5,14	-10,27	11,20	22,39	55,99	111,97
K+Na, förändring, %	6,66	13,32	33,30	66,61	2,91	5,83	14,57	29,14	4,77	9,54	23,86	47,72	5,01	10,01	25,03	50,07
Kal. värmev., förändring, %	0,44	0,87	2,19	4,37	0,20	0,40	1,00	2,00	0,23	0,46	1,15	2,30	-0,04	-0,08	-0,19	-0,38

Tabell B5:12. Nyckeltal vid tillsats av glycerin till rörlen, baserat på beräkningar utifrån sammansättningen hos rörlen och de olika glycerinslagen

Innehåll av glycerin, sort mängd, %	Risk- område	Ingen 0	Gly 1a 1	Gly 1a 2	Gly 1a 5	Gly 1a 10	Gly 2a 1	Gly 2a 2	Gly 2a 5	Gly 2a 10	Gly 1b 1	Gly 1b 2	Gly 1b 5	Gly 1b 10	Gly 2b 1	Gly 2b 2	Gly 2b 5	Gly 2b 10
Alkalinitetstal	>0,8	0,18	0,18	0,19	0,20	0,22	0,18	0,18	0,19	0,20	0,18	0,18	0,19	0,21	0,18	0,19	0,20	0,22
Förglasningstal	0,2-1	0,07	0,07	0,08	0,10	0,13	0,07	0,07	0,08	0,10	0,07	0,08	0,09	0,11	0,07	0,08	0,10	0,13
Alkaliandel	>0,3	0,28	0,29	0,31	0,35	0,43	0,28	0,29	0,32	0,36	0,29	0,30	0,34	0,39	0,29	0,31	0,36	0,43
Fältspattal	>6	275,34	274,46	273,55	270,69	265,39	275,02	274,69	273,67	271,80	273,27	271,18	264,71	253,30	274,77	274,18	272,32	268,79
Eutektikumstal	0,2-0,8	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,08	0,11	0,19	0,29
Saltkvot	0,2-4	1,15	1,06	0,99	0,80	0,60	1,27	1,39	1,72	2,16	1,08	1,02	0,87	0,69	1,36	1,56	2,01	2,53
S/Cl	<2	1,99	1,99	1,99	2,00	2,02	2,37	2,75	3,94	6,06	1,98	1,98	1,96	1,93	2,34	2,63	3,24	3,83
Miles index	>0,34	0,17	0,17	0,18	0,21	0,25	0,17	0,17	0,18	0,20	0,17	0,18	0,20	0,24	0,18	0,19	0,22	0,29

Tabell B5:13. Förändring av nyckeltal hos rörlenspellets vid tillsats av glycerin, baserat på beräkningar utifrån sammansättningen hos rörlens och de olika glycerinslagen

Innehåll av glycerin, sort mängd, %	Gly 1a 1	Gly 1a 2	Gly 1a 5	Gly 1a 10	Gly 2a 1	Gly 2a 2	Gly 2a 5	Gly 2a 10	Gly 1b 1	Gly 1b 2	Gly 1b 5	Gly 1b 10	Gly 2b 1	Gly 2b 2	Gly 2b 5	Gly 2b 10
Alkalinitetstal, förändring, %	2,13	4,32	11,35	24,77	1,06	2,15	5,57	11,86	1,66	3,36	8,79	19,02	2,19	4,45	11,70	25,66
Förglasningstal, förändring, %	8,21	16,69	43,82	95,67	4,09	8,27	21,43	45,65	6,22	12,63	33,03	71,60	8,52	17,33	45,64	100,23
Alkaliandel, förändring, %	5,80	11,52	28,22	54,60	2,92	5,83	14,60	29,23	4,35	8,67	21,47	42,25	6,02	11,95	29,29	56,71
Fältspattal, förändring, %	-0,32	-0,65	-1,69	-3,61	-0,12	-0,24	-0,61	-1,28	-0,75	-1,51	-3,86	-8,00	-0,21	-0,42	-1,10	-2,38
Eutektikumstal, förändring, %	-7,41	-13,96	-29,73	-47,72	-1,53	-2,98	-6,88	-12,22	-4,34	-8,30	-18,39	-30,90	101,07	190,13	403,43	644,41
Saltkvot, förändring, %	-7,46	-14,06	-29,95	-48,06	10,99	21,38	49,40	87,74	-5,66	-10,84	-24,01	-40,34	18,84	35,44	75,19	120,10
S/Cl, förändring, %	0,12	0,25	0,67	1,45	18,94	38,19	97,90	204,46	-0,26	-0,52	-1,34	-2,84	17,61	32,00	62,77	92,39
Miles index, förändring, %	5,70	11,31	27,59	52,95	2,01	3,98	9,61	18,10	4,64	9,27	23,15	46,17	7,10	14,25	35,97	73,08

Tabell B5:14. Sammansättning och värmevärde hos rörlenspellets innehållande glycerin, baserat på kemiska analyser

Innehåll av glycerin, sort mängd, %	Ingen 0	Gly 1a 1	Gly 1a 2	Gly 1a 5	Gly 1a 10	Gly 2a 1	Gly 2a 2	Gly 2a 5	Gly 2a 10	Gly 1b 1	Gly 1b 2	Gly 1b 5	Gly 1b 10	Gly 2b 1	Gly 2b 2	Gly 2b 5	Gly 2b 10
Kal. värmev., MJ/kg ts	18,5	18,9		19,2		19,1											
Askhalt, % av ts	5,9	4,9		5,2		5,7											
Al, % av aska	0,20	0,24		0,29		0,23											
Ca, % av aska	3,56	4,29		3,85		4,04											
Fe, % av aska	0,49	0,57		0,58		0,51											
K, % av aska	3,90	5,71		8,65		6,14											
Mg, % av aska	1,14	1,29		1,19		1,23											
Mn, % av aska	0,24	0,29		0,27		0,26											
Na, % av aska	0,09	0,11		0,10		0,09											
P, % av aska	1,69	1,92		1,77		1,93											
Si, % av aska	29,15	39,39		43,08		37,72											
Ti, % av aska	0,02	0,03		0,03		0,02											
S, % av aska	1,53	1,63		1,54		1,58											
Cl, % av aska	0,85	0,82		0,96		0,88											
K+Na, % av aska	3,99	5,82		8,76		6,24											

Tabell B5:15. Förändring av sammansättning och värmevärde hos rörlenspellets vid tillsats av glycerin, baserat på kemiska analyser

Innehåll av glycerin, sort mängd, %	Gly 1a 1	Gly 1a 2	Gly 1a 5	Gly 1a 10	Gly 2a 1	Gly 2a 2	Gly 2a 5	Gly 2a 10	Gly 1b 1	Gly 1b 2	Gly 1b 5	Gly 1b 10	Gly 2b 1	Gly 2b 2	Gly 2b 5	Gly 2b 10
Kal. värmev., förändring, %	2,11		3,57		3,37											
Askhalt, förändring, %	-16,95		-11,86		-3,39											
Al, förändring, %	20,41		41,83		12,13											
Ca, förändring, %	20,41		8,06		13,37											
Fe, förändring, %	16,26		17,37		3,51											
K, förändring, %	46,58		121,99		57,51											
Mg, förändring, %	13,22		4,99		8,14											
Mn, förändring, %	20,41		13,46		10,90											
Na, förändring, %	20,41		11,36		3,51											
P, förändring, %	13,18		4,38		13,86											
Si, förändring, %	35,11		47,76		29,39											
Ti, förändring, %	20,41		45,88		-3,88											
S, förändring, %	7,03		0,85		3,51											
Cl, förändring, %	-3,67		13,46		3,51											
K+Na, förändring, %	45,98		119,45		56,27											

Tabell B5:16. Nyckeltal vid tillsats av glycerin till rörlens, baserat på kemiska analyser

Innehåll av glycerin, sort mängd, %	Risk- område	Ingen 0	Gly 1a 1	Gly 1a 2	Gly 1a 5	Gly 1a 10	Gly 2a 1	Gly 2a 2	Gly 2a 5	Gly 2a 10	Gly 1b 1	Gly 1b 2	Gly 1b 5	Gly 1b 10	Gly 2b 1	Gly 2b 2	Gly 2b 5	Gly 2b 10
Alkalinitetstal	>0,8	0,18	0,17		0,17		0,17											
Förglasningstal	0,2-1	0,07	0,07		0,10		0,08											
Alkaliandel	>0,3	0,28	0,32		0,44		0,35											
Fältspattal	>6	275,34	308,96		286,86		317,70											
Eutektikumstal	0,2-0,8	0,04	0,03		0,02		0,03											
Saltkvot	0,2-4	1,15	0,83		0,55		0,76											
S/Cl	<2	1,99	2,21		1,77		1,99											
Miles index	>0,34	0,17	0,20		0,31		0,24											

Tabell B5:17. Förändring av nyckeltal hos rörlenspellets vid tillsats av glycerin, baserat på kemiska analyser

Innehåll av glycerin, sort mängd, %	Gly 1a 1	Gly 1a 2	Gly 1a 5	Gly 1a 10	Gly 2a 1	Gly 2a 2	Gly 2a 5	Gly 2a 10	Gly 1b 1	Gly 1b 2	Gly 1b 5	Gly 1b 10	Gly 2b 1	Gly 2b 2	Gly 2b 5	Gly 2b 10
Alkalinitetstal, förändring, %	-6,36		-5,72		-4,53											
Förglasningstal, förändring, %	7,75		47,36		20,14											
Alkaliandel, förändring, %	15,92		58,19		25,65											
Fältspattal, förändring, %	12,21		4,19		15,38											
Eutektikumstal, förändring, %	-17,29		-48,86		-33,41											
Saltkvot, förändring, %	-27,96		-52,52		-33,41											
S/Cl, förändring, %	11,11		-11,11		0,00											
Miles index, förändring, %	18,41		85,30		45,28											

Tabell B5:18. Sammansättning och värmevärde hos tallpellets innehållande glycerin, baserat på beräkningar utifrån sammansättningen hos tall och de olika glycerinslagen

Innehåll av glycerin, sort mängd, %	Ingen 0	Gly 1a 1	Gly 1a 2	Gly 1a 5	Gly 1a 10	Gly 2a 1	Gly 2a 2	Gly 2a 5	Gly 2a 10	Gly 1b 1	Gly 1b 2	Gly 1b 5	Gly 1b 10	Gly 2b 1	Gly 2b 2	Gly 2b 5	Gly 2b 10
Askhalt, % av ts	0,40	0,47	0,53	0,73	1,05	0,42	0,45	0,52	0,65	0,49	0,58	0,85	1,29	0,51	0,62	0,94	1,48
Al, % av aska	1,38	1,35	1,33	1,27	1,17	1,36	1,34	1,30	1,22	1,36	1,34	1,28	1,19	1,35	1,33	1,26	1,15
Ca, % av aska	25,00	24,61	24,22	23,06	21,12	24,71	24,42	23,56	22,12	24,64	24,29	23,22	21,44	24,59	24,18	22,95	20,90
Fe, % av aska	3,25	3,20	3,15	3,00	2,75	3,21	3,18	3,06	2,88	3,20	3,16	3,02	2,79	3,20	3,14	2,99	2,72
K, % av aska	15,50	15,59	15,67	15,93	16,37	15,48	15,46	15,41	15,31	15,52	15,55	15,62	15,73	15,40	15,31	15,02	14,54
Mg, % av aska	4,75	4,68	4,60	4,38	4,01	4,70	4,64	4,48	4,20	4,68	4,62	4,41	4,08	4,67	4,59	4,36	3,97
Mn, % av aska	2,50	2,46	2,42	2,31	2,11	2,47	2,44	2,36	2,21	2,46	2,43	2,32	2,14	2,46	2,42	2,30	2,09
Na, % av aska	1,35	1,33	1,31	1,25	1,14	1,34	1,32	1,28	1,22	1,33	1,31	1,26	1,17	1,43	1,52	1,77	2,19
P, % av aska	2,23	2,19	2,16	2,06	1,89	2,20	2,17	2,10	1,97	2,20	2,17	2,09	1,95	2,19	2,16	2,07	1,92
Si, % av aska	27,50	27,07	26,65	25,37	23,24	27,18	26,87	25,92	24,34	27,11	26,71	25,53	23,56	27,05	26,60	25,25	22,99
Ti, % av aska	0,28	0,27	0,27	0,25	0,23	0,27	0,27	0,26	0,25	0,27	0,27	0,26	0,24	0,27	0,27	0,25	0,23
S, % av aska	5,00	4,92	4,85	4,62	4,25	5,23	5,47	6,17	7,34	4,93	4,86	4,65	4,30	5,41	5,82	7,06	9,12
Cl, % av aska	2,50	2,46	2,42	2,31	2,12	2,47	2,45	2,37	2,24	2,47	2,44	2,34	2,18	2,57	2,64	2,84	3,18
K+Na, % av aska	16,85	16,92	16,98	17,18	17,51	16,82	16,79	16,69	16,53	16,86	16,86	16,88	16,90	16,84	16,83	16,79	16,74
Kal. värmev., MJ/kgts	20,60	20,65	20,70	20,84	21,08	20,61	20,63	20,66	20,73	20,61	20,63	20,66	20,72	20,56	20,52	20,39	20,19

Tabell B5:19. Förändring av sammansättning och värmevärde hos tallpellets vid tillsats av glycerin, baserat på beräkningar utifrån sammansättningen hos tall och de olika glycerinslagen

Innehåll av glycerin, sort mängd, %	Gly 1a 1	Gly 1a 2	Gly 1a 5	Gly 1a 10	Gly 2a 1	Gly 2a 2	Gly 2a 5	Gly 2a 10	Gly 1b 1	Gly 1b 2	Gly 1b 5	Gly 1b 10	Gly 2b 1	Gly 2b 2	Gly 2b 5	Gly 2b 10
Askhalt, förändring, %	16,26	32,52	81,31	162,62	6,22	12,43	31,08	62,17	22,33	44,65	111,63	223,26	27,00	54,00	134,99	269,98
Al, förändring, %	-1,51	-3,01	-7,53	-15,06	-1,14	-2,27	-5,68	-11,36	-1,33	-2,66	-6,64	-13,28	-1,61	-3,22	-8,06	-16,12
Ca, förändring, %	-1,55	-3,10	-7,76	-15,51	-1,15	-2,30	-5,76	-11,52	-1,42	-2,85	-7,12	-14,24	-1,64	-3,28	-8,21	-16,41
Fe, förändring, %	-1,55	-3,10	-7,75	-15,49	-1,15	-2,29	-5,73	-11,46	-1,43	-2,86	-7,15	-14,29	-1,62	-3,24	-8,11	-16,22
K, förändring, %	0,56	1,12	2,80	5,60	-0,12	-0,24	-0,60	-1,21	0,15	0,30	0,75	1,50	-0,62	-1,23	-3,09	-6,17
Mg, förändring, %	-1,55	-3,10	-7,74	-15,49	-1,15	-2,30	-5,74	-11,48	-1,42	-2,83	-7,09	-14,17	-1,64	-3,28	-8,19	-16,39
Mn, förändring, %	-1,55	-3,09	-7,73	-15,46	-1,14	-2,29	-5,72	-11,44	-1,43	-2,87	-7,17	-14,34	-1,64	-3,27	-8,18	-16,36
Na, förändring, %	-1,54	-3,08	-7,70	-15,39	-0,99	-1,97	-4,93	-9,86	-1,33	-2,66	-6,65	-13,31	6,24	12,48	31,20	62,40
P, förändring, %	-1,52	-3,04	-7,61	-15,22	-1,13	-2,25	-5,63	-11,25	-1,24	-2,49	-6,22	-12,45	-1,38	-2,76	-6,89	-13,78
Si, förändring, %	-1,55	-3,10	-7,75	-15,50	-1,15	-2,30	-5,75	-11,50	-1,43	-2,87	-7,17	-14,34	-1,64	-3,28	-8,20	-16,39
Ti, förändring, %	-1,49	-2,97	-7,44	-14,87	-1,07	-2,13	-5,33	-10,66	-1,40	-2,80	-7,00	-13,99	-1,59	-3,18	-7,94	-15,88
S, förändring, %	-1,50	-3,00	-7,51	-15,02	4,68	9,36	23,40	46,81	-1,39	-2,78	-6,95	-13,91	8,25	16,50	41,25	82,50
Cl, förändring, %	-1,54	-3,08	-7,69	-15,38	-1,04	-2,08	-5,19	-10,38	-1,30	-2,60	-6,50	-12,99	2,71	5,42	13,55	27,10
K+Na, förändring, %	0,39	0,78	1,96	3,92	-0,19	-0,38	-0,95	-1,90	0,03	0,06	0,16	0,32	-0,07	-0,14	-0,34	-0,68
Kal. värmev., förändring, %	0,23	0,47	1,17	2,34	0,06	0,12	0,31	0,62	0,06	0,12	0,30	0,59	-0,20	-0,40	-1,01	-2,01

Tabell B5:20. Nyckeltal vid tillsats av glycerin till tall, baserat på beräkningar utifrån sammansättningen hos tall och de olika glycerinslagen

Innehåll av glycerin, sort mängd, %	Risk- område	Ingen 0	Gly 1a 1	Gly 1a 2	Gly 1a 5	Gly 1a 10	Gly 2a 1	Gly 2a 2	Gly 2a 5	Gly 2a 10	Gly 1b 1	Gly 1b 2	Gly 1b 5	Gly 1b 10	Gly 2b 1	Gly 2b 2	Gly 2b 5	Gly 2b 10
Alkalinitetstal	>0,8	1,01	1,02	1,02	1,03	1,06	1,02	1,02	1,02	1,04	1,02	1,02	1,03	1,05	1,02	1,02	1,03	1,06
Förglasningstal	0,2–1	0,31	0,32	0,32	0,34	0,38	0,31	0,32	0,33	0,34	0,31	0,32	0,33	0,36	0,32	0,32	0,34	0,38
Alkaliandel	>0,3	0,22	0,22	0,22	0,23	0,25	0,22	0,22	0,23	0,23	0,22	0,22	0,23	0,24	0,22	0,22	0,23	0,25
Fältpattal	>6	38,42	38,40	38,38	38,33	38,22	38,41	38,41	38,39	38,36	38,38	38,34	38,20	37,95	38,41	38,40	38,36	38,29
Eutektikumstal	0,2–0,8	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,13	0,13	0,12	0,12	0,13	0,13	0,12	0,11	0,14	0,14	0,17	0,20
Saltkvot	0,2–4	0,84	0,83	0,81	0,77	0,69	0,87	0,91	1,00	1,17	0,83	0,82	0,78	0,73	0,90	0,96	1,13	1,41
S/Cl	<2	2,21	2,21	2,21	2,21	2,22	2,34	2,47	2,88	3,62	2,21	2,21	2,20	2,19	2,33	2,44	2,75	3,17
Miles index	>0,34	0,04	0,05	0,06	0,08	0,12	0,05	0,05	0,06	0,07	0,05	0,06	0,09	0,14	0,06	0,07	0,11	0,17

Tabell B5:21. Förändring av nyckeltal hos tallpellets vid tillsats av glycerin, baserat på beräkningar utifrån sammansättningen hos tall och de olika glycerinslagen

Innehåll av glycerin, sort mängd, %	Gly 1a 1	Gly 1a 2	Gly 1a 5	Gly 1a 10	Gly 2a 1	Gly 2a 2	Gly 2a 5	Gly 2a 10	Gly 1b 1	Gly 1b 2	Gly 1b 5	Gly 1b 10	Gly 2b 1	Gly 2b 2	Gly 2b 5	Gly 2b 10
Alkalinitetstal, förändring, %	0,37	0,75	1,98	4,31	0,18	0,37	0,96	2,04	0,27	0,55	1,44	3,11	0,36	0,74	1,94	4,25
Förglasningstal, förändring, %	1,87	3,80	9,97	21,76	0,93	1,88	4,87	10,37	1,41	2,87	7,50	16,26	1,94	3,94	10,38	22,81
Alkaliandel, förändring, %	1,46	2,95	7,64	16,27	0,73	1,47	3,78	7,95	1,09	2,21	5,73	12,18	1,51	3,06	7,96	17,02
Fältspattal, förändring, %	-0,04	-0,09	-0,24	-0,52	-0,01	-0,03	-0,08	-0,16	-0,11	-0,22	-0,57	-1,22	-0,03	-0,06	-0,15	-0,33
Eutektikumstal, förändring, %	-1,82	-3,64	-9,01	-17,77	-0,76	-1,51	-3,81	-7,71	-1,29	-2,58	-6,46	-12,95	5,96	11,88	29,47	58,17
Saltkvot, förändring, %	-1,79	-3,58	-8,86	-17,48	3,87	7,75	19,52	39,50	-1,33	-2,67	-6,68	-13,39	6,94	13,85	34,34	67,79
S/Cl, förändring, %	0,04	0,07	0,20	0,43	5,78	11,68	30,16	63,81	-0,09	-0,19	-0,49	-1,05	5,39	10,51	24,39	43,58
Miles index, förändring, %	16,33	32,67	81,80	164,04	5,90	11,77	29,16	57,42	22,20	44,36	110,57	220,05	27,59	55,45	140,56	287,69

Tabell B5:22. Sammansättning och värmevärde hos tallpellets innehållande glycerin, baserat på kemiska analyser

Innehåll av glycerin, sort mängd, %	Ingen 0	Gly 1a 1	Gly 1a 2	Gly 1a 5	Gly 1a 10	Gly 2a 1	Gly 2a 2	Gly 2a 5	Gly 2a 10	Gly 1b 1	Gly 1b 2	Gly 1b 5	Gly 1b 10	Gly 2b 1	Gly 2b 2	Gly 2b 5	Gly 2b 10
Kal. värmev., MJ/kg ts	20,6	20,7		21,1		20,5		20,8		21,0				20,9			
Askhalt, % av ts	0,40	0,60		0,90		0,60		0,60		0,50				0,70			
Al, % av aska	1,38	1,83		0,52		0,63		0,74		0,94				0,70			
Ca, % av aska	25,00	16,33		9,11		14,83		15,40		17,00				15,71			
Fe, % av aska	3,25	3,50		0,96		1,27		1,50		1,54				1,29			
K, % av aska	15,50	16,67		31,11		18,33		18,40		22,00				21,43			
Mg, % av aska	4,75	2,83		1,78		3,83		3,00		3,40				2,86			
Mn, % av aska	2,50	1,60		0,91		1,45		1,60		1,74				1,24			
Na, % av aska	1,35	0,90		0,61		0,90		1,08		1,08				1,57			
P, % av aska	2,23	1,02		0,83		5,17		1,20		1,16				1,14			
Si, % av aska	27,50	18,33		12,22		18,33		22,00		22,00				15,71			
Ti, % av aska	0,28	0,18		0,12		0,18		0,22		0,22				0,16			
S, % av aska	5,00	1,67		2,22		5,00		6,00		2,00				5,71			
Cl, % av aska	2,50	1,67		1,11		1,67		2,00		2,00				2,86			
K+Na, % av aska	16,85	17,57		31,72		19,23		19,48		23,08				23,00			

Tabell B5:23. Förändring av sammansättning och värmevärde hos tallpellets vid tillsats av glycerin, baserat på kemiska analyser

Innehåll av glycerin, sort mängd, %	Gly 1a 1	Gly 1a 2	Gly 1a 5	Gly 1a 10	Gly 2a 1	Gly 2a 2	Gly 2a 5	Gly 2a 10	Gly 1b 1	Gly 1b 2	Gly 1b 5	Gly 1b 10	Gly 2b 1	Gly 2b 2	Gly 2b 5	Gly 2b 10
Kal. värmev., förändring, %	0,41		2,58		-0,64		1,02		1,83				1,28			
Askhalt, förändring, %	50,00		125,00		50,00		25,00		25,00				75,00			
Al, förändring, %	33,33		-62,02		-53,94		-46,18		-31,64				-49,09			
Ca, förändring, %	-34,67		-63,56		-40,67		-38,40		-32,00				-37,14			
Fe, förändring, %	7,69		-70,60		-61,03		-53,85		-52,62				-60,44			
K, förändring, %	7,53		100,72		18,28		18,71		41,94				38,25			
Mg, förändring, %	-40,35		-62,57		-19,30		-36,84		-28,42				-39,85			
Mn, förändring, %	-36,00		-63,56		-42,00		-36,00		-30,40				-50,29			
Na, förändring, %	-33,33		-54,73		-33,33		-20,00		-20,00				16,40			
P, förändring, %	-54,31		-62,55		132,21		-46,07		-47,87				-48,64			
Si, förändring, %	-33,33		-55,56		-33,33		-20,00		-20,00				-42,86			
Ti, förändring, %	-33,33		-55,56		-33,33		-20,00		-20,00				-42,86			
S, förändring, %	-66,67		-55,56		0,00		20,00		-60,00				14,29			
Cl, förändring, %	-33,33		-55,56		-33,33		-20,00		-20,00				14,29			
K+Na, förändring, %	4,25		88,26		14,14		15,61		36,97				36,50			

Tabell B5:24. Nyckeltal vid tillsats av glycerin till tall, baserat på kemiska analyser

Innehåll av glycerin, sort mängd, %	Risk- område	Ingen 0	Gly 1a 1	Gly 1a 2	Gly 1a 5	Gly 1a 10	Gly 2a 1	Gly 2a 2	Gly 2a 5	Gly 2a 10	Gly 1b 1	Gly 1b 2	Gly 1b 5	Gly 1b 10	Gly 2b 1	Gly 2b 2	Gly 2b 5	Gly 2b 10
Alkalinitetstal	>0,8	1,01	1,15		1,51		0,89		0,94		1,06				1,35			
Förglasningstal	0,2-1	0,31	0,48		1,26		0,52		0,44		0,52				0,73			
Alkaliandel	>0,3	0,22	0,31		0,58		0,32		0,34		0,35				0,38			
Fältspattal	>6	38,42	19,21		44,96		55,61		57,11		44,96				43,12			
Eutektikumstal	0,2-0,8	0,13	0,08		0,03		0,08		0,09		0,08				0,11			
Saltkvot	0,2-4	0,84	0,32		0,21		0,71		0,83		0,30				0,71			
S/Cl	<2	2,21	1,11		2,21		3,32		3,32		1,11				2,21			
Miles index	>0,34	0,04	0,07		0,18		0,07		0,06		0,07				0,10			

Tabell B5:25. Förändring av nyckeltal hos tallpellets vid tillsats av glycerin, baserat på kemiska analyser

Innehåll av glycerin, sort mängd, %	Gly 1a 1	Gly 1a 2	Gly 1a 5	Gly 1a 10	Gly 2a 1	Gly 2a 2	Gly 2a 5	Gly 2a 10	Gly 1b 1	Gly 1b 2	Gly 1b 5	Gly 1b 10	Gly 2b 1	Gly 2b 2	Gly 2b 5	Gly 2b 10
Alkalinitetstal, förändring, %	13,39		49,03		-12,43		-7,48		4,17				33,16			
Förglasningstal, förändring, %	53,38		306,49		67,43		42,14		67,43				137,00			
Alkaliandel, förändring, %	41,43		165,75		49,44		55,30		61,37				73,34			
Fältspattal, förändring, %	-50,00		17,02		44,74		48,65		17,02				12,24			
Eutektikumstal, förändring, %	-34,80		-74,94		-40,27		-29,65		-40,27				-14,05			
Saltkvot, förändring, %	-61,39		-75,40		-15,92		-0,96		-64,63				-15,61			
S/Cl, förändring, %	-50,00		0,00		50,00		50,00		-50,00				0,00			
Miles index, förändring, %	52,75		296,27		68,50		40,71		64,42				134,02			

BILAGA 6. DATA SOM ANVÄNTS I DE STATISTISKA BERÄKNINGARNA

I tabell B6:1 anges de data som använts i de statistiska beräkningarna av resultaten från pel-
leteringsförsöken.

*Tabell B6:1. Resultat från glycerinblandning vid pelleting av halm, rörflen och tall (trä-
råvara). Data som använts i de statistiska beräkningarna*

Försöks- nummer	Bränsle	Typ av glycerin	Inbland- ning (andel)	Fin- fraktion (%)	Skrym- densitet (kg/m ³)	Häll- fasthet (%)	Effekt- behov (kW)	Minskning hållfasthet 6 mån (%)	Fukthalt 6 mån (%)
Gly 1	Halm	1a	0	2,29	546,5	82,86	40,14	1,36	13,95
Gly 2	Halm	1a	0,01	1,79	517,8	80,92	48,13	4,42	14,68
Gly 3	Halm	2a	0,01	1,44	530,1	84,60	50,03	9,36	14,79
Gly 4	Halm	1a	0,05	-	-	-	-	-	-
Gly 5	Halm	2a	0,05	4,31	377,2	78,26	41,46	22,20	16,75
Gly 6	Halm	2a	0,01	1,61	488,7	85,14	47,46	5,31	14,82
Gly 7	Halm	1b	0,01	2,81	520,7	80,23	52,00	6,52	15,53
Gly 8	Halm	2b	0,01	1,79	514,8	82,37	49,26	7,68	14,77
Gly 9	Rörflen	1b	0,01	1,83	624,2	91,71	56,24	1,57	13,29
Gly 10	Rörflen	2b	0,01	0,76	684,6	97,89	69,17	0,42	12,97
Gly 11	Rörflen	1a	0	0,70	718,0	97,02	76,49	4,09	13,14
Gly 12	Rörflen	1a	0,01	1,62	653,0	93,11	44,40	1,34	14,38
Gly 13	Rörflen	2a	0,01	0,56	678,6	97,19	55,54	0,65	13,33
Gly 14	Rörflen	1a	0,05	3,66	513,3	79,25	49,85	13,84	14,56
Gly 15	Rörflen	2a	0,05	0,54	619,1	97,49	57,44	2,94	14,26
Gly 16	Rörflen	1a	0,05	1,00	583,0	89,83	75,14	8,04	14,87
Gly 17	Tall	1a	0	0,93	592,5	89,13	70,96	0,73	12,65
Gly 18	Tall	1a	0,01	3,22	552,9	82,40	63,91	6,00	13,22
Gly 19	Tall	2a	0,01	0,56	575,0	91,82	90,46	-1,91	12,69
Gly 20	Tall	1a	0,05	8,87	508,2	67,39	117,67	13,49	13,63
Gly 21	Tall	2a	0,05	2,85	475,3	82,00	60,40	10,50	13,99
Gly 22	Tall	2a	0	0,63	611,9	92,70	75,20	1,51	12,56
Gly 23	Tall	1b	0,01	2,66	526,9	81,67	56,59	1,03	12,94
Gly 24	Tall	2b	0,01	0,43	587,4	91,94	69,96	4,97	13,07
Gly 25	Tall	1b	0,01	1,56	570,2	85,33	105,66	10,72	12,88

BILAGA 7. STATISTISKA MODELLER MED RESULTAT

Nedan ges en detaljerad beskrivning av de olika modellerna.

Använda förkortningar i resultaten från den statistiska analysen:

Koeff. SC: Intercept med Schwarz Criterion, med modellen uppskattade värden.

P: anger sannolikheten att respektive testad parameter är lika med eller nästan lika 0 (noll) i modellen med de antaganden som gäller för denna. Är signifikant om $P \leq 0,05$ vid den valda konfidensnivån (0,95).

Cond. no.: Konditionstal (mått på hur väl ett visst problem lämpar sig för numeriska beräkningar).

RSD (relative standard deviation): Relativ standardavvikelse.

N: Antal observationer totalt.

DF: Antal frihetsgrader.

Comp.: Antal jämförelser, här: Bränsle, Typ av glycerin, och Glycerinkoncentration i bränslet (3 st.).

Modell för skrymdensitet:

Skrymdensitet	Koeff. SC	Std. avvikelse	P	Konfidens int.(±)
Konstant	565,412	5,89952	1,11263*10 ⁻²⁴	12,447
Bränsle		DF = 2		
Halm	-57,0113	7,26498	4,73939*10 ⁻⁷	15,3279
Tall	-8,44563	6,80272	0,231275	14,3526
Rörflen	65,4569	7,04905	4,53441*10 ⁻⁸	14,8723
Typ av glycerin		DF = 3		
1a (alkaliskt)	2,78658	6,99929	0,695495	14,7673
1b (alkaliskt)	-10,0902	8,91461	0,273403	18,8083
2a (surt)	-1,81496	8,79026	0,838874	18,546
2b (surt)	9,11855	9,22718	0,336899	19,4678
Glycerinkonc i bränslet	-50,2956	6,48636	5,56902*10 ⁻⁷	13,6851

N = 24 Q² = 0,742
 DF = 17 R² = 0,894
 Comp. = 3 R² Adj. = 0,856

Cond. no. = 2,869

RSD = 28,9

Konfidensnivå = 0,95

Modell för mekanisk hållfasthet:

Hållfasthet	Koeff. SC	Std. avvikelse	P	Konfidens int.(±)
Konstant	86,7604	0,734207	$3,17937 \cdot 10^{-26}$	1,54905
Bränsle		DF = 2		
Halm	-4,71245	0,904142	$7,04825 \cdot 10^{-5}$	1,90759
Tall	-1,91209	0,846613	0,0373471	1,78621
Rörflen	6,62454	0,877268	$7,93645 \cdot 10^{-7}$	1,85089
Typ av glycerin		DF = 3		
1a (alkaliskt)	-2,75459	0,871076	0,00569078	1,83783
1b (alkaliskt)	-1,73542	1,10944	0,136186	2,34074
2a (surt)	2,75979	1,09397	0,0219029	2,30808
2b (surt)	1,73023	1,14834	0,150239	2,42281
Glycerinkonc i bränslet	-4,62783	0,807241	$2,43866 \cdot 10^{-5}$	1,70314

N = 24 $Q^2 = 0,432$
 DF = 17 $R^2 = 0,832$
 Comp. = 3 R^2 Adj. = 0,773

Cond. no. = 2,869

RSD = 3,597

Konfidensnivå = 0,95

Modell för finfraktion:

Finfraktion	Koeff. SC	Std. avvikelse	P	Konfidens int.(±)
Konstant	2,01749	0,284337	1,79594*10 ⁻⁶	0,599903
Bränsle		DF = 2		
Halm	0,470169	0,350147	0,196999	0,738752
Tall	0,507981	0,327868	0,139713	0,691747
Rörflen	-0,97815	0,33974	0,0104131	0,716795
Typ av glycerin		DF = 3		
1a (alkaliskt)	0,673917	0,337342	0,0620061	0,711735
1b (alkaliskt)	0,149816	0,429654	0,731603	0,906498
2a (surt)	-0,487267	0,42366	0,26601	0,893853
2b (surt)	-0,336465	0,444719	0,459659	0,938282
Glycerinkonc i bränslet	1,13004	0,31262	0,00213931	0,659577

N = 24 Q² = 0,050
 DF = 17 R² = 0,563
 Comp. = 3 R² Adj. = 0,409

Cond. no. = 2,869
 RSD = 1,393

Konfidensnivå = 0,95

Modell för effekt:

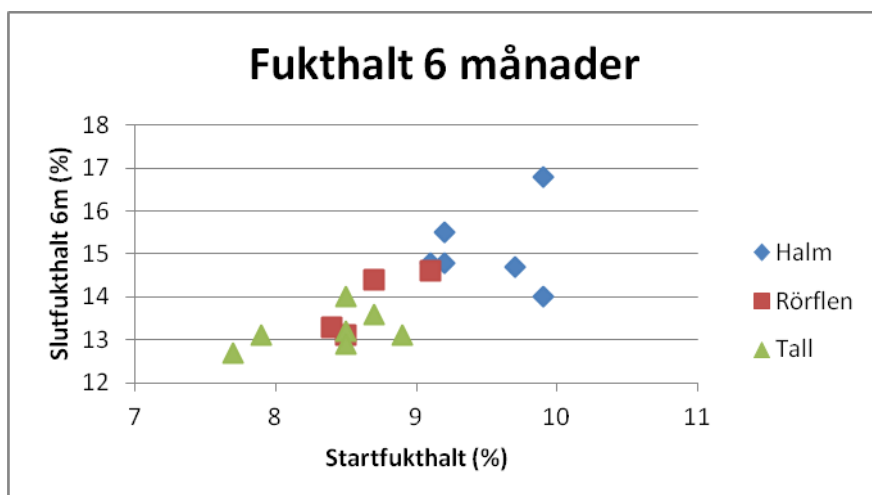
Effekt	Koeff. SC	Std. avvikelse	P	Konfidens int.(±)
Konstant	63,4817	3,3229	6,31945*10 ⁻¹³	7,01076
Bränsle DF = 2				
Halm	-12,1599	4,09199	0,00855657	8,63342
Tall	14,1165	3,83163	0,00183981	8,08409
Rörflen	-1,95667	3,97037	0,628445	8,37681
Typ av glycerin DF = 3				
1a (alkaliskt)	1,47535	3,94234	0,712858	8,31769
1b (alkaliskt)	1,12079	5,02115	0,826029	10,5938
2a (surt)	-2,49872	4,9511	0,620264	10,446
2b (surt)	-0,0974279	5,1972	0,985258	10,9652
Glycerinkonc i bränslet	1,27273	3,65344	0,731843	7,70814

N = 24 Q² = 0,181 Cond. no. = 2,869
 DF = 17 R² = 0,489 RSD = 16,28
 Comp. = 3 R² Adj. = 0,308
 Konfidensnivå = 0,95

Modell för fukthalt efter 6 månader

Fukthalt efter 6 mån	Koeff. SC	Std. avvikelse	P	Konfidens int.(±)
Konstant	13,905	0,0893314	$2,95026 \cdot 10^{-28}$	0,188474
Bränsle DF = 2				
Halm	0,972818	0,110007	$9,089 \cdot 10^{-8}$	0,232097
Tall	-0,68751	0,103008	$3,91499 \cdot 10^{-6}$	0,217329
Rörflen	-0,285308	0,106738	0,0160545	0,225199
Typ av glycerin DF = 3				
1a (alkaliskt)	0,0921579	0,105984	0,396662	0,223609
1b (alkaliskt)	-0,0457276	0,134987	0,738941	0,284799
2a (surt)	0,0414583	0,133103	0,759228	0,280826
2b (surt)	-0,0878886	0,139719	0,537687	0,294785
Glycerinkonc i bränslet	0,555034	0,0982175	$2,87478 \cdot 10^{-5}$	0,207222

N = 24 $Q^2 = 0,731$ Cond. no. = 2,869
 DF = 17 $R^2 = 0,873$ RSD = 0,4376
 Comp. = 2 R^2 Adj. = 0,828
 Konfidensnivå = 0,95



Figur B7:1. Startfukthalt (%) och slutfukthalt (%) efter 6 månaders lagring för de tre studerade bränslena.

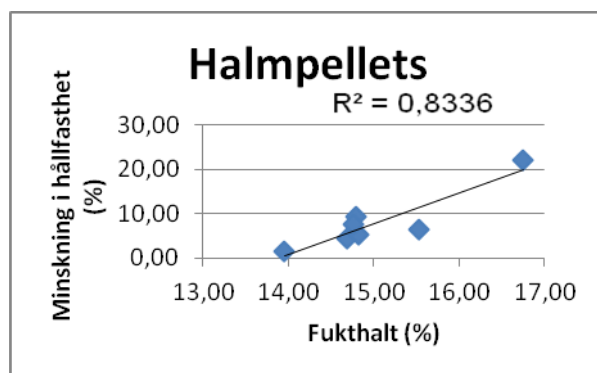
Modell för hållfasthet, förändring efter 6 månader

Hållfasthet efter 6 mån	Koeff. SC	Std. avvikelse	P	Konfidens int.(±)
Konstant	81,0612	1,23285	6,62336*10 ⁻²²	2,60111
Bränsle DF = 2				
Halm	-6,97574	1,5182	0,000257928	3,20315
Tall	-1,87379	1,4216	0,204959	2,99933
Rörflen	8,84954	1,47307	1,41285*10 ⁻⁵	3,10794
Typ av glycerin DF = 3				
1a (alkaliskt)	-3,05447	1,46268	0,0521287	3,086
1b (alkaliskt)	-2,21218	1,86293	0,251368	3,93047
2a (surt)	3,4681	1,83694	0,0762195	3,87564
2b (surt)	1,79855	1,92825	0,364015	4,06828
Glycerinkonc i bränslet	-9,13785	1,35549	3,45262*10 ⁻⁶	2,85985

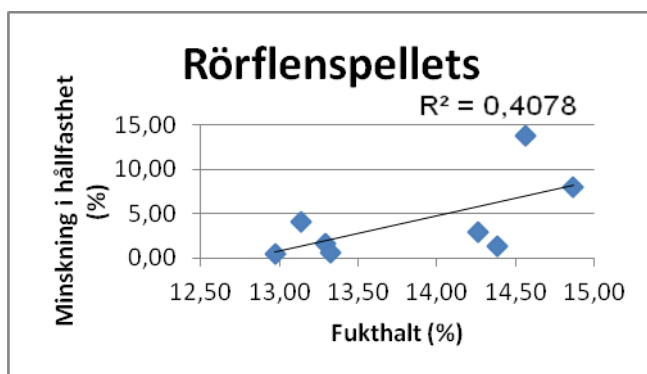
N = 24 Q² = 0,391
 DF = 17 R² = 0,812
 Comp. = 3 R² Adj. = 0,745

Cond. no. = 2,869
 RSD = 6,04

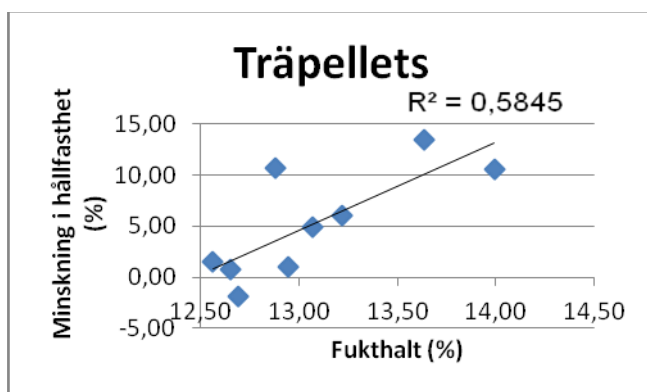
Konfidensnivå = 0,95



Figur B7:2. Minskning i hållfasthet hos halmpellets med olika fukthalt efter 6 månaders lagring.



Figur B7:3. Minskning i hållfasthet hos rörflenspellets med olika fukthalt efter 6 månaders lagring.



Figur B7:4. Minskning i hållfasthet hos tall(trä)pellets med olika fukthalt efter 6 månaders lagring.

SLU
Institutionen för energi och teknik
Box 7032
75007 UPPSALA
Tel. 018-671000
www.slu.se/energioghteknik

SLU
Department of Energy and Technology
Box 7032
S-75007 UPPSALA
SWEDEN
Phone +46 18 671000
