

Grödor från åker till energi

1143

Skördeteknik och logistik för bättre lönsamhet från små odlingar av Salix

Andras Baky, Maya Forsberg, Håkan Rosenqvist, Nils Jonsson och Martin Sundberg

**Skördeteknik och logistik för bättre lönsamhet
från små odlingar av Salix**

**Harvest and logistics for better profitability
from small cultivations of
Short Rotation Willow Coppice**

Andras Baky, Maya Forsberg, Håkan Rosenqvist,
Nils Jonsson och Martin Sundberg

Projekt E06-643

Förord

Föreliggande rapport och projekt har genomförts av Institutet för jordbruks- och miljöteknik (JTI) i samarbete med lantbruksekonom Håkan Rosenqvist och är finansierat genom Värmeforsks och Stiftelsen Lantbruksforskings gemensamma program Grödor från åker till energiproduktion. Söderenergi, Lantmännen samt Salixmaskiner har även bidragit med finansiering respektive arbetsinsatser bl.a. för att ta fram data för olika skördesystem, till vilka vi framför ett stort tack!

Vi vill tacka projektets referensgrupp som haft en viktig roll i projektet genom val av system att studera, uppgifter samt bidrag med olika synvinklar till slutsatser och diskussion av resultaten. I referensgruppen ingick:

Börje Ohlson, Salixodlare, Kolbäck

Erik Hedar, Energimyndigheten

Göran Sjöström, ansvarig för skördefrågor och teknikutv., Lantmännen Energi.

Håkan Walldén, affärsutvecklingschef, Lantmännen Energi

Katja Pettersson, bränsleingenjör (kvalitetssäkring, leverantörskontakt etc.), Söderenergi

K-G Björk, Salixodlare, Hedemora ek. förening.

Per-Anders Hansson, professor, Institutionen för Energi och Teknik, SLU

Rodolfo Lindqvist, marknadschef, Salixmaskiner

Urban Eklund, VD, Ena Energi

Vi är också mycket tacksamma för den hjälp vi fått av personer som ställt data och tid till förfogande: Mats Wilstrand och Kent Lindh från Salixmaskiner samt K-G Björk, Rolf Lindström, Andreas Lindström och Gustaf Holmstedt från Hedemora Ek. förening vad gäller fältförsöken, och Raida Jirjis, SLU, vad gäller antaganden för torkförlopp och ts-förluster vid lagring av Salix.

Kapitel E om lagring av Salix har författats av Nils Jonsson, JTI. Kapitel 4 skrevs av Martin Sundberg, JTI, som även planerat och genomfört fältförsök, analyser av vattenhalt och partikelstorlek samt givit värdefull feedback om rapporten. Projektet har huvudsakligen genomförts av Håkan Rosenqvist, Andras Baky och Maya Forsberg, där Andras och Håkan lagt tonvikt på datainsamling och antaganden för maskinsystemen samt beräkningar och ekonomiska analyser och Maya tonvikt på inventering och datainsamling för skördemaskiner, antaganden kring lagring samt projektledning.

Abstract

Kostnader har beräknats för två principiellt olika skörde- och logistiksystem för Salix som kan lämpa sig för skörd av små fält. De bygger på skörd i bitar respektive buntar, hanteringsformer som kan lagras i fält en längre tid än traditionell Salixflis. Kostnaderna har jämförts med de för dagens system för direktflisning, samt för både små och stora fält (2 resp. 6 ha). Direkt energianvändning och koldioxidutsläpp från maskinkedjorna har även beräknats. I rapporten finns också en omfattande genomgång av maskiner för Salixskörd samt en litteraturgenomgång av lagringsegenskaper för Salix.

Sammanfattning

En politisk vilja finns att öka Salixodlingen i Sverige, dock har intresset från lantbrukare av olika skäl visat sig vara lågt. Tanken bakom denna studie är att den totala arealen Salix i Sverige skulle kunna ökas genom att även skörda mindre fält än vad som anses vara ekonomiskt försvarbart i dag. För att sänka kostnaderna krävs maskinsystem som lämpar sig bättre för mindre fält. Möjligheten att använda lantbrukets befintliga traktorer och smidigare maskiner samt åstadkomma lägre maskinkostnader vid skörd av mindre fält bör kunna främja lantbrukares vilja att satsa på Salix. Det långsiktiga målet är att uppnå storskaliga leveranser av Salix även med småskaliga lösningar i odlingsledet, som ett komplement till dagens mer storskaliga system för Salixodling.

Kostnader, energianvändning och koldioxidutsläpp för två skörde- och logistiksystem anpassade för små fält har beräknats från åker till anläggning, samt hur dessa kostnader kan minimeras. Jämförelse görs med dagens system med direktflisning. De system som studerats är:

1. Direktbuntande skörd med en traktorbogserad skördemaskin, insamling av buntar i fält med huggarvagn, och mellanlagring i hög innan leverans. Sönderdelning på anläggningen.
2. Skörd i kapade bitar med traktormonterad skördemaskin och bredvidgående traktor med vagn som samtidigt samlar in bitarna, samt mellanlagring i hög innan leverans.
3. Direktflisning med självgående skördemaskin som drar en högtippande vagn, som tömmer över flisen till container i fältkant. Containrar körs med traktor till en omlastningsplats för direktleverans.

Med de upplägg som studerats här är båda systemen för bunt- och bitskörd dyrare än det direktflisande systemet oavsett fältstorlek. Studiens kalkyler och känslighetsanalyser visar att det med rätt utformad skördekedja, en hanteringsform som kan lagras, samt kunder som vill betala för de mervärden lagring kan ge går det att öka lönsamheten för Salix genom att odla små fält. Resultaten gäller även stora fält.

Mervärdet för att få en leverans i utsatt tid uppskattats till i snitt 10 % av bränslepriset. Detta motsvarar i Mälardalen cirka 20 kr/MWh, en merbetalning som kan ge en klar förbättring av lönsamheten. Torkning ger även möjlighet att leverera ett torrare bränsle. Mycket pekar mot att det har större betydelse för val av maskinsystem om den varan lagras eller inte, än vad fältstorleken har. Utöver detta finns andra potentiella fördelar med de två systemen att ta hänsyn till vid jämförelse med dagens direktflisningssystem, exempelvis möjligheter till ökad sysselsättning, att skörd och leverans inte behöver ske i anslutning till varandra vid mellanlagring är en fördel vid skörd av många mindre fält då kostnader vid stillestånd och störningar undviks. Den viktigaste åtgärden för att sänka totalkostnaderna är för systemet med skörd av bitar att höja skördemaskinens kapacitet. För det buntskördssystemet är det viktigast att få ned kostnaderna för fält- och vägtransport. Kostnaderna kan minskas exempelvis genom att rationalisera insamlingen av buntar i fält samt öka lastutnyttjandet vid transport. Lastutnyttjandet kan exempelvis förbättras genom en högre komprimering av buntarna. Detta kräver dock en modifierad eller annorlunda skördarkonstruktion och mer kunskap om hur detta påverkar torkningen av buntarna.

Nyckelord: Salix, energiskog, skördemaskiner, skörd, logistik, buntning, bitar, billets, flis

Executive Summary

Background

Salix has been grown commercially in Sweden since the early 1990. The cultivated area was 13 700 ha in year 2009. In Sweden, the political desire to increase the amount of short rotation willow coppice (Salix) plantations has been expressed. However, for various reasons interest from farmers has been low. Calculated potentials for Salix in Sweden show that there is a possibility to grow between 100 000-300 000 ha. If the potential is realized, between 3-10 % of all agricultural land in Sweden will be used for growing Salix.

Currently Sweden has between 300 000 and 400 000 ha of unused agricultural land. A large part of this land is of low quality and consists of small fields within the range of 1-6 ha. Although most of the land probably is of low quality, the land is interesting for growing Salix. It is estimated that 250 000 ha of this land is possible to utilize for Salix cultivation, even though the costs for growing Salix can be higher than for present cultivations. Cultivation costs depend on organization and design of the logistic chain for Salix harvest and handling.

Solutions for harvesting Salix can be divided into 3 categories depending how the Salix is harvested

1. Harvesting whole stems
2. Cutting into chips or billets at harvest
3. Pressing into round bales

When harvesting whole stems, the stems are collected on the harvester as loose stems or bundles. As an alternative loose stems or bundles are dropped behind the harvester and collected later. Stems and bundles are stored at field edge waiting for transport to customer. It can either be transported as loose stems or bundles or chipped at field edge before transportation. Bundle harvesting is a form of whole stem harvesting, where bundling is performed at harvesting. Bundles are either dropped at field edge or in a row behind the combined harvester and bundler.

Direct chipping and cutting into billets uses similar harvesting solutions. In both cases Salix is cut into small pieces and fed into a wagon or container and onward transportation to customer. Billets are suitable for storage and can be stored and delivered when demanded.

The third system with bales is not included in this study. However, it is a technology under development which shows a potential for future use.

Presently, the dominating system for harvesting Salix in Sweden is direct chipping during harvest. Direct chipping as a harvesting technique is from an economic and technical standpoint not adapted for harvesting small fields. One of the main disadvantages with direct chipping is that the chips are not suitable for storage, due to their small fraction size. Therefore, the chips are often delivered directly to the energy plant, with a high water content of approximately 50 %. Alternative systems using bundles or billets, allow the material to dry up during storage, with less risk for reduced quality. Using bundles or billets instead of chips makes it possible to deliver Salix during a longer time of the year, at a lower moisture content and a higher usable energy content.

From the mid 1980's to mid 1990's, different solutions for harvesting Salix were developed, both direct chipping, billets and whole stem harvesting with or without bundling. Studies were made concerning performance in field, logistics and working environment etc. For various reasons direct chipping became the chosen harvesting system in Sweden. There has been some small scale development of alternative technology by Salixmaskiner AB, who has developed harvesters for bundles and billets. Also, there has been some development of harvesters mainly for harvesting of poplar. The third system is outside current studies focus and will not be evaluated. Cutting Salix and short rotation forest into pieces and pressing into bales are a technology under development that shows promises to become useful in the future

Objective of the study

The overall long-term purpose is to increase the area of Salix cultivated in Sweden. The hypothesis of the study were that by using smaller and less attractive fields for cultivating Salix the overall area Salix cultivated can be increased. Today, the smaller fields are considered non-favourable from an economic view. In order to lower costs for harvest and handling of Salix there is a demand for systems that can deliver Salix more adapted to customer needs, such as security of supply, delivery over a longer period of the year and a drier material with higher energy content (MWh/ tonnes) calculated as lower heat value, LHV, on wet base (w.b).

The hypothesis given is that total area of Salix grown in Sweden can increase if smaller fields than currently cultivated can become economic. Development of machine systems that are adapted to smaller fields are needed in order to lower production costs. By using machines adapted to small fields together with farmers existing equipment, such as tractors, wagons etc. Lower costs for cultivating Salix can be achieved, thereby increasing farmer interest in growing Salix. The long term objective is to achieve large scale deliveries of Salix by using smaller scale solutions at farm level than present system with direct chipping.

Costs, energy use and climatic impact (CO₂ emissions) for two harvest and logistical chains suitable for small fields have been calculated from field to energy plant, and methods for minimizing these costs have been analyzed. Comparison is made with the direct chipping system, the most commonly used in Sweden today. The systems studied comprised:

1. Direct bundling harvest system with a tractor-towed harvester, collection of bundles in the field with a trailer-mounted crane, and storage in a pile before delivery. Chipping is performed at the energy plant.
2. Direct billeting with a tractor-towed harvester accompanied simultaneously by a tractor and trailer for collection, and storage in a pile before delivery.
3. Direct chipping with a self-propelled modified forage harvester accompanied simultaneously by a tractor and container for collection, and direct delivery to plant.

Materials and method

Common data are basic parameters that are used to define the systems. These are field sizes, basic parameters for Salix handled as chips, billets and bundles, load capacities for containers and wagons etc. Harvest yield and harvest water content are average values used for Salix harvested at Swedish conditions. Storage water contents after 3 and 6 months storage are calculated values. The density for bundles is calculated from a bundle with a

volume of 0.9 m³ (diameter 0.6 m and length 3.2 m) weighing 0.23 tonnes at 50 % water content. The density for billets is calculated from billets with the size distribution between 50-200 mm.

Field size and field form varies and influences harvesting capacities. The more irregular the field form is the longer the time for harvesting. In the current study the assumed field form was rectangular. The length of the field is twice the width. Salix in Sweden are grown in double rows. The distance between two rows is 0.75 m and the distance between two double rows are 1.5 m, this give a distance between double rows of 2.25 m.

A Salix plantation has an estimated lifetime of 21 years. Year one the Salix field is established, which includes preparing soil for plantation, planting etc. First harvest takes place in year five. Following harvests then occurs every fourth year. The estimated potential for Salix is 10 tonnes dry matter per hectare and year, although in practise the yearly growth is closer to 5 tonnes dry per hectare. The average growth of Salix is in Sweden 5 tonnes of dry matter each year. With a harvest every 4 year, 20 tonnes of dry matter with 50 % water content is harvested each time.

The method used an economic calculation of costs of principal solutions for harvesting and handling Salix from field to plant. Costs are calculated for two field sizes, one system with one 6 ha field and another system with 3 fields that are 2 ha in size. The reason for choosing 6 ha field is that is deemed to be the minimum field size for Salix to be economical when using large scale direct chipping.

Three systems were studied for the two field sizes direct chipping, billets and bundles. Direct chipping being the dominating system for harvesting Salix in Sweden are used as reference system. The whole chain from harvesting to Salix delivered at plant is studied. The system starts with Salix ready for harvest and ends when delivered at plant in a form that can be handled without further treatment. For direct chipping and billets this means chips and billets delivered at plant, bundles are followed until crushed to chips at plant.

Costs for harvest and handling of Salix are divided into fixed costs and variable costs. Fixed costs are investments costs in equipment, interest paid on investment calculated as annuity and insurance cost. Variable costs are costs for fuel, wages, maintenance and repair and administration. Fixed costs of investment are calculated using annuity method. The method gives the yearly costs over the investments lifespan. The yearly calculated costs are given as SEK/ year.

The value of Salix depends on its energy content (w.b) given as MWh (LHV) delivered to plant. All costs for harvesting and handling Salix will be presented as SEK/ MWh. The calculated costs in SEK/ year and the delivered energy content (MWh/ year) are combined and the results are given as SEK/ MWh.

Sensitivity analysis and scenario analysis

When performing economic calculations, many assumptions and assessments are done of the used input parameters. With the purpose to account for insecurities and variations in input data a sensitivity analysis is performed. One parameter at time is changed and the change in the result is shown as percentage difference from base scenarios. The sensitivity analysis only changes the magnitude of input parameters not the actual scenario in itself.

- Harvesting capacity changed $\pm 10\%$
- Harvesting machines replacement value changed $\pm 10\%$
- Yearly utilisation of harvester changed $\pm 10\%$
- Harvesters economic lifespan changed $\pm 10\%$
- The rate of interest Changed $\pm 1\%$
- Prize of diesel fuel increases with 1.0 SEK/ litre
- Distance for road transportation doubles from 35 km one way trip to 70 km.

There are many solutions to how harvesting and handling Salix can be performed. If all variations and solutions are considered, the number of scenarios will be too many. To show variations in technical and logistical systems, probable changes in harvesting and handling are identified and tested in a scenario analysis. In scenario analysis the actual scenario is changed compared to the base scenarios. Four scenario analysis were performed

- Bundles are crushed at field storage instead of at plant. A diesel fuelled crusher is used. Salix is transported as chips in containers on truck and trailer
- Instead of dropping bundles behind harvester, they are collected on a wagon and tipped at the end of the field to be collected later.
- Tractor and wagons are used instead of truck and trailer. A farm tractor pulling two wagons are used for transporting Salix to plant
- The systems are expanded and costs for cultivating Salix are included.

Studied systems

Direct Chipping

The system with direct chipping is the current dominating method for harvesting Salix. The system is based on harvesting with Claas Jaguar using HS1-HS2 header. The systems consist of harvest, field transports, field storage and road transport to plant. Harvesting consists of harvesters work in field. The harvester pulls a wagon with high tipping that loads 20 m^3 of Salix chips. When full the wagon tips the chips into a container holding 40 m^3 . A tractor is used to haul filled containers to field storage where the container is unloaded in waiting for road transport to plant. The tractor collects an empty container and returns to field where it unloads the container. Road transportation is done by truck and trailer that can carry 3 containers, in total 120 m^3 of Salix chips. Transport distance is assumed to be 35 km one way trip. The transport is assumed to be empty when driving out to field.

Billets

The system with billets is organized in similar way as direct chipping consisting of harvest, field transport and storage and road transport to plant. The billet harvester is pulled by a tractor (220 kW). The Salix are cut into billets directly in field and fed over to a wagon (20 m^3) pulled by a tractor (100 kW) running parallel to the harvester. Full wagon is transported to field storage and emptied on ground. Billets are collected by truck and trailer that can load 120 m^3 for transport to plant.

Bundles

The Salix harvester is pulled by an ordinary farm tractor (100 kW). Salix is harvested as whole stems and bundled during harvest. The bundles are dropped behind the harvester

leaving a trail of bundles on the field. The bundles are collected by a forest forwarder pulled by a tractor (70 kW). Collected bundles are stored at the field storage in waiting for transportation to plant. The bundles are transported to plant using a trailer truck. At the plant the bundles are crushed using an electric crusher with high capacity

Results

For all systems studied the costs are higher for systems applied to small fields. Direct chipping is the most cost effective technique for harvesting and handling Salix. This is true under the assumption that all Salix irrespectively of harvesting technique is delivered directly to plant.

Costs for harvest are lower for systems harvesting Salix as bundles. Collection of bundles is high and therefore the total costs for harvest and field transports are high for systems harvesting Salix as bundles. Also, costs for road transports are high for bundles. The reason is that bundles have a low volume weight and therefore result in poor utilisation of road transport capacity. Billet harvesting systems costs are somewhere between direct chipping and bundles.

For all studied systems the variable costs dominates the distribution of costs. The variable costs are between 80-90 % of the total costs. For direct chipping and billet harvesting harvester and road transportation are the dominating variable costs, with 32 % of the variable costs can be allocated to harvester and road transport. When harvesting Salix as bundles the variable costs are highest for road transport and collection of bundled Salix after harvest. 35 % of variable costs are allocated to collection of bundles and 39 % to road transportation. Only 13 % of variable costs are from actual harvesting and bundling of Salix.

Salix harvested as bundles and billets can be stored for shorter or longer periods. When stored, Salix loses water and dry matter. Dry matter is lost due to microbial respiration. Lower water content result in higher heat content (LHV w.b.), although it is somewhat lessened due to respiratory losses during storage. Energy content, when delivered to customer for bundled Salix increases from 2.2 MWh/ tonnes for newly harvested (50 % water content) to 2.9 MWh/ tonnes after 3 months storage and to 4.0 MWh/ tonnes after 6 months storage. For billets the corresponding values are 2.9 MWh/ tonnes after 3 months and 3.8 MWh/ tonnes after 6 months storage.

There is an indirect cost for storing Salix caused by the respiratory losses of dry matter that will lead to lower energy content in stored Salix. This storage costs depend on price at delivery. At a Salix price of 200 SEK/ MWh the storage costs after 3 and 6 months are 4.5 SEK/ MWh and 10 SEK/ MWh for bundles and 9 SEK/ MWh and 16 SEK/ MWh.

The energy content (LHV w.b.) increases when storing Salix. On a strict weight basis the increase in value is high. As example 1 tonnes (w.b) Salix newly harvested contains 2.2 MWh/ tonnes of energy. At a value of 200 SEK/ MWh, 1 tonnes of Salix is valued to 440 SEK, whereas 1 tonnes of Salix after 6 months storage contains 4.0 MWh/ tonnes and is valued to 800 SEK. The increase in value is 82 %. If instead comparing energy from a given area, for instance 1 ha of Salix. Newly harvested Salix contains 89 MWh at a value of 17 800 SEK, whereas 1 ha Salix that has been stored for 6 months contains 95 MWh at a value of 19 000 SEK. The increase in value is 7 %. The difference is smaller when

calculating value on area base compared to weight. This has to do with the fact that Salix loses in weight when stored more than it gains in thermal energy content. This is true when the energy content in Salix is calculated for usable energy on a wet base compared to energy content by wet weight only.

Instead of transporting bundles to plant for crushing they can be crushed in field before transport. The result depends on the capacity of the movable chipper and costs for road transportation. The difference in costs for crushing in field and transporting chipped material is small compared to transporting bundles and crushing at plant. This is held true if a tractor driven chipper with a capacity of 40 m³/ hour. Cost for transporting chipped Salix is lower than transporting bundles. The reason for that is higher load capacity during road transport for chipped Salix, Truck and trailer can load 35 tonnes of chipped Salix but only 20 tonnes as bundles. Cost per hour for a tractor driven chipper with a capacity of 40 m³/ hour is 26 SEK/ hour, if the chippers capacity is lowered to 20 m³/ hour the costs increases to 49 SEK/ hour.

Dropping bundles after the harvester and collecting them in field is a time consuming and therefore costly operation. If instead using a system where the bundles are collected to a wagon and tipped at field edge the costs for collecting them can be lowered. Although harvesting capacity is lowered because bundles has to be handled more

An example showing what the effect on costs and revenues can be if different measures are taken to lower costs for billet and bundle harvesting systems together with an added value for Salix due to the ability to store and deliver at demand and higher energy content caused by drying when stored. The figure 7 shows the net revenues for billets and bundles after 3 months storage compared with direct delivery of chipped Salix.

Measures taken are collected from sensitivity and scenario analysis. The basic price when delivering at plant is 200 SEK/ MWh, costs for cultivation is 77 SEK/ MWh (harvest 20 tonnes dry matter at 50 % water content). Measures taken are as follow:

- 10 % higher harvesting capacity for billet and bundle harvest, which is assumed to be technically feasible to achieve
- More rational collection of bundled Salix, instead of dropping bundles behind the harvester and collection in field. The harvester drops bundles at field edge from where they are collected and moved to storage
- 10 % increase in load capacity for field and road transportation

Measures taken results in lowered costs with 30 SEK/ MWh for bundles and 10 SEK/ MWh for billets. Another way of increasing the value for Salix is if customers are willing to pay 10 % because of added values from safer delivery and higher heat content. The price at delivery is 220 SEK/ MWh instead of 200 SEK/ MWh, this increase profit from 28 SEK/ MWh to 48 SEK/ MWh for bundles and from 12 SEK/ MWh to 32 SEK/ MWh for billets if both measures to lower costs are taken and there is willingness to pay for added values.

Discussion

Harvestings systems for Salix handled as billets or bundles are interesting because their possibility to store Salix for a longer time period compared to chipped Salix. Their storage possibility enables delivery when demanded and thereby better security of supply. Also, there is a possibility to deliver a product with higher energy content due to a drier product.

If these benefits are valued with a higher price from customer, there is a possibility to increase profit through storage. This makes billet and bundle harvesting interesting solutions, although higher costs for harvest and handling compared to direct chipping.

Harvesting Salix as billets or whole stems, with or without bundling are interesting concepts to develop into usable harvesting systems. The main factors that make them interesting is that the product, billets or bundles, can be stored for a longer period, thus making it possible to deliver Salix to customers over longer period of the year. The possibility to store Salix also leads to an increased value of Salix. However, this also depends on the needs of the receiving energy plant. Depending on the type of plant, it may be constructed for fuels of different moisture contents. Some plants are constructed for firing wet fuels, water contents over 40 % even up to 50 %. For these plants there probably is a smaller interest in drier fuels. Most plants are able to mix dry and wet fuels and creating a desired fuel mix.

Most likely, direct chipping will not be replaced by bundles or billets. All three systems can and will probably exist parallel to each other. The possibility to store bundles and billets make the systems interesting as complements to direct chipping. They can be used on smaller plots and the Salix can be stored there waiting to be collected without losing much in quality.

Conclusions

- Both the billet and bundle systems show higher costs than the direct chipping system, irrespective of field size.
- It is possible to increase profit if the harvest and logistic chain is well designed and in which Salix is handled in a form that can be stored. This is under the condition that there are customers willing to pay for added values such as security of supply when demanded by customer and a drier product.
- The choice of machine system seems to be more dependent on whether the product needs to be stored or not, rather than on field size.
- There are also other possible advantages with the two systems that should be taken into account when comparing with the currently-used direct chipping system, such as the possibility of increased rural employment or characteristics that suit smaller fields better. An example of the latter is the fact that harvest and delivery does not need to take place at the same time, i.e. extra costs for disruptions in harvest or delivery are avoided. These systems also allow the use of machinery commonly occurring on farms, such as tractors, wagons, forwarders etc.
- The most important measure for reducing total system costs for the studied billet system is to increase the harvesters' capacity. For the studied bundle system costs for field- and road transport need to be reduced. These costs can be reduced by using a more efficient system for collection of bundles in the field and by utilizing a lorry's load capacity better during transport to the plant. One way of increasing utilisation of the load capacity is to increase the density of the bundles. However this requires a new or modified construction of the harvesting machine and more knowledge of how the drying process of the bundles is affected by this.
- It can be profitable to harvest small fields under the conditions that they have a field form that enables effective harvest and that distances between fields to storage are short

The project identified need of further studies within the following fields:

- What is customer willingness to pay for added values such as drier product and safer deliveries?
- To harvest Salix as whole stems and store it as bundles is one way of increasing its value. To handle bundles rises questions about what technical solutions are most suitable. For example, is it possible to use technology used in the forestry sector for handling forest residues? How much can Salix bundles be compressed until storage qualities are affected? What is the optimum size of a bundle for co-handling it with forestry products such as timber, wood chips and bundled forest residues?
- New harvesting systems for Salix are discussed due to problems with the current system with direct chipping. In order to gain better knowledge of future systems, there is a need to specify what is expected from future Salix handling considering climate change, higher yields, thicker stems and demands and desires from all parts involved. This leads to a need of studies which also consider other non-technical solutions and the interactions between producers, entrepreneurs and customers.

Keywords: Salix, energy forest, harvesting machines, harvest, logistics, bundles, billets, chips

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND	1
1.2	BESKRIVNING AV FORSKNINGSOMRÅDET	2
1.3	FORSKNINGSUPPGIFTEN OCH DESS ROLL INOM FORSKNINGSOMRÅDET	3
1.4	SYFTE	3
1.5	MÅL OCH MÅLGRUPP	4
2	METOD OCH GENOMFÖRANDE	5
2.1	DATAINSAMLING OCH LITTERATURSTUDIER	5
2.2	BERÄKNINGSMETODIK FÖR OLIKA SKÖRDESYSTEM	5
2.2.1	<i>Beräkningar av kostnader</i>	<i>6</i>
2.2.2	<i>Maskinkalkyler</i>	<i>6</i>
2.2.3	<i>Odlingskostnader för Salix.....</i>	<i>7</i>
2.2.4	<i>Beräkning av värmevärde</i>	<i>7</i>
2.2.5	<i>Utsläpp av växthusgaser från användning av el och diesel</i>	<i>8</i>
2.3	FÄLTMÄTNINGAR	9
2.4	REFERENSGRUPP FÖR KVALITETSSÄKRING	9
2.5	INFORMATIONSSPRIDNING.....	9
3	TEKNIKER FÖR SKÖRD AV SALIX.....	10
4	FÄLTMÄTNINGAR	14
4.1	METOD OCH GENOMFÖRANDE	14
4.2	RESULTAT FÄLTMÄTNINGAR	15
4.3	FÄLTMÄTNINGARNAS RESULTAT I RELATION TILL VÄRDEN SOM ANTAS I STUDIEN	16
5	STUDERADE SKÖRDE- OCH LOGISTIKSYSTEM	18
5.1	GEMENSAMMA FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR SAMTLIGA SYSTEM	18
5.1.1	<i>Förutsättningar för val kapaciteter</i>	<i>18</i>
5.1.2	<i>Fältupplägg och avstånd.....</i>	<i>19</i>
5.1.3	<i>Mellanlagring.....</i>	<i>20</i>
5.2	AVGRÄNSNINGAR	20
5.3	DIREKTFÖRDELNING I CONTAINRAR VID SKÖRD OCH DIREKTFÖRDELNING TILL ANLÄGGNING	21
5.3.1	<i>Skörd.....</i>	<i>22</i>
5.3.2	<i>Fälttransport.....</i>	<i>22</i>
5.3.3	<i>Fältlager.....</i>	<i>22</i>
5.3.4	<i>Transport till kund.....</i>	<i>22</i>
5.4	BUNTSKÖRD, MELLANLAGRING AV BUNTAR I HÖG SAMT TRANSPORT TILL ANLÄGGNING DÄR SÖNDERDELNING SKER	23
5.4.1	<i>Skörd.....</i>	<i>23</i>
5.4.2	<i>Insamling av buntar och transport till fältlager.....</i>	<i>23</i>
5.4.3	<i>Fältlager.....</i>	<i>24</i>
5.4.4	<i>Transport till kund.....</i>	<i>24</i>
5.5	SKÖRDE- OCH LOGISTIKSYSTEM FÖR KAPADE BITAR, MELLANLAGRING I HÖG OCH TRANSPORT TILL ANLÄGGNING	24
5.5.1	<i>Skörd.....</i>	<i>24</i>
5.5.2	<i>Fälttransport.....</i>	<i>25</i>
5.5.3	<i>Fältlager.....</i>	<i>25</i>
5.5.4	<i>Transport till kund.....</i>	<i>25</i>
6	RESULTAT FÖR STUDERADE SKÖRDE- OCH LOGISTIKSYSTEM	26
6.1	RESULTAT EKONOMI	26
6.1.1	<i>Kostnader och mervärden vid torkning av buntar och bitar</i>	<i>28</i>

6.2	SYSSELSÄTTNING FÖR LANTBRUKARE	31
7	KÄNSLIGHETS- OCH SCENARIOANALYS	32
7.1	KÄNSLIGHETSANALYS	32
7.2	SCENARIOANALYS	33
7.2.1	<i>Sönderdelning av buntar innan transport.....</i>	<i>33</i>
7.2.2	<i>Insamling av buntar i samband med skörd och avlastning vid fältkant</i>	<i>34</i>
7.2.3	<i>Transport med traktor och vagn i stället för lastbil</i>	<i>34</i>
7.2.4	<i>Kostnader för systemen inklusive odlingskostnaden.....</i>	<i>35</i>
7.3	EXEMPEL PÅ EFFEKT AV KOSTNADSSÄNKANDE ÅTGÄRDER OCH MERVÄRDEN VID LAGRING	36
8	DISKUSSION	40
9	SLUTSATSER.....	43
10	FÖRSLAG TILL FORTSATT FORSKNINGSARBETE	45
11	LITTERATURREFERENSER.....	46

Bilagor

A	ANVÄNDA FÖRUTSÄTTNINGAR OCH INDATA
B	TIDSKALKYLER FÖR LOGISTIKSYSTEM
C	ANVÄNDA DATA FÖR EKONOMISKA KALKYLER
D	SKÖRDEMASKINER – INVENTERING
E	LAGRING AV SALIX – LITTERATURGENOMGÅNG
F	ANVÄNDA ANTAGANDEN OM LAGRINGSBARHET
G	DETALJERAD REDOVISNING AV RÄKNEEXEMPEL - EFFEKT AV KOSTNADSSÄNKANDE ÅTGÄRDER OCH MERVÄRDEN VID LAGRING

1 Inledning

1.1 Bakgrund

En politisk vilja finns att öka Salixodlingen i Sverige, vilket det bland annat ges uttryck för i den statliga utredningen "Bioenergi från Jordbruket – en växande resurs" (SOU 2007:36).

I Sverige har enligt Paulrud och Laitila (2007) dock intresset från lantbrukare visat sig vara lågt. Utöver lönsamhet påverkar till exempel flexibilitet i arealanvändning (bindningstid) lantbrukarens beslut vid val mellan att odla en ettårig eller en flerårig energigröda. Odlingens inverkan på lantbrukarens egen närmiljö och landskapsbild spelar även roll vid beslutet.

Idag finns i Sverige ca 700 000 hektar outnyttjad mark, som till stor del består av block om mindre än 6 hektar (ett block kan bestå av mer än ett skifte) (Jordbruksverket, 2008). Cirka 300 000–400 000 ha tidigare jordbruksmark bedöms utgöra potential för bioenergiproduktion. Beroende på sämre arrondering, otillgänglighet, dränering, stenbundet etc. på en del av denna mark lämpar sig i praktiken uppskattningsvis cirka 250 000 hektar av marken att tas i bruk (Walldén, pers. medd., 2009). Denna mark kan vara värd att beakta om man vill öka Salixarealerna, trots att kostnaderna kan vara högre än för större fält. De skiften som används för Salix idag är också relativt små. Beroende på organisationsform, utformning av logistikkedjan samt fältens form kan kostnaderna för små fält minskas och på så sätt också bli komplement till de större fälten.

Med det system som idag tillämpas av Lantmännen gäller att kostnaderna per hektar är högre för små odlingar jämfört med större odlingar, då fältlogistik och affärsupplägg inte är anpassade för skörd på mindre fält. Systemet med självgående hack och container, är ett exempel på ett s.k. "hett system" som bygger hög samorganisering och på att nästa led i kedjan utförs direkt, vilket är mest ekonomisk vid större skiften och korta avstånd mellan dessa. Beroende på organisationsform, utformning av logistikkedjan samt fältens form kan dock skillnaderna i kostnader minskas. De små fälten bör på så sätt också utgöra komplement till de större fälten. För de små fälten finns även möjlighet att finna ekonomi i att använda skördeutrustning med lägre investeringskostnad och kapacitet.

Även andra mervärden kan finnas vid odling av Salix på mindre fält, vilket här belyses kortfattat. I studien "Energiskogsodling på åkermark – möjligheter för biologisk mångfald och kulturmiljö i ett landskapsperspektiv" (Weih, 2006) beskrivs att särskilt vid småskaliga energiskogsodlingar kan det estetiska landskapsvärdet höjas, genom att tillföra variation och struktur i ett annars homogent jordbrukslandskap. Vidare, om Salixodlingar ersätter odlingar av spannmålsgrödor eller granskogsplanteringar på åkermark, kan resultatet bli en ökad biodiversitet, särskilt om odlingarna är små. Rent generellt finns vid odling av Salix möjlighet att på olika sätt bidra till att uppnå flera av miljökvalitetsmålen, t.ex. Begränsad klimatpåverkan, Ett rikt odlingslandskap, Giftfri miljö och Ingen övergödning (Weih, 2006). Miljömervärden vid odling av Salix – som uppnås genom välvald lokalisering, skötsel och systemintegration - beskrivs även i skriften "Multifunctional bioenergy systems" av Berndes och Börjesson (2007). De belyser även att odling av energiskog för att få ut miljömervärden kan innebära merkostnader bland annat p.g.a. annorlunda utformning av fälten än vid konventionell odling, samt lyfter frågan om vem som bör bekosta miljövinsterna. Om lantbrukare som bedriver multifunktionella Salixodlingar skulle kunna få ersättning som motsvarar värdet av den "miljöservice" som utförs, skulle lönsamheten

kunna öka. Detta skulle i sin tur kunna bana vägen för ökad etablering av Salix i Sverige, enligt författarna.

Olika skördesystem, hanteringsformer och lagringsbarhet. Vid jämförelse av olika system för skörd och logistik samt hanteringsformer finns olika aspekter att beakta, t.ex. kostnad, energianvändning och klimatpåverkan för olika moment i kedjan. Utöver detta finns aspekter som lagringsbarhet, bränslekvalité, volymvikt, avsättning och praktisk hantering på anläggningen med mera att beakta.

Direktflisning vid skörd är den vanligaste skördemetoden i Sverige idag, där flisad Salix ofta lagras kortare perioder i stack eller levereras direkt till värmeverket i container.

Lagringbarheten är en viktig aspekt när hela skörden inte ska levereras direkt och mellanlagring krävs. En lagringsbar produkt underlättar möjligheten att anpassa leveranser efter avnämarens behov och att kunna garantera leveranssäkerhet. Salix kan lagras som helskott (lösa eller i buntar), flis eller kapade bitar. Vid lagring finns möjlighet att torka ur produkten något, vilket kan höja värmevärdet samt möjliggöra lägre transportkostnader. Lämplig lagringstid beror förutom på lagringsbarheten även på organisationen i leverantörsled samt avnämarens behov.

System för skörd av helskott och buntning kan bl.a. ur lagringshänsyn vara ett intressant alternativ till skörd och flisning i samma moment. Vid lagring av helskott ökar lagringsbarheten i jämförelse med lagring av flis i stack på grund av att lägre fukthalt och lägre substansförluster kan uppnås, vilket kan förbättra bränslekvaliteten. Nyskördad Salixflis som lagras i stack bryts ner fortare på grund av mikrobiella aktiviteter. Detta ger bl.a. stora substansförluster, försämrad bränslekvalitet samt försämrad arbetsmiljö när infekterad flis hanteras, t.ex. vid lastning och omlastning. Bränslets askhalt kan också öka som konsekvens av materialets nedbrytning (Jirjis, 1997), se mer i kap E.

Att skörda i kapade bitar (s.k. ”billets”) är en annan möjlighet. Lagringsbarheten är bättre än för flis, vilket beskrivs närmare i kap E. Begränsad kunskap finns dock kring vilka volymvikter som kan uppnås, lagringsegenskaper, praktisk hantering på anläggningen samt dess avsättning.

1.2 Beskrivning av forskningsområdet

Mellan 1980-talet till mitten av 1990-talet utvecklades en hel del olika typer av energiskogsskördare delvis med statliga medel i Sverige, där bland annat JTI var verksam och utförde en rad studier av bland annat prestanda, förarmiljö och logistik in på början av 2000-talet (se exempelvis rapporterna R181, R194, R200, R202, R210, R218 och R294 av bl.a. Birger Danfors, Olle Norén och Gunnar Hadders, vilka återfinns på www.jti.se). Andra aktörer var bl.a. en rad olika maskintillverkare, Lantmännen och andra forskare, bl.a. från Skogforsk. Av olika skäl har den direktflisande skördemetoden blivit den som främst används kommersiellt idag, medan utvecklingen av och forskningen kring de flesta övriga prototyper som bygger på andra hanteringsformer stannade av, både i Sverige och i andra länder.

I Sverige har viss utveckling av skördemaskiner fortgått och tillverkats i liten skala av företaget Salixmaskiner. Utveckling av skördemaskiner för poppel har även pågått, främst i

Italien där forskaren Rafaele Spinelli varit mycket involverad - dock är dessa maskiner inte anpassade för skörd av Salix och svenska förhållanden.

Viss prototyputveckling har även pågått, exempelvis i Canada nyligen (rundbalsskördare). Se mer om skördemaskiner i kap 3. Det faktum att väderförhållanden, bärighet i mark samt att Salixflis inte kan lagras längre tider utan kvalitetsförsämringar av bränslet, har stor inverkan på leveranssäkerheten av Salixflis idag.

Samtidigt råder brist på aktuella underlag om skördesystem som bygger på andra hanteringsformer, såsom bitar eller buntar, kan vara en framkomlig väg. Utöver uppgifter om kostnader, aktuella data för prestanda och olika fältmoment saknas i flera fall också för andra tänkbara system. Underlag om buntars lagringsegenskaper, volymvikter för olika typer av buntar och samt olika fraktioner av bitar, är även bristfälliga.

I Värmeforsks regi genomförs för närvarande en studie av Nils-Erik Nordh på SLU med titeln ”Effekter på överlevnad och tillväxt vid förlängd skördesäsong av Salix”, som också kan utgöra underlag för val av skördesystem, skördetidpunkt samt eventuell lagringstid (projekt E06-642), som rapporteras i slutet av 2009. Värmeforsk har även finansierat en ”Förstudie av teknik för komprimerande helskottsskörd av Salix i buntform” (projekt E06-624). Vidare finns en nylig sammanställning ”Teknik för skörd av Salix: status och utvecklingsbehov” (Magnusson, 2009), finansierad av Energimyndigheten, som belyser dagsläget samt ger rekommendationer till utvecklingsinsatser.

1.3 Forskningsuppgiften och dess roll inom forskningsområdet

Det finns idag ingen känd aktuell jämförelse av kostnader av de studerade skörde- och logistiksystemen, samt inverkan av storleken på fälten som skördas. Denna studie undersöker ett par skörde- och logistiksystem som skulle kunna lämpa sig bättre för skörd av små fält, samt som möjliggör ökad sysselsättning för lantbrukaren – något som skulle kunna vara ett komplement till dagens mer storskaliga system för att öka det totala Salixarealerna i landet. I och med att studien bygger på prototyper som funnits kan den utgöra underlag för bedömningar om dessa kan vara värda att utvecklas vidare, eller om det finns behov av nya tekniska lösningar eller anpassningar. På grund av stor brist på dokumenterade studier vad gäller prestanda för olika skördemaskiner samt aktuella data, har detta i den grad möjligt p.g.a. tillgängliga maskiner kompletterats med fältförsök i denna studie. Studien ger underlag till såväl lantbrukare och entreprenörer som energianläggningar.

1.4 Syfte

Syftet med projektet är att öka den totala arealen Salix i Sverige. Hypotesen bakom denna studie är att detta kan uppnås genom att odla mindre fält än vad som anses vara ekonomiskt försvarbart i dag. För att sänka kostnaderna krävs Skörde- och logistiksystem anpassade för att kunna användas på mindre fält.

Om odling av mindre fält kan vara ett sätt att öka Salixarealerna i Sverige finns anledning att beakta detta alternativ trots eventuellt högre kostnader. Mot bakgrund av detta avser projektet studera kostnader för skörde- och logistiksystem anpassade för mindre fält, samt hur dessa kostnader kan minimeras. De huvudsakliga kriterierna för val av skördesystem, bl.a. med avseende på småskalighet, som använts här är:

- **Maskiner som vanligen brukas inom lantbruket ska i möjlig utsträckning användas i skördekedjan.** Ekipagen ska inte behöva ta alltför stor plats i fältets kant för att vända, för att en så liten andel av de små fälten som möjligt ska tas i anspråk för detta.
- **Möjlighet till större delaktighet i kedjan för lantbrukaren.** En annan viktig aspekt för val av maskinsystem i fält var möjligheten för lantbrukaren att själv utföra arbetet i fält, vilket underlättas av att i lantbruket vanligt förekommande maskiner används.
- **Ett småskaligt system bör inte vara ”hett”, det är en fördel om momenten i kedjan inte behöver utföras i direkt anslutning till varandra.** Detta ger bl.a. ett mindre behov av samtidig bemanning och större möjlighet för lantbrukaren att själv utföra efterföljande moment vid ett senare tillfälle. Vidare fås mindre kostnader för eventuella stopp då risken för stillestånd i efterföljande led minskar.
- **Så få moment som möjligt i kedjan bör eftersträvas för att minska extra kostnader.**

1.5 Mål och målgrupp

Målet med studien är att ge underlag till lantbrukare, entreprenörer och energianläggningar om maskinsystem anpassade för mindre fält. I studien utvärderas ekonomi, energianvändning och klimatpåverkan för system för skörde- och logistik vid utnyttjande av små arealer (mindre än 6 ha), från åker till anläggning.

Frågor som ska besvaras för kedjan från skörd till anläggning.

- Skörde- och logistikkedjornas utformning för små fält
- Kostnader vid hantering av Salix från skörd till anläggning
- Direkt energianvändning
- Klimatpåverkan (CO₂-utsläpp) från användning av insatt energi

Det långsiktiga målet är att uppnå storskaliga leveranser av Salix även med småskaliga lösningar i odlingsledet, som ett komplement till dagens mer storskaliga system för Salixodling.

2 Metod och genomförande

Olika moment i kedjan kan se ut på olika sätt - till exempel vilken skördemaskin som används, hur skott och buntar samlas in och med vilken maskin, var och hur flisning sker och var och hur mellanlagring sker. Eftersom det finns många tänkbara lösningar till hur skörde- och logistiksystemen kan se ut valdes tre principiella system ut

- direktflisning
- buntskörd
- bitskörd

De tre studerade skörde- och logistiksystemen valdes dels då de bygger på tre olika hanteringsformer; flis, buntar och bitar där de två senare alternativen är intressanta då de kan lagras längre än flis. Buntar och bitar valdes då det ansågs att de kunde representera småskaliga alternativ. Jämförelse av skörde- och logistiksystemen görs med direktflisning, som är det i dag vanligaste förekommande systemet för skörd av Salix i Sverige.

Skörde- och logistiksystemen studeras för två alternativa fältstorlekar

- ett fält med arealen 6 ha
- tre fält på vardera 2 ha

Känslighetsanalyser har genomförts för utvalda parametrar samt scenarioanalyser med alternativa systemlösningar.

Valet av vilka system som skulle studeras skedde med hjälp projektets referensgrupp, genom en workshop som anordnades i början av projektet, samt genom efterföljande dialog. Referensgruppen har även tagit en aktiv del i diskussionen av resultaten samt om de olika systemens för- och nackdelar.

2.1 Datainsamling och litteraturstudier

De data som använts i kalkylerna har samlats in via litteratur och kontakt med bl.a. entreprenörer och tillverkare av skördemaskiner. Fältmätningar har även utförts (se kap 4) för att få data där brist funnits på data för skördemaskiner och som varit möjliga att mäta p.g.a. tillgänglighet av dessa.

Beskrivningen av lagringsegenskaper är baserad på en litteraturstudie. Denna har till del fungerat som underlag för antaganden om lagring för olika hanteringsformer av Salix. På grund av avsaknad av genomförda studier för bitar och buntar har även kompletterande avstämnings med kunnig kompetens på området (Raida Jirjis, SLU) genomförts.

Beskrivningen av skördemaskiner är baserad på en litteraturstudie samt telefonkontakt med bl.a. tillverkare av skördemaskiner och entreprenörer.

2.2 Beräkningsmetodik för olika skördesystem

Beräkningarna avser jämföra principiella systemupplägg, t.ex. system med självgående hack jämförs med system utan flisning som kan bogseras med traktor. Kostnader för olika

system har beräknats för två olika fältstorlekar. Hela kedjan från skörd till att varan är levererad till har beräknats.

Känslighetsanalys har framförallt utförts på osäkra eller betydelsefulla parametrar. För en skördemaskin kan detta exempelvis vara anskaffningsvärde, årlig användning och kapacitet. Med hjälp av känslighetsanalysen kan de olika systemen jämföras ekonomiskt under olika antaganden och förutsättningar.

Maskinkalkyler har upprättats för olika skördemaskiner. För maskinkalkylerna används schablonatorer som t.ex. transporttaxor för vägtransport i stället för egna beräkningar. När det finns en fungerande marknad för tjänster visar dessa marknadspriser ofta verkliga kostnader på ett bättre sätt, än vad kalkylberäkningar gör. För skördemaskinerna behövdes dock egna beräkningar.

Vilka logistiksystem och förutsättningar som valts för studien vad gäller fältstorlek, avstånd, fältlager, samt begränsningar, beskrivs i kapitel 5, och använda data redovisas i bilagorna.

2.2.1 Beräkningar av kostnader

Beräkningarna avser jämföra principiella systemupplägg, t.ex. system med självgående hack jämförs med system utan flisning som kan bogseras med traktor. Kostnader för olika system kommer att beräknas vid olika fältstorlek, ett fält på 6 ha jämförs med 3 st. fält på 2 ha vardera. Hela kedjan från skörd till att varan är levererad till användare beräknas. Känslighetsanalys genomförs på osäkra eller betydelsefulla parametrar. Sådana parametrar för skördemaskin kan exempelvis vara anskaffningsvärde, årlig användning och kapacitet per timme. Med hjälp av känslighetsanalysen kommer de olika systemens att kunna jämföras ekonomiskt under olika antaganden och förutsättningar. Maskinkalkyler upprättas för olika skördemaskiner.

Kostnaderna beräknas med annuitetsmetoden som är en metod för investeringskalkyl. Metoden anger hur lönsam en investering är utslaget på investeringens livstid. Det beräknade värdet, annuiteten, anges i kronor per år. Metoden är lämplig om investeringsalternativ med olika lång ekonomisk livslängd ska jämföras, eftersom det är resultat per år som beräknas.

Annuitetsfaktorn (k) beräknas med formeln $k = \frac{R}{1 - (1 + R)^{-n}}$ där

- R = kalkylränta
- k = annuitetsfaktor
- A = annuitet
- NV = nuvärde
- n = ekonomisk livslängd

Annuitetsfaktorn (k) multipliceras med nuvärdet (NV) och resulterar i den årliga kostnaden ($A = NV * k$).

2.2.2 Maskinkalkyler

För ett flertal maskiner och arbetsmoment kommer data att hämtas från andra källor än egna mätningar och beräkningar. För de moment i kedjan där det finns fungerande utrustning,

fungerande marknad och mätdata från andra källor som t.ex. lastbilstransporter kommer dessa data användas. För maskinkalkylerna kommer schablontaxor som t.ex. transporttaxor för vägtransport användas i stället för att göra egna beräkningar. När det finns en fungerande marknad för tjänster visar dessa marknadspriser ofta verkliga kostnader på ett bättre sätt, än vad kalkylberäkningar gör.

2.2.3 Odlingskostnader för Salix

För användare av Salixbränsle är en relevant frågeställning vad Salixbränslet totalt sätt kostar att leverera till anläggning. Utöver skörde- och hanteringskostnader måste även odlingskostnaderna beaktas. Odlingskostnaden anges som den årliga kostnaden för ett helt omlopp. Förutsättningarna är att kostnaden beräknas vid ett skördetillfälle i en etablerad odling med skörd vart tredje år. Beräkningarna är gjorda utan slamgödsling eller kvävegödsling samt utan bidrag eller markkostnad. De moment som ingår är

- plantering inklusive sticklingar
- avkapning
- jordbearbetning
- ogräsbekämpning
- gödsling med fosfor (P) och Kalium (K)
- tillsyn av odling
- overheadkostnader
- avveckling av plantering efter odlingsperiodens slut

2.2.4 Beräkning av värmevärde

Resultaten för de olika studerade systemen anges som kr/MWh, där MWh är den energimängd i Salixen som levereras till anläggningen. Energiinnehållet är det värmevärde som anläggningen betalar för per råton levererad Salix. Det medför att energimängden som levereras kommer att variera beroende på hur länge Salixen lagrats innan leverans.

För att beräkna Salixens värmevärde används standardformel från Virkesmättningsrådet

$$(1999). h_{\text{net}} = h_{\text{eff}} \times \left(1 - \frac{A}{100}\right) \times \frac{T}{100} - h_{\text{ång}} \times \left(1 - \frac{T}{100}\right)$$

h_{net} = nyttigt värmevärde per råton bränsle (MWh/ton)

h_{eff} = Effektiva värmevärdet (MWh/ton torrs substans)

$h_{\text{ång}}$ = ångbildningsvärmets per ton vatten i bränslet (MWh/ton)

A = bränslets askhalt (% av torrs substans)

T = Torrs substanshalt (%)

Det effektiva värmevärdet, även kallat kalorimetriskt värmevärde är den totala energimängd som finns i bränslet räknat på torr bas. Det nyttiga värmevärdet är bränslets värmevärde efter att hänsyn tagits till Salixens askhalt och vattenhalt.

Det levererade bränslets energiinnehåll beräknas enligt formeln $E = h_{\text{net}} \times m$.

E = Värmeenergi i levererat bränsle (MWh)

h_{net} = se ovan

m = bränslets vikt (råton)

Underlag för att bestämma h_{net} är hämtad från Strömberg (2005) med undantag för bränslets vattenhalt som är ett eget antagande och vattnets ångbildningsvärme som är en fysikalisk konstant som är en funktion av omgivningstryck och vattentemperatur.

Tabell 1. Underlag till beräkning av värmevärdet enligt formel från Virkesmättningsrådet (1999)

Table 1. Basic data for calculating energy content in Salix using formula from Virkesmättningsrådet (1999)

h_{eff}^1	5,547	MWh/ton torrsubstans
A^1	2,9	% av torrsubstans
T^2	50	%
$h_{\text{ång}}^3$	0,678	MWh/ton vatten

¹ Strömberg (2005)

² Eget antagande, Salixens torrhalt varierar dels vid skörd, dels beroende på lagring. En skördevattenhalt på 50 % ger ett enkelt beräkningsunderlag

³ Vattnets ångbildningsvärme vid 25 °C

2.2.5 Utsläpp av växthusgaser från användning av el och diesel

El används vid krossning av buntad Salix vid anläggningen. Krossen är en stationär kross med hög kapacitet. Produktion och distribution av el medför att växthusgaser släpps ut i någon del av kedjan från producent till konsument, framförallt i samband med produktion. El kan produceras från enskilda energikällor som vatten- och kärnkraft, olja, kol, vindkraft m.m. eller från olika mixar av energikällor, exempelvis svensk medelelmix. Valet av energikällor är därmed avgörande för hur stor påverkan som användning av el kommer att ha på resultatet.

Produktionen och distributionen av svensk medel el från anläggning till kund bidrar med 2,8 g CO_{2e}/kWh (Uppenberg m.fl., 2001). Koldioxidbelastningen inkluderar ett antagande om 10 % förluster vid distribution av el från producent till konsument. Elproduktionen i Sverige domineras av vattenkraft och kärnkraft, som står för mer än 90 % av produktionen. Både vatten- och kärnkraft medför låga utsläpp av växthusgaser. I tabell 2 visas några exempel på klimatpåverkan från olika typer av elproduktion, både mixar och enskilda energikällor.

Tabell 2. Klimatpåverkan när el produceras från olika energibärare och mixar

Table 2. Climate change impacts from power generation using different energy carriers and power mixes

Elproduktion		Enhet
Svensk medelproduktion	0,0028	kg CO _{2e} /kWh
europesisk medelproduktion	0,245	kg CO _{2e} /kWh
Marginalproduktion, kolkondens	0,486	kg CO _{2e} /kWh
Marginalproduktion, naturgas	0,110	kg CO _{2e} /kWh

Tillskottet av koldioxid från fossila bränslen, diesel, är till 2,7 kg CO_{2e}/liter bränsle (Uppenberg m.fl., 2001) vilket motsvarar 0,28 kg CO₂/kWh diesel. Beräknat värde utifrån utsläppt mängd CO₂ per energimängd i bränslet, produktion och distribution är inkluderade i bidraget.

2.3 Fältmätningar

Fältmätningar har genomförts för vissa data och moment där dokumenterade försök saknats och där det varit möjligt att utföra mätningar. Se beskrivning i kap 4 Fältmätningar.

2.4 Referensgrupp för kvalitetssäkring

Tonvikt har lagts på att förankra arbetet med olika aktörer. En referensgrupp har varit knuten till projektet med deltagare och kompetenser från olika delar av kedjan, med följande deltagare:

Börje Ohlson, Salixodlare Kolbäck

Erik Hedar, Energimyndigheten

Göran Sjöström, ansvarig för skördefrågor och teknikutveckling, Lantmännen Energi.

Håkan Walldén, affärsutvecklingschef, Lantmännen Energi

Katja Pettersson, bränsleingenjör (kvalitetssäkring, leverantörskontakt etc.), Söderenergi

K-G Björk, Salixodlare, Hedemora ek. förening.

Per-Anders Hansson, professor, Institutionen för Energi och Teknik, SLU

Rodolfo Lindqvist, marknadschef, Salixmaskiner

Urban Eklund, VD, Ena Energi

I början av projektet genomfördes en workshop med referensgruppen för val av system och förankring av studiens upplägg. Kriterier för val av skördekedjor med avseende på studiens mål och syfte diskuterades. Utifrån dessa diskuterades olika alternativa upplägg för skörd- och logistiksystem samt olika varianter av moment och de tre studerade systemen valdes ut. I slutet av projektet hölls ett referensgruppsmöte för att presentera och förankra resultaten.

2.5 Informationsspridning

Förutom i föreliggande rapport redovisas projektets resultat även på JTI:s webbplats (www.jti.se) och nyhetsbrev, på Bioenergiportalen, i en populärvetenskaplig skrift samt genom seminariemedverkan.

3 Tekniker för skörd av Salix

Som grund för valet av maskinsystem att studera genomfördes i början av detta projekt en litteraturinventering av olika skördemaskiner, vilken finns redovisad i detalj i bilaga D. Vidare finns en översikt över de inventerade skördemaskinerna i slutet av detta kapitel (Tabell 3).

Skördemaskiner kan delas in i olika kategorier beroende på vilka moment de utför vid skörd. Kedjan från skörd till anläggning kan också se ut på olika sätt. Här beskrivs några principiella upplägg som involverar de maskiner som inventerats här samt mellanlagring.

- **Helskottsskörd** – kapning av hela skott, vilka samlas på skördemaskinen som lösa skott eller som buntar. Skotten eller buntarna kan även falla till marken och samlas upp av en annan maskin. Skotten/buntarna kan sedan stjälpas i välta (på hög) i fältkant för mellanlagring. De lösa helskotten kan även buntas i fältkant. Flisning kan ske direkt i fältkant alternativt vid anläggningen.

Buntskörd är en form av helskottsskörd. Vid direktbuntning skördas Salix i form av hela skott och buntas under skörd. Buntarna kan vid behov mellanlagras innan leverans med timmerbil till värmeverk, där flisning sker. Alternativt kan flisning ske i fältkant. Som ett alternativ till direktbuntning vid skörd är även buntning vid fältkant möjlig, som då föregås av helskottsskörd. En buntare avsedd för buntning av GROT (grenar och toppar) kan då tänkas användas (Hagström, 2006). Maskiner avsedda för buntning av GROT behandlas dock ej här.

- **Direktflisande skörd/ bitskörd** – kapning av hela skott och flisning (alt kapning av bitar) vid skörd. Vid direktflisning i samband med skörd och blåses/skruvas det flisade materialet över till medföljande traktor med vagn (container), som ställs nära skördeplatsen till en lastbil hämtar upp containern för direkt leverans till förbränningsanläggningen.

I stället för att flisa Salixen kan den även kapas till bitar. Skörden innebär samma moment som vid direktflisning. Skillnaden är att kapade bitar kan lagras längre tid, beroende på längd och hur rena snittytor är (se mer i kap E). En jämn fraktion av kapade bitar förmodas ha en lägre volymvikt än flis, dock är det inte säkert att den är lägre om den innehåller olika storleksfraktioner. Om de kapade bitarna överstiger en viss längd kan de behöva flisas, t.ex. på anläggningen. Detta extra moment bör dock försöka undvikas p.g.a. de ytterligare kostnader det medför.

- **Rundbalspressning** – kapning, rivning och balning vid skörd. En prototyp för detta beskrivs i texten, men då denna princip inte är fokus för studien beskrivs detta möjliga system inte närmare här.

Viss reservation i ovanstående kategorisering finns för maskiner som är flexibla, t.ex. som kan både användas för helskottsskörd eller buntning, detta framgår dock i beskrivningen av respektive maskin (bilaga D).

Översikt skördemaskiner

Tabell 3 på nästa sida ger en översikt av merparten av de skördemaskiner för Salix, och i vissa fall för andra slag av energiskog såsom Poppel, som funnits eller finns idag, samt övergripande egenskaper i mån av att uppgifter gått att återfinna (inventeringen genomförd under 2008). Skördemaskinerna beskrivs närmare i bilaga D.

En slutsats av maskininventeringen är att det finns få alternativa skördemaskiner till Claas-skördaren att tillgå idag på marknaden. Det har genom åren funnits en hel del prototyper för skörd av Salix i olika hanteringsformer, och de enstaka som är i drift idag är under utveckling eller serietillverkas inte. Dataunderlaget för dessa har under inventeringen visat sig vara mycket begränsat, eller obefintligt, varför luckor finns i redovisningen.

Den angivna kapaciteten för olika maskiner anpassade för skörd av Salix varierar mycket. Det bör beaktas att många skördemaskiner som funnits eller finns fortfarande varit/är prototyper eller inte tillverkats i mer än en eller ett fåtal upplagor. Därmed kan jämförelse av prestanda med mer beprövade skördemaskiner vara orättvis. En rad faktorer påverkar vilken kapacitet som uppnås vid skörd, såsom stammarnas tjocklek, beståndets täthet och om det är homogent eller ojämnt vad gäller stamtjocklek, väderlek och bärighet i mark osv. Uppgifterna i det underlag som samlats in redovisas på många olika sätt och det är ofta oklart vilka moment som ingått, t.ex. om skörd i rad avses eller om stopp ingår, och under vilka förutsättningar kapaciteten gäller, varför en allmän jämförelse av kapaciteter inte görs här.

Tabell 3. Sammanställning av maskiner för skörd av Salix

Table 3.

Funktion /moment	Benämning/modell	Drivning	Effekt (kW)	Vikt (ton)	Stam-diameter (cm)	Status	Land
Helskotts-skörd (kapning)	Rodster Mark I	Bogserad	-		3,5 (max)	I bruk. Tillverkas av (Salixmaskiner AB).	Sverige
	Rodster Mark II				10 (max)		
Buntskörd (kapning, buntning)	Bundler	Bogserad	-	4,0	10 (max)	Prototyp nu ombyggd till ovan nämnda Rodster Mark II. Kan nytillverkas (Salixmaskiner AB).	Sverige
Helskotts-skörd (kapning, ihopsamling, avlastning)	Stemster MK II	Bogserad	95 (min) ** 200 (max)	7,0	8	Nyutvecklad, till försäljning (Nordic Biomass, HYTEK A/S)	Danmark
	Segerslätt Empire 2000	Själv-gående	130	12,2	-	Prototyp, ombyggd skördetröska. I Holland sen 2001*	Sverige
	Fröbbesta	Själv-gående resp. Bogserad	70 -	3,0 3,5	- -	Prototyper	Sverige
	ESM 901 (Prototyp)	Själv-gående	74	7,7	-	Prototyp. Ej i bruk*.	Sverige
Direktflisning	Claas Jaguar med HS1-HS2 skärbord	Själv-gående	330	9,4	6 (max)	Vallskördare med specialtillverkat skärbord	Sverige
	Claas Jaguar 880 med GBE 1 skärbord	Själv-gående	340		8 (max)	Vallskördare med specialtillverkat skärbord	Italien
	Claas Jaguar 850 med HS2 skärbord	Själv-gående	286		6 (max)	Vallskördare med specialtillverkat skärbord	Italien
	Claas Jaguar 900 CRL Mk II skärbord	Monterad			8 (max)	Vallskördare med specialtillverkat skärbord	Italien
	Chipset Prototyp	-	-	-	-	Modifierad flisskördare avsedd för gallringsskog	Sverige

	Gandini Bio Harvester 500 Prototype	Monterad	132-190	3,9	5-45	Prototyp främst för skörd av poppel, under utveckling.	Italien
	LWF Prototype	Monterad	100 (min) (traktor)	-	70 (max)	Prototyp främst för skörd av poppel, under utveckling.	Italien
	Spapperi Prototype	Bogserad	100 (min) (traktor)	-	10 (max)	Prototyp ("feller/loader"), under utveckling.	Italien
Direktflisning /kapning bitar	Modular Bender 6WG	Monterad	Ca 300 optimalt (traktor)	-	-	Ny modell under utveckling. Tillverkas av (Salixmaskiner AB).	Sverige
	Bender I-II	Monterad	85-120 (traktor)	9,5-1,25	-	Prototyp, ej längre i bruk*. Tillverkas av (Salixmaskiner AB).	Sverige
	Bender III	Monterad	120-150 (traktor)	-	-	Prototyp, såld till Danmark. Tillverkas av (Salixmaskiner AB).	Sverige
	Bender V	Monterad				Prototyp i bruk i Polen. Tillverkas av (Salixmaskiner AB).	Sverige
	Austoft 7700	Självgående	176	12,5		Sockerrörsskördare modifierad för Salixskörd. Såld till Irland (osäkert).	Sverige
Rundbalspressning	New Holland	Bogserad	-	-	-	Prototyp baserad på New Holland BR 740 (CNH), under utveckling.	Canada

*förmodas ej vara i bruk då aktuell information ej återfunnits.

**Vid brant terräng rekommenderas en högre motoreffekt. En fullt lastad maskin som körs i mjuk terräng behöver 40-50 hk mer för drivning än i fast terräng

4 Fältmätningar

Fältmätningen genomfördes strax utanför Hedemora den 24 mars 2009 med Salixmaskiners traktorburna skördare Modular Bender 6WG, som finns beskriven i avsnitt 3. Skördaren är en prototyp som under skördesäsongen 2008-09 kontinuerligt modifierats och justerats. Vid mätningarna drevs den av en Fendt 930 Vario, och den nominella hackelselängden var 35 mm.

Skörden gjordes på en mindre odling där det vid besöket fanns ca 1 ha oskördad Salix kvar. Flisen samlades upp i en högtippvagn som kördes av en annan traktor vid sidan om skördaren. Under fältmätningen tömdes flisen i containrar som rymde 35 m³.



Figur 1. Skörd av Salix med Modular Bender 6WG

Figure 1. Salix harvested using a Modular Bender 6WG

4.1 Metod och genomförande

Vid fältmätningen insamlades data för att kunna beräkna följande parametrar:

Körhastighet i drag. Separata tider för sammanlagt 18 drag med känd sträcka noterades. Draglängden var antingen 78 eller 92 meter beroende på var på fältet skördaren körde. Även

tider för olika typer av driftstopp och andra störningar som orsakade stillestånd noterades. Dessa tider har räknats bort vid beräkningen av körhastighet i drag.

Volymvikt. Två stycken nästan fulla containrar användes för att bestämma volymvikten på flisen. Efter utjämning av ytan mättes flisens volym i containrarna upp, varefter de med lastbil kördes till mottagningsstationen i Säter för vägning.

Vattenhalt. Under dagen togs sex prover på flisen för bestämning av vattenhalt. Dessa prover torkades i ventilerat torkskåp vid 105°C till dess att de inte längre minskade i vikt. Mängden torrsustans i ett prov var som regel mellan 250 och 300 gram.

Fraktionsfördelning. Ett samlingsprov på ca 15 liter togs ut för bestämning av partikelstorleksfördelning på flisen. Bestämningen utfördes med oscillerande såll i enlighet med standarden prCEN/TS 15149; ”*Fasta biobränslen - Metoder för bestämning av partikelstorleksfördelning - Del 1: Metod - Oscillerande såll med hålstorlek 3,15 mm och större*”. De såll som användes hade håldiametern 3, 7, 16 och 45 mm. Partiklar med en längd mellan 63 och 100 mm, resp. över 100 mm sorterades ut manuellt innan den mekaniska sållningen.

Avkastning. Den ena av containrarna fylldes med flis från en känd area, vilket tillsammans med flisvikten användes för att beräkna avkastningen.

Kapacitet i drag. Beräknades utifrån den genomsnittliga körhastigheten i drag och avkastningen enligt ovan. Skördaren tar två dubbelrader med Salix i ett drag, vilket ger en arbetsbredd på 2,25 meter.

4.2 Resultat fältmätningar

De uppmätta och beräknade resultaten sammanfattas i Tabell 4, medan fraktionsfördelningen har sammanställts i Figur 2.

Tabell 4. Sammanfattande resultat av fältmätning

Table 4. Summary of results from field trial

Körhastighet i drag	2,5 ¹	km/tim
Kapacitet i drag	12,9	ton ts/tim
Volymvikt	171 ²	kg ts/m ³
Volymvikt	365	kg råton/m ³
Vattenhalt	53,2 ³	%
Avkastning	22,9	ton ts/ha

1) Medelvärde 18 drag

2) Medelvärde 2 bestämningar (169 resp. 172 kg ts/m³)

3) Medelvärde 6 bestämningar, standardavvikelse 0,6

Tabell 5. Flisens fördelning i olika storleksklasser

Table 5. Size distribution of the wood chips

	Partikelstorlek, mm							Summa
	<3	3-7	7-16	16-45	45-63	63-100	>100	
Vikt, g	95	402	1 084	945	9	475	350	3 360
Procent	2,8	12,0	32,3	28,1	0,3	14,1	10,4	100

Flisen innehöll såväl kapade bitar upp till ca 15 cm och ännu längre kvistar, såväl som mindre fraktioner av flis. Den kumulativa storleksfördelningen, som visas i Tabell 5 och Figur 2, visar att den partikelstorlek som delade provet i två viktsmässigt lika stora delar var ca 19 mm.

4.3 Fältmätningarnas resultat i relation till värden som antas i studien

Resultat från fältmätningar sätts här i relation till de värden som antagits eller beräknats och sedan används i kalkylerna (Tabell 6).

Tabell 6. Jämförelse mellan parametrar använda i kalkyler och värden från fältmätningar vid skörd av bitar.

Table 6. Comparison between parameters used for calculating the studied systems and results from field trial of billet harvesting.

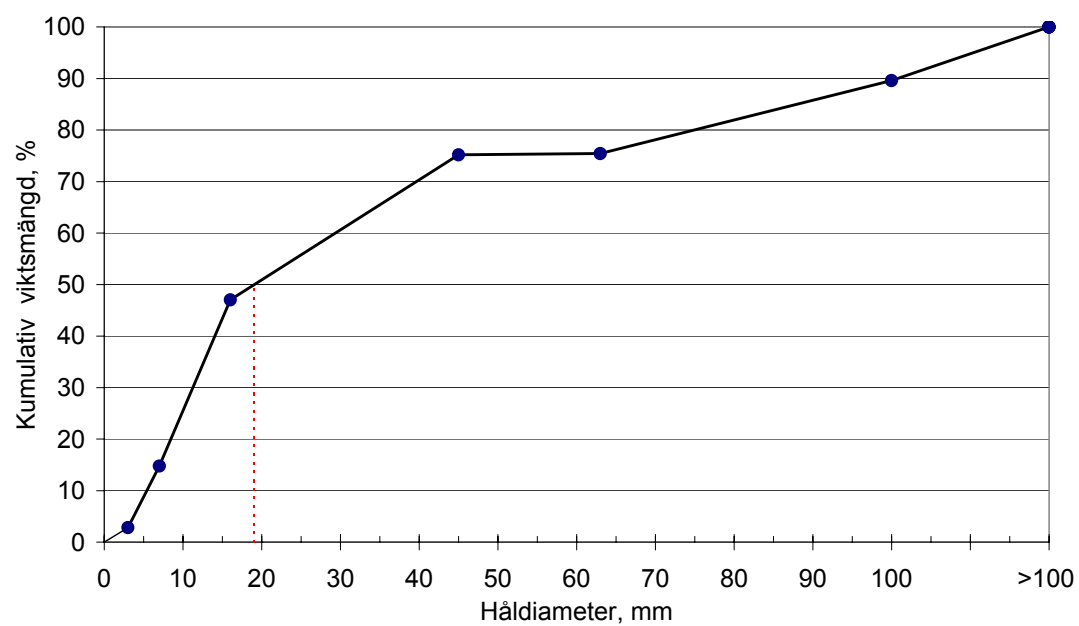
	Fältmätning	Kalkylvärde
Körhastighet i drag, km/tim	2,5 ¹	3,7
Kapacitet i drag, ton ts/tim	12,9	16,5
Volymvikt, kg ts/m ³	171 ²	145
D:o, kg råton/m ³	365	290
Vattenhalt, %	53,2 ³	50
Avkastning, ton ts/ha	22,9	20

1) Medelvärde 18 drag

2) Medelvärde 2 bestämningar (169 resp. 172 kg ts/m³)

3) Medelvärde 6 bestämningar, standardavvikelse 0,6

- Det högre kalkylvärdet för kapaciteten i drag beror troligen på en högre antagen körhastighet i drag.
- Föraren av flisaren menade att en hastighet av ca 3 km/tim var "lagom" för att ha möjlighet att kunna stoppa ekipaget i tid vid eventuella driftstörningar, såsom sågkedjebrott, stenar, gropar m.m. Man har i tester under årets skörd kunnat konstatera att skördaren rent tekniskt går att köra betydligt snabbare; upp till 6 km/tim.
- Den beräknade volymvikten är högre än för "konventionell" Salixflis, där studien använder ett värde på 320 kg/m³. Den är även klart högre än det värde som i studien antagits gälla för bitar (290 kg/m³).
- Den manuella utjämningen av flisen i containern kan dock ha gett en viss extra komprimering av materialet.
- Vattenhalt och avkastning ligger nära varandra och visar på att kalkylen har antagit rimliga nivåer avseende dessa parametrar



Figur 2. *Den kumulativa storleksfördelningen för flisen*

Figure 2. *The cumulative distribution of size for the studied Salix chips*

5 Studerade skörde- och logistiksystem

Tre olika system för skörd och hantering av Salix har studerats 1) direktflisning, 2) buntskörd och 3) bitskörd. De har utvärderats för två fältstorlekar, ett fält på 6 ha och 3 fält på vardera 2 ha.

5.1 Gemensamma förutsättningar för samtliga system

Här beskrivs det gemensamma upplägget för de studerade skörde- och logistiksystemen vad gäller fältstorlekar, avstånd och mellanlagring. Indata avseende kostnader, drivmedelsförbrukning, tidsåtgång etc. finns samlade i bilaga 0, B och C.

5.1.1 Förutsättningar för val kapaciteter

I Tabell 7 har det sammanställts kapacitetsfaktorer som reducerar de använda maskinernas teoretiska kapacitet uttryckt som ton torrsubbstans Salix per timme vid arbete. Den teoretiska kapaciteten är en beräknad kapacitet när maskiner antas kunna utnyttjas maximalt och inga händelser sker som minskar deras förmåga till att utföra sitt arbete. Kapacitetsfaktorer har tagits fram för skördeaggregat, transportfordon som traktor med containervagn, lastbil och timmerbil samt för lastmaskin.

För skördemaskiner är kapaciteten hur många ton torrsubbstans som kan avverkas per timme. Utifrån fältets antagna form avverkningshastigheten, tid för vändningar, tömning av vagnar etc. har den teoretiska kapaciteten i fält beräknats. Denna kapacitet påverkas sedan av en mängd faktorer som inte kan påverkas utifrån såsom haverier, stopp av olika slag, oregelbundna fält, dålig bärighet på marken, snö mm. Skördemaskinernas kapacitet multipliceras med kapacitetsfaktor enligt Tabell 7. Skördemaskin för buntskörd har en högre kapacitet än bitskörd och direktflisning. Detta beror på att buntskördaren inte är beroende av efterföljande moment som insamling av buntar och därmed kan buntskördaren snabbare flyttas mellan fält och få ett större utnyttjande.

För transporter av skörd från fält till fältlager med containervagn och vid transport av till anläggning med flisbil och timmerbilen anger Tabell 7 hur stor andel av fordonets maximala lastkapacitet (ton ts/ timme) som kan utnyttjas vid praktisk användning. Samma antagande gäller för lastare, där skopan antas kunna fyllas till 90 % av den maximala volymen vid lastning av Salix.

Huggarvagnen som används för att samla in buntar i fält antas kunna utnyttjas 90 % av den kapacitet (ton ts/ timme) som är beräknad för insamling av buntar i fält.

Tabell 7. *Korrigeringsfaktorer i procent för beräknade maxkapaciteter (ton ts/ timme) i syfte att korrigera för oförutsedda stopp mm.*

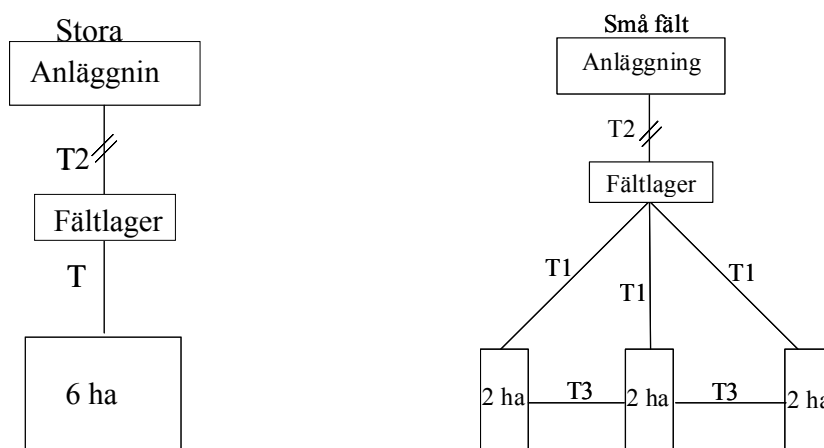
Table 7. *Factors (%) used for correcting calculated maximum capacities (tonnes dry matter/ hour).*

	Max kapaciteter (1*6 ha)	Max kapaciteter (3*2 ha)	Korrigerings- faktor
Direktflisning			
Kapacitet av maxkapacitet för skördare	17,8	14,1	58 %
Kapacitet av maxkapacitet för containervagn	17,8	14,1	90 %

Kapacitet av maxkapacitet för flisbil	10,4	9,8	90 %
Buntskörd			
Kapacitet av maxkapacitet för skördare	18,2	13,7	65 %
Kapacitet av maxkapacitet för huggarvagn	2,7	2,6	90 %
Kapacitet av maxkapacitet för timmerbil	5,8	4,9	90 %
Bitskörd			
Kapacitet av maxkapacitet för skördare	13,7	10,7	60 %
Kapacitet av maxkapacitet för fältvagn	13,7	10,7	90 %
Kapacitet av maxkapacitet för lastare	20,6	16,0	90 %
Kapacitet av maxkapacitet för flisbil	9,0	6,7	90 %

5.1.2 Fältupplägg och avstånd

Beräkningar för skörde- och logistiksystemen för Salix från fält till kund är utförda för både stora och små fält. Figur 3 beskriver fältupplägget för de två system jämförelsen baseras på.



Figur 3. Systemuppbyggnad för skörde- och logistiksystemen vid stora respektive små fält.

Figure 3. Systems for harvesting Salix from one large field (left) or three smaller fields (right)

Sträckan T1 är en transport i fält av det skördade materialet till fältlager (500 m), där materialet lagras kortare eller längre tid i väntan på vidare transport till anläggning.

Sträckan T2 är landsvägstransporten (30 km enkel väg) av det skördade materialet till anläggningen. Transportavståndet till kund varierar utifrån många faktorer, såsom fordonets lastkapacitet, bränslets skrymdensitet, vägarnas beskaffenhet m.m. I samtliga system är transportekipaget tomt vid utkörning.

Sträckan T3 återfinns endast i systemet med små fält och antas vara ca 0,5 km. Det är den sträcka som skördemaskin med tillhörande traktor m.m. måste förflytta sig mellan olika fält. Fältlagret ligger vanligen vid änden av ett av fälten, och max 500 m från fältkant. Avståndet till mellanlagret är ett medelavstånd från fält och kan därför variera stort.

Fältens form är en parameter som påverkar resultatet. För att undvika att fältets form ska bli avgörande för ett systems prestanda antas det att fältens form lika för samtliga system som studeras. Den enhetliga formen för ett fält oavsett storlek bestäms i denna studie till att längden är dubbelt så lång som bredden.

5.1.3 Mellanlagring

Mellanlagring sker vid fält. Fältlagret är en plats där lastbilar kan komma till och lasta containers eller buntar för vidare transport till kund. Fältlagrets placering styrs bl.a. av vägnas beskaffenhet. Vägen måste vara tillräckligt bra för att bära lastbil med släp och full last.

I kostnadskalkylerna antas att buntarna och bitarna mellanlagras en tid, 3 respektive 6 månader. Antaganden om minskad vattenhalt p.g.a. torkning och torrsubstansförlust för olika lagringstider baseras på dokumenterade lagringsstudier (kap E) i den mån det gått samt antaganden (bilaga F).

Tabell 8. Vattenhalt och ackumulerad torrsubstansförlust för buntar och bitar lagrade i 3 respektive 6 månader

Table 8. Water content and accumulated dry mater losses for bundles and billets after 3 and 6 months storage

	Nyskördad		lagrad. 3 mån.		Lagrad, 6 mån.	
	Bunt	Bit	Bunt	Bit	Bunt	Bit
Vattenhalt (%)	50	50	68	68	20	23
ts-förlust (%)	0	0	2,4	4,5	4,8	7,5

5.2 Avgränsningar

I verkligheten är det stora skillnader mellan olika skörde- och logistiksystem som kommer sig av att de är anpassade till lokala förhållanden. För att ha möjlighet att göra en mer generell beskrivning av olika system måste de anpassas till likartade förhållanden. Det medför att flera olika antaganden och avgränsningar måste ske av hur systemen är utformade.

Den geografiska avgränsningen speglar förhållanden som skördenivåer, fältens storlek och form, avstånd till kunder från fält m.m. Dessa faktorer är fastställda så generellt som möjligt. Den största arealen Salix i Sverige återfinns i Mälardalen, vilket medför att indata delvis kommer att spegla förhållandena där. Förhållandena antas i samtliga fall vara goda. Med det menas att vägnas kvalitet och tillgänglighet är god och att fälten är väl arronderade.

Avgränsningar i tid: Samtliga kostnader, energiförbrukningar och utsläpp av klimatgaser allokeras till ett år (en skördesäsong).

Andra avgränsningar är

- generella skördesystem och -principer studeras, vilket medför att medelvärden för skördeteknik används i stället för en specifik angiven skördemaskin
- vid anläggning är det endast flisning av Salix som beaktas. All annan hantering vid anläggning ligger utanför den valda systemavgränsningen
- fälten antas ha samma form oavsett om det är stort eller litet fält som studeras

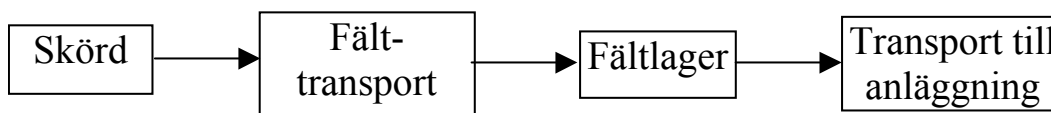
Att ännu småskaligare system inte valdes ut för studien, trots att de kan innebära väsentligt mer arbetstid för lantbrukaren, är att mindre rationella system ger stort utslag på kostnaderna, vilket resultaten också visar för de alternativ som studerats. Lantbrukaren kan dock i det enskilda fallet själv välja att räkna med en lägre timersättning (eller ingen alls) för eget utfört arbete i sådana system. Vidare kan valet av skördeteknik och insamling bli annorlunda för en lantbrukare om en mer småskalig användning, t.ex. på gården avses. Mindre betalning för lantbrukarens eget utförda arbete har dock inte ansetts som en väg fram för att generellt skapa ett större intresse för lantbrukare att odla Salix. Med syftet var att uppnå storskaliga leveranser även med småskaliga lösningar i odlingsledet, varför mindre rationella system än dessa inte beaktats.

Maskinernas bärighet i mark spelar roll för vilken tillgänglighet man ska räkna med för de olika maskinerna. Maskinerna för bunt- och bitskörd som studien bygger på, är lättare maskiner än Claas-skördaren, vilket betyder att de bör ha bättre bärighet i mark. Dock finns inte tillräckligt med data eller fältförsök som styrker detta, då flera av de dokumenterade test som utförts skett under regniga och leriga förhållanden, där även dessa maskiner haft vissa svårigheter arbeta problemfritt. Viss hänsyn har tagits till detta i kalkylerna genom att buntskördaren har antagits ha en högre tillgänglighet (skördar fler timmar per år). Detta främst då buntsystemet är ett icke-hett system, dvs. insamling av buntarna behöver inte ske samtidigt som skörd, vilket ger högre utnyttjandegrad av skördemaskinen. Bitskördaren och Claas-maskinen har antagits ha samma tillgänglighet, d.v.s. närmare hänsyn har inte tagits till att även bitskördaren skulle kunna ha en bättre tillgänglighet då maskinen är lättare.

Den körhastighet som antagits i studien baserar sig på hastigheter som bit- och buntskördaren kört med. Eftersom dessa varit i prototypstadiet vid testerna och möjligtvis körts lite långsammare för att undvika risker med sönderkörning, är det tänkbart att körhastigheterna kan bli högre då riskerna i vissa fall kan byggas bort – något som kan betyda en del för lönsamheten (Walldén, pers. medd., 2009).

5.3 Direktflisning i containrar vid skörd och direktleverans till anläggning

Systemet med direktflisning är en beskrivning av den i dag förekommande metoden för skörd av Salix som används av Lantmännen Energi. Systemet utgår från en Claas Jaguar med HS1-HS2 skärbord (se avsnittet D.1 Direktflisande skörd i bilaga D). Kapaciteter m.m. grundar sig på indata från Lantmännen Energi (Sjöström, pers. medd., 2008) och kompletterade med egna antaganden där data saknas. Underlag till beräkningar finns samlade i bilaga B.1 och bilaga C.1



Figur 4. Delmoment i skörde- och logistiksystem för direktflisning

Figure 4. Harvesting an logistics chain for direct chipping

Skörd av Salix sker med en självgående direktflisande skördemaskin. Denna drar en högtippande vagn som flisen blåses över till. När den vagnen är fylld tippas flisen över till

en container placerad vid fältets ena ände. En traktor flyttar den fyllda containern till ett fältlager där den lastas av, varefter den tar med sig en tom container tillbaka till fältet. Transport från fältlagret till kund sker med lastbil med släp som kan lasta tre containers.

5.3.1 Skörd

Skördesystemet för direktskörd av Salix sker med en självgående direktflisande skördemaskin. Skördemomentet omfattar det arbete som utförs av skördemaskinen i fält, d.v.s. skörd, vändningar, tömning av högtippande vagn till container. Den utrustning som ingår i skördemomentet är

- direktflisning med självgående skördemaskin, där materialet blåses över till en bogserad högtippande vagn med lastvolymen 20 m^3
- flisen tippas till container med volymen 40 m^3 placerad vid vändteg.

5.3.2 Fälttransport

Fälttransporten sker med en traktor med effekten 130 kW som förflyttar fyllda containers (40 m^3) från fältkant till mellanlagret och återtransporten av en ny tom container. Fälttransporten omfattar momenten från det att traktor lastar en fylld container på ett lastväxlarflak till det att en ny tom container står vid fältkanten. Fälttransporten delas in i följande delmoment

- Lastning av container vid fält
- Förflyttning av fylld container till fältlager
- Avlastning av container vid fältlager
- Lastning av ny tom container
- Förflyttning av tom container till fält
- Avlastning och rangering av tom container vid fältkant

Traktoreffekten bestämdes utifrån en största växlarvagn på 15 ton som finns i Maskinkostnader (2008). Den vagnen har ett effektbehov på 90 kW. En 40 m^3 container kan lasta ca 13 ton Salix ($\text{vh} = 50 \%$). Tillsammans med containers egenvikt blir totalvikten över 15 ton. Det antogs att en större traktor behövdes än den angivna och en 130 kW traktor antogs klara vagn och container.

5.3.3 Fältlager

Flis förvaras en kort tid i container i väntan på vidare transport till kund. Marken som utnyttjas vid fältlagring har ingen alternativ användning och inga arbeten har krävts för att iordningställa lagret. Det medför att fältlagret inte har några kostnader som belastar lagringen av Salix.

5.3.4 Transport till kund

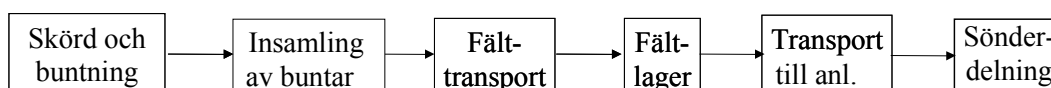
Lastbil med släp kommer ut till fältlager och lyfter ombord containers på ekipaget. Vid transporten beaktas tid för att lasta containers, landsvägstransporten ut till fältlager och tillbaka till anläggning. Samt tömning av containers

Vid direktleverans används lastväxlarfordon där varje lastbil kan lasta tre containers, den maximala lastvolymen för ett ekipage är 120 m^3 . Transportfordonets lastkapacitet korrigeras med en faktor 0,90 då det antas att endast 90 % av den maximala volymen kan utnyttjas vid transport. Lastvikten är beroende av flisens volymvikt. Lastbilen är även begränsad till en

totalvikt på 60 ton. Det är antaget att egenvikten på dragfordonet, släp och containers är 20 ton, vilket ger en maximal lastkapacitet på 40 ton. Utnyttjandegraden av lastbilen är hög vid transport av flisad Salix. Med en volymvikt på 320 kg/m^3 för Salix och 90 % utnyttjande av lastkapaciteten blir lastvikten 34,6 ton.

5.4 Buntskörd, mellanlagring av buntar i hög samt transport till anläggning där sönderdelning sker

Systemen för bunt- använder data från Salixmaskiner AB (Lindqvist, pers. medd., 2008) kompletterad med egna antaganden och beräkningar. Buntskörd utgår från data gällande en Bundler Mark II se maskinbeskrivningar i kapitel 3 och Bilaga D.3.



Figur 5. Delmoment i skörde- och logistiksystem för buntskörd.

Figure 5. Harvest and logistics chain for bundles

En traktor med en bogserad buntskördare buntar hela skott vid skörd. Buntarna släpps av skördeekipaget och hamnar i en rad bakom skördaren. De samlas därefter in med traktor och huggarvagn och transporteras till ett fältlager, där mellanlagring sker. Transport till kund sker med timmerbil till anläggning, där de lastas av och krossas till flis. Underlag till beräkningar finns i bilagorna B.3 och C.2

5.4.1 Skörd

Vid skörden kapas och buntas stammarna med en traktor och bogserad buntskördare. Buntarna lastas av skördeekipaget allteftersom det rör sig över fältet och buntarna hamnar i en långs rad på fältet. De moment som ingår i skörd är skördeekipagets förflyttning i rad och vid vändning vid radslut. Skördemaskinen bogseras av en traktor med effekten 100 kW, vilket anses vara tillräckligt för att dra en skördemaskin med vidhängande buntningsaggregat.

5.4.2 Insamling av buntar och transport till fältlager

Insamling av stammar sker efter skörd vid en tidpunkt där det passar för entreprenören. Insamlingen antas ske med en traktor (70 kW) och huggarvagn som kan lasta 10 buntar. Buntarna är volymmässigt skrymmande men inte särskilt tunga. Det antas att en större huggarvagn med högre sidostolpar anpassad för insamling av ris el dyl. kan användas för att samla in buntar. Inga tidsstudier finns för insamling av buntar. Utgångspunkten för antaganden om tid för buntar är den krancykel som för insamling av GROT med skotare (Liss, 2003). Moment i samband med insamlingen är

- insamling av buntar från fält
- förflyttning av buntar till fältlager
- uppläggning av buntar i vält

5.4.3 Fältlager

Buntar lagras i vält i väntan på vidare transport till kund. Inga kostnader finns i samband med lagring av buntar då marken inte har en alternativ användning och inga arbeten krävs för att kunna utnyttja marken samt att buntarna kan lagras utan tillsyn.

5.4.4 Transport till kund

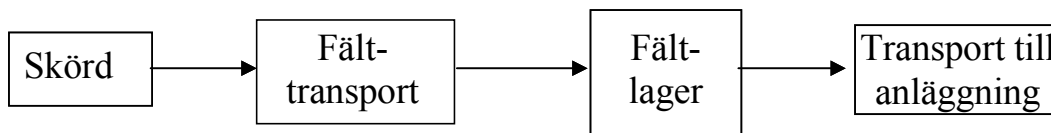
En timmerbil utrustad med en mobilkran används för att lasta och transportera. Buntarna antas vara anpassade i diameter (0,6 m) och längd (3,2) för att lastas på timmerbil. Vid anläggningen lastas buntarna av och sönderdelas med en eldriven kross. De moment som allokeras till transporten är

- utkörning av timmerbil (olastad)
- Lastning av buntar, genomförs av kran på timmerbil
- Transport till anläggning
- Avlastning av buntar vid anläggning
- Flisning av buntar vid anläggning

Timmerbilen antas kunna lasta 100 buntar som vardera väger ca 190 kg. Ekipagets lastvikt blir ca 19 ton. Timmerbilen utnyttjar sin lastkapacitet dåligt då enskilda buntar har en låg volymvikt samt är relativt skrymmande.

5.5 Skörde- och logistiksystem för kapade bitar, mellanlagring i hög och transport till anläggning

Systemen för bitskörd använder data från Salixmaskiner AB (Lindqvist, pers. medd., 2008) kompletterad med egna antaganden och beräkningar. Bitskörd från en Bender Mark VI, se maskinbeskrivningar i kapitel 3 och Bilaga D.2.



Figur 6. Delmoment i logistiksystem för skörd av kapade bitar

Figure 6. Harvest and logistics chain for billets

Direkt kapning av bitar med traktormonterad skördare. De kapade bitarna blåses över till en medföljande traktor med vagn, som kör till ett fältlager och tömmer vagnens innehåll. Efter mellanlagring lastas Salixen med en lastmaskin till containrar på en lastbil med släp, för leverans till anläggningen. Data till bitskörd finns samlade i bilagorna B.2 och C.3

5.5.1 Skörd

Skörden sker med en traktordragen skördemaskin, där traktorns effekt är 220 kW (jämför med direktflisningens basmaskin som har en effekt på ca 280 kW). Den relativt stora traktorn till skördeaggregatet motiveras med att utöver effektbehovet att bogsera skördemaskinen krävs även tillräcklig effekt för att kapa Salixen och blåsa den över till medföljande vagn. De kapade bitarna blåses över till en vagn (20 m³) som dras av en medföljande traktor (100 kW).

5.5.2 Fälttransport

När vagnen är fylld med kapade bitar förflyttar sig traktor (100 kW) med vagn (20 m³) till fältlagret belägen 500 m från fältet. Vid lagret töms vagnens innehåll i en hög invid vägkanten. Efter tömning återvänder ekipaget till fältet och skörden återupptas.

5.5.3 Fältlager

Kapade bitar lagras i hög väntan på vidare transport till kund. Inga kostnader finns i samband med lagring. Det motiveras med att marken inte har någon alternativ användning samt att det inte krävs någon arbetsinsats att iordningsställa platsen för fältlagret

5.5.4 Transport till kund

Salixen lastas med en lastmaskin från högen till containrar på en lastbil med släp som kan ta tre containers på vardera 40 m³, en på dragbilen och två på släpet.

I transporten inkluderas

- utkörning av transportfordon, olastad
- lastning med lastmaskin
- transport till anläggning
- avlastning vid anläggning
- uttransport av lastmaskin.

6 Resultat för studerade skörde- och logistiksystem

Den beräknade årliga skördade arealen är ett resultat av de olika skörde- och logistiksystemens kapaciteter och årliga utnyttjande (Tabell 9). Den skördade mängden är beräknad utifrån en skörd på 20 ton ts per hektar och skördetillfälle.

Tabell 9. Årligen skördad areal (ha/år) och skördad mängd (ton ts/år) för de studerade systemen

Table 9. Yearly harvested area (ha/ year) and harvest (ton dm/ year) for the three studied systems

	Flis		Bunt		Bit	
	6 ha	3x2 ha	6 ha	3x2 ha	6 ha	3x2 ha
Årligt skördad areal	413	327	592	446	329	258
Årligt skördad mängd	8 257	6 537	11 834	8 917	6 586	5 155

Skillnaden mellan högsta (buntskörd) och lägsta dieselförbrukning (flisskörd) för sexhektarsfält är 15 % och för tvåhektarsfält (flis lägst och bit högst) 26 %. Mellan sexhektarsfältet och tvåhektars fält skiljer det som mest 20 % (Tabell 10).

Klimatpåverkan (utsläppen av fossil koldioxid) från el och diesel är beräknad, se Tabell 10. Där anges klimatpåverkan från elanvändningen Beräknat utifrån att svensk medelproduktion. Beroende på hur och var elen genereras kan klimatpåverkan från el variera mellan 2 kg/ha till 292 kg/ha. Klimatpåverkan för skörde- och logistiksystemen värderas endast utifrån den insatta energin i form av diesel och el. För systemen släpps mellan 5-7 kg CO₂ ut per MWh levererad energi vilket motsvarar drygt 2 liter diesel per MWh levererad energi. För att göra en korrekt bedömning av skörde- och logistiksystemens klimatpåverkan måste hela kedjan studeras utifrån ett livscykelperspektiv.

Tabell 10. Dieselförbrukning, elanvändning i kWh/ha samt utsläpp av fossil koldioxid (kg CO₂/ha) från användning av energi för de tre studerade skörde- och logistiksystemen

Table 10. Diesel consumption and electricity utilisation (kWh/ha) and emission of climate gas (kg CO₂/ha)

	Flisskörd		Buntskörd		Bitskörd	
	6 ha	3x2 ha	6 ha	3x2 ha	6 ha	3x2 ha
Dieselförbrukning						
Skörd	950	1 200	280	370	880	1 125
Fälttransport	420	530	880	910	380	490
Vägtransport	235	235	690	730	450	530
Totalt	1 605	1 965	1 850	2 010	1 710	2 145
Klimatpåverkan	450	550	518	563	479	601
Sönderdelning			600	600		
Klimatpåverkan, el			2	2		

6.1 Resultat ekonomi

De beräknade kostnaderna har delats upp på skörd, fälttransport och landsvägstransport. För systemet med buntar har även sönderdelning vid anläggningen inkluderats.

För system med direkthflisning eller bitar är skillnaden i kostnader liten mellan ett stort fält och flera små. För buntar är den totala årskostnaden lägre för ett system med flera små fält (Tabell 11). Om resultatet anges per producerad areal, mängd eller energi ändras bilden. I det fallet blir det kostnadseffektivare med få stora fält i förhållande till flera små för samtliga skörde- och logistiksystem.

- Kostnaderna per MWh ökar för samtliga system när flera mindre fält skördas i stället för ett större fält
- Rangordningen i kostnader mellan olika system är samma med både tre tvåhektars odlingar och en sexhektarsodling.
- Buntskörd och bitskörd är dyrare lösningar än direkthflisning
- Att systemet med buntskörd blir så dyrt jämfört de andra systemen beror framförallt på de höga kostnaderna för insamling, fält- och vägtransport av buntar.
- Med tvåhektarsfält i stället för sexhektarsfält blir det för system med buntskörd 16 %, bitskörd, 31 % och direkthflisning med containrar 29 % dyrare räknat per MWh levererad energi.

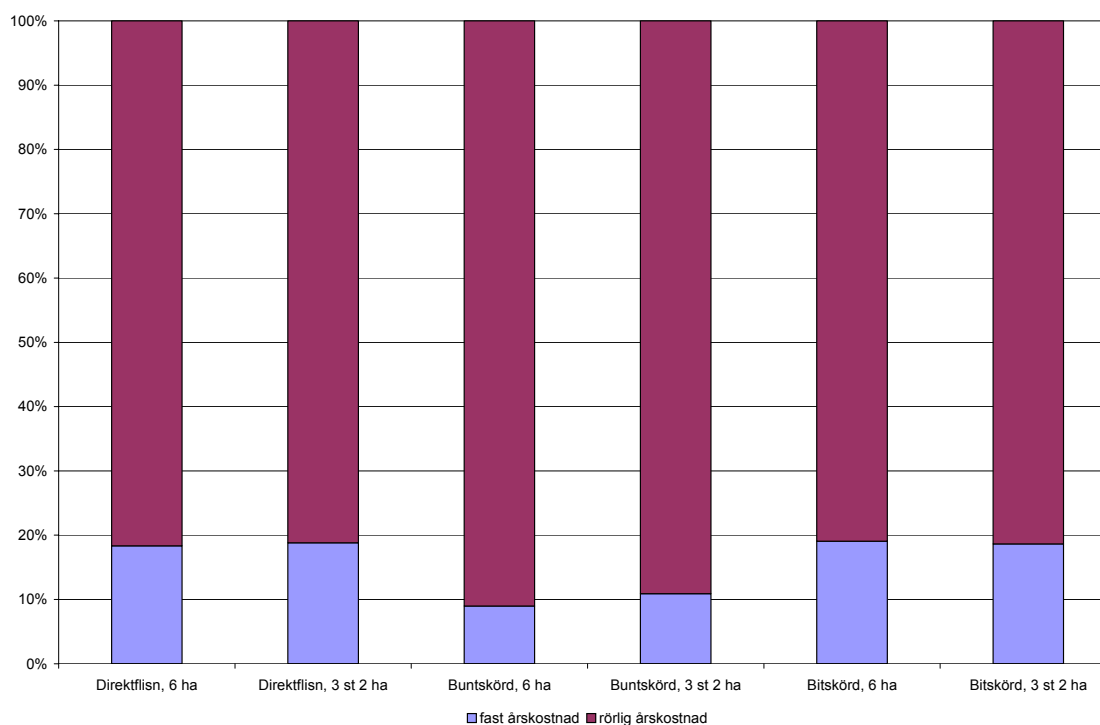
Tabell 11. Totala årskostnaden (kr/år) och kostnaderna i MWh/år för de olika skörde- och logistiksystemen vid skörd av ett fält på 6 ha eller 3 fält på 2 ha

Table 11. Total yearly costs (kr/year) and costs (MWh/year) for the three logistics systems for Salix from 1 field of 6 ha or 3 fields of 2 ha

	Flisskörd		Buntskörd		Bitskörd	
	6 ha	3x2 ha	6 ha	3x2 ha	6 ha	3x2 ha
kr/år	2 440 000	2 380 000	5 610 000	4 890 000	2 590 000	2 650 000
Skörd	31	41	18	27	37	49
Insamling och fälttransport	14	18	38	41	21	28
Vägtransport	21	26	38	43	30	39
Sönderdelning	0	0	13	13	0	0
Summa	66	85	107	124	88	116

Kostnaderna redovisade i Tabell 11 är fördelade till kostnadsposterna skörd, insamling och fälttransport, landsvägstransport samt sönderdelning vid anläggning.

- Av de tre studerade skördesystemen är direkthflisning det system som har högst andel av kostnaderna, 45 – 50 %, som utgörs av skörden (Tabell 11).
- Kostnader för insamling och fälttransport samt vägtransport är betydligt större än för skörden (Tabell 11).
- Insamling av enskilda buntar som ligger i fält är ineffektivt, detta avspeglas i de höga kostnaderna för insamling och fälttransport.
- De höga transportkostnaderna orsakas av att buntarna har en låg volymvikt, det leder till dåligt kapacitetsutnyttjande av transportfordonet.
- Att det kostar att sönderdela buntarna vid användare ökar kostnaderna ytterligare, men är inte den avgörande faktorn för att buntsystemet blir det dyraste av de här studerade skörde- och logistiksystemen (Tabell 11).
- Bitskörd har högre kostnader för fälttransporter och vägtransporter jämfört flisskörd. Den beräknade skördekapaleten är lägre vid bitskörd än för direkthflisning, med antagandet att fälttransporten har samma kapacitet som skörden tillsammans med volymvikten för bitar är antagen att vara lägre än för flis vilket ger sämre utnyttjande av lastkapaciteten.



Figur 7. *Fördelning mellan fasta och rörliga kostnader för de olika systemen.*

Figure 7. *Distribution of fixed and movable costs for the studied systems.*

De studerade systemens kostnader fördelar sig på fasta och rörliga kostnader. Fasta kostnader är investeringar i maskiner och utrustning samt försäkring och de rörliga kostnaderna utgörs av kostnader för drivmedel, löner och administration. I Figur 7 visas den procentuella fördelningen mellan systemens fasta och rörliga kostnader, därifrån kan man utläsa att av de totala kostnaderna utgör de rörliga kostnaderna den klart största delen. För sexhektarsfält med buntskörd utgör de rörliga kostnaderna 90 %, bitskörd 80 %, direktflisning med container 81 %.

Buntsystemets höga rörliga kostnader domineras av höga arbetskostnader och kostnader för inhyrda maskiner, se bilaga C Den viktigaste förklaring till att systemet med direktflisningen blir billigare än bitskördaren är den högre kapaciteten för direktflisningen

6.1.1 Kostnader och mervärden vid torkning av buntar och bitar

Salix kan levereras flisad, buntad eller kapad i bitar. Salix som flisas vid skörd lämpar sig inte för lagring och kommer inte behandlas vidare. Kostnaden för Salix som lagras i bitar eller i buntar jämförs här för olika lagringstider, från nyskördat upp till 6 månaders lagring. Lagringen av Salix antas börja mars månad, d.v.s. i slutet av skördesäsongen.

Energiinnehållet beräknas med standardformel från Virkesmättningsrådet (1998) (se kapitel 2.2.4). Där beräknas det värmevärde per råton levererad vara som används som underlag vid betalning. Salixens värde antas till 200 kr/MWh. Vid lagringen sker en uttorkning av Salixen (se avsnittet om metod för beräkning av lagring), samtidigt som en del torrs substans

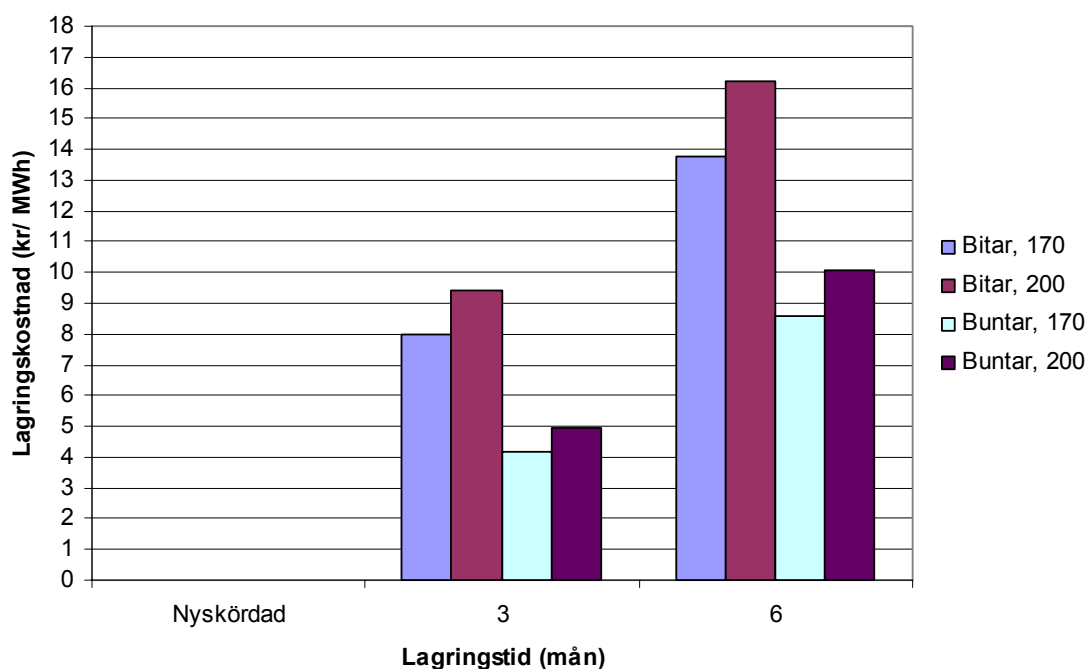
förloras på grund av biologisk aktivitet (bilaga E). Förändringen av vattenhalt och torrsubstansförlust påverkar Salixens värmevärde. Beroende på om det är bitar eller buntar som lagras innehåller Salixen vid leverans olika mängd energi (Tabell 12).

Tabell 12. Mängd (råton/ha) och energi (MWh/ha, MWh/ton) i Salix efter lagring som buntar eller bitar

Table 12. Harvested amount (tonnes/ha) and energy (MWh/ha, MWh/tonnes) in bundles and billets after storage

	Skörd	3 mån.	6 mån.
Buntar			
Råton/ha	40	32	24
MWh/råton	2,2	2,9	4,0
MWh/ha	89	92	95
Bitar			
Råton/ha	40	31	24
MWh/råton	2,2	2,9	3,8
MWh/ha	89	90	91

Torrsubstansförlusten medför att energi förloras (bilaga E). Denna energiförlust är den indirekta kostnad som lagring av Salix belastas med. Kostnaden för torrsubstansförlusten beräknas utifrån hur stor mängd energi den motsvarar dividerat med den mängd energi som levererats till anläggningen. Hur stor kostnaden blir för lagring beror förutom torrsubstansförlusten på vilket pris som betalas för Salixen vid leverans. I Figur 8 finns kostnaderna för torrsubstansförluster beräknade när priset vid leverans är 170 kr/MWh respektive 200 kr/ MWh.



Figur 8. *Kostnad orsakad av torrsubstansförluster vid lagring av bitar och buntar, vid ett pris på 170 kr/MWh och 200 kr/MWh för levererad Salix till anläggning.*

Figure 8. *Costs caused by dry matter losses during storage of billets and bundles at a price of 170 and 200 kr/MWh for energy in Salix delivered to plant.*

Torkningen av materialet vid lagringen ger upphov till ett mervärde i form av mer energi per ton råvara. Detta påverkar kostnaden angiven som kr/MWh påverkas av hur mycket energi den finns i 1 ton levererad Salix. En torrare produkt har en större andel tillgänglig energi, vilket ger lägre kostnader per levererad MWh. De totala kostnaderna för systemen med hänsyn till lagringsförluster finns samlade i Tabell 13.

Tabell 13. *Totala kostnader (kr/MWh) inklusive värdet av ökat energiinnehåll och substansförluster vid lagring*

Table 13. *Total costs (kr/MWh) including value of increased energy content and costs caused by dry matter losses when stored*

Pris vid lev.	Nyskördad	lagring 3 mån		Lagring 6 mån	
		170	200	170	200
Flis, 6 ha	66	-	-	-	-
Flis, 2 ha	85	-	-	-	-
Buntar, 6 ha	106	107	108	109	110
Buntar, 2 ha	124	124	129	122	127
Bitar, 6 ha	88	95	96	100	102
Bitar, 2 ha	115	122	123	126	128

- Räknat i kr/MWh och vid de förutsättningar som gäller för skördemaskiner och insamling är varken bit- el buntsystemet med lagring lönsammare än flisskördesystemet vid skörd av små fält.
- Bitskördesystemet ger lägre kostnad än buntskördesystemet. Med kostnadssänkande åtgärder för de två systemen kan dock lönsamheten förbättras väsentligt, särskilt för buntskördesystemet, vilket tas upp i samband med de efterföljande känslighets- och scenarioanalyserna.

Stora osäkerheter finns för flera av antagandena.

- Vattenhaltsminskningen och torrsubstansförluster vid lagring
- Vad händer med Salixens volymvikt vid lagring
- Påverkas kapaciteten för flisaggregat vid flisning av torrare material

På viktbasis är skillnaden i värde för 1 råton nyskördad Salix jämfört med Salix lagrad i 3 eller 6 månader stor. Vid ett värde på 200 kr/ MWh är 1 ton nyskördad Salix (vh = 50 %) värd 446 kr och 1 ton Salix lagrad i 6 månader (vh = 20 %) värd 796 kr, vilket ger en värdeökning på 74 %. Sker beräkningen utifrån Salix från 1 ha blir skillnaden i värde lägre, endast 7 %. Från 1 ha nyskördad Salix levereras 40 råton till ett värde av 17 840 kr vilket efter 6 månaders lagring motsvaras av 23,8 råton Salix till ett värde av 18 945 kr.

6.2 Sysselsättning för lantbrukare

De olika skördesystemen skapar olika möjligheter för lantbrukare att delta i skörden med eget arbete och egna maskiner. Nedan kommenteras olika möjligheter lantbrukaren har.

- Lantbrukare kan äga och köra skördemaskinerna själva. Detta kräver erfarna förare för att kapaciteten ska bli hög.
- Det finns en risk att ägare till skördemaskiner inte vill låna ut dessa till andra lantbrukare och till ovana förare, vilket gör att Salixodlarna troligen inte heller skulle använda egna traktorer eller arbetskraft för att köra skördemaskiner.
- Vid fälttransporter finns det möjlighet för lantbrukare att använda egna traktorer med egen förare och egen vagn eller huggarvagn. En risk finns dock att däck kommer att ta skada av stubbarna.
- Vid direktflisning och bitskörd med bredvidgående följevagn finns det risk för att kapaciteten blir lägre för skördemaskinen med förare av följevagnen som inte har tillräcklig erfarenhet. Dessutom är det inte säkert att lantbrukarna har tillräckligt stora vagnar eller vagnar som kan tippa tillräckligt högt.
- Vid buntskörd kan skörden ske relativt oberoende av skotningen. Detta innebär att momenten kan utföras vid olika tillfällen, vilket skapar möjlighet att en och samma person kan utföra dem. Det medför att buntskörd är den skördemetod som har störst möjlighet att skapa sysselsättning och användning av lantbrukets befintliga resurser för de lantbrukare som har egen huggarvagn eller annan utrustning lämplig för insamling av buntar.
- Vid lastning av flis eller bitar skall helst lastaren ha tillräckligt stor skopa. En tänkbar nackdel med förare som är ovana med att lasta flis eller bitar är risken för jordinblandning.
- Transport till användare skulle också vara en möjlig sysselsättning för lantbrukare (Tabell 14). Det krävs dock att användare är villiga att ta emot traktorekipage samt att vagnarna är tillräckligt stora.

Nedan jämförs arbetsinsatsen för skörd- och fälttransport, som utgör de mest tänkbara arbetsmomenten lantbrukaren kan utföra i de studerade systemen.

Tabell 14. Arbetsbehov i timmar per hektar för skörd och fälttransport för de olika kedjorna med ett sex hektars fält resp. tre två hektars fält

Table 14. Amount of work hours per hectare needed for harvest and field transport for the different logistical chains, for six hectare and two hectare fields respectively

	Skörd	Fälttransport
Direktflisning, 6 ha	2	2
Direktflisning, 2 ha	2	2
Buntskörd, 6 ha	2	8
Buntskörd, 2 ha	2	8
Bitskörd, 6 ha	2	2
Bitskörd, 2 ha	3	3

Som vi kan se i ovanstående tabell uppgår arbetstiden till ca 4-6 timmar/ha för direktflisnings- och bitskördesystemet, samt cirka 10 h/ha för buntskördesystemet. Skotning av buntar med egen huggarvagn skapar således sysselsättning i större omfattning för odlarna. Dock visar beräkningen av kostnaderna att det studerade systemet där enskilda buntar samlas in i fält skapar sysselsättning men inte nödvändigtvis inkomst för den insatta arbetstiden.

7 Känslighets- och scenarioanalys

I syfte att beakta osäkerheter i indata och variationer i systemens uppbyggnad genomförs en serie känslighets- och scenarioanalyser.

7.1 Känslighetsanalys

Följande parametrar testades i känslighetsanalysen

- Skördekapaciteten ökas med 10 %. Ändringar av skördekapaciteten påverkar hur snabbt maskinen kan avverka en given area vilket påverkar den årliga arealen som kan avverkas och därmed hur många ton Salix som skördas
- Skördemaskinernas återanskaffningsvärde, minskas med 10 %. Innebär att skördemaskinen blir billigare att införskaffa och därmed minskade kapitalkostnader
- Den årliga användningen, d.v.s. antalet timmar som maskinen utnyttjas minskas med 10 %. Den årliga användningen har påverkan på den skördade arealen, färre hektar och därmed ton Salix kan skördas. Det medför en ökning av kostnaderna
- Skördemaskinens livslängd minskas med 10 %. En ökad livslängd ökar den årliga fasta kostnaden. Livslängden på Salixspecifik utrustning är relativt osäker. Livslängden påverkas dels av slitage, dels av teknisk utveckling. Livslängden kan även påverkas av kundunderlag.
- Kalkylräntan ökas med 1 %. En förändring av kalkylräntan medför en ökning av de fasta kostnaderna. I analysen av räntekostnaderna ingår inte kostnader för lastare, vägtransporter eller kostnader för sönderdelning av buntar eftersom dessa maskiner hyrs in.
- Dieselpriiset ökas med 1 kr/l.
- Transportavståndet fördubblas från 30 km till 60 km.

Resultaten från känslighetsanalysen finns för de olika systemen finns samlade i Tabell 15.

Tabell 15. Sammanställning av känslighetsanalyser för skörde- och logistiksystem för Salix i procentuell avvikelse från grundfallet enligt resultaten i Tabell 11

Table 15. Sensitivity analysis of handling systems for Salix from field to plant expressed as the percentual change for different parameters in relation to results in Table 11

Parameter	Förändring	Flis		Bunt		Bit	
		6 ha	2 ha	6 ha	2 ha	6 ha	2 ha
Skördekapacitet	+10 %	-6,2 %	-6,3 %	-1,8 %	-2,1 %	-5,9 %	-5,8 %
Återanskaffningsvärde	-10 %	-0,7 %	-0,7 %	-0,8 %	-0,9 %	-1,7 %	-1,6 %
Årlig användning	-10 %	2,1 %	2,2 %	1,1 %	1,3 %	2,3 %	2,2 %
Livslängd, maskin	-10 %	0,1 %	0,1 %	0,05 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %
Kalkylränta	+1 %	0,8 %	0,8 %	0,4 %	0,5 %	0,8 %	0,8 %
Dieselpriis	+1 kr/l	2,4 %	2,5 %	1,3 %	1,2 %	1,7 %	1,6 %
Transportavstånd	+100 %	6,0 %	4,9 %	8,1 %	7,1 %	5,6 %	4,3 %

Känslighetsanalysen visar att:

- Skördekapaciteten och transportavståndet har mycket stor betydelse för totalkostnaderna. I alla systemen utom buntskörd påverkas även kostnaderna för fälttransport av skördemaskinens kapacitet.

- Den skördemaskin som är minst känslig för förändring av återanskaffningsvärdet är buntskördaren. En förklaring till detta är att buntskördaren antas användas 1 000 timmar per år medan de övriga maskinerna antas användas 800 timmar per år.
- Eftersom de rörliga kostnaderna utgör mellan 80 % och 90 % av de totala kostnaderna får ändringar i sådant som påverkar de fasta kostnaderna måttligt genomslag. Därmed får ändrat återanskaffningsvärde på skördemaskin, årligt utnyttjande, livslängd och ränta måttlig påverkan på hur kostnaderna kan ändras. Detta gäller under förutsättning att maskinerna utnyttjas väl.
- Minst känslig för ändrad årlig användning är buntskördemaskinen och mest känslig är bitskördemaskinen.
- Bitskördemaskinen är mest känslig för ändrad livslängd. En förklaring till detta är att bitskördemaskinen är den maskin som bedömts ha lägst kapacitet per timme, vilket leder till större kostnad per hektar och per ton ts.
- Det är relativt små skillnader mellan de olika systemen beträffande effekter av ändrade dieselpriser.

7.2 Scenarioanalys

I scenarioanalysen har kostnader beräknats för förändringar av de studerade systemens uppbyggnad. De scenarioanalyser som genomfördes var

- Sönderdelning av buntar sker innan transport med dieseldriven kross i stället för med eldriven kross vid anläggning. Transport sker då i form av flisad Salix i container i stället för buntar lastade på timmerbil.
- Buntar samlas upp direkt på vagn i samband med skörd och lastas av vid fältkant. Insamling till fältlager av buntar sker då vid fältkant för vidare förflyttning till fältlager
- Transport till anläggning sker med traktor och vagn i stället för lastbil med släp.
- Odlingskostnadens påverkan på systemens totala kostnader

7.2.1 Sönderdelning av buntar innan transport

I grundfallet transporteras buntarna med timmerbil till anläggning där de krossas med en eldriven kross. Den totala kostnaden för att transportera och sönderdela är 56 kr/MWh för alternativet med 3 små fält och 51 kr/MWh för ett större fält.

En alternativ lösning är att sönderdela buntarna innan transport med ett traktordrivet flisaggregat. I detta exempel antas en traktordrivet flisaggregat med kapaciteten 40 m³ flis per timme. Transporten sker sedan med containerfordon av samma typ som används vid direkthflisning. Den totala kostnaden för flisning och transport blir 51 kr/ MWh för ett större fält och 53 kr/MWh för ett mindre fält.

Kapaciteten vid flisning är avgörande för kostnaden för flisning i fält med traktordrivet aggregat. För ett flisaggregat med kapaciteten 40 m³ flis per timme är timkostnaden 26 kr/ MWh, sjunker kapaciteten till 20 m³ ökar kostnaden till 47 kr/ MWh. Den stora kostnaden vid traktordriven flisning är kostnaden för traktorn som driver aggregatet. Traktorkostnaderna utgör ca 80 % av de totala kostnaderna vid flisning i fält.

Transportkostnaderna minskar när flisad Salix transporteras jämfört med transport av buntar. Det beror framförallt av att transport av flis utnyttjar transportfordonets kapacitet mer effektivt, ca 35 tons last med containerfordon och ca 20 ton last med timmerbil.

7.2.2 Insamling av buntar i samband med skörd och avlastning vid fältkant

I huvudkalkylen antas det att buntarna läggs utsprida på fältet, en och en. Detta medför höga skotningskostnader för att transportera buntarna från fältet. Genom att transportera buntarna på en vagn efter skördaren och lägga av dem samlade, där ett stort antal buntar läggs av vid fältkanten för att sedan skotas till fältlagret, skulle skotningskostnaderna kunna minskas.

I beräkningarna har det antagits en investering på 300 000 kr i extra utrustning till skördemaskinen för att denna skall kunna transportera buntar samt att skotningskostnaden halveras, dels p.g.a. ihopsamlade buntar och dels p.g.a. att skotare med högre kapacitet än huggarvagnar används. Kostnaden för insamling av buntar minskar med 17 kr/MWh. Om insamling av buntarna i samband med skörd och buntning antas medföra att skördekapaciteten sjunker med 10 %, motsvarar det en ökad kostnad med drygt 2 %, (Tabell 15), vilket motsvarar 3 kr/MWh.

Skotningskostnaden i huvudkalkylen utgör en betydligt större kostnad än skördemaskinen med tillhörande traktor. Därför kan det vara acceptabelt att öka skördemaskinkostnaden om det går att minska skotningskostnaderna. De rörliga kostnaderna utgör 90 % av kostnaderna för fälttransport och 36 % av kostnaderna för skördemaskin med tillhörande traktor vid sex hektars fältstorlek. Detta indikerar att det kan vara lönsamt att öka de fasta kostnaderna genom att ha utrustning med högre kapacitet och lägre rörliga kostnader, som t.ex. buntsamling och skotare med högre kapacitet.

7.2.3 Transport med traktor och vagn i stället för lastbil

Scenarioanalysen avser själva transporten av flisad Salix, kostnader tidigare i skörde- och logistikkedjan beaktas inte. I detta fall har transport med traktor som drar två tippvagnar undersökts. Salixen har antigen lastats med frontlastare monterad på samma traktor som drar vagnen eller blåsts direkt till vagnarna via ett traktordrivet flisaggregat. Flisaggregatet drivs med samma traktor som drar vagnarna.

Då lastning sker med samma traktor som drar vagnarna belastas transporten i lastningsfasen endast med kostnaden för vagnarna. Detta gäller främst då flisning sker vid fältkant. I Tabell 16 visas resultatet för tre olika storlekar på tippvagn jämfört med lastbil och släp.

Tabell 16. Kostnader (kr/MWh) för transport av Salix med traktor och vagn jämfört med lastbil med släp

Table 16. Costs (kr/MWh) when transporting Salix with tractor and trailer compared to truck and trailer

Transporterad sträcka	vagn 2*15 m ³	vagn 2*23 m ³	vagn 2*32 m ³	Lastbil 3*40 m ³
10	50	46	44	17
20	83	76	73	19
30	109	96	90	20
40	134	116	108	21
50	160	137	125	23
60	185	157	143	24
70	211	178	160	25
80	236	198	177	26

Transport med vagn är ett dyrare alternativ än att använda lastbil med släp. Lastkapaciteten är lägre. Det tar längre tid att förflytta med traktor jämfört med lastbil. Den stora kostnaden vid transport med traktor och vagn är kostnaden för traktorn och arbetstiden för föraren.

7.2.4 Kostnader för systemen inklusive odlingskostnaden

Odlingskostnaden är densamma oavsett vilket skördesystem som används. Tabell 17 visar på odlingskostnaden för Salix och dess fördelning exklusive skörde- och hanteringskostnader. Skörden som anges är skörden vid skördetillfället i en etablerad odling med skörd vart tredje år. Beräkningarna är gjorda utan slam- eller kvävegödsling samt utan bidrag eller markkostnad.

Tabell 17. Odlingskostnader (kr/MWh) vid skördenivåerna 15, 20 och 25 ton ts skörd (vh 50 %)

Table 17. Cultivation costs (kr/MWh) at 30, 40 and 50 tonnes harvest (water content 50 %)

	Skörd 15 ton ts	Skörd 20 ton ts	Skörd 25 ton ts
Plantering inkl. sticklingar	42	31	25
Avkapning	2	1	1
Jordbearbetning	6	4	3
Ogräsbekämpning	7	6	
Gödsling PK	9	9	9
Tillsyn	11	8	6
OH kostnader	22	16	13
Avveckling	2	2	1
Summa	100	77	63

Adderas odlingskostnaden till de studerade systemens totala kostnader (Tabell 11) blir exempelvis med sexhektarsfält och 20 ton torrsbstans i skörd blir de totala kostnaderna för 143 kr/MWh för direktflisning, buntskörd 183 kr per MWh, samt med bitskörd 164 kr per MWh.

7.3 Exempel på effekt av kostnadssänkande åtgärder och mervärden vid lagring

Nedan ges räkneexempel för att ge en bild av vad effekten kan bli av ett urval av kostnadssänkande åtgärder för bit- och buntskördesystemet, samt av mervärden vid lagring. I figurerna nedan jämförs kostnaderna samt nettointäkterna (i kr/MWh) för systemen för dessa två system, vid tre månaders mellanlagring av buntarna respektive bitarna, med de för direktflisningssystemet (direktlevereras, d.v.s. ej mellanlagring). Exemplet gäller skörd av små fält med fältstorleken 2 ha. I bilaga G finns tabeller med motsvarande uppgifter för 0 och 6 månaders lagring, nettointäkt redovisad även i kr/ha samt mer detaljerad redovisning av de ingående kostnaderna.

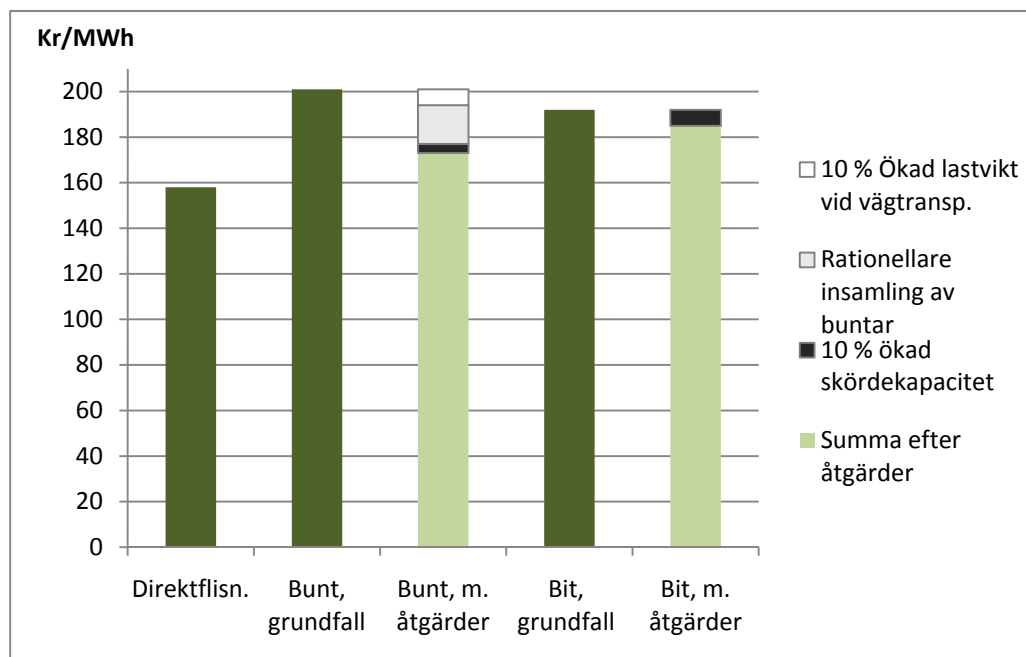
Åtgärderna är hämtade från känslighets- och scenarioanalyserna. Grundpriset vid leverans antas vara 200 kr/MWh och odlingskostnaden 77 kr/MWh (avkastning 20 ton ts/ha, vattenhalt på 50 % vid skörd). Exemplet visar också effekten av ett 10 % högre bränslepris för leveranssäkerhet, se diskussionskapitlet. OH-kostnader är inte inkluderade i odlingskostnaderna.

De viktigaste åtgärderna för att minska kostnaderna för bunt- och bitskördesystemen som identifierats och som används i exemplet är

- Ökad skördekapacitet. En ökning med 10 % för både bit- och buntskörd, vilket antas vara tekniskt rimligt att genomföra, och ger en minskad totalkostnad.
- Rationalisera insamlingen av buntar i fält. Buntarna samlas in med vagn efter skördaren och skotas ihop från fältkant till lagret istället för att samlas in individuellt med en relativt liten traktor och huggarvagn, vilket ger en kostnadsbesparing. Detta under förutsättning att skördekapaciteten är oförändrad.
- Ökad lastvikt vid fält- och vägtransport. Detta kan ske genom både ökad komprimering av buntarna samt genom ökat lastutnyttjande. En ökad lastvikt med 10 % sänker totalkostnaden för båda systemen.

För en närmare beskrivning av åtgärderna se tidigare avsnitt i känslighets- och scenarioanalysen.

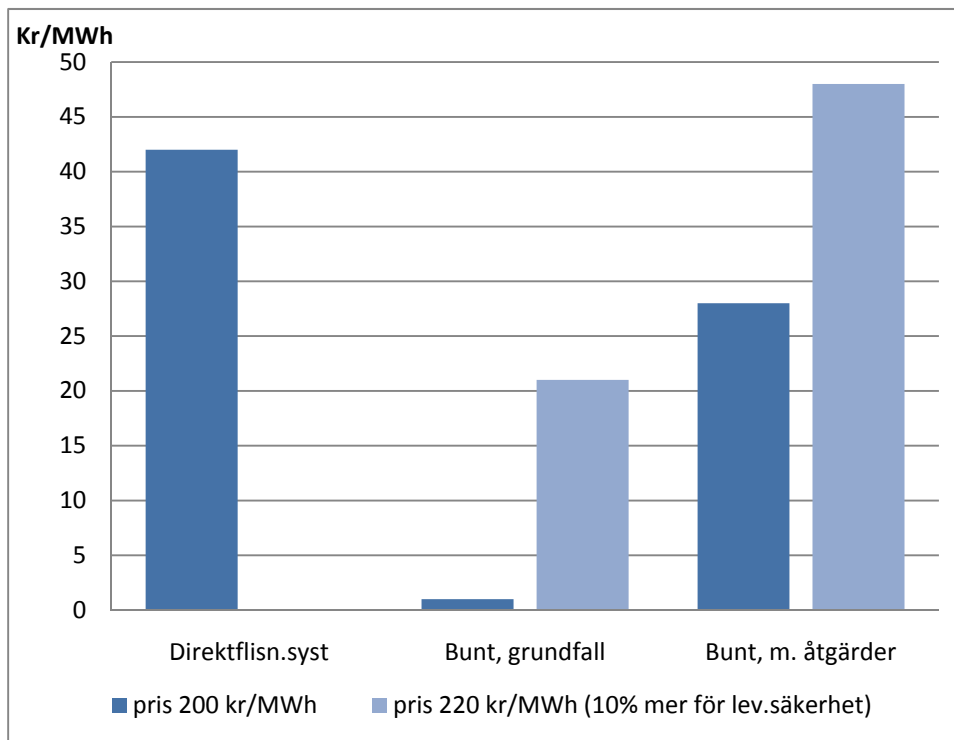
Figur 9 nedan visar hur mycket kostnaderna kan sänkas om ovan nämnda åtgärder vidtas för bunt- respektive bitskördesystemet. Med dessa ändringar skulle kostnaderna för det studerade buntskördesystemet kunna minska med strax under 30 kr/MWh, och bitskördesystemet med knappt 10 kr/MWh. Ett annat sätt att öka lönsamheten är via det mervärde som mellanlagringen kan ge, vilket visas i de efterföljande figurerna med avseende på ökad leveranssäkerhet.



Figur 9. Jämförelse av kostnader för bunt- respektive bitskördesystemet, före och efter åtgärder för att minska kostnader medtagits, med direktflisningssystemet.

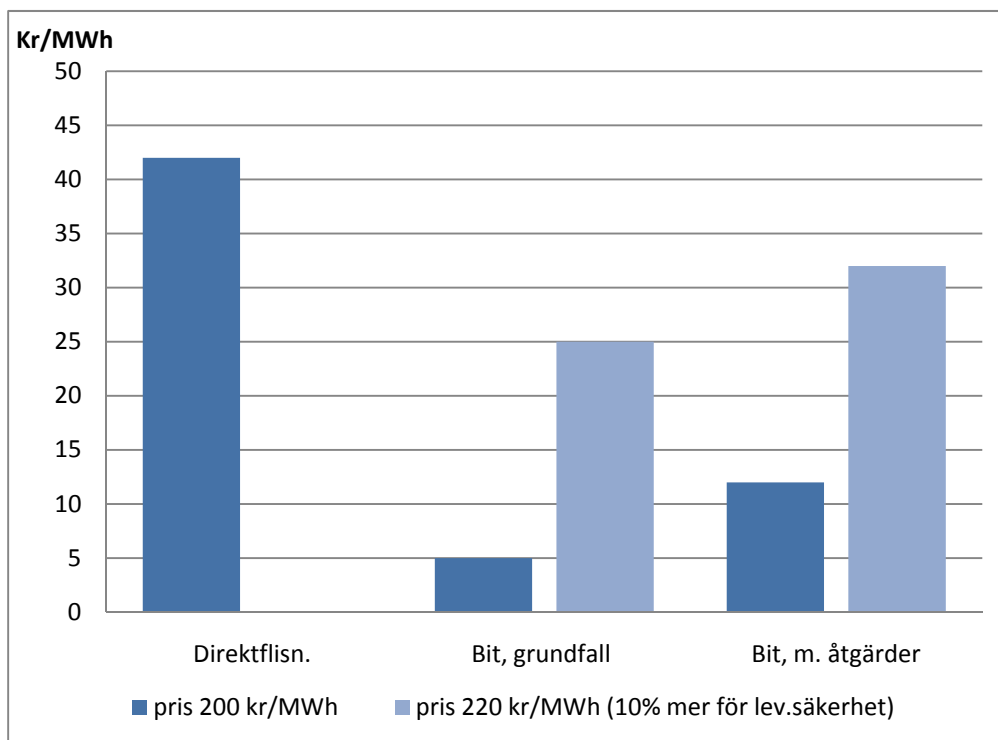
Figure 9. Comparison of costs for the bundle and billet harvesting systems, before and after actions taken for reducing costs, with the direct chipping system.

I följande diagram visas effekten av ett ökat bränslepris med 10 % p.g.a. leveranssäkerhet (som kan ges vid mellanlagring), från 200 till 220 kr/MWh. Nettointäkterna redovisas för de två systemen, med och utan åtgärder, och jämförs med direktflisningssystemet (ej mellanlagring).



Figur 10. *Nettointäkten i kr/MWh för det studerade buntskörde-systemet (3 mån. mellanlagring), före och efter åtgärder, samt för direktflisningssystemet.*

Figure 10. *Net revenue (SEK/MWh) for the bundle harvesting system studied (3 months of storage), before and after cost reducing actions taken, and for the direct chipping system.*



Figur 11. *Nettointäkten i kr/MWh för det studerade bitskördesystemet (3 mån. mellanlagring), före och efter åtgärder, samt för direktflisningssystemet.*

Figure 11. *Net revenue (SEK/MWh) for the billet harvesting system studied (3 months of storage), before and after cost reducing actions taken, and for the direct chipping system.*

Exemplet visar att en merbetalning för leveranssäkerhet kan förbättra lönsamheten väsentligt för bit- och buntskördesystemet, och kan i kombination med kostnadssänkande åtgärder göra att nettot kan komma upp i nivåer jämförbara med direktflisningssystemet. Figur 10 visar att vid ett 10 % högre pris för leveranssäkerhet kan buntskördesystemet ge en väsentligt högre intäkt än direktflisningssystemet vid skörd av små fält (2ha) och 3 månaders lagring (gäller även vid 6 månader), dock bara om åtgärder vidtas i maskinkedjan som sänker kostnaderna.

Lagring av både bitar och buntar medför torrsubstansförluster, d.v.s. en minskad intäkt, samtidigt som torkningen ger ett ökat värmevärde (energiinnehåll per ton), d.v.s. en ökad intäkt. Värde av dessa beror därmed av priset vid försäljningen (se bilaga G).

I exemplet ger detta en förändring (minskning för buntar och ökning för bitar) av nettot med i storleksordningen 2 kr/MWh. Kostnaderna som lagring medför ska ställas mot de mervärden som en lagrad produkt kan ge. Om leveranssäkerhet motiverar ett 10 % högre bränslepris (se diskussion), d.v.s. här 20 kr/MWh, överstiger detta gott och väl värdet av förlusterna vid lagring.

Det ska understrykas att möjligheten till att minska kostnaderna här undersökts genom känslighetsanalyser och övergripande bedömningar om deras rimlighet, varför de ska ses som indikativa. Osäkerheter finns dock kring hur stora kostnadsminskningar som tekniskt är möjliga då de båda studerade bit- och buntskördarna är prototyper.

8 Diskussion

System med Salix hanterat i buntar eller bitar är intressanta p.g.a. att de kan lagras en längre tid med naturlig ventilation, vilket inte är lämpligt för flis. Mellanlagring ökar möjligheten att leverera då efterfrågan finns samt ger ökad leveranssäkerhet och möjlighet att leverera en produkt med högre värmevärde. Om dessa fördelar värderas med ett högre bränslepris från kunden finns möjlighet att öka lönsamheten genom lagring. Därmed kan dessa hanteringsformer vara intressanta trots de högre kostnader för skörd och logistik som beräknats för de studerade systemen.

De ekonomiska fördelarna med bit- och buntskördesystemet hänger tätt samman med fördelarna som lagringsbarheten kan ge, d.v.s. leveranssäkerhet och ett torrare bränsle. Om det finns avnämare som värderar detta med en högre betalningsförmåga samt hur mycket de kan tänkas betala är svårt att få en generell bild av. Mervärdet för en torrare produkt är svårt att göra en övergripande bedömning av då det bl.a. kan bero på anläggningens förutsättningar, bränsletillgång och -behov samt på avtalet mellan parterna i fråga.

Med hjälp av referensgruppen har dock mervärdet, d.v.s. betalningsviljan, för att få en leverans i utsatt tid uppskattats till i snitt 10 % av bränslepriset¹. I Mälardalen motsvarar detta ca 20 kr/MWh, baserat på priser för skogsflis för eldnings säsongen 2008/2009². I vissa regioner är dock priserna lägre, såsom exempelvis i Skåne. Kostanden för att garanterat ha ett bränsle då behovet finns kan även bedömas genom merkostnaden för att bygga upp ett alternativt bränslelager med rundved, d.v.s. priset för rundved, kostnaden för lagerytan, räntekostnaden för lagret egen logistik och flisning på plats. Kostnaden för rundveden bör ligga ca 10 % under priset för en kontinuerlig jämn leverans för att det ska vara lönsamt. Blir kostnaden för detta alternativ högre kan även mervärdet för en garanterad leverans bli högre.

Ett behov finns av bättre kunskap om marknaden och dess betalningsförmåga för ett torrare och leveranssäkrare bränsle för att kunna värdera lönsamheten olika skörde- och logistiksystem. En bättre kännedom om vilken typ av anläggningar (panntyper) som ser ett mervärde i en torrare produkt eller en ökad leveranssäkerhet, samt under vilka perioder och förutsättningar detta kan motivera en högre betalning, krävs.

Värdet av en torrare produkt beror främst på vilken fukthalt på bränslet som är optimal för panntypen i fråga. Generellt har mindre pannor större fördel av torrare bränslen då rök-gaskondensering inte är lika vanligt på små anläggningar. Fördelen med torrare bränsle är att man har möjlighet till högre laster då de flesta pannor begränsas av volymflödena på gassidan, eftersom eldning av ett blötare bränsle kräver mer bränsle för att torka bort vattnet. Då rök-gasfläkten inte klarar det blir pannan begränsad effektmässigt. Mervärdet av ett torrare bränsle när man kör fullast är priset på spetsbränslet (el/olja eller pellets). Det kan också tänkas att det vid perioder med fuktigare bränslen finns ett mervärde att blanda ut dessa med ett torrare bränsle.

¹ Gäller beställning med en ungefärlig framförhållning på 10-15 dagar innan önskad leverans.

² Mervärdet har skattats genom att ta mellanskillnaden mellan priset för skogsflis med resp. utan leveranssäkerhet, vilka exempelvis i Mälardalen uppgått till om full försörjning garanteras, d.v.s. svängningar uppåt 200-220 kr/MWh respektive 180-210 kr/MWh (kontinuerlig jämn leverans) föregående säsong (pers. medd. Eklund, 2009). Lägre priser förekommer i vissa regioner, såsom i Skåne där priset uppgick till ca 160-170 kr/MWh (pers. medd. Sjöström, 2009).

Möjligheten att mellanlagra gör att leveranstransporten inte behöver ske i direkt anslutning till skörd (till skillnad från direktflisning, som är ett s.k. ”hett” system) och att en last kan fyllas upp med skörden från flera små fält. Detta innebär att potentiellt höga kostnader för väntetider och störningar, t.ex. för att passa in leveransen med skörden från olika fält eller för stillestånd vid skörd, undviks. Vid skörd av små fält är behovet av denna flexibilitet större, eller kanske nödvändig.

Ett ökat dieselpreis kan också ge en större påverkan på totalkostnaderna. En ökning med 1 kr/l ökar kostnaderna med upp till drygt 2 % för de olika systemen (oavsett fältstorlek). Det är sannolikt dieselpriiset inom några år kommer att öka inom lantbruket, bl.a. genom skattehöjningar, minskad återbetalning till lantbrukare etc.

Klimatpåverkan för skörde- och logistiksystemen värderas endast utifrån den insatta energin i form av diesel och el. För skörde- och logistiksystemet släpps mellan 5-7 kg CO₂ ut per MWh levererad energi vilket motsvarar drygt 2 liter diesel per MWh levererad energi. För att göra en korrekt bedömning av skörde- och logistiksystemens klimatpåverkan måste hela kedjan studeras utifrån ett livscykelperspektiv.

Möjlighet till ökad sysselsättning för lantbrukaren genom användning av egna maskiner. I det studerade buntskördesystemet, där skörd respektive insamling av buntar till fältlager inte behöver ske samtidigt, kan lantbrukaren själv skota med traktor och huggarvagn vid ett senare tillfälle. Alternativet med en rationellare insamling, som här studerats i form av att buntarna samlas på vagn efter skördaren och körs till fältkant av skördarekipaget, ger fördelar i att totalkostnaderna kan sänkas märkbart, men ger då mindre skotningsarbete åt lantbrukaren och mer arbetstid för föraren av skördaren (som förmodligen utförs av ägaren till skotaren). Lantbrukaren kan göra samma avvägande om flisning ska utföras med en mobil dieseldriven flisare i fältkant, eller om eldriven flisning med högre kapacitet ska utföras vid anläggningen – det senare ger lägre totalkostnader vid det studerade transportavståndet men mindre möjlighet till eget arbete. I bitskördesystemet kan lantbrukaren vid skörden köra det bredvidgående ekipaget för uppsamling bitar, lasta av i fältlager samt skota lastningen senare vid leveransen. Vad gäller lastning i fält är det dock mycket viktigt att materialet inte kontamineras, en risk som minskar om vana personer sköter lastningen. Dock bör problemet kunna undvikas genom medvetenhet och rutin hos lantbrukarna i fråga (Sjöström, pers. medd., 2009). Att uppnå ökad sysselsättning behöver dock inte vara ett mål för varje Salixodlare.

Vissa andra fördelar kan även finnas med småskaliga maskinsystem i synnerhet för små fält. Exempelvis kräver ett kortare ekipage inte en lika stor andel av fältet för vändning. I de fall där ett bredvidgående ekipage inte behövs gäller detsamma. Ett annat exempel är att buntarna som produceras av den buntskördare som studerats här är relativt lätta, vilket gör att en vanlig huggarvagn klarar lyfta dem, d.v.s. inga större och dyrare maskiner krävs. Dock ger den låga volymvikten höga kostnader för fält- och vägtransport då lastvikten inte utnyttjas optimalt.

Hantering av Salix i buntar kan i vissa fall medföra fördelar genom att samma infrastruktur och hantering kan användas som för timmer eller GROT-buntar (timmerbilar, kranhantering, flisning, lagring etc.) vid transport på väg och ev. järnväg, anläggning, samt ev. omlastningsterminaler.

Studien visar att kostnaderna för buntskördekedjan kan minskas om buntarna komprimeras mer. Teknik för detta finns exempelvis tillgänglig inom skogsbranschen där aggregat som används vid buntning av GROT och som ger en högre komprimering. Tillämpning av denna teknik för Salix skulle rimligen kräva maskinutveckling då det i dagsläget inte finns utrustning anpassad till Salix. Dock finns stora osäkerheter avseende påverkan vid lagring av buntar i välta, särskilt om hur kompakta de kan tillåtas vara utan att torkningen och kvaliteten försämras under lagringen.

Kapade bitar kan i princip hanteras på samma sätt som flis, med fördelen att bitarna kan mellanlagras. Osäkerheter finns kring vilka volymvikter bitar har, något som är starkt kopplat till fraktionsfördelningen, som i sin tur beror av skördaren i fråga. Bitarna bör vara tillräckligt långa för att nå fördelarna med torkning (kring 10 cm), men bör inte vara för långa med avseende på hanteringen i anläggningen för att undvika en ytterligare sönderdelning och dess kostnader. Lämplig maxlängd för bitarna beror av hur hanteringen på anläggningen i fråga ser ut. Vidare bör materialet ha jämn styckesstorlek och inte innehålla stickor (fastnar i såll) för smidig hantering, och inte vara kontaminerat eller möjligt.

Förluster i som spill samband med skörd, fälttransport, lagring och vägtransport och hur de påverkar kostnaderna har inte tagits upp. Hur stora de är och vilken påverkan de har på skörde- och logistiksystemens ekonomi är okända.

9 Slutsatser

Studiens kalkyler visar att det med rätt utformad skördekedja, en hanteringsform som kan lagras (bitar eller helstammar/buntar), samt kunder som vill betala för de mervärden lagring kan ge, såsom ett leveranssäkrare eller torrare bränsle, går att öka lönsamheten för Salix genom att odla små fält. Resultaten gäller även stora fält.

Studiens inventering av skördemaskiner (Bilaga D) att få maskiner för skörd av bitar och buntar/helskott, inräknat de som kalkylerna bygger på, finns att tillgå på marknaden idag. Prototyper finns respektive har funnits, och kräver i olika grad utveckling för att få en rationell skördekedja. Ett stort behov av utveckling av maskinkedjor finns därmed.

- Studien visar att de studerade systemen för bunt- och bitskörd är dyrare än det direkthandlade skördesystemet oavsett fältstorlek. Dock finns möjligheter att sänka kostnaderna genom olika åtgärder, som visats genom känslighets- och scenarioanalyser, och på så sätt hitta bättre lönsamhet. Det kan då även vara lönsamt med små fält förutsatt att de har en fältform som är effektiv att skörda och inte alltför långa avstånd mellan olika fält respektive mellanlager.
- Beräkningarna visar att en högre betalning för leveranssäkerhet är en nyckel till ökad lönsamhet för Salix.
- De viktigaste åtgärderna att minska kostnader är
 - för bitskördssystemet att öka skördarens kapacitet
 - för buntskördssystemet krävs en rationellare insamling av buntar i fält samt att öka lastvikten vid fält- och vägtransport
- Vid ett högt utnyttjande spelar investeringskostnaden för skördemaskinen mindre roll för totalkostnaden d.v.s. en dyrare och effektivare maskin är värd sin merkostnad.

Utöver detta finns andra fördelar med de två alternativa systemen att ta hänsyn till vid jämförelse med dagens direkthandlingssystem. De utformningar av maskinkedjor som här studerats innebär bl.a. fördelarna att

- **De kan utnyttja redskap som vanligen förekommer inom lantbruket** (traktorer, huggarvagnar, frontlastare etc., gäller dock ej skördemaskinerna, som behöver vara specialanpassade för Salix)
- **Ger möjlighet till större delaktighet och ökad sysselsättning** för lantbrukaren. Undantaget är skördemaskinerna som i samtliga fall lämpligen körs av erfarna förare. Transport av buntar med traktor och huggarvagn samt lastning av bitar kan exempelvis utföras av lantbrukaren.
- **De bygger på hanteringsformer som kan lagras** (buntar och bitar) samt **utgör inte s.k. ”heta” system**, d.v.s. momenten i kedjan inte behöver utföras i direkt anslutning till varandra, vilket särskilt passar bra vid skörd av små fält. Det ger bl.a. ett mindre behov av samtidig bemanning, större möjlighet för lantbrukaren att själv utföra efterföljande moment vid ett senare tillfälle samt mindre kostnader för ev. stopp och stillestånd i efterföljande led. Vidare kan skörden från flera mindre fält hämtas vid ett tillfälle, och lastbilen fyllas upp helt, vilket inte är givet om det ska ske i samband med skörden.
- **Högre betalning är möjlig då ett torrare och leveranssäkrare bränsle kan levereras**

- **De medger en större flexibilitet vid leverans från små fält** då bitar och buntar kan mellanlagras en längre tid än flis.
- **De kan lämpa sig som komplement till dagens mer storskaliga system för Salixodling**, med avseende på de ovan nämnda egenskaperna.

En slutsats av studien är även att det råder en stor brist på data (väl dokumenterade test av prestanda etc.) för de alternativa skördare som studerats. Detta ger stor osäkerhet i kostnaderna för systemen och har hanterats genom antaganden och känslighetsanalyser. Som resultat av studien finns nu omfattande data samlat om olika maskiner samt kalkylresultat som kan användas för mer detaljerad analys av alternativa utformningar av logistikkedjor. Därmed lämpar dessa resultat sig bättre som underlag för vidare utveckling av skördesystem för Salix än som allmänt underlag till intresserade lantbrukare, då mer behöver utredas vad gäller optimal utformning av systemen.

Kalkyler av direkt energianvändning samt klimatpåverkan (CO₂-utsläpp) från användning av insatt energi har beräknats för de olika maskinkedjorna, och kan användas som underlag vid utförande av exempelvis LCA-analyser.

10 Förslag till fortsatt forskningsarbete

- Hur stor betalningsförmåga finns, eller kan finnas framöver, hos energiverk för mervärden, såsom ett torrare eller leveranssäkrare bränsle? Vilka kunder efterfrågar olika mervärden, och hur mycket är man villig att betala för dessa? Har tillgången under en längre tid också ett mervärde som kan värderas? Vilken betalning för mervärden krävs för att få lönsamhet? En viktig del är att identifiera kunder (främst vilka panntyper, men även andra förutsättningar) som har störst nytta av olika mervärden samt när, en överblick som är svår att få idag och som utgör en stor osäkerhet för att satsa på att utveckla skördeteknik och göra satsningar för detta ändamål.
- Att skörda Salix som hela stammar och lagra dem som buntar är ett sätt att öka dess värde och få en leveranssäkrare vara. Att hantera Salix som buntar ger dock upphov till flera frågeställningar, exempelvis:
 - Vilken teknik behövs för skörd och buntning av hela stammar av Salix? Kan existerande teknik, exempelvis prototyper som funnits utvecklade för Salix eller GROT-buntare, användas och anpassas eller krävs ny teknik?
 - Hur mycket kan en bunt komprimeras innan lagringsegenskaperna (torkning och kvalitet) påverkas?
 - Vilken är den optimala storleken och vikten på en bunt med avseende på bl.a. hantering med befintlig infrastruktur för exempelvis timmer eller GROT-buntar, samt för att få kostnadseffektiva transporter?
- Om kapade bitar, eller s.k. ”billets”, övervägs som hanteringsform är det av vikt att dels göra praktiska test av hanteringen på anläggningen. Exempelvis vilken längd på bitarna som lämpar sig för energiverkens hantering så att en extra sönderdelning och dess kostnader undviks. Beroende på vilken tidslängd produkten avses lagras, bör i sammanhanget även en minsta längd för god torkning beaktas. Det behövs även säkrare uppgifter om volymvikten för bitar, eller sönderdelat material med olika fraktionsfördelningar, något som beror av vilken sönderdelningsutrustning/skördare som används. Vidare finns osäkerhet kring volymvikten för både flis och bitar som torkats i olika grad och därmed krymper något.
- Nya skördesystem för Salix diskuteras bland annat pga. olika invändningar med dagens system för direktflisning. För att få en bättre bild av lämpliga utvecklingsvägar behöver det specificeras vad man vill ha ut av framtidens system för skörd och logistik av Salix, med hänsyn till framtida förutsättningar som exempelvis klimatförändringar, högre tillväxt, vilka är kunderna, samt krav och önskemål som olika aktörer i kedjan har. Därmed kan det finnas forskningsbehov som rör även andra aspekter utöver själva tekniken för skörd- och logistik. Förutsättningarna och behoven spelar stor roll och det är viktigt att systemen tillämpas när rätt förutsättningar gäller. Systemen kan också tänkas komplettera varandra vid olika förutsättningar. En annan tänkbar kombination är att buntar i vält skulle kunna hämtas samtidigt som GROT från samma område och hanteras eller flisas med samma utrustning (Walldén, pers. medd. 2009)

11 Litteraturreferenser

Referenser kap 1-5

- Jirjis, R. Microbial activity during the storage of Salix. In: Storage and handling of willow from short rotation coppice. Ed. P. D. Kofman and R. Spinelli. Printed by ELSAM PROJEKT A/S, Denmark, 1997, s. 89-101.
- Weih, M. Energiskogsodling på åkermark – möjligheter för biologisk mångfald och kulturmiljö i ett landskapsperspektiv. Rapport till Naturvårdsverket, 2006.
- Paulrud, S. Och Laitila, T. Lantbrukarnas attityder till odling av energigrödor värderingsstudie med choice experiment. B1746. IVL Svenska Miljöinstitutet. Örebro Universitet, 2007.
- SOU 2007:36, Statens Offentliga Utredningar, Jordbruksdepartementet ”Bioenergi från jordbruket - en växande resurs”
- Berndes och Börjesson. Multifunctional bioenergy systems. 2007
- Spinelli, R. Report on SRC machinery operated by Gunnar Henriksson: Austoft 7700/240 Salix harvester, Claas harvesters with HS2 and HS1 headers, and Austoft planter. 2001. Internet: <http://www.treepower.org/harvesting.html>
- O'Sullivan, G. Billet harvesting, drying and processing of willow short rotation coppice for the wood energy market in the UK SWS Forestry Services, 2006. www.coford.ie
- DEFRA (Department for Environment, food and Rural Affairs). Best Practice Guidelines For Applicants to Defra's Energy Crops Scheme. Growing Short Rotation Coppice. England, 2004.
- SJV, 2008. Johnsson, B (referens). Kartläggning av mark som tagits ur produktion. Rapport 2008:7

Personliga meddelanden

- D'Amours, Luc. maskinutvecklare Canada, 2008.
- Eklund, Urban. Ena Energi, 2009.
- Lindqvist, Rodolfo. Salixmaskiner, 2008 och 2009.
- Sjöström, Göran. Lantmännen Agroenergi AB, 2008
- Walldén, Håkan. Lantmännen, 2009.

Referenser lagring (bilaga E)

- Arbetsmiljöverket, 2000. Manuell hantering. AFS 2000:01. Arbetsmiljöverket, Solna.
- Beale C. & Morpeth D., 2000. Storage of willow bundles produced by the Salix Maskiner Bundler. Writtle College, Chelmsford, Essex.
- Blomquist G. 2002. Bioaerosoler: risker och mätningar. Rapport, Arbetslivsinstitutet, Umeå.
- Carvalho, MF., Peterson, Y., & rubenowitz, E., et al., 1995. Bronchial reactivity and work-related symptoms in farmers. Am. J. Ind. Med. 27, pp 65-74.
- de Toro A., Jirjis R., Daniel N., 1994. Cold air ventilated and sealed storage of wood chips from willow. Laboratory experiments. Rapport nr 192, institutionen för lantbruksteknik, Sveriges lantbruksuniversitet.
- Elinder M., Almquist A. & Jirjis R., 1996. Kyllagring av Salixflis ventilerad med kall luft. SLF rapport nr 18, Stiftelsen Lantbruksforskning.
- Feist W.C., Springer E.L. & Hajny G.J., 1971. Viability of parenchyma cells in stored green wood. Tappi, Vol. 54, No. 8.

- Forest Research. 1998. Harvesting and communiton of short rotation coppice. Technical note. Forestry Commission. Technical Development Branch, Rydal House, Rugeley, Staffordshire.
- Gigler J.K., van Loon W.K.P., van den Berg J.V., Sonneveld C., Meerdink G. 2000. Natural wind drying of willow stems. *Biomass and Bioenergy* 19, s 153-163.
- Gigler J.K., Meerdink G. & Hendrix E. M.T. 1999. Willow supply strategies to energy plants. *Biomass and Bioenergy* 17, s 185-198.
- Gigler, J. K., et al, Willow strategies to energy plants, *Biomass and energy* 17, 1999.
- Gigler, J. K., van Loon, W. K. P. and Sonneveld, C. 2004. Experiment and modelling of parameters influencing natural wind drying of willow chunks. *Biomass & Bioenergy* 26:507-514.
- Hakkila, 1989. Utilization of residual forest biomass. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Hendry K. M. & Cole E.C., 1993. A review of mycotoxins in indoor air. *J. Toxicol Health* 38:183-198.
- Hintikka E.L. & Nikulin M., 1998. Airborn mycotoxins in agricultural and indoor environments. *Indoor Air* 1998; Suppl. 4: 66-70.
- Jacobsen E.E., 1987. Preservation of grain by aeration - computer simulation. In: *Proceedings from computers, electronics and control engineering in agriculture*. Rapport 117, institutionen för lantbruksteknik, Sveriges lantbruksuniversitet.
- Jonsson N. & Jirjis R., 1997. Torrsubstansförluster och mikrobiell aktivitet vid lagring av *Salix*flis. JTI-rapport 237.
- Jonsson N. 2008. Opublicerade beräkningar. JTI-institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- Jordbruksverket, 2008, Kartläggning av mark som har tagits ur produktion, Rapport 2008:7, Jordbruksverket, Jönköping
- Kimbell-Dunn M. R., Fishwick, R. D., Bradshaw, L., Erkinjuntti-Pekkanen, R. & Pearce, N. 2001. Work-related respiratory symptoms in New Zealand farmers. *Am J Ind Med* 39(3), pp 292-300.
- Kofman P.D. & Spinelli R, 1997. Storage and handling of willow from short rotation coppice. Elsamprojekt. Forskningscentret for skov & landskab. Landbrugets Rådgivningscenter.
- Käärrik A., 1975. Succession of microorganisms during wood decay. In: *Biological Transformation of Wood by Microorganisms* (W. Liese, Ed.), pp. 39-51. Springer-Verlag, Berlin.
- Lacey J. & Magan N., 1991. Fungi in cereal grains: Their occurrence and water and temperture relationship. In *cereal grains, mycotoxins, fungi and quality in drying and storage* ed. J. Chelkowski. Elsevier, s. 77-118.
- Lacey J. Spore production in stored wood chips and straw. ETSU B/M4/00487/07/00.
- Lindblad M, Johnsson P, Jonsson N, Lindqvist R, Olsen M. 2004. Predicting noncompliant levels of ochratoxin A in cereal grain from *Penicillium verrucosum* counts. *J Appl Microbiol.* 2004;97(3):609-16.
- Lyons G., Rice B. & O'Donnell B., 1989. Storage and drying of forest biomass. *Energy from biomass 4. Proceedings of the third contractors' meeting*, Paestum, 25-27 May, 1988 (G. Grassi, D. Pirrwitz & H. Zibetta, Eds.), pp. 240-247. London, Elsevier Applied Science Publishers.
- Malmberg, P., Rask-Anderson, A. & Palmgren, U., et al., 1987. Respiratory problems among Swedish farmers-coorelation between symptoms and environment. *Eur. J. Respir. Dis. Suppl*, 154, pp 22-7

- Mattsson J.E. & Kofman P.D., 2003. Influence of particle size and moisture content on tendency to bridge in biofuels made from willow shoots. *Biomass and Bioenergy* 24, s 429-435.
- Mitchell C.P., Hudson J.B., Gardner D.N.A., Storry P.G.S. & Gray I.M., 1990. Wood fuel supply strategies. Volume 2, harvesting trials summaries. Energy Technology Support Unit, Harwell 1990, No. ETSU B 1176-P2, 84 pp.
- Nellist M.E., Bartlett D.I. & Moreea, S.B.M., 1995. Storage trials with arable coppice. Proceedings of IEA/BA, Task IX workshop "Preparation and supply of high quality wood fuels", held in Garpenberg, Sweden, 13-16 June, 1994. Research Notes No. 278. Department of Operational Efficiency, Swedish University of Agricultural Sciences.
- Nellist M.E., Lamond W.J., Pringle R.T. & Burfoot D., 1993. Storage and drying of comminuted forest residues. Vol. 1: The Report. ETSU B/W1/00146/REP.
- O'Sullivan, G. Billet harvesting, drying and processing of willow short rotation coppice for the wood energy market in the UK SWS Forestry Services, 2006. www.coford.ie
- Pitt J.L., 1994. The current role of *Aspergillus* and *Penicillium* in human and animal health. *J Med Vet Mycol* 32 (Supplement I): 17-32.
- Rice B., O'Donnell B. & Lyons G., 1990. Study of alternative harvesting-drying-storage strategies for short rotation forestry and forest residues. Report on Contract No. EN3B-0072-IRL. TEAGASC, Carlow, Eire.
- Shiefer H.B. & Hancock D.S., 1984. Systemic effects of topical application of T-2 toxin in mice. *Toxicol Appl Pharmacol* 76: 464-472.
- Scholz, V., Idler, C., Daries, W. and Egert, J. 2005. Development of mould and losses during storage of wood chips. *Holz Als Roh-Und Werkstoff* 63:449-455.
- Skaug M. A., Eduard W. & Störmer F.C., 2000. Ochratoxin A in airborne dust and fungal conidia. *Mycopathologia* 151: 93-98.
- Smith R.S. & Ofosu-Asiedu A., 1972. Distribution of thermophilic and thermotolerant fungi in a spruce-pine chips pile. *Canadian J. Forest Research*, 2 p. 16-26.
- Sorensen W. G., 1999: Fungal spores: Hazardous to health? *Environ Health Perspect* 107 (suppl. 3): 469-472.
- Strömberg, B., 2005, Bränslehandboken, Miljö och förbränningsteknik 911, Värmeforsk, Stockholm
- Thörnqvist T., 1982. Lagring av ung *Salix* spp. Rapport nr 133, institutionen för virkeslära, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Uppenberg, S., Almemark, M., Brandel, M., Lindfors, L.-G., Marcus, H.-O. Strippel, H., Wachtmeister, A., Zetterberg, L., 2001, Miljöfaktabok för bränslen. Del 2. Bakgrundsinformation och teknisk bilaga, IVL rapport B1334B-2, IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Stockholm
- Virkesmättningsrådet, 1999, Allmänna och särskilda bestämmelser för mätning av biobränslen, VMR Virkesmättningsrådet, Internetupplaga, <http://www.virkesmatningsradet.org/Admin/html/vmr/html/pdf/biobrans.pdf>
- Thörnqvist T., 1982. Lagring av ung *Salix* spp. Rapport nr 133, institutionen för virkeslära, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- von Essen, S., Fryzek, J., Nowakowski, B. & Wampler, M. 1999. Respiratory symptoms and farming practices in farmers associated with an acute febrile illness after organic dust exposure. *Chest* 116, pp 1452-1458
- Ångström A., 1974. Sveriges klimat. Generalstabens litografiska anstalts förlag, Stockholm.

Referenser skördemaskiner (bilaga D)

- CRL, 2009. Case studies. Internet: Coppiceresources.co.uk/CaseStudies.asp, 080504
- Danfors B. och Nordén B., 1995. Sammanfattande utvärdering av teknik och logistik vid Salixskörd. JTI-rapport R 210
- Larsson, S och Lindegaard, K., 2003. Full scale implementation of SRWC in Sweden. http://www.shortrotationcrops.org/PDFs/IEA_Larsson&Lindegaard.pdf
- Nordic Biomass. User's manual: STEMSTER Willow Harvester. 2008.
- ATL, 11 mars 2008. "Stemster tar SalixSalixen hel". www.atl.se
- Spinelli, R., 2001a. SRC harvester. Report on the CRL Mk II.
- Spinelli, 2001b. Report on SRC machinery operated by Gunnar Henriksson: Austoft 7700/240 Salix harvester, Claas harvesters with HS2 and HS1 headers, and Austoft planter.
- Spinelli, R., Spinelli, R., Sperandio, G., Tommasini, N., 1997. Bender MarkIII: una macchina operatrice per la raccolta del ceduo a turno breve. *Maccine e Motori Agricoli* n 12 (27-32).
- Hartsough, B och Spinelli, R., 2001. Recent Reports on SRC Harvesters in Europe. Productivities and Costs of Short-Rotation Woody Crops Harvesting Technologies: Projections for American Plantations. Final Report to Oak Ridge National Laboratory.
- Danfors B., Nordén B., 1995 - Sammanfattande utvärdering av teknik och logistik vid Salixskörd. JTI-rapport 210 1995. Ultuna, Uppsala, Sweden.
- van Oosten, C., 2008 PURPOSE-GROWN WOODY BIOMASS CROPS. State of knowledge (FDF # 200723). SilviConsult Woody Crops Technology Inc.
- Culshaw, D. Och Stokes, B., 1995. Mechanisation of short rotation forestry. *Biomass and bioenergy*, vol 0, pp 127-140.
- Deboys R.S., 1995 - Second field trials of short rotation coppice harvesters. Forestry Commission. The Forest Authority. Technical Development Branch. AE village, Dumfries UK. Report 1/95, pp. 52.
- Lavoie, F., D'Amours, L., Savoie, P., 2007. Development and Field Performance of a Willow Cutter-Shredder-Baler.
- Hilton, B., J. Garstang, S. Groves, J. King, P. Metcalfe, T. Pepper and I. McRae. 2005. ARBRE Monitoring The Fuel Supply Chain., DTI, UK.
- O'Sullivan, G. Billet harvesting, drying and processing of willow short rotation coppice for the wood energy market in the UK SWS Forestry Services, 2006. www.coford.ie
- Norén, O., Danfors, B., Stambeck, A., 1984. Maskinutrustning vid energiskogsodling. Rapport över projekt 1160 902 ESO – maskiner, JTI. Uppdrag av Statens Energiverk. JTI rapport 153. Internet: www.dti.gov.uk/renewables/publications_pdfs/bu1006260000.pdf
- Centre de Recherches Agronomiques, 1999. DESCRIPTION DE LA RECOLTE. Département de Génie Rural, Gembloux. http://www.saskforestcentre.ca/uploaded/Report_-_FDF_200723.pdf
- Spinelli, R., 2007. Alpengywood Project (Interreg II). Providing a sector platform for Short Rotation Forestry cultivation and harvesting. Regione Lombardia, Agriteam, CNR Ivalsa, CNER. Italien.
- Forest research, 1998. HARVESTING AND COMMUNITION OF SHORT. TECHNICAL NOTE 8/98. Storbritannien.

Personliga meddelanden

Bonderup Kjeldsen, Jens. Nordic Biomass, 2008.

Lindqvist, Rodolfo. Salixmaskiner AB, 2008 och 2009.

Magnusson, Leif, EnerGia Konsulterande Ingenjörer AB. Teknik för skörd av Salix: status och utvecklingsbehov. Slutrapport 2009-05-20

Sjöström, Göran. Lanmännen Energi, 2009.

Walldén, Håkan. Lanmännen Energi, 2009.

Bilagor

A Använda förutsättningar och indata

Denna bilaga redovisar förutsättningar och indata som använts i studien, och kompletterar den mer allmänna beskrivningen i kapitel 5, Studerade skörde- och logistiksystem.

Allmänna indata är här sådana data som är gemensamma för en eller flera delmoment eller för olika skördesystem.

Salix odlas i dubbelrader, avståndet mellan två rader är 0,75 m och avståndet nästa dubbelrad är 1,50 m. Det ger ett radavstånd på 2,25 m mellan varje dubbelrad.

Fältets form påverkar hur lång tid det tar att skörda. I en beräkning är det svårt att ta hänsyn till variationer i fältets form. I föreliggande projekt har fältformen ansats enligt följande antagande. Fältet är rektangulärt till formen och fältets bredd (b) är hälften av dess längd (l). Används sambandet att $l = 2b$ kan b beräknas. Är fältets storlek (A) angivet i m^2 ($1 \text{ ha} = 10\,000 \text{ m}^2$) kan fältets bredd och längd beräknas med formlerna $b = \sqrt{2 \cdot A}$ och $l = 2b$ (Tabell 18).

Tabell 18. Fältstorlekar, antal fält samt fältens längd och bredd som är gemensamt för samtliga studerade alternativ

Table 18. Basic parameters for calculating field size, field length and width, number of fields etc.

Parameter		Enhet	Kommentar
Fältstorlek litet fält	2	ha	Grunddata för kalkyl
Antal små fält	3	st	Grunddata för kalkyl
Fältets bredd	100	m	Beräknat värde
Fältets längd	200	m	Beräknat värde
Antal dubbelrader	45	st	Beräknat värde
Fältstorlek stort fält	6	ha	Grunddata för kalkyl
Antal stora fält	1	st	Grunddata för kalkyl
Fältets bredd	173	m	Beräknat värde
Fältets längd	346	m	Beräknat värde
Antal dubbelrader	77	st	Beräknat värde

Vattenhalterna för buntar och bitar beror av lagringstiden. Lagringstiden som beräknats för systemen är 3 och 6 månaders lagring. Lagringstiden tar hänsyn till uttorkning, förlust av torrs substans, förändring av värmevärde och volymvikt i förhållande till nyskördat material. I grundfallet jämförs att samtliga system levererar direkt till kund och därför är volymvikter före och efter lagring desamma i Tabell 19. Bitar och buntar är möjliga att lagra. Salixens egenskaper beräknas för bitar och buntar som lagrats 3 respektive 6 månader. Under lagringen torkar Salixen, utöver minskningen av vattenhalten sker det en viss förlust av torrs substans. Torrs substansförlusten för både buntar och bitar är 0,8 % per månad som Salixen lagras.

- Skördenivån på 20 ton ts per skördetillfälle utgår från de i dag förekommande skördenivåerna i Salix, med en årlig tillväxt på 5 ton ts per ha och år.
- Skördevattenhalter för Salix ligger omkring 50 % med en variation som beror av förhållanden i samband med skörd.

- Vattenhalterna efter 3 respektive 6 månaders lagring av bitar och buntar är beräknade utifrån underlag från Jirjis (pers. medd., 2009.). Dessa data och antaganden finns samlade i bilaga D samt i kap 4 om lagring av Salix.
- Volymvikten för flisad Salix är 320 kg/m³ vid vattenhalten 50 %.
- Volymvikten för buntar är beräknad utifrån en bunt med volymen 0,9 m³ (diametern 0,6 m och längden 3,2 m). som väger 0,23 ton och innehåller 0,5 MWh energi vid 50 % vattenhalt.
- Volymvikten för bitar har beräknats från Gigler et al. (1999) och gäller för bitar i storleken 50-200 mm.
- Volymvikterna efter lagring är beräknade värden som tagit hänsyn till torrsubstansförluster och minskad vattenhalt.

Tabell 19. Allmänna indata om skördade mängder och vattenhalter vid skörd och efter lagring och volymvikter

Table 19. Common data for harvest, water content and density for Salix harvested as chips, bundles or billets when newly harvested and after 3 and 6 months storage

Parameter		Enhet	Kommentar
Skörd per ha	20	ton torrsubstans	Grunddata för kalkyl
Skördevattenhalt	50	%	Grunddata för kalkyl
Vattenhalt efter torkning, flis	50	%	Beräknat värde
Vattenhalt efter 3 mån lagring, bunt	38	%	Beräknat värde, se bilaga D
Vattenhalt efter 6 mån lagring, bunt	20	%	Beräknat värde, s bilaga D
Vattenhalt efter 3 mån lagring, bitar	38	%	Beräknat värde, se bilaga D
Vattenhalt efter 6 mån lagring, bitar	23	%	Beräknat värde, se bilaga D
Volymvikt, flis vid skörd	0,320	ton/m ³	Beräknat värde
Volymvikt, buntar vid skörd	0,209	ton/m ³	Beräknat värde
Volymvikt, bitar vid skörd	0,290	ton/m ³	Beräknat värde
Volymvikt, buntar efter lagring i 3 mån	0,148	ton/m ³	Beräknat värde
Volymvikt, buntar efter lagring i 6 mån	0,112	ton/m ³	Beräknat värde
Volymvikt, bitar efter lagring i 3 mån	0,223	ton/m ³	Beräknat värde
Volymvikt, bitar efter lagring i 6 mån	0,174	ton/m ³	Beräknat värde

Tabell 20. . Avstånd i samband med förflyttningar och transporter som är gemensamma för samtliga studerade system

Table 20. Transport distances (km one way travel) between fields, to field storage and for road transport that are common for all systems studied.

Parameter		Enhet	Kommentar
Avstånd mellan fält och fältlager	0,5	km	Grunddata för kalkyl
Avståndet mellan enskilda fält	0,5	km	Grunddata för kalkyl
Avstånd mellan fältlager och anläggning	30	km	Grunddata för kalkyl
Avstånd mellan skördeområden*	10	km	Grunddata för kalkyl

*Avståndet mellan varje block av tot 6 ha.

B Tidskalkyler för logistiksystem

De tre systemen för skörd av Salix har olika kapaciteter och olika ingående moment för att skörda, hantera, lagra och transportera Salix från fält till anläggning. Genom att för olika ingående delmoment beräkna den tid som krävs för att skörda ett 2 ha respektive 6 ha stort fält skapas ett underlag som används som indata till den ekonomiska kalkylen.

B.1 Indata till tidskalkyl för direkthugning i fält

Allmänna indata

Tabell 21. Indata till skördemaskin för direkthugning av Salix i fält

Table 21. General data for direct chipping harvester

Parameter	Värde	Enhet	Kommentar
Hastighet i fält	6,0	km/h	Sjöström pers med. (2008)
Hastighet vid vändning	6,0	km/h	Antag samma hastighet som i fält
Volym, högtippande vagn	20	m ³	Sjöström pers med. (2008)
Tid för att tömma högtippande vagn	1,8	min	Danfors & Nordén (1995)
Dieselförbrukning vid skörd	50	l/h	Sjöström pers med. (2008)

Tabell 22. Indata för traktor med vagn för transport av flis från fält till fältlager

Table 22. Parameters for tractor and container used for transporting chipped Salix from field to field storage

Parameter	Värde	Enhet	Kommentar
Volym, container	40	m ³	Standardcontainer
Tid för att lasta container på vagn	2,0	min	Danfors & Nordén (1995)
Tid att lasta av container i fält	1,43	min	
Hastighet på väg	6,6	km/h	Danfors & Nordén (1995)
Tid för att tömma vagn vid lager	2,0	min	Eget antagande

Tabell 23. Transport av flis i containers till anläggning från fältlager

Table 23. Parameters for road transport of chipped Salix

Parameter	Värde	Enhet	Kommentar
Antal containers på fordon	3	st	
Volym, container	40	m ³	
Tid för att lasta container på fordon	50	min	Hadders (2002)
Tid för att lasta av flis från fordon	17	min	Hadders (2002)
Hastighet på landsväg, olastad	80	km/h	NTM (2007)
Hastighet på landsväg, lastad	80	km/h	NTM (2007)
Avstånd fältlager till anläggning	30	km	Grunddata för kalkyl

Data för skördemaskin, direktflisande*Tabell 24. Skördemaskin direktflisande, tid för skörd i rad vid olika fältstorlek**Table 24. Direct chipping harvester, time for harvesting in row at different field sizes*

	Fältstorlek 2 ha	Fältstorlek 6 ha	Enhet	Kommentar
Antal dubbelrader	45	77	st	
Total i fält körd sträcka	9 000	26 719	m	
Hastighet i rad	6	6	Km/h	
Tid för att skörd av fältet	1,50	4,45	timmar	

*Tabell 25. Tid för vändning vid skörd, direktflisande skördemaskin**Table 25. Time used for turning at the end of the field for direct chipping harvester*

	Fältstorlek 2 ha	Fältstorlek 6 ha	Enhet	Kommentar
Antal vändningar	45	77	st	Beräknat värde från Witney (1995)
Ekipagets vändradie	6	6	m	Antaget värde
Arbets hastighet i vändning	6	6	km/h	Samma hastighet antagen som vid skörd
Tid för vändning	0,0063	0,0063	timmar	Witney (1995)
Total tid för vändning	0,28	0,48	timmar	

*Tabell 26. Tid tömning av högtippande vagn till container**Table 26. Time used for emptying wagon behind harvester to transport container*

	Fältstorlek 2 ha	Fältstorlek 6 ha	Enhet	Kommentar
Tid för tömning	0,03	0,03	timmar	Danfors och Nordén (1995)
Antal tömningar	12,5	37,5	st	Beräknat värde
Avrundat antal tömningar	13	38	st	Beräknat värde
Total tid för tömning	0,39	1,14	timmar	

*Tabell 27. Vägtransport mellan enskilda fält, förflyttning av skördemaskin**Table 27. Time needed for road transportation of direct chipping harvester between fields*

	Fältstorlek 2 ha	Fältstorlek 6 ha	Enhet	Kommentar
Hastighet på väg	7,1	7,1	km/h	Danfors och Nordén, 1995
Avstånd mellan fält	0,5	0,5	km	Grundindata för kalkyler
Antal förflyttningar	2	0	st	Grundindata för kalkyler
Tid för förflyttning	0,14	0	timmar	som uppstår
Total tid för skördare	2,17	6,08	timmar	

Tabell 28. Skördemaskin, förflyttning mellan skördeområde

Table 28. Time needed for road transportation of direct chipping harvester between harvesting areas

	Fältstorlek 2 ha	Fältstorlek 6 ha	Enhet	Kommentar
Skördemaskin				
Hastighet på väg	30	30	km/h	Antaget värde
Transporterad sträcka	10	10	km	Antaget värde
Tid för transport av container	0,33	0,33	timmar	Beräknat värde
generellt tidstillägg	0,33	0,33	timmar	Antaget värde
Total tid för transport per fält	0,67	0,67	timmar	

Förflyttning av flisad Salix från fält till lager

Tabell 29. Traktor med containervagn, lastning av container från mark till lastväxlarflak. Samma tid antas behövas när tom container vid lager lastas på lastväxlervagnen

Table 29. Time used by tractor when moving containers from field to storage, loading of container from ground to wagon. The same time needed is assumed when empty container is loaded at storage

	Fältstorlek 2 ha	Fältstorlek 6 ha	Enhet	Kommentar
Lastvolym, container	40	40	m ³	Grundindata för kalkyler
Lastvikt	13	13	ton	Beräknat värde
Antal turer per fält	6,25	18,75	turer	Beräknat värde
Avrundat antal turer	7	19		
Tid för att lasta container	0,03	0,03	timmar	Danfors och Nordén (1995)
Total tid för lastning av container	0,23	0,63	timmar	

Tabell 30. Traktor med containervagn, flytt av container från fält till lager

Table 30. Time used by tractor when moving containers from field to storage, road transport from field to storage

	Fältstorlek 2 ha	Fältstorlek 6 ha	Enhet	Kommentar
Hastighet på väg, lastad	6,6	6,6	km/h	Danfors och Nordén (1995)
Transporterad sträcka	0,5	0,5	km	Grundindata för kalkyler
Antal turer per fält	6,25	18,75	turer	Beräknat värde
Avrundat antal turer	7	19	turer	Beräknat värde
Tid för transport av container	0,08	0,08	timmar	Beräknat värde
Total tid för transport	0,53	1,44	timmar	Beräknat värde

Tabell 31. Traktor med containervagn, återtransport till fält

Table 31. Time used by tractor when moving containers from field to storage, road transport from store to field

	Fältstorlek 2 ha	Fältstorlek 6 ha	Enhet	Kommentar
Hastighet på väg, olastad	9,1	9,1	km/h	Danfors och Nordén (1995)
Transporterad sträcka	0,50	0,50	km	Grundindata för kalkyler
Antal turer per fält	6,25	18,75	turer	Beräknat värde
Avrundat antal turer	7	19	turer	Beräknat värde
Tid för transport av container	0,05	0,05	timmar	Beräknat värde
Total tid för transport återtransport till fält	0,38	1,04	timmar	Beräknat värde

Tabell 32. Traktor med containervagn, avställning av tom container

Table 32. Time used by tractor when moving containers from storage to field, unloading empty container

	Fältstorlek 2 ha	Fältstorlek 6 ha	Enhet	Kommentar
Lastvolym, container	40	40	m ³	
Lastvikt	13	13	ton	3 st fält på 2 ha eller 1 fält på 6 ha
Antal turer per fält	6,25	18,75	turer	Beräknat värde
Avrundat antal turer	7	19	turer	Beräknat värde
Tid för att lasta av container	0,02	0,02	timmar	Beräknat värde
Total tid för lastning av container per fält	0,17	0,45	timmar	Beräknat värde

Tabell 33. Traktor med containervagn, förflyttning mellan enskilda fält

Table 33. Time needed for moving tractor and container between fields

	Fältstorlek 2 ha	Fältstorlek 6 ha	Enhet	Kommentar
Hastighet på väg	7,1	7,1	km/h	Danfors och Nordén (1995)
Avstånd mellan fält	0,5	0,5	km	Grundindata för kalkyler
Antal förflyttningar	2	0	st	Grundindata för kalkyler
Tid för förflyttning	0,14	0	timmar	Beräknat värde

Tabell 34. Traktor som drar containervagn, förflyttning mellan skördeområde

Table 34. Time needed for moving tractor and container between harvesting areas

	Fältstorlek 2 ha	Fältstorlek 6 ha	Enhet	Kommentar
Hastighet på väg	30	30	km/h	Antaget värde
Transporterad sträcka	10	10	km	Antaget värde
Tid för transport av container	0,33	0,33	timmar	Beräknat värde
generellt tidstillägg	0,33	0,33	timmar	Antaget värde
Total tid för transport per fält	0,67	0,67	timmar	

Landsvägstransport till anläggning från fältlager

Tabell 35. Transport till anläggning, landsvägstransport

Table 35. Road transport of containers

	Fältstorlek 2 ha	Fältstorlek 6 ha	Enhet	Kommentar
Hastighet på väg, olastad	80	80	km/h	Grundindata för kalkyler
Transportsträcka till lager	30	30	km	Grundindata för kalkyler
Tid för utkörning per lass	0,38	0,38	timmar	Beräknat värde
Tid för utkörning per fält	0,75	2,25	timmar	Beräknat värde
Tid för att lasta på lastbil per lass	0,83	0,83	timmar	Hadders (2002),
Tid för att lasta på lastbil	1,7	5,0	timmar	Beräknat värde
Hastighet på väg, lastad	80	80	km/h	Grundindata för kalkyler
Transportsträcka till anläggning	30	30	km	Grundindata för kalkyler
Tid för landsvägstransport per lass	0,38	0,38	timmar	Beräknat värde
tid för landsvägstransport per fält	0,75	2,25	timmar	Beräknat värde
Tid för avlastning av Salixflis per lass	0,28	0,28	timmar	Beräknat värde
Tid för avlastning av Salixflis per fält	0,6	1,7	timmar	Beräknat värde
Summa tid per fält	3,7	11,2	timmar	Beräknat värde

B.2 Indata till tidskalkyl för kapade bitar

Traktor och basmaskin för skörd

Tabell 36. Tid skördeekipage i fält

Table 36. Theoretical time in field used for harvesting Salix as billets

	Fältstorlek 2 ha	Fältstorlek 6 ha	Enhet	Kommentar
Hastighet i rad	3,7	3,7	km/h	Beräknat värde
Arbets hastighet i vändning	3,7	3,7	km/h	Antaget värde
Ekipagets vändradie	6	6	m	Antaget värde
Antal vändningar	45	77	st	Beräknat värde
Tid för att skörda fältet	2,45	7,29	timmar	Beräknat värde
Tid för vändning	0,0103	0,0103	timmar	Beräknat värde
Total tid för vändning	0,46	0,79	timmar	Beräknat värde
Total tid skördemaskin	2,91	8,08	timmar	Beräknat värde

Tabell 37. Vägtransport skördeekpage

Table 37. Road transport of tractor and harvester

	Fältstorlek ha	2 Fältstorlek ha	6 Enhet	Kommentar
Hastighet på väg	7,1	7,1	km/h	Danfors och Nordén (1995)
Avstånd mellan fält	0,5	0,5	km	Grundindata för kalkyler
Antal förflyttningar	2	0	st	Grundindata för kalkyler
Tid för förflyttning	0,14	0	timmar	Beräknat värde

Tabell 38. Förflyttning mellan skördeområde Skördeekpage

Table 38. Moving tractor and harvester between harvesting areas

	Fältstorlek 2 ha	Fältstorlek 6 ha	Enhet	Kommentar
Hastighet på väg	30	30	km/h	Antaget värde
Transporterad sträcka	10	10	km	Antaget värde
Tid för transport av container	0,33	0,33	timmar	Beräknat värde
generellt tidstillägg	0,33	0,33	timmar	Antaget värde
Total tid för transport per fält	0,67	0,67	timmar	

Tabell 39. Traktor med lastarvagn, traktor och vagn i fält

Table 39. Tractor and wagon, in field

	Fältstorlek 2 ha	Fältstorlek 6 ha	Enhet	Kommentar
Hastighet i rad	3,7	3,7	km/h	Danfors och Norden, 1995
Antal vändningar	45	77	st	Beräknat värde
Ekipagets vändradie	6	6	m	Antaget värde
Arbets hastighet i vändning	3,7	3,7	km/h	
Tid för vändning	0,0103	0,0103	timmar	Beräknat värde
Total tid för vändning	0,46	0,76	timmar	

Tabell 40. Vägtransport mellan enskilda fält för traktor och vagn

Table 40. Road transport between fields for tractor and wagon

	Fältstorlek 2 ha	Fältstorlek 6 ha	Enhet	Kommentar
Hastighet på väg	7,1	7,1	km/h	Danfors och Nordén, 1995,
Avstånd mellan fält	0,5	0,5	km	Grundindata för kalkyler
Antal förflyttningar	2	0	st	Grundindata för kalkyler
Tid för förflyttning	0,14	0	timmar	Beräknat värde
Total tid för traktor och vagn	3,06	8,13	timmar	Beräknat värde

Tabell 41. . Flytt av vagn från fält till lager

Table 41. Moving full wagons from field to storage

	Fältstorlek ha	2 Fältstorlek 6 ha	Enhet	Kommentar
Lastvolym, vagn	20	20	m ³	Grundindata för kalkyler
Lastvikt	6	6	ton	Beräknat värde
Hastighet på väg, lastad	6,6	6,6	km/h	Danfors och Nordén, 1995
Transporterad sträcka	0,5	0,5	km	
Antal turer per fält	13,79	41,38	turer	
Avrundat antal turer	14	42	turer	Beräknat värde
Tid för transport av vagn	0,08	0,08	timmar	Beräknat värde
Total tid för transport av vagn per fält	1,06	3,18	timmar	

Tabell 42. Tömning av kapade bitar i vagn till hög vid väggkant

Table 42. Emptying wagon with billets to storage pile

	Fältstorlek ha	2 Fältstorlek 6 ha	Enhet	Kommentar
Lastvolym, vagn	20	20	m ³	Grundindata för kalkyler
Lastvikt	6	6	ton	Grundindata för kalkyler
Antal turer per fält	13,79	41,38	turer	Beräknat värde
Avrundat antal turer	14	42	turer	Beräknat värde
Tid för tömning av vagn	0,03	0,03	timmar	Beräknat värde
Total tid för tömning av vagnar per fält	0,42	1,26	timmar	

Tabell 43. Återtransport till fält

Table 43. Return transport to field from storage

	Fältstorlek ha	2 Fältstorlek 6 ha	Enhet	Kommentar
Hastighet på väg, lastad	9,1	9,1	km/h	Danfors och Nordén, 1995
Transporterad sträcka	0,5	0,5	km	Grundindata för kalkyler
Antal turer per fält	13,79	41,38	turer	Beräknat värde
Avrundat antal turer	14	42	turer	Beräknat värde
Tid för transport av vagn	0,05	0,05	timmar	Beräknat värde
Total tid för transport från lager till fält	0,77	2,31	timmar	

Tabell 44. Transport landsväg till anläggning

Table 44. Road transport of billets to plant

	Fältstorlek 2 ha	Fältstorlek 6 ha	Enhet	Kommentar
Lastvolym container	40	40	m ³	Grundindata för kalkyler
Antal containers per lastbil	3	3	st	Grundindata för kalkyler
Total volym lastad	120	120	m ³	Beräknat värde
Total vikt per lass	35	35	ton	Beräknat värde
Skördad mängd per fält	80	240	ton	Beräknat värde
Antal lass per fält	2,30	6,90	st	Beräknat värde
Avrundat antal lass per fält	3	7		Beräknat värde
Hastighet på väg, olastad	80	80	km/h	Grundindata för kalkyler
Transportsträcka till lager	30	30	km	Grundindata för kalkyler
Tid för utkörning per lass	0,38	0,38	timmar	Beräknat värde
Tid för utkörning per fält	1,1	2,6	timmar	
Tid att lasta på lastbil per lass	0,83	0,83	timmar/t on	Hadders (2002), on
Tid att lasta lastbil, per fält	2,5	5,8	timmar	Beräknat värde
Hastighet på väg	80,00	80,00	km/h	Grundindata för kalkyler
Transportsträcka till anläggning	30	30	km	Grundindata för kalkyler
Tid för landsvägstransport per lass	0,38	0,38	timmar	Beräknat värde
Tid för landsvägstransport per fält	1,13	2,63	timmar	Beräknat värde
Tid för avlastning av Salixflis per lass	0,28	0,28	timmar	Beräknat värde
Tid för avlastning per fält	0,85	1,98	timmar	Beräknat värde
Summa tid per fält	5,6	13,1	timmar	

Tabell 45. Traktor och vagn på väg

	Fältstorlek 2 ha	Fältstorlek 6 ha	Enhet	Kommentar
Hastighet på väg	30	30	km/h	Antaget värde
Transporterad sträcka	10	10	km	Antaget värde
Tid för transport av container generellt tidstillägg	0,33	0,33	timmar	Beräknat värde Antaget värde
Total tid för transport per fält	0,67	0,67	timmar	

B.3 Indata till skördesystem med buntskördare

Skördemaskin, buntskördare

Tabell 46. Tid skörd i rad

	Fältstorlek 2 ha	Fältstorlek 6 ha	Enhet	Kommentar
Hastighet i rad	5,0	5,0	km/h	Lindqvist pers med. (2008)
Radlängd	200	347	m	Samma som för direktflisning
Fältets bredd	100	173	m	Samma som för direktflisning
Antal dubbelrader	45	77	st	Samma som för direktflisning
Total sträcka som skördas	9 000	26 719	m	Samma som för direktflisning
Tid för att skörd av fält	1,80	5,34	timmar	Beräknat värde
Total tid för skörd	5,40	5,34	timmar	Beräknat värde

Tabell 47. Tid vändning

	Fältstorlek 2 ha	Fältstorlek 6 ha	Enhet	Kommentar
Antal vändningar	45	77	st	Beräknat värde
Ekipagets vändradie	6	6	m	Antaget värde
Arbets hastighet i vändning	5,0	5,0	km/h	Antaget värde
Tid för vändning	0,01	0,01	timmar	Beräknat värde från Witney (1995)
Total tid för vändning per fält	0,34	0,58	timmar	Beräknat värde

Tabell 48. Skördeekipage

	Fältstorlek 2 ha	Fältstorlek 6 ha	Enhet	Kommentar
Transporterad sträcka	10	10	km	Antaget värde
Tid för transport av container	0,33	0,33	timmar	Beräknat värde
generellt tidstillägg	0,33	0,33	timmar	Antaget värde

Traktor och huggarvagn

Tabell 49. Insamling av buntar

	Fältstorlek 2 ha	Fältstorlek 6 ha	Enhet	Kommentar
Antal buntar per fält	425	1275	st	Beräknat värde, Liss (2003)
Avstånd mellan buntar	21	21	m	Beräknat värde, Liss (2003)
Total tid för att lyfta buntar	5,8	17,4	timmar	Beräknat värde, Liss (2003)

Tabell 50. Transport av buntar till lager

	Fältstorlek 2 ha	Fältstorlek 6 ha	Enhet	Kommentar
Antal lass	43	128	lass	Beräknat värde, Liss (2003)
Körd sträcka till lager från fält	0,50	0,50	km	Grundindata för kalkyler ¹
Tid för att köra till lager	0,1	0,1	timmar/lass	Beräknat värde, Liss (2003)
Total tid för att köra till lager från fält	3,2	9,7	timmar	Beräknat värde, Liss (2003)
Tid för att lossa buntar	3,2	9,5	timmar	Beräknat värde, Liss (2003)
Körd sträcka från lager till fält	0,50	0,50	km	Grundindata för kalkyler
Tid för att köra från lager till fält	0,1	0,1	timmar/lass	Beräknat värde, Liss (2003)
Total tid för att köra från lager till fält	2,3	7,0	timmar	Beräknat värde, Liss (2003)
Total tid för transport av buntar	8,7	26,1	timmar	

¹observera att endast vägtransporten från fältkant beaktas, tid för att tas sig av från fältet ingår inte

Tabell 51. Förflyttning mellan enskilda fält

	Fältstorlek 2 ha	Fältstorlek 6 ha	Enhet	Kommentar
Hastighet på väg, lastad	9,10	9,10	km/h	Danfors och Nordén (1995)
Transporterad sträcka	0,50	0,50	km	Beräknat värde
Tid för transport av ekipage	0,05	0,05	timmar	Beräknat värde
Antal förflyttningar	2,00		st	Beräknat värde
Total tid för transport per fält	0,11		timmar	

Timmerbil till kund

Tabell 52. Lastning av Salixbuntar

	Fältstorlek 2 ha	Fältstorlek 6 ha	Enhet	Kommentar
Antal buntar per lass	100	100	st	Egen beräkning utifrån Lindqvist (pers med.)
Total vikt per lass	19	19	ton	Egen beräkning utifrån Lindqvist (pers med.)
Skördad mängd per fält, torkat	80	240	ton	Beräknat värde
Antal lass per fält	4,25	12,75	st	Beräknat värde
Avrundat antal lass	5	13		Beräknat värde
Tid för lastning/lass	0,83	0,83	timmar	
Tid för lastning av Salix från ett fält	4,2	10,8	timmar	

Tabell 53. Transport landsväg till anläggning

	Fältstorlek 2 ha	Fältstorlek 6 ha	Enhet	Kommentar
Transportsträcka till lager	30	30	km	Grundindata för kalkyler
Tid för utkörning per lass	0,38	0,38	timmar	Beräknat värde
Tid för utkörning per fält	1,88	4,88	timmar	Beräknat värde
Tid för att lasta på lastbil per lass	0,38	0,38	timmar/ton	Liss, 2003
Tid för att lasta på lastbil	1,9	5,0	timmar	Beräknat värde, Liss (2003)
Transportsträcka till anläggning	30	30	km	Grundindata för kalkyler
Tid för landsvägstransport per lass	0,38	0,38	timmar	Beräknat värde
Tid för landsvägstransport	1,88	4,88	timmar	
Tid för avlastning av buntar per lass	0,44	0,44	timmar	Beräknat värde, Liss (2003)
Tid för avlastning av buntar	2,22	5,78	timmar	Beräknat värde, Liss (2003)

Tabell 54. Flisning av buntar

	Fältstorlek 2 ha	Fältstorlek 6 ha	Enhet	Kommentar
Tid för inmatning av samtliga buntar	0,6	1,9	timmar	Beräknat värde, Liss (2003)
Sönderdelning av bunt	0,0030	0,0030	timmar	Beräknat värde, Liss (2003)
Tid för sönderdelning av samtliga buntar	1,3	3,8	timmar	Beräknat värde, Liss (2003)
Tid för flisning	1,9	5,7	timmar	Beräknat värde, Liss (2003)

Tabell 55. Traktor och vagn på väg

	Fältstorlek 2 ha	Fältstorlek 6 ha	Enhet	Kommentar
Transporterad sträcka	10	10	km	Antaget värde
Tid för transport av container	0,33	0,33	timmar	Beräknat värde
generellt tidstillägg	0,33	0,33	timmar	Antaget värde

C Använda data för ekonomiska kalkyler

C.1 Flisskörd, container

Tabell 56. Skördemaskin, skärbord

Parameter	Värde	Enhet	Kommentar
inköpspris	600 000	kr	Enligt Sjöström, (pers. medd., 2008-11-18) 600 - 650 kkr för ett skärbord för tio år sedan och ungefär lika mycket idag. Skärbord 2-3 blir något billigare. Skärbord nummer 10 bör kosta ca 350 kkr. Med många skärbord bör Salixbordet kosta ungefär som ett majsbord.
livslängd	6	år	Antaget värde
annuitet	0,20336	%	Beräknat värde
Underhåll per timme	60	kr/h	Agriwise (www): 0,4-09 per kkr i återanskaffningsvärdet (åav), och per timme för betupptagare.
drivmedel till maskin	0	l/h	Finns beaktad i traktorkalkylen
traktorkostnad	0	kr/h	Finns beaktad i traktorkalkylen
Driftstid timmar per år totalt	800	timmar/år	Enligt Sjöström (pers. medd., 2008-11-18) används Claasskördaren mellan 400 och 1 100 tim per år. Rimligt värde kan vara 800 tim.
administration per fält	500	kr/fält	Rosenqvist (pers med.), Skall täcka kostnader och tid för att se objekt före skörd, kontakt med lantbrukare osv.
administration för skördare	20	kr/h körtid	Rosenqvist (pers med.) skall täcka kostnader och tid för arbetsledning och organisation.
försäkring	1 200	kr/år	Agriwise (www): Försäkringar traktorer 0,3 % av åav, tröskor 0,2 % och övriga maskiner 0,1 % av åav. Ev. premie för maskinskadeförsäkring räknas inte in här. Den ingår i stället i underhåll, eftersom en sådan försäkring skall betala reparationer.

Tabell 57. Basmaskin till skärbord

Parameter	Värde	Enhet	Kommentar
inköpspris	2 070 000	kr	90 % av listpris, Enligt Lindqvist (pers med.) 2600 kkr. HIR Maskinkostnader (2008) 2000 kkr. Enligt Sjöström (pers med.). 2000 kkr + 300 kkr i anpassning av basmaskin till Salix
livslängd	10	år	Kort livslängd p.g.a att traktorn även används i jordbruk och ta endast del av fasta kostnader på skördare, t.ex. 80 %
annuitet	0,13587	%	
Underhåll per timme	207	kr/h	Rosenqvist (pers med.) 1 % av kkr i åav per timme i underhåll p.g.a. högt utnyttjande
drivmedel till maskin	50	l/h	Lindqvist (pers med.) 40 l/h. Enligt Sjöström (pers med.). 50 l/h vid fältarbete
Driftstid timmar per år totalt	800	timmar/år	Se skördemaskin
administration per 0 fält		kr/fält	Se skördemaskin
administration för 0 skördare		kr/h körtid	Se skördemaskin
försäkring	6 210	kr/år	Agriwise (www) Försäkr traktorer 0,3 % av återanskaffningsvärdet (åav), tröskor 0,2 % och övr maskiner 0,1 % av åav. Ev. premie för maskinskadeförsäkring räknas inte in här. Den ingår i stället i underhåll, då en sådan försäkring ska betala reparationer.

Tabell 58. Fältvagn efter skördemaskin

Parameter	Värde	Enhet	Kommentar
inköpspris	216 000	kr	HIR Maskinkostnader (2008) . Pris för tippvagn 20 ton. Enligt Sjöström (pers med.). 240 till 260 kkr för högtippvagn.
livslängd	15	år	Antaget värde
annuitet	0,10296	%	
Underhåll per timme	43,2	kr/ h	Agriwise (www): 0,4 per kkr i åav och per timme för vagnar. Stor användning minskar underhåll per timme. Antaget värde 0,2
traktorkostnad	0	kr/h	Finns beaktad i traktorkalkylen
Driftstid timmar per år totalt	800	timmar/år	Rosenqvist (pers med.) egen bedömning
administration per 0 fält		kr /fält	Rosenqvist (pers med.) egen bedömning:
administration för 0 skördare		kr/h körtid	Rosenqvist (pers med.) egen bedömning, Skall täcka kostnader och tid för arbetsledning och organisation.
försäkring	432	kr /år	Enligt Agriwise (www) Försäkr traktorer 0,3 % av åav, tröskor 0,2 % och övr maskiner 0,1 % av åav. Ev. premie för maskinskadeförsäkring räknas inte in här. Den ingår i stället i underhåll, då en sådan försäkring ska betala reparationer.

Tabell 59. Containervagn

Parameter	Värde	Enhet	Kommentar
inköpspris	270 000	kr	Bedömt pris utifrån HIR maskinkostnader (2008)
livslängd	15	år	Antaget värde
annuitet	0,10296	%	
underhåll/timme	54	kr/timme	Enligt Agriwise (www): 0,4 per kkr i åav och per timme för vagnar. Stor användning minskar underhåll per timme. Antaget värde 0,2
Drifttid timmar per år totalt	800	timmar/år	
administration per fält	100	kr/fält	Rosenqvist (pers med.) egen bedömning: Huvuddelen av administration ligger på skördare.
administration för skördare	20	kr/timme körtid	Rosenqvist (pers med.) egen bedömning, Skall täcka kostnader och tid för arbetsledning och organisation.
försäkring	540	kr /år	Enligt Agriwise (www): Försäkringar traktorer 0,3 % av åav, tröskor 0,2 % och övriga maskiner 0,1 % av åav. Ev. premie för maskinskadeförsäkring räknas inte in här. Den ingår i stället i underhåll, eftersom en sådan försäkring skall betala reparationer.

Tabell 60. Traktor till fältvagn

Parameter	Värde	Enhet	Kommentar
inköpspris	720 000	kr	Pris från HIR maskinkostnader (2008), oprutat pris Kort livslängd p.g.a att traktorn även används i jordbruk och ta endast del av fasta kostnader på skördare t.ex. 2/3
livslängd	10	år	
annuitet	0,13587	%	
underhåll/timme	50,4	Kr kr/per timme	Från Agriwise, Det lägre värdet 0,7 kr i % av kkr i åav per timme i underhåll p.g.a. högt utnyttjande
drivmedel till maskin	22	l/timme	Från HIR, 130 kW traktor. Reducerat med 2 liter p.g.a. en del lättare körning
Drifttid timmar per år totalt	800	timmar per/år	
administration per fält	0	kr/fält	
administration för skördare	0	kr/timme körtid	
försäkring	2160	kr/år	Enligt Agriwise: Försäkringar traktorer 0,3 % av åav, tröskor 0,2 % och övriga maskiner 0,1 % av åav. Ev. premie för maskinskadeförsäkring räknas inte in här. Den ingår i stället i underhåll, eftersom en sådan försäkring skall betala reparationer.

Tabell 61. Containers

Parameter	Värde	Enhet	Kommentar
Hyra	36 576	kr	Hyra 1016 per container och månad, Första tre containrarna är hyresfria. Totalt containerbehov är 9 containrar varav det betalas hyra för 6 containrar. Antagen hyrestid 6 månader.
Driftstid timmar per år totalt	800	timmar/år	
administration per 100 fält		kr/fält	Rosenqvist (pers med.) egen bedömning: Huvuddelen av administration ligger på skördare. Extra tid vid flera små fält

C.2 Buntskörd

Tabell 62. Skördemaskin

Parameter	Värde	Enhet	Kommentar
inköpspris	1 500 000	kr	Lindqvist (pers med.) 1 500 kkr. Enligt samtal med Mats W 2008-11-18 kostar en maskin idag 2,5 milj. Den tionde maskinen skulle kosta ca 1,5 milj efter prutning.
livslängd	6	år	
annuitet	0,20336	%	
underhåll/timme	150	kr/timme	Enligt Agriwise (www): 0,4-09 per kkr i åav och per timme för betupptagare.
Driftstid timmar per år totalt	1 000	timmar/år	Antaget värde
administration per 500 fält		kr/fält	Rosenqvist (pers med.) egen bedömning, Skall täcka kostnader och tid för att se objekt före skörd, kontakt med lantbrukare osv.
administration för skördare	20	kr/timme körtid	Rosenqvist (pers med.) egen bedömning, Skall täcka kostnader och tid för arbetsledning och organisation.
försäkring	3 000	kr/år	Agriwise (www) Försäkringar traktorer 0,3 % av åav, tröskor 0,2 % och övriga maskiner 0,1 % av åav. Ev. premie för maskinskadeförsäkring räknas inte in här. Ingår i underhåll, eftersom en sådan försäkring skall betala reparationer.

Tabell 63. Traktor till skördemaskin

Parameter	Värde	Enhet	Kommentar
inköpspris	576 000	Kr	HIR Maskinkostnader (2008)
livslängd	10	År	Kort livslängd p.g.a. att traktorn även används i jordbruk och ta endast del av fasta kostnader på skördare t.ex. 2/3
annuitet	0,13587	%	
underhåll/timme	40,32	kr/timme	Agriwise (www) 0,7 kr i % av kkr i åav per timme i underhåll p.g.a. högt utnyttjande
drivmedel till maskin	17	l/timme	Från HIR Maskinkostnader (2008), 100 kW traktor
Driftstid timmar per år totalt	1 000	timmar/år	Se skördemaskin
administration per 0 fält		kr/fält	Se skördemaskin
administration för 0 skördare		kr/timme körtid	Se skördemaskin
försäkring	1 728	kr/år	Agriwise (www): Försäkringar traktorer 0,3 % av åav, tröskor 0,2 % och övriga maskiner 0,1 % av åav. Ev. premie för maskinskadeförsäkring räknas inte in här. Den ingår i stället i underhåll, eftersom en sådan försäkring skall betala reparationer.

C.3 Bitskörd

Tabell 64. Skördemaskin

Parameter	Värde	Enhet	Kommentar
inköpspris	1 500 000	kr	Lindqvist (pers med.)
livslängd	6	år	
annuitet	0,20336	%	
underhåll/timme	150	kr/timme	Agriwise (www): 0,4-09 per kkr i åav och per timme för betupptagare.
Driftstid timmar per år totalt	800	timmar/år	
administration per 500 fält		kr/fält	Rosenqvist (pers med.) egen bedömning, Skall täcka kostnader och tid för att se objekt före skörd, kontakt med lantbrukare osv.
administration för 20 skördare		kr/timme körtid	Rosenqvist (pers med.) egen bedömning, Skall täcka kostnader och tid för arbetsledning och organisation.
försäkring	3 000	kr/år	Agriwise (www): Försäkringar traktorer 0,3 % av åav, tröskor 0,2 % och övriga maskiner 0,1 % av åav. Ev. premie för maskinskadeförsäkring räknas inte in här. Den ingår i stället i underhåll, eftersom en sådan försäkring skall betala reparationer.

Tabell 65. Traktor till bitskördare

Parameter	Värde	Enhet	Kommentar
inköpspris	1 215 000	kr	HIR Maskinkostnader (2008) Oprutat pris
livslängd	10	år	Kort livslängd p.g.a. att traktorn även används i jordbruk och ta endast del av fasta kostnader på skördare t.ex. 2/3
annuitet	0,13587	%	
underhåll/timme	85,05	kr/timme	Agriwise (www) Det lägre värdet 0,7 kr i % av kkr i åav per timme i underhåll p.g.a. högt utnyttjande
drivmedel till maskin	37	l/timme	Från HIR Maskinkostnader (2008), 100 kW traktor
Driftstid timmar per år totalt	800	timmar/år	Se skördemaskin
administration per 0 fält		kr/fält	Se skördemaskin
administration för 0 skördare	0	kr/timme körtid	Se skördemaskin
försäkring	3 645	kr/år	Agriwise (www): Försäkringar traktorer 0,3 % av åav, tröskor 0,2 % och övriga maskiner 0,1 % av åav. Ev. premie för maskinskadeförsäkring räknas inte in här. Den ingår i stället i underhåll, eftersom en sådan försäkring skall betala reparationer.

Tabell 66. Fältvagn

Parameter	Värde	Enhet	Kommentar
Inköpspris	234 000	kr	HIR Maskinkostnader (2008) Pris för tippvagn 20 ton
Livslängd	15	år	Antaget värde
Ränta	6	%	Antaget värde
Annuitet	0,10296	%	Beräknat värde
Underhåll per timme	46,8	kr/timme	Agriwise (www): 0,4 per kkr i åav och per timme för vagnar. Stor användning minskar underhåll per timme. Antaget värde 0,2
Driftstid timmar per år totalt	800	timmar/år	
Administration per fält	100	kr/fält	
Administration för 20 skördare	20	kr/timme körtid	Rosenqvist (pers med.) egen bedömning: Huvuddelen av administration ligger på skördare.
Försäkring	468	kr/år	Agriwise (www): Försäkringar traktorer 0,3 % av åav, tröskor 0,2 % och övriga maskiner 0,1 % av åav. Ev. premie för maskinskadeförsäkring räknas inte in här. Den ingår i underhåll, eftersom en sådan försäkring skall betala reparationer

Tabell 67. Traktor till fältvagn

Parameter	Värde	Enhet	Kommentar
inköpspris	576 000	kr	HIR Maskinkalkyler (2008).
livslängd	10	år	Kort livslängd p.g.a. att traktorn även används i jordbruk och ta endast del av fasta kostnader på skördare t.ex. 2/3
annuitet	0,13587	%	
underhåll/timme	40,32	kr/timme	Agriwise (www) Det lägre värdet 0,7 kr i % av kkr i åav per timme i underhåll p.g.a. högt utnyttjande
timlön	210	Kr	Agriwise (www): 103 kr/timme i lön för traktorförare, I Agriwise kalkylexempel blir timkostnad det dubbla med semester, 200 timmar övertid osv. Dock är inte skiftarbete beaktat i denna siffra. P.g.a. Skiftarbete ökas lönen något. OB tillägg för djur
drivmedel till maskin	16	l/timme	Från HIR Maskinkalkyler (2008), 100 kW traktor, reducerat en liter/h p.g.a. en del lättare arbete
Driftstid timmar per år totalt	800	timmar/år	
administration per 0 fält		kr/fält	
administration för 0 skördare		kr/timme körtid	
försäkring	1 728	kr/år	Agriwise (www): Försäkringar traktorer 0,3 % av åav, tröskor 0,2 % och övriga maskiner 0,1 % av åav. Ev. premie för maskinskadeförsäkring räknas inte in här. Den ingår i stället i underhåll, eftersom en sådan försäkring skall betala reparationer.

D Skördemaskiner – inventering

I detta kapitel redovisas den litteraturinventering av olika skördemaskiner som utfördes som grund för valet av maskinsystem att studera i detta projekt. Beskrivningen av skördemaskinerna är indelade i olika avsnitt enligt de huvudsakliga principerna för skörd – direktflisning, bitskörd och buntskörd – som beskrivs i kapitel 3. Se även tabellen med en översikt av olika skördemaskiner i kapitel 3.

Kapaciteten på olika maskiner anpassade för skörd av Salix varierar mycket. Det bör beaktas att många skördemaskiner som funnits eller finns fortfarande varit/är prototyper eller inte tillverkats i mer än en eller ett fåtal upplagor. Därmed kan jämförelse av prestanda med mer beprövade skördemaskiner vara orättvis. Uppgifterna redovisas på många olika sätt och det är ofta oklart vilka moment som ingår, t.ex. om skörd i rad avses eller om stopp ingår, och under vilka förutsättningar kapaciteten gäller varför en allmän jämförelse av kapaciteter inte görs här.

En rad faktorer påverkar vilken kapacitet som uppnås vid skörd, såsom stammarnas tjocklek, beståndets täthet och om det är homogent eller ojämnt vad gäller stamtjocklek, väderlek och bärighet i mark osv. I de fall där enstaka mätningar gjorts kan kapaciteten i stor grad ha påverkats av omständigheter, vilket kan ha givit sämre resultat än vad maskinen kan prestera. I denna text redogörs inte för de olika förutsättningar som gällt vid test av maskinernas prestanda – detta dels då det kräver mycket plats, dels då uppgifter om detta i vissa fall inte funnits.

D.1 Direktflisande skörd

Claas Jaguar

Det vanligast förekommande systemet för skörd av Salix i Sverige idag tillämpas av Lantmännen Agroenergi AB. En självgående hack (Claas Jaguar) används då i kombination med containrar för direkt leverans till värmeverket. Skördaren bogserar en högtippande vagn, som dumpar flisen i containrar som placeras i fältkant och som sedan hämtas upp av lastbil.

Lantmännen Agroenergi äger 7 skärbord, av modell HS2 skärbord, som körs med Claas Jaguar 840 av kontrakterade entreprenörer (Larsson och Lindegaard, 2003). Stammarna bör med dessa skördare inte vara mer än 60 mm i diameter på en nivå 10 cm över markytan för att skördemaskinerna skall fungera väl (www.agroenergi.se, 080504).

Skördemaskinen är utrustad med ett tvåradigt specialskärbord för att skörda Salix. Skotten sågas av med två stora roterande sågklingor, en per rad i en dubbelrad, och transporteras sedan vidare in i maskinen där en stor rotor med knivar flisar grödan, varefter den transporteras vidare ut till en vagn.

Claas-skördaren måste således lasta av den skördade flisen. Dock tar det inte så lång tid: raderna görs så långa att vagnen blir full när skördaren närmar sig radslutet, där en container placeras. Avlastning tar mer tid, men om raderna är korta behöver man dock inte vänta för den medföljande traktorn att vända och ställa sig i position för tippning. Skördaren och traktorernas kapacitet är dock högre än transportfordonen, d.v.s. det är viktigt att det finns tillräcklig transportkapacitet för att undvika onödiga stopp av skörden. En fördel med systemet är att inte så många maskiner krävs samt att de är billigare att flytta mellan skördeplatser (Spinelli, 2001b).

Agroenergi har ofta modifierat utrustningen och bytt olika komponenter i skärborden (Larsson och Lindegaard, 2003). Den senaste Claas skördaren som Lantmännen Agroenergi använder har ett skärbord kallat HS2, som ersatte den tidigare HS1, som bl.a. har större sågklingor. Kapaciteten blev då uppskattningsvis 20 % högre än den tidigare versionen baserad på en Claas Jaguar 695. Detta beror på ökad maskineffekt och den förbättrade designen på skärbordet, som orsakar färre stopp och är mer tillförlitlig (Spinelli, 2001b). Claas-skördaren har dock problem med framkomlighet om marken inte har god bärighet, då fyrhjulsdriften inte hjälper mycket och maskinen sjunker ned. Breda däck kan användas när avståndet är 150 cm mellan raderna, men de dessa har nackdelen att de lättare kan få punkteringar (Spinelli, 2001b).

Skottdiametern bör ligga mellan 35-55 mm med det nya skördebordet. Det klarar att skörda enstaka stammar med en diameter på 75-80 mm diameter men går snart sönder om den skördar dessa under en längre tid.

Den största nominella flisstorleken är 34 mm, och uppnås genom att ta bort vartannat blad från rotn. Fler blad kan inte tas bort då knivfästena i mellanrummen skulle skadas (Spinelli, 2001). Claas tillverkar även kraftigare modeller än 840-modellen som Agrobränsle använder. Dessa modeller benämns 850 and 880, och kan utrustas med kraftigare skärbord och på så sätt hantera tjockare stammar. I Italien, där hybridpoppel skördas, är de flesta skördarna baserade på Claas Jaguar 850 and 880.

Claas Jaguar 850 med HS2 skärbord

Enligt en manual framtagen inom EU-projektet Alpenenergywood används i Italien en Claas Jaguar 850 med ett HS-2 skärbord som har kapaciteten 14-17 ton ts/h (inklusive stopp). Den har en effekt på 286 kW och fungerar bäst med stamdiametrar på maximalt 60 mm. Arbetskostnaderna är 43 EUR/ton ts (gäller fält på 5 ha med en avkastning på 120 ton ts/ha, då två traktorer användes och en trailer att lasta flisen på (Spinelli, 2007; Van Oosten, C., 2008).

Claas Jaguar 880 med GBE 1 skärbord

I Italien finns även en ny prototyp till ett skördebord för en Claas Jaguar 880, som varit under utveckling sedan år 2005. Den är designad för att klara grövre stammar med diameter upp till 8 cm, men klarar även stammar av diametern 10-12 cm. Skördaren har visat en skördekapacitet på över 32 råton/h och i medel 16 ton råton/h (exklusive väntetid för trailern) på poppelbestånd skördade vartannat år med en diameter på 8-10 cm i stubbhöjd. Prototypen utvecklas av CNER (National Consortium of Renewable Agricultural Energy) och testas i samarbete Region Lombardia-Agriculture Department, CNR Ivalsa och Agriteam (Van Oosten, C., 2008).

CRL Mk II skärbord

Företaget Coppice resource Limited (CRL) i Storbritannien började år 1998 att utveckla ett skärbord för direktflisning i samarbete med bl.a. Claas. Skärbordet, kallas CRL Mk II och används sedan 2001 på en Claas Jaguar 860 (400 hk). Skördaren är något modifierad, genom att den fått förstärkta matningshjul, skydd under maskinen och bredare däck för att minimera påverkan på mark. Flisens storlek kan anpassas med avseende på kundernas specifikationer. Skärbordet skördar effektivast vid en stamdiameter upp till 8 cm och 8 meters höjd, men har kapat stammar med en maximal diameter på 15 cm vid basen. Skördarens kapacitet beror enligt CRL på Salixbeståndets beskaffning, men målet är att klara 125 ton ts per dag. Storleken på flisen varierar mellan 4 och 34 mm i längd, i medel ca 30 mm. Skördaren såldes och exporterades till en Salixodlare på Nordirland i mars 2007 (Van Oosten, C., 2008).

CRL utvecklade under 2005 ett skärbord åt SUNY (State University of New York), Cornell University och Case New Holland, som exporterades till New York i april 2006 och testades i fältförsök. Skärbordet var ursprungligen designat för en Claas Jaguar men anpassades och monterades på en New Holland FX45 vallskördare vilket innebar den enda modifieringen att det mekaniska drivsystemet gjordes hydrauliskt. Systemet gav en jämn fliskvalitet, där den kapningsdiametern max borde ligga på 7-8 cm på stubbnivå för bästa effektivitet (Van Oosten, C., 2008).

CRL tillverkar nu utifrån det tidigare skördebordet en ny version som anpassas till en ny större hack, Claas Jaguar 900, med syftet att uppnå en högre skördekapacitet och minskad bränsleförbrukning. Maskinen ska även vara lätt att använda med olika maskiner, inklusive Claas, New Holland, John Deere, Krone etc. Den ska nu testas för att se om en större kapacitet kan uppnås med den större basmaskinen eller om man kommit till en punkt där mer effekt inte hjälper (CRL, 2008).

Innan skärbordet beställdes hade SUNY testat skördaren Bender. Den gav dock en ojämn fliskvalitet, vilket gav hanteringsproblem i fält, och var inte robust nog för förutsättningarna i New York (Van Oosten, C., 2008).

LWF Prototype

Prototypen LWF är under utveckling i Italien och monteras på traktorn, som bör ha en minimal effekt på 100 kW. Den har en massiv cylinder inuti som har ett spiralblad som löper runt den med vertikala knivar monterade längsmed bladet. Skördaren kapar skotten som dras in till kap-enheten där de delas upp av spiralbladet i 10 cm kapade bitar, vilka sedan matas ut i en vagn bakom traktorn. Utförda fälttest visar att maskinen kan uppnå kapacitet på 2 ton ts/h vid ett bestånd med avkastningen 12,8 ton ts/ha. Maskinen är enkel då den kapande enheten flyttar vidare de kapade skotten, vilket sparar tid och kraft, men begränsas av att matningshastigheten inte kan regleras (Spinelli, 2007).

Spapperi Prototype

Det direktflisande aggregatet Spapperi, som är under utveckling i Italien, frontmonteras på en traktor som bör ha en minsta effekt på 100kW. Aggregatet har två cirkelsågar som roterar på samma axel samt två tandade matningshjul som för de fällda stammarna in i flisningsenheten. Utförda fälttest visar att maskinen kan uppnå kapacitet på 3,8 ton ts/h vid ett bestånd med avkastningen 14,3 ton ts/ha. Maskinen relativt tillförlitlig, då stopp utgör mindre än 20 % av den totala arbetstiden. Aggregatet är utvecklat för att tillgodose behoven av mekanisering hos små och medelstora företag, enligt (Spinelli, 2007).

Bender

Salixmaskiner har utvecklat en serie direktflisande traktormonterade skördeaggregat. Benden kapar Salixskotten med en lång sågkedja, vilket betyder att den inte behöver köras längs med raderna (radoberoende). Detta kan enligt tillverkaren ha en fördel vid små fält, där man inte vill att väntegar ska ta upp en alltför stor del av fältet. Man kan därmed odla upp hela fältet och börjar vid skörd således med att avverka på kanterna så att man får en vändteg där övriga maskiner kan komma fram (Lindqvist, pers. medd., 2009).

Bender introducerades år 1993 och har gått igenom en rad modifieringar. Några olika maskiner finns i bruk. Bender Mark I var en prototyp. Bender Mark 2 och Mark 3 användes under nära tio år vid skörd av mindre fält av Salix med längre avstånd mellan varandra och där det inte lönade sig att köra den självgående Claas-skördaren. Versionen Bender Mark 3, är

nyligen såld vidare till ett danskt företag. Versionen Bender Mark 5 finns i Polen där den används för skörd av sly på vilt bevuxna åkrar (Lindqvist, pers. medd., 2008). En ny version är under utveckling (Modular Bender 6WG), som kan flisa eller kapa stammarna till bitar vid skörd, se nedan. Enligt (Spinelli et al, 1997) är fördelen med ett aggregat som Bendern att det kan monteras på en traktor, som kan vara anpassad efter lokala förhållanden. Traktorn kan även användas till andra saker, och investeringen kan därmed bli lägre.

Bender Mark III

Versionen Bender Mark III lämpar sig att monteras på traktorer med en motoreffekt på 120-150 kW, enligt Spinelli et al (1997). Aggregatets skärbord består av en sågkedja, med en skärvidd på 170 cm, monterad på fyra hjul. Hjulens sitter i sin tur på två raddelare med medar som löper längs marken och reglerar stubbhöjden. Salixskotten förs ihop av ett par horisontella inmatningskedjor på 1,5 m höjd över marken innan de kapas av sågkedjan. Skotten lyfts och dras in i en tratt där de viks och matas in i en flishugg. Detta moment innebär att mängden snö som följer med in i huggen minimeras. Skörden samlas i en behållare på traktorn, vilken kan tippas i sidled. Tömning av behållaren på 18 m³ (6 råton) tog cirka 45 sekunder. Flisen kan även samlas vid skörd i ett bredvidgående fordon genom att röret från huggen vinklas åt sidan.

Spinelli et al. (1997) har utfört skördeförsök med Bendern, där skördeaggregatet var monterat på en fyrhjulsdriven traktor (Case International 7120) med motoreffekten 150 kW. Kapaciteten i försöket var ganska låg, cirka 4 ton ts/h, delvis beroende på stopp oberoende av maskinen, varför Spinelli bedömde att en kapacitet på 7-9 ton ts/h borde kunna nås även i klena bestånd. Förlusterna var relativt små och flisens storlek jämn (25-30 mm) och hade jämna kapade snitt utan sprickor.

Vid försök utförda av Danfors och Nordén 1995, monterades en Bender Mark III på en fyrhjulsdriven traktor på 125 kW (170hk) av märket JCB Fastrac. Den högsta kapacitet som uppnåddes i försöket var 27 råton/h, tömning ej inräknat. Kapaciteten begränsades av att traktorns kapacitet inte var större än 125 kW.

Hartsough och Spinelli kommenterade i en utvärdering år 2001 att Bender Mark III köptes därefter av Agrobränsle för att ha den som ett komplement till Claas-skördaren för att använda på små fält på 2-3 ha. Förflyttningen av Claas skördaren skulle annars ta för stor del av totala skördetiden för att löna sig. En lättare och billigare skördemaskin skulle löna sig att köra på så lite som 50-100 ha per år, och borde passa en mindre entreprenör eller en större odlare, resonerade man.

Bender Mark V

En kort rapport finns om Bender Mark V som inspekterades av Hartsough och Spinelli (2001) i Salixmaskinens verkstad då den byggdes för SUNY/Salix Consortium. Man beskrev den som en helt ny maskin jämfört med tidigare versioner, då den var lättare, mer kompakt och med färre rörliga delar samt arbetade lite annorlunda.

Modular Bender 6WG

Salixmaskiner har en ny skördemaskin under utveckling, Modular Bender 6WG, som nu prestandatestas inför leverans till kund under 2009. Skördaren kommer att kunna antingen direktflisa eller kapa stammarna till ”billets” med justerbar längd, från 3 upp till 15 cm. Skördaren är tänkt kunna användas för dels för enstegsskörd och dels för tvåstegsskörd enligt följande två alternativ:

- Direkt skörd i kapade bitar (”billets”), som mellanlagras i högar för torkning.
- Skörd av helskott som ordnas i stuka längs raderna. När materialet torkat plockar samma maskin upp helskotten längs raderna och flisar eller kapar till bitar (”billets”) i samband med transport till värmeverk (Lindqvist, pers. medd., 2008).

Skördeaggregatet är under utveckling, varför den information som finns kommer från tillverkaren Salixmaskiner. Aggregatet ska klara klena så väl som höga övermogna bestånd av Salix och poppel, voluminösa gräsarter såsom hampa och blandade bestånd, i t.ex. viltbevuxen mark.

Jämfört med Bender mark 5 har Modular Bender 6WG:

- en dubbelt så stor inmatningsöppning (2,4 m)
- sex inmatningsrullar i stället för fyra
- För att förbättra dubbelvikningen och styrningen av materialet in i huggen, har två horisontella hydrauldrivna rullar lagts till (Lindqvist, pers. medd., 2008)

Avkapningsenhetens inmatningshöjd ska vara justerbar (0,5 till 1.5 m) och greppvinkeln ska underlätta skörd av höga så väl som låga bestånd. Den ska därmed kunna arbeta under djupsnö (upp till 80 cm). Avkapningsenheten hålls på önskad nivå hydrauliskt (från 5 cm). Med lämplig basmaskin ska skörd vara möjlig även under våta förhållanden. Avkapningskedjan är vidare flexibel åt alla håll för att minska slitage. Maskinen är radoberoende och kan skörda tvärs raderna för att skapa egna vändtegar och gator.

Maskinen kan producera kapade bitar av justerbar nominell längd på 3-15 cm, eller flis med storleken 1,5-5 cm. Benders kapacitet bestäms av basmaskinens motoreffekt. Med ca 300 KW når man Benders högsta prestanda och har tillgänglig effekt för olika fält och övrig logistisk. Basmaskinen avgör även framkomlighet i olika terräng- och markförutsättningar.

Segerslätt Empire 2000

Den självgående skördemaskinen Segerslätt Empire 2000 SRF byggdes om från en International Harvester (IH) skördetröska för skörd av helskott av Salix av REAB i Billeberga. Skördaren har kvar den ursprungliga karossen, motorn och hytten (Spinelli, 2001). Den hade hydrostatisk drivning av de fyra hjulen samt av sågklinga, uppmatning och lastning, samt bakhjulsstyrning. Empire 2000 kunde ta ett ungefär lika stort lass skott som ESM-skördaren och kapaciteten var i nivå med de direktflisande skördarna (Culshaw och Stokes 1995).

Skotten skördades i fronten, en dubbelrad i taget, där de styrdes in mot centrum med två skruvar varefter de kapas med sågklingor (750 mm), och transporterades stående bakåt till en lastficka där cirka 2,5 råton Salix kunde lagras liggande. Skotten lastades därefter över med hjälp av en elevator till en bredvidgående traktordragen vagn. Vagnbyte kunde därmed ske utan skördestopp. Vid lossning av skotten direkt på marken bildades högar med en höjd på 2-3 meter.

I försök utförda av JTI under första halvan av 90-talet låg de högsta uppnådda avverkningen på 55 råton/h (nedräknat med faktorn 0,7, d.v.s. inkl kortare avbrott), med följevagnar i fält.

Minst tre traktorer med släp som följde skördaren krävdes för att kontinuerligt ta reda på skörden. Genom att skördaren hade stor skördekapacitet krävdes en samordning av dessa för att arbetet ska fungera utan väntetider. Lasten tippades vid fältkant eller vid annat lämpligt ställe för lagring eller flisning (Danfors och Nordén, 1995).

Skördemaskinen beskrevs av Hartsough och Spinelli (2001) som relativt tung och med stora krav på god bärighet i mark, varför den inte kunde användas på ofrusen mark. Vikten var 12,2 ton utan last. Mer utförlig beskrivning om bl.a. skördarens höjd, bredd, spill vid skörd och kapacitet vid olika bestånd finns beskrivet i en rapport av Danfors och Nordén B (1995). Problem med matning vid skörd beskrivs av Hartsough och Spinelli (2001).

Maskinen såldes av Sten Segerslatt, REAB i Billeberga, kring år 2000 till institutet IMAG-DLO (Institute of Agricultural and Environmental Engineering på Agricultural University in Wageningen), och används på gården *Oostwaardhoeve*, i Wieringermeer Polder i norra Holland, där olika skördemetoder testas (Spinelli, R. och Hartsough, R., 2001).

Prototypen Chipset

Lantmännen Agroenergi utvecklade i ett projekt stött av Energimyndigheten en flisskördare avsedd för gallringsskog. Denna kompletterades med ett skärhuvud för avskiljning och inmatning av stammar i flisningsaggregatet. Prototypen, som kallas Chipset, skulle kunna skörda grövre stammar av *Salix* och ha möjlighet att gå på band. Maskinen har inte testats då företaget som utvecklade tekniken gick i konkurs. Agroenergi önskar dock ta upp projektet igen då tidiga prov visade sig lovande och företaget i fråga numera ombildats (Sjöström, pers. medd., 2008; Magnusson, pers. medd., 2009).

Gandini Bio Harvester 500 Prototype

Denna maskinprototyp tillämpar den mest avancerade tekniken inom sektorn energiskogsskörd för att ge maximal kapacitet, minimala arbetskostnader och en hög prestanda enligt en manual av Spinelli (2007) där främst skörd av poppel utvärderats i Italien. Maskinen matar fram materialet i tandade trummor och för sen över materialet i en dumper eller trailer, beroende på markförutsättningarna. Maskinen är särskilt lämplig för poppelskörd med femårig omloppstid, men klarar även klenare bestånd (5-45 cm i diameter), och kan anpassa sig till stammar med olika vikt och storlek genom de anpassningsbara tandade trummorna. Maskinen kräver en traktoreffekt på 132-190 kW, och väger 3, 9 ton. Skördekapaciteten för prototypen ligger mellan 30 och 50 råton/h och den kan skörda 1,5–2,5 ha/h, och man hänvisar till att mer detaljerade data kommer efter att fler fältförsök har utförts. Flisstorleken är anpassningsbar mellan 10 och 50 mm. Maskinen monteras på en traktor och kan skötas med hjälp av en fjärrkontroll av en person, som främst styr och övervakar. Den består av två delar – en del som kapar (motorsåg) och matar fram och en del som består av en flisningsmekanism med tandad utrustning.

D.2 Bitskörd

Austoft 7700/240 Salix harvester

Austoft 7700/240 Salix harvester är i grunden en självgående sockerrörsskördare som modifierades för skörd av Salix av Henriksson Salix AB i Klagstorp, med stöd från NUTEK. Entreprenören Gunnar Hendriksson använde även Austoft-skördaren under 10 år från år 1991 ”utan större klagomål” Spinelli (2001b).

Skördemaskinen drivs av en 176 kW dieselmotor. Skördaren är frontskärande och matar in skott med två bakåtlutade skruvar samt en bom som böjer ner skotten innan de kapas av med två sågklingor. Materialet matas in i maskinen med rullar till huggen, där sönderdelning till flis sker. Huggen har under åren förbättrats för att ge flis med jämnare och finare kvalitet, något som samtidigt också minskat skördekapaciteten då mer motorkapacitet krävs. Materialet faller från huggen ner i en tratt och förs sen med transportör över till en bredvidgående följevagn. Tratten kan användas för tillfällig förvaring, t.ex. i väntan på att följevagnen ska hinna ifatt vid vändning.

Vid försök utförda av JTI beräknades kapaciteten till 30 råton/h (nedräknat med faktorn 0,7, d.v.s. inkl kortare avbrott) vid bestånd på 60 råton/ha, alternativt 0,5 ha/h (0,7). Den högsta kapaciteten som uppmättes vid försök utförda av JTI uppgick till 34 råton/h (0,7). Motorstyrkan och huggens kapacitet var de begränsande faktorerna för kapaciteten (Danfors och Nordén, 1995).

Flisen har en större storlek än ”standardflis”, där huvudfraktionen anges ligga mellan 50 och 100 mm. (Forest Research, 1998)

I en utvärdering av *SWS Forestry Services* (O'Sullivan, 2006) anges skördekapaciteten till 1 ha/h vid 30 ton ts/ha (förmodligen ej inkluderat stopp). Bland skördarens fördelar angavs bl.a. hastigheten, att den kan skörda grova bestånd med diametrar upp till 10 cm samt lagringsfördelarna med s.k. billets jämfört med mindre flis.

D.3 Helskottsskörd

Rodster

Två av Salixmaskiners helskottsskördare finns i Sverige sedan 10 år. Rodster Mark II var ursprungligen en buntskördare (Bundler), som byggdes om och dimensionerades för att även kunna användas för skörd av skott att använda som vägpinnar (Lindqvist, pers. medd., 2008). Maskinen är byggd på en vagn på vilken skotten samlas genom transport med en uppåtlutande matning. På vagnen finns två grindar som kan öppnas för att dumpa av lasten åt endera sidan. Skotten kapas med samma typ av lösning som används för Bender och Bundler, som använder en sågkedja. Maskinen är radoberoende och kan kapa dubbelrader enligt standardmått, men även grödor som inte är odlade i rader. De två första versionerna har ungefär samma konstruktion, med skillnaden att Rodster Mark II är större, bredare och har ett transportband istället för två. En Rodster Mark II kostade cirka 60,000 € (80,000 € med tillval) år 2001 (Spinelli, R. och Hartsough, R., 2001).

Rodster Mark I skördade enligt Spinelli (2001) vägpinnar med en kapacitet av 4 h/ha, inkluderat bärgning till fältkant. Rodster Mark I kunde skörda stammar med en maximal diameter på cirka 3,5 cm. Rodster Mark II kunde enligt tillverkaren Salixmaskiner utan problem skörda stammar av diametern 80 mm, och hade i Finland även klarat diametern 100 mm. Mer finns beskrivet i rapporten av Spinelli och Hartsough (2001).

Stemster MK II

Helskottsskördaren Stemster MKII har tagits fram genom ett samarbete mellan maskintillverkaren HYTEK A/S och energibolaget Nordic Biomass i Danmark. Skördaren påminner om en huggarvagn fast med tätare sidor, och avsedd att skörda 3-4 år gamla bestånd av Salix. Skotten kapas vid marken på 10-15 cm höjd med hjälp av två roterande sågklingor varefter stammarna transporteras via ett band och lastas på skördarens vagn. Dess botten kan flyttas fram- eller bakåt en meter för att materialet ska landa rätt när det släpps från transportbandet. Elevatorns vinkel kan ändras under skörden, för att anpassas till en tom eller full vagn. Botten och sidorna på vagnen är utrustad med matarkedjor som används för att kompaktera det lastade materialet vid skörd genom att rulla stammarna på vagnen. Vagnen har fasta sidor, som kan vikas åt sidan för att tippa av materialet med hjälp av matarkedjorna. Sågbladens höjd anpassas genom att höja eller sänka hela maskinen, då de är fast monterade (Nordic Biomass, 2008).

Enligt tillverkaren är kapaciteten cirka 0,3 hektar per timme vid en avkastning om 80 ton. Kapaciteten beror mycket på förutsättningarna. Maskinen är dimensionerad för 8 cm-stammar, men kan hantera stammar upp till 12 centimeters diameter. De skördade stammarna läggs sedan vid vändtegen för att torka och senare flisas (ATL, 11 mars 2008).

Enligt Nordic Biomass har man uppnått en kapacitet på 9km/h i bestånd med tre år gammal pil på ca 6-8 ton ts/ha, men kör normalt med en skördehastighet på 5 – 7 km/h vid bestånd på 8-10 ton ts/ha (Falk J., pers. medd., 2008). Traktorns kapacitet bör vara 95-150 kW. Skördarens vikt är ca 7 ton och lastkapaciteten uppgår till 5,5 råton (Bonderup Kjeldsen, pers. medd., 2008).

Nordic Biomass använder en relativt ny traktor på 150 hk till skördaren. Salixen lastar de av på trädstammar, med diametern 200-300 mm, utlagda på marken för att materialet ska torka ur bättre samt inte bli fuktiga från marken (Falk J., pers. medd., 2008).

Tillverkaren Hytek finns i Sindal i Danmark, där även energibolaget Nordic Biomass har sin anläggning. Många av Salixodlingarna i det närbelägna området är vattensjuka och lätta, och lämpar mindre bra för konventionellt lantbruk. Själva anger de att de använder helskottstekniken för att de har små arealer och då det har varit omöjligt att få positivt täckningsbidrag med direktflisning (Falk J., pers. medd., 2008). Kostnaden för en komplett skördare är 190 000 euro, cirka 1,8 miljoner svenska kronor. Leveranstiden är sju månader (ATL, 11 mars 2008).



Figur 12. *Stemster MKII* (Foto: Nordic Biomass, 2008).

Figure 12. *Stemster MKII* (Photo: Nordic Biomass, 2008).

ESM 901

Denna självgående skördare av hela skott designades för att ge lågt marktryck och samlade stammar stående på ett tippflak bakom förarhytten. Maskinen utvecklades särskilt för skörd av *Salix* av företaget ESM-maskiner AB i Tullinge med medel från dåvarande Statens Energiverk, och utifrån en omfattande förprojektering utförd av konsultfirmorna Ergonomi desing gruppen och SIKOB samt Institutionen för skogsteknik i Garpenberg (Norén et al, 1984). JTI, som testade maskinen beskrev att den hade god framkomlighet och gav ringa skador på marken. Maskinen skördade en dubbelrad i taget. Skotten kapades av med sågklingor i fram och transporterades sedan stående med hjälp av två transportband bak till ett lastflak. Att skotten samlades stående på maskinen gav dock en omständlig hantering vid avlastning. Maskinen hade en motor på 74 kW (100hk), vägde 7,7 ton utan last och kunde ta ett lass på drygt 2 råton. Körhastigheten vid skörd utan avbrott var upp till 3,8 km/h och avverkningen 19 råton/h (0,7) i JTI:s test (Danfors och Nordén, 1995). Inga ytterligare maskiner producerades på dess höga kostnad (Culshaw och Stokes 1995).

Fröbbesta

Fröbbestaskördarna byggdes för skörd av *Salix* av Fröbbesta Maskin AB i Kolsva, och gjordes i två varianter; en bogserad, som inte fungerade så bra, och en självgående (Danfors och Nordén, 1995).

Den bogserade Fröbbestaskördaren byggdes under första delen av 90-talet för att kapa och samla skott i en behållare. Den drevs med en 80 kW (109 hk) traktor, vägde 3,1 ton. Maskinen skördade en dubbelrad i taget. Skotten kapades av med två sågklingor, fångades in med två avbärare med en skruv i mitten, och samlades i bak på vagnen med rotändan framåt. Skotten lades av i högar på ca 500 kg i fält, varefter vagnen fyllts upp. Den fälttestades av JTI 1995, då den största uppnådda kapaciteten var 18 råton/h (0,7). Vidare

var Fröbbestaskördaren billigare än ESM-skördaren, men kunde inte ta ett lika stort lass skott samt hade en kapacitet som var en bråkdel av direktflisande skördare (Culshaw och Stokes 1995).

Den självgående Fröbbesta-skördaren hade en främre del med två sågklingor som kapade av dubbelrader av skott, motor och förarhytt och en bakre del med ett tippbart flak varifrån de ihopsamlade skotten kunde tippas av. Skotten transporterades till flaket med hjälp av en skruv. Knippena med Salixskott tippades vanligen av i fältet och hämtades sedan med en skotare. Skördaren vägde 3,5 ton och hade en Perkins A4 632 dieselmotor, effekten angavs inte. I rapporten av Danfors och Nordén (1995) där maskinen beskrivs, nämns att inga arbetsstudier utförts.

D.4 Buntskörd

Bundler

Två direktbuntskördare utvecklades av Salixmaskiner under 90-talet, och testades inom ramen för EUs energiskogsodlings och förgasningsprogram Thermie 1994 i England och Belgien. Skördarna togs fram för att uppnå energimässiga fördelar, möjliggöra långtidslagring och förädla Salixen till olika produkter, bl.a. kapade bitar. Då projekten inte realiserades industriellt byggdes en av dem år 2000 om till en helskottsskördare (Rodster) och är sedan dess i privat ägo i Sverige (Lindqvist, pers. medd., 2008).

Stammarna kapades vid basen med en motorsågskedja, matades upp med en elevator på ett bord där de kontinuerligt matades in i en buntningsmekanism. Materialet buntades där ihop och kapades av till buntar med en sågklinga, varefter den kapade buntens släpptes till marken vid sidan av maskinen. Buntarna samlades sen ihop, t.ex. av en huggarvagn med kran, och samlades i fältkant, för eventuell lagring en tid.

År 1998 testades Bundlern av Arbre Energy i Storbritannien, under skörd av en av deras första kommersiella Salixodlingar. Skörden gick långsamt eftersom maskinen behövde stanna varje gång en bunt skulle kapas av och lastas av. Buntarna var 2 m långa och 60 cm i diameter, och vägde i medel 136 kg inlindade i ett polypropen-nät. Lagringsstudier utfördes även av Writtle College vilken redovisades i en studie av Beale och Morpeth (2000), se litteraturstudie om lagring (kapitel E).

Vid skörden fann man att Bundlern inte lämpade sig för odlingarna i Storbritannien, då Salixen var högre än i Sverige, fälten inte lika stora och inte heller av monokultur som i Sverige.

På grund av detta utfördes en rad förstärkningar av maskinen (av Chris Mell och Fred Walter från CRL). På grund av de höga kostnader som förutsågs för buntskörd och balning bestämde sig Arbre därefter att vintern 1999/2000 testa direktflisning vid skörd i stället (CRL, 2008).

Bundlern testades i fältförsök i Belgien 1999 av Centre de Recherches Agronomiques, Gembloux, där tre till fyraåriga bestånd skördades. Snitthastigheten vid skörd av 50 meter mättes till 197,4 sekunder, vilket gav hastigheten 0.9 km/h (0.25 m/s). Den kalkylerade skördeprestationen blev då 6,2 råton/h, eller ca 2,8 ton ts/h. Dock pekade man på att prestationen förmodligen skulle kunna vara mycket bättre vid bättre förutsättningar. Vid försöket hade man haft ihållande regn sedan en tid vilket gjorde att marken var mycket mjuk och lerig, och materialet var vått och inte heterogent vilket orsakade många stopp.

Goda skördeförutsättningar sammanfattade man som raka rader, ren mark utan kapade grenar i vägen, inte alltför stor lutning på marken samt tillräcklig god bärighet och torrt väder.

För skörd behövs ett antal maskiner. Bundlern, som hade vikten 4 ton, drogs av en John Deere JD 6800 traktor. Efter buntarna kapats av faller de till marken. I detta försök samlades de ihop och lyftes med en kran på en huggarvagn, se bilden nedan. Trailern kunde lastas med tio buntar och transporterade dem till anslutande väg där de lastades i hög och sen hämtades med lastbil.

Lastbilen kan antingen vara utrustad med en krok eller lastas med huggarvagnens krok, där man i försöket fann det att det första alternativet var flexiblast då det gav båda maskinerna möjlighet att gå på tomgång. Avlastning skedde företrädevis även med en kran.

Vid skörden ställdes buntlängden in på två meter (justerbar längd mellan 1 och 2,8 meter), och den genomsnittliga längden på de 487 buntarna som producerades blev 2,08 meter. Diametern var 60 cm. Avståndet mellan två avsläppta buntarna på mark var 17,7 meter. Vikten per bunt uppskattades, genom att den totala skördens vikt var känd, till 125 kg. En mer detaljerad beskrivning av försöken finns i rapporten av Centre de Recherches Agronomiques (1999). Enligt tillverkaren Salixmaskiners uppgifter är skördekapaciteten 20 råton/h (50 % fukthalt) (Lindqvist, pers. medd., 2008).



Figur 13. Huggarvagnen som användes för att samla in buntar (Centre de Recherches Agronomiques, 1999.

Figure 13. Trailer-mounted crane used for collecting bundles (Centre de Recherches Agronomiques, 1999.)

D.5 Rundbalspressning

New Holland

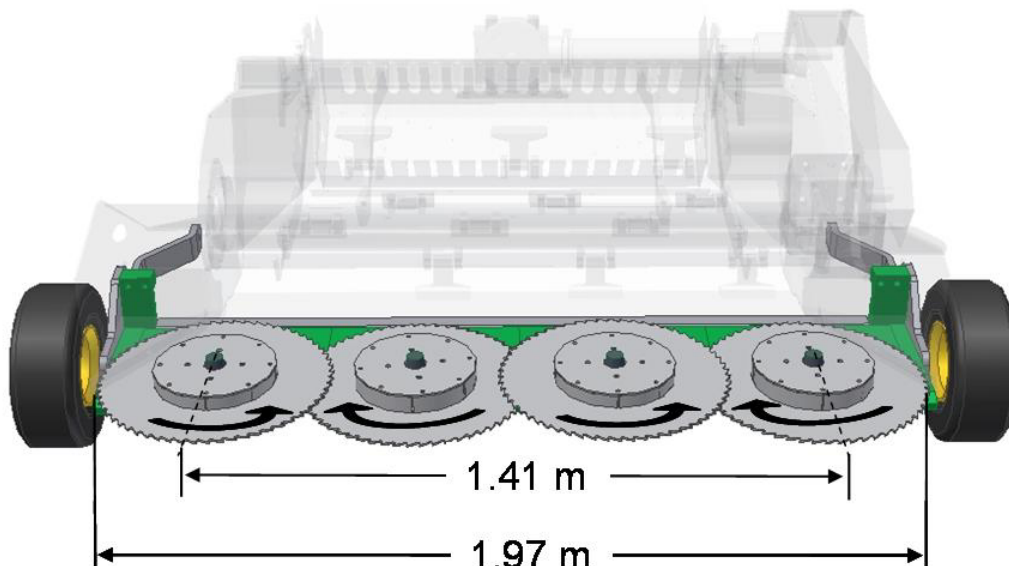
I Canada, Quebec, pågår vidareutveckling av en prototyp för balning av Salix. Utvecklingen har skett genom ett samarbete mellan Agriculture and AgriFood Canada and Université Laval – Department of Soils and Agricultural Engineering. Prototypen är baserad på en rundbalmaskin för vallfoder och halm av märket New Holland BR 740 (CNH), och kombinerar momenten kapning, rivning och balning av Salix. Den första prototypen testades under 2006, och visade tydligt möjligheten att konceptet kan fungera.



Figur 14. Balskördemaskinen 2006 (Lavoie et al., 2007).

Figure 14. Bale harvester (Lavoie et al., 2007).

Skärbordet, som monterats i fronten på maskinen, består av en ram med fyra sågklingor, med diametern 560 mm, för att kapa skotten. Mellan sågklingorna och balmaskinen finns en modifierad rivare av hammartyp för att bryta stammarna och göra de mer flexibla för att kunna matas in i presskammaren. En rad modifieringar har även utförts på balmaskinen.



Figur 15. *Prototypens skärbord (Lavoie et al., 2007)*

Figure 15. *The header of the prototype (Lavoie et al., 2007)*

Tidigare försök att skörda Salix med maskiner för balning har varit mindre lyckosamma jämfört med de självgående direktflisande skördemaskiner som utvecklats. Bland annat har Dr. Gigler and Dr. Sonneveld arbetat för ta fram skördemaskiner för Salix anpassade för holländska förhållanden. De utförde försök både med en fyrkantbalmaskin (New Holland) och en rundbalmaskin, i båda fallen utan större framgång (Spinelli, 2001).

Van Oosten (2008) anger att följande fördelar finns med en balande skördare, varför denna senaste prototyp tagits fram:

- Att kapital- och driftskostnader för en modifierad balmaskin förväntas vara lägre än för självgående direktflisande skördemaskiner, och därmed mer tillgängliga för en gård eller mindre kooperativ.
- Förenklad logistik jämfört med hantering av flis, genom att skördade balar kan torkas naturligt och lagras på plats för senare transport och hantering. Detta kan möjliggöra leverans av ett jämnare flöde av biomassa till anläggningar under perioder då Salix inte skördas (Van Oosten, C., 2008).

Under 2006 utfördes fem fältförsök i Canada för att testa och förbättra olika delar på skördemaskinen. Kapaciteten vid skörd för att pressa en bal varierade mellan 6,1 till 9,7 råton/h, med ett medel på 7,9 råton/h. Mot slutet av säsongen uppnåddes en kapacitet på 14 råton/h. Totalt skördades 90 rundbalar under året, med en vikt mellan 283-623 kg. Densiteten varierade mellan 223 till 288 kg/m³ våtvikt (motsvarande 111 och 167 kg ts/m³). Fukthalten på Salixen låg mellan 44 och 51 %.

Skördeförlusterna låg på 4,9 ton ts/ha (standard avvikelse på 0,42 ton ts/ha). Då avkastningen i medel var 25 ton/ha (12,8 ton ts/ha), innebär detta en relativt hög genomsnittlig förlust på 28 %. Enligt utvecklingarna kan förlusterna minskas genom att minska rivarens intensitet samt skärma av presskammaren så att mindre partiklar inte kan flyga ut.

Maskinen är radoberoende, och under försöken skördades både enkla och dubbla rader samtidigt. För att köra skördemaskinen krävdes en traktor med en motoreffekt (PTO) på 100 till 120 kW. En utförlig beskrivning av utformning och försöksmetod finns beskriven av Lavoie et al. (2007).

E Lagring av Salix – litteraturgenomgång

E.1 Bakgrund

Lagring av träflis är ingen ny företeelse utan har pågått under 40 år, först som råvara till pappersmassa och därefter också som biobränsle. En vanlig observation är att fuktig flis som lagras i stack snabbt tar värme. När det gäller odling av Salix som biobränsle har flisning i samband med skörd hittills visat sig vara totalekonomiskt mest fördelaktigt. Från början var avsikten med denna metod att skörden skulle ske i den takt som flisen förbrukades. Det har dock visat sig vara omöjligt att helt undvika lagring, vilket har resulterat i snabb mikrobiell tillväxt och kraftig värmebildning i den fuktigt lagrade flisen samt höga torrsubstansförluster (Elinder m.fl., 1996). Det konstateras också att lagring av grön fuktig flis måste begränsas i tiden om stora förluster av torrsubstans och energi samt de arbetsmiljömässiga olägenheterna med mögeldamm skall kunna undvikas (Gislerud, 1984). Tidigare har man i allmänhet också bedömt investeringar i torkning som olönsamt. Möjliga alternativa lagringsformer är att lagra Salix som helskott eller kapade i mindre bitar för att minska exponeringen för mikroorganismer och öka möjligheterna till självtorkning.

E.2 Orsaker till lagringsskador

Torrsubstansförlusterna under lagring orsakas både av växtmateriallets egen cellandning och av vidhäftande mikroorganismer. Alla typer av levande celler kräver energi för sina livsuppehållande processer. Vid tillgång till syre erhålls denna energi i huvudsak genom oxidation av näringsämnen, vanligtvis kolhydrater, i en process som brukar benämnas respiration eller andning. Den inledande värmebildningen innan en mikrobiell tillväxt inträffat är troligtvis i huvudsak ett resultat av andningsaktiviteten i växtmaterialet. Enligt en amerikansk studie är andningsaktiviteten i de levande växtcellerna den huvudsakliga orsaken till den begynnande värmebildningen i otorkad massaflis (Feist m.fl., 1971). Vid 21°C behöll cellerna i flis av vitträ sin livskraft (dehydrogenasaktivitet) under två veckor. Lagrat som rundvirke bibehöll cellerna sin livskraft under flera månader.

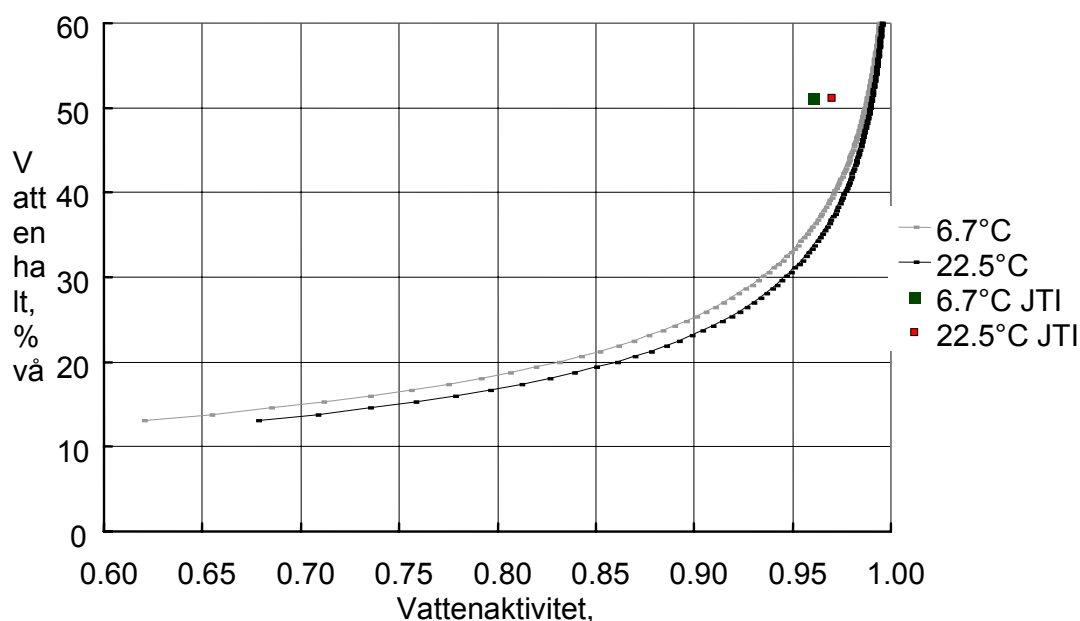
Beträffande mikroorganismer förekommer de överallt i vår omgivning. Deras funktion är att återföra biologiskt material till enkla beståndsdelar och är därför en förutsättning för näringskomponenternas kretslopp i naturen. När det gäller nyskördad flis tyder olika studier på att antalet ytligt förekommande mikroorganismer (infektionsgraden) är högst under den varma årstiden samt i flis av helträd (Lacey, 1996). Tillväxtförhållanden för flertalet mikroorganismer bör vara goda i nyskördad Salixflis. Orsaken är den höga vattenhalten (>50 %) samt god tillgång på näring. Tillgången på kväve, vilken gynnar mikrobiell tillväxt, är betydligt högre i Salix jämfört med i stamveden hos barrträd. Näringen hos flis är också lättillgänglig på grund av stor angreppsytan. Angreppsytans storlek per viktsenhet av ett material bestäms framförallt av partikelstorleken och minskar med ökad storlek. Att partikelstorlekens har betydelse framgick i en lagringsstudie med Salixflis vid JTI, varvid torrsubstansförlusterna minskade väsentligen med ökad partikelstorlek (Jonsson & Jirjis, 1997). I denna studie, vilken genomfördes i en respirometer, ökade andningsaktivitet kraftigt redan efter något dygn och åtminstone inledningsvis bidrog den mikrobiella tillväxten till den största andelen av förlusterna/värmebildningen.

Kunskaperna när det gäller svampars nedbrytning av trä är fragmentariska. Tre stadier kan eventuellt urskiljas: 1) invasion av primära saprofytiska svampar vilka lever på socker och enkla kolföreningar; 2) angrepp av cellulosanedbrytande svampar, åtföljda av sekundära

saprophytiska svampar, vilka utnyttjar nedbrytningsprodukterna från cellulosan; 3) angrepp av ligninnedbrytande svampar (Käärik, 1975).

Mögelsvampar är ofta anpassade att tillväxa under vissa speciella förhållanden när det gäller tillgång på näring och vatten samt omgivningstemperatur. En sammanställning visar att flertalet svampar som har isolerats från lagrad flis (oftast efter värmebildning) tillhör grupperna *Ascomyceter* (vanligtvis *Chaetomium*) och *Deutermyceter*, inklusive en stor grupp vilka torde vara termotoleranta eller termofila (Lacey, 1996). Rötsvampar som angriper trä, tillhörande gruppen *Basidiomyceter*, verkar dock vara ovanliga. Verkligt termofila svampar brukar vara vanligast i stackar som tagit värme. Enligt en kanadensisk studie dominerade olika svampar olika delar av en flisstack vars medelvattenhalt var över 50 % (Smith & Ofosu-Asiedu, 1972). Termofila svampar dominerade de inre delarna av stacken medan de termotoleranta förekom mest i de yttre delarna. Antalet kolonibildande enheter var positivt korrelerat med temperaturen, vilken som högst var 61°C.

Tillgången på vatten brukar anses vara den viktigaste begränsande faktorn när det gäller biokemiska (enzymatiska) reaktioner i levande celler. Den vanligaste metoden att beskriva vatteninnehållet i flis är bestämning av vattenhalten (eller torrsbstanshalten). Vattenhalten beskriver dock inte vattnets biokemiska tillgänglighet tillräckligt bra. Ett bättre mått på denna tillgänglighet är produktens vattenaktivitet. Detta mått definieras som kvoten mellan produktens ångtryck och trycket vid mättnad vid rådande temperatur. För att kunna bedöma vattenhaltens inverkan på en produkts lagringsstabilitet behövs därför kunskaper om sambandet mellan produktens vattenhalt och vattenaktivitet. I diagrammet i bild 1 visas ett samband mellan vattenaktivitet och vattenhalt för granflis (Nellist m.fl., 1993). I diagrammet redovisas också vattenaktiviteten för nyskördad *Salix*flis uppmätta i JTI:s studie. Studier av sambandet mellan vattenhalt och vattenaktivitet har också gjorts med *Salix viminalis* v. Orm vid tre olika temperaturnivåer 20, 50 och 75 °C (Pakowski m.fl., 2007; Krupinska m.fl., 2007).



Figur 16. *Sambandet mellan vattenhalt och vattenaktivitet för granflis. Sambandet för nyskördad Salixflis uppmätta med daggpunktsmätare i JTI:s studie redovisas också.*

Figur 17. *The connection between water content and water activity for pine chip and for newly harvested willow coppice (Salix) measured with a dew point meter.*

Den vanligaste metoden att förhindra andningsaktivitet i ett biologiskt material är genom torkning. För att förhindra denna aktivitet vid omgivningstemperaturer över 20°C måste materialets vattenaktivitet sänkas under 0,65-0,70, vilket bör motsvara en vattenhalt under 15 procent för Salix (Jonsson & Jirjis, 1997). Vid lagringstemperaturer under 10°C räcker det troligtvis att sänka vattenaktiviteten till under 0,85, vilket bör motsvara en vattenhalt strax över 20 %, för att förhindra mikrobiell tillväxt. Den lagrade produktens temperatur har alltså också stor betydelse för lagringsstabiliteten. I JTI:s lagringsstudie (Jonsson & Jirjis, 1997), vilken genomfördes i laboratorieskala vid 5°C, 10°C och 15°C, halverades torrsubstansförlusterna vid en sänkning av temperaturen med 9°C. Enligt Hakkila (1989) inleds andningsaktiviteten först när temperaturen överstiger 0°C och dess intensitet ökar upp till 40°C. Dock finns det rapporter från Kanada om värmebildning hos spannmål som lagrats vid temperaturer under fryspunkten (Lacey & Magan, 1991). I dessa fall orsakades värmebildningen av *Penicillium aurantiogriseum*, en mögelsvampsart som är vanligt förekommande i hela den tempererade klimatzonen inklusive Skandinavien.

E.3 Arbetsmiljö

Olika studier av hantering av växtmaterial inom lantbruket har visat att exponering för organiskt damm kan ge en rad olika besvär och sjukdomar såsom akut toxisk alveolit (*organic dust toxic syndrome*, ODTS), allergisk alveolit, kronisk bronkit, astma och allergier (Rylander, 1986; Malmberg, et al., 1987; Carvalheiro, et al., 1995; Skórska m.fl., 1998; von Essen m.fl., 1999; Monsó m.fl., 2000; Kimbell-Dunn m.fl., 2001; Radon m.fl., 2002; Seifert m.fl., 2003; Holmberg et al., 2004). I Sverige finns det ett hygieniskt gränsvärde för exponering för totalhalt organiskt damm på 5 mg/m³, vilket inte får överskridas när man har anställd personal (Arbetsmiljöverket, 2000). Uppgifter om dammhalter vid hantering av flis saknas dock i litteraturen.

En viktig komponent i det organiska dammet är de luftburna mikroorganismerna. Mängderna av dessa i samband med hantering av lagrad flis bestäms av den mikrobiella tillväxtens omfattning samt av florans sammansättning. Det är framförallt vid tillväxt av *Actinomyces* samt av arter av *Aspergillus* eller *Penicillium* som halterna blir höga. Vid mätningar i en finsk studie var mängden mögeldam vid hantering av flis av mycket god hygienisk kvalitet, torkad direkt efter skörd, 50- 370 CFU/m³ luft (Haataja m.fl., 1989). Antalet bakterier var ungefär densamma. Det kan jämföras med normalhanterad flis (ej torkad) där totalmängden sporer mätts till 10⁶ till 10⁹ per m³ luft och mängden levande sporer varierat mellan 10³ och 10⁷ CFU/m³ beroende på flisens kvalitet. Liknande resultat har erhållits vid mätningar av luftburna mikroorganismer vid flishantering i Sverige (Blomqvist m.fl., 1980, 1983 och 1984; Strömquist m.fl., 1982). Allergisk alveolit bedöms kunna inträffa redan vid en exponering för halter strax över 10⁷ per m³ luft (Blomqvist, 2002).

En risk är också förekomsten av patogena mikroorganismer, vilka orsakar infektioner. Den termotoleranta patogena och allergena mögelsvampen *Aspergillus fumigatus* verkar var vanligt förekommande i stackar som tagit värme men förekommer också när värmebildning uteblivit. Under senare år har exponering för mykotoxiner genom inandningsluften fått ökad

uppmärksamhet. I miljöer som är höggradigt kontaminerade med luftburna mögelsvampar, exempelvis i vattenskadade byggnader och i lantbruket, kan exponering av mögelgifter via inandning utgöra en potentiell hälsorisk (Hendry & Cole, 1993; Pitt, 1994; Hintikka & Nikulin, 1998; Sorensen, 1999; Skaug m.fl., 2000). En svensk studie visade att arter av *Penicillium* kan producera mykotoxiner (patulin och ochratoxin A) när de växer på trä (Land & Hult, 1987). I en studie med spannmål som JTI genomförde i samarbete med Livsmedelsverket konstaterades att risken för förekomst av ochratoxin A i ohälsosamma halter förelåg redan vid begynnande tillväxt (10^3 CFU/g kärna) av den mykotoxinproducerande svampen (Lindblad m.fl., 2004).

E.4 Lagring av flis

Oluftad/Otorkad

Flertalet uppgifter i litteraturen om lagring gäller flis av skogsavfall medan uppgifterna om lagring av Salixflis är mer begränsade. De studier som har gjorts visar att okylad nyskördad Salixflis lagrad i stack snabbt tar värme när omgivningstemperaturen överstiger 0°C , att det då kan tillväxa potentiella patogena och allergena mögelsvampar (bl.a. *Aspergillus fumigatus*) samt att torrsubstansförlusterna blir stora (Elinder m.fl., 1995; Lyons m.fl., 1989; Nellist m.fl., 1995; Rice m.fl., 1990; de Toro m.fl., 1994; Jonsson & Jirjis, 1997). Respirationen och därmed torrsubstansförlusterna påverkas främst av tillgången på vatten samt av materialets temperatur. Andningsaktiviteten hos flis kan därför reduceras genom torkning och/eller kylning.

De viktigaste faktorerna som bestämmer förlusternas storlek vid lagring av flis i stack utan mekanisk ventilation är förutom materialets vattenhalt och temperatur troligtvis också flisens partikelstorlek, upplagets storlek och packningsgrad och därmed förutsättningarna för kylning genom självventilation. I tabell 1 redovisas en sammanställning av torrsubstansförluster hos lagrad flis uppmätta i olika studier. I JTI:s lagringsstudie (Jonsson & Jirjis, 1997) var ts-förlusterna per tidsenhet dubbelt så höga under de första 5 dyggen jämfört med under den resterande lagringstiden. I denna studie lagrades flisen vid 5°C , 10°C och 15°C , vilket motsvarar vanliga dygnsmedeltemperaturer under vår och höst i södra och mellersta Sverige. Resultaten bör därför vara användbara när det gäller att utvärdera lagring av nyskördad otorkad Salixflis som kyls genom luftning. Enligt praktiska erfarenheter går det att lagra Salixflis oluftat utan att den tar värme så länge som omgivningstemperaturen understiger 0°C . Dygnsmedeltemperaturen i Mellansverige (Mälardalen) understiger normalt 0°C under drygt 4 månader, från mitten av november fram till slutet av mars (Ångström m.fl., 1979). Vid behov av en utökad lagringstid skulle torrsubstansförlusterna och risken för hälsovådligt mögeldamm kunna reduceras genom kylning av flisen genom luftning. Om exempelvis den luftade lagringen begränsas till de månader som dygnsmedeltemperaturen normalt understiger 5°C alternativt 10°C förlängs lagringsperioden med 2 respektive 4 månader. En förlängning av lagringen med en månad fram tills att dygnsmedeltemperaturen är 5°C skulle medföra en torrsubstansförlust av knappt 2 % enligt de resultat som erhållits i studien. Om lagringstiden skulle ökas med ytterligare en månad, tills dygnsmedeltemperaturen är 10°C , skulle den sammanlagda förlusten bli ca 7 %. Den höga andningsintensiteten hos den lagrade flisen innebär dock att luftningen måste vara kontinuerlig eller intermittent.

I en mellansvensk fullskalestudie jämfördes torrsubstansförluster vid lagring av Salixflis med en skördevattenhalt av i genomsnitt 54 % (Elinder m.fl., 1996). Flisen lagrades utomhus i luftade respektive oluftade stackar innehållande 500 m^3 . Flisen var skördad med en Claas 695 självgående hack och bedömdes som jämn. Ca hälften av flisen, 51,5 %, hade en längd i intervallet 50-70 mm, resterande 13,4 % var över 70 mm och 35,1 % under 50

mm. Efter tre månaders lagringstid låg vattenhalten på 59,4 %. Lagringen, vilken inleddes i januari när utomhustemperaturen var -6 °C, pågick under 5 månader. Den kontinuerligt luftade Salixflisen visade ingen avvikelse från omgivningstemperaturen medan den oventilerade stacken tog värme efter 6 veckors lagring, vilket sammanföll med att omgivningstemperaturen översteg 0°C. Temperaturen i denna stack var ca 65°C under resten av lagringstiden och torrsubstansförlusterna som uppmättes var 3,3 % (1,7 % per månad) och 8,9 % (1,8 per månad) efter 2 respektive 5 månaders lagring. Under lagringen steg vattenhalten till ca 62 % p.g.a. nederbörd och inre biologisk aktivitet och flisen var uppenbart angripen av mögel. Torrsubstansförlusterna i den ventilerade stacken var ca 7 % (0,052 % per dygn) för hela lagringsperioden. Under lagringen hade flisen i denna stack torkats till ca 37 % vattenhalt.

I Danmark utfördes år 1996 och 1997 lagringsförsök av Salix av Kofman och Spinelli (1997). Här redovisas de försök där flis lagrades utomhus stack med volymen 36 m³ (innehållet från en container) utan täckning och utan aktiv ventilation under 5 respektive 9 månader (januari till maj respektive september). Flisen hade den genomsnittliga storleken ca 28 mm och hade skördats med en Claas Jaguar självgående hack. Vattenhalten minskade från 51,4 % till 50,1 % efter 5 månader och till 47,6 % efter 9 månader. Torrsubstansförlusterna uppgick till 23 % efter 5 månader (4,6 % per månad) och 30 % efter 9 månader (3,3 % per månad).

I en engelsk lagringsstudie bestämdes torrsubstansförlusterna hos flis av poppel, med en skördevattenhalt av 57 %, vilken tillfördes luft enligt tre olika strategier (Nellist m.fl., 1995). Lagringen genomfördes i behållare, vilka rymde ca 12 m³, placerade på lastceller. De undersökta strategierna var torkning genom kontinuerlig lufttillförsel, kylning genom intermittent fläktning så att maxtemperaturen inte översteg 20-35°C alternativt inte avvek med mer än 5°C från omgivningstemperaturen samt ett oluftat kontrollerat. Efter 80 dygns lagring uppmättes vattenhalterna 19 %, 42 %, 48 % respektive 45 % och torrsubstansförlusterna 3,5 %, 7 %, 8 % respektive 19 % i respektive behandlingsled. Den specifika energiåtgången för fläktningen var 0,87, 0,05 respektive 0,126 GJ/ton. Studien visade att någon form av kylningsstrategi är ekonomiskt fördelaktigare än ingen åtgärd alls.

En kanadensisk studie visade att flyktiga extraktivämnena kan medföra felberäkningar vid bestämning av torrsubstansförluster i biobränslen (Schneider, 1995). Felen kan variera mellan några få procent upp till 45 %.

I en svensk studie bestämdes vattenhaltsförändringen, torrsubstansförlusterna och mögeltillväxten i flis av vild-Salix, lagrades i en mindre stack (85 m³) under ett år (februari-februari) (Thörnqvist, 1982). Inlagringsvattenhalten var 51 % vilken efter lagringen hade sjunkit till 48 %. Torrsubstansförlusten var 14 % medan energiförlusten var 13 %. Under lagringen hade totalantalet levande mögelsporer ökat med 700 till 16 000 ggr i prover från olika delar av stacken.

I en svensk laboratoriestudie bestämdes torrsubstansförlusterna och mögeltillväxten i kontinuerligt ventilerad (175m³/h & ton ts) respektive oventilerad Salixflis, vilken lagrades under 62 dygn (de Toro m.fl., 1994). Den tillförda luftens respektive den ventilerade flisens medeltemperatur under lagringen var 2,7°C respektive 4°C (centrum av behållarna) medan medeltemperaturen hos den oventilerade flisen var 32°C och som högst 42°C (se även tabell 1). Torrsubstansförlusterna var 5,2 % respektive 13,3 % hos den ventilerade respektive

oventilerade flisen. Totalantalet sporer ökade med 3-5 ggr i den ventilerade och med mer än 100 ggr i den oventilerade flisen.

Denna och andra studier visar att torrsubstansförlusterna blir större när Salixflis lagras vid en högre temperatur, speciellt om den lagras oluftad/okylad i en stack på grund av att den tar värme. Under dessa förhållanden kommer troligtvis en stor del av stacken att erhålla en temperatur som är nära den optimala för mikrobiell tillväxt, 25–35°C. I tabell 71 redovisas en sammanställning av ts-förluster etc. från några olika studier.

Tabell 68. Exempel på torrsubstansförluster hos lagrad flis uppmätta i olika studier

Table 68. Dry matter losses for Salix chips compiled from different studies

Trädslag	Vattenhalt, %	Temperatur °C, medeltal	Fraktionsstorlek, mm	Lagrings-tid, dygn	ts-förlust per dygn, %	Mät-metod	Källa
Poppel	Luftad						
"	57-42	ca 15		80	0,088	vägning	Nellist m.fl., 1995
"	57-48	ca 8		80	0,100	"	"
Poppel	Oluftad						
"	57-45	ca 35		80	0,238	"	"
Salix	Luftad						
"	49-52	5	7-16	72	0,10	respirometer	Jonsson & Jirjis, 1997
"	"	10	7-16	72	0,17	"	"
"	"	15	7-16	72	0,22	"	"
"	"	15	3-7	72	0,25	"	"
"	"	15	7-16	72	0,22	"	"
"	"	15	16-22	72	0,20	"	"
"	49-36/59	4		62	0,084	vägning	de Toro m.fl., 1994
Salix	Oluftad						
"	49-43	32		62	0,215	"	"
" (vild)	51-48	- (mindre stack)		365	0,038	"	Thörnqvist, 1982
"	54,3-	<0 första 6v	Ca 50-75	2 mån	1,7 per mån		Elinder et al, 1996
"	54,3-61,8	"	"	5 mån	1,8 per mån		"
"	51,4-50,1			5 mån	4,6		Kofman & Spinelli, 1997
	51,4-47,6		Ca 28	9 mån	3,3		"

Torkning

Enligt en svensk studie kan flis torkas till 12 % vattenhalt med omgivningsluft under perioden mars t.o.m. oktober (Gustafsson, 1988). Rekommendationer ges om hur torkanläggningen bör dimensioneras. Överslagsmässigt är under gynnsamma torkningsförhållanden energiförbrukningen vid kallluftstorkning i form av el ungefär en tredjedel av energiförbrukningen som åtgår att förångna vattnet i samband med förbränningen i en konventionell panna (Jonsson, 2008). Även om torkningen är effektiv innebär den stora mängden vatten som måste avlägsnas och därmed den stora energiåtgången att torkningskostnaden per enhet blir hög jämfört med exempelvis torkning av spannmål (Nellist, 1991). Detta måste troligtvis påverka priset på den försålda flisen. I ett holländskt försök med kallluftstorkning av Salixflis användes lådor för potatislagring (Gigler et al, 2000). Energiåtgången vid torkning från 50 till 15 % våt bas beräknades till 348 kWh t⁻¹ (ts) vid torkning i mars, 250 kWh t⁻¹ (ts) i april och 193 kWh t⁻¹ (ts) från maj till augusti. Energiåtgången motsvarar fläktens effekt multiplicerat med drifttid där torkning under vintern kräver längre drifttid p.g.a. sämre torkningsförmåga hos luften. Med en energikostnad om 60 öre/kWh var energikostnaden vid torkning 110-210 kr * t⁻¹ (ts).

Torkning av flis etc. medför dock flera fördelar (Gigler m.fl., 2000; Gigler m.fl., 2004)

- en bättre lagringsstabilitet med begränsad mikrobiell tillväxt och lägre ts-förluster och hälsorisker
- bättre förbränningsegenskaper vilket medför förbättrad verkningsgrad och minskade emissioner
- minskade kostnader, energiförbrukning och emissioner i samband med transporter.

Lufttät lagring

Lovande lagringsförsök har också gjorts i lufttäta behållare där ts-förluster mellan 3 och 6 % samt sportalsökning av 3-4 ggr erhöles vid en lagringstemperatur av 14°C (de Toro m.fl., 1994).

E.5 Lagring av billets

Billets är kapade bitar av Salix med längden 50-250 mm. Kapningen sker i samband med skörd. Jämfört med flis är förmågan att torka naturligt något bättre. Ett försök under danska förhållanden visade på partikellängdens betydelse för torkningsförmågan hos Salixen (Mattsson och Kofman, 2003). Lagring av Salix skedde på hårdgjorda ytor och eventuell täckning skedde med plast. Även lufttät lagring i plastfilm provades. Skörden skedde i december och januari, och lagring pågick antingen till slutet av maj eller till slutet av september. Resultaten från försöket återges i tabell 72. Själv-torkningen fungerade bäst när bitarnas längd uppgick till 200 mm. Dock saknas information om torrsubstansförluster och materialens hygieniska status.

Tabell 69. Försök med lagring av Salix där partikellängdens betydelse för torkningsförmågan studerades, efter Mattsson och Kofman, 2003.

Maskin	Produkt	Nominell partikellängd (mm)	Lagringsmetod	Vattenhalt (% våt bas)	
				t.o.m. maj	t.o.m. sept
Austoft	Billets	100	täckt	46,8	25,9
"	"	50	täckt	34,8	44,8
"	"	50	ej täckt	49,9	30,1
Bender	Flis	25	Täckt	43,7	24,3
Claas	Flis	28	lufttätt	-	58,8
"	"	28	Täckt	-	38,1
"	"	28	ej täckt	52,0	33,6
Silvatec	Billets	200	täckt	46,8	17,5
"	Billets	200	ej täckt	39,4	15,7

Kofman och Spinelli (1997) i Danmark utförde liknande lagringsförsök av Salix med liknande upplägg. I nedanstående tabell redovisas endast de försök där bitar lagrades utomhus i stack utan täckning och utan aktiv ventilation under 6 respektive 10 månader (december till maj respektive september). Stacken hade volymen 36 m³ (innehållet från en container). I ena fallet var bitarna av storleken ca 50 mm och hade skördats med en Austoft och i andra fallet av storleken 200 mm och skördade med en Silvatec. Förändringarna i vattenhalt redovisas i nedanstående tabell. Torrsubstansförlusterna uppgick till 17,5 % efter 6 månader och 28,8 % efter 10 månader (i medel 2,9 % per månad) för bitarna på 50 mm, och på motsvarande tid till 9,1 respektive 17,1 % (i medel 1,7 % per månad) för bitarna av

200 mm storlek. En av slutsatserna från studien var att stora partiklar (helskott och bitarna av storlek 200 mm) torkade mycket bättre än de mindre sortimenten, samt att torkningen främst skedde mellan mars och september.

Tabell 70. Exempel på torrsubstansförluster hos lagrade bitar uppmätta i olika studier

Table 70. Dry matter losses for *Salix* billets compiled from different studies

Trädslag	Vattenhalt, %	Temperatur °C, medeltal	Fraktionsstorlek, mm	Lagrings-tid, mån	ts-förlust per månad, %	Mätmetod	Källa
Salix	Ej täckt						
"	50,2-51,3		50	6	2,9		Kofman & Spinelli, 1997.
	50,2-40,9		"	10	2,9	"	
	51,3-37,8		200	6	1,5	"	
	51,3-18,7		"	10	1,7	"	

Resultat från forskningsinstitutet Silsoe visade att bitar med längden 50-60 mm och däröver minskade behoven av luftning under lagring än för mer sönderdelat material (Forest Research, 1998).

I en sammanfattning av 33 tyska lagringsstudier av sönderdelad poppel, *Salix* och tall, med inlagringsvattenhalter mellan 50-60 %, konstaterades att materialets medianlängd bör vara över 100 mm för att få ett tillräckligt bra torkningsförlopp genom självventilation (Scholz m.fl., 2005). Lagringen, vilken genomfördes i pilotskala (1,5 m³) till industriskala (2000 m³) i oventilerade och i flertalet fall regnskyddade stackar, uppmättes efter ett år mindre än 5 % energiförluster vid hackselängder > 120 mm (medianvärde) medan när hackselängden var < 30 mm var motsvarande förluster mer än 15 %. Hackselängder (medianvärden) som förekom i studierna var 23, 36, 63, 120 och 156 mm. Under lagringen sjönk vattenhalten hos de grövsta bitarna från 50 % till nästan 20 % som en effekt av självventilering. När lagringen skedde i form av grövre bitar eller som helstam var förekomsten av den termofila svampen *Aspergillus fumigatus* i stort sett oförändrad under lagringen (10³-10⁴ CFU/g) medan för övriga hackselängder skedde det en markant ökning under de första två till tre veckorna (10⁶-10⁸ CFU/g). Förekomsten av totalantalet mögelsvampar och jäst var dock ungefär densamma (10⁶-10⁸ CFU/g) efter tre månaders lagring oavsett hackselängd.

I en studie av naturlig torkning (självvtorkning) under holländska förhållanden visade att bitar av pil (medianstorlek ca 30 mm!) kunde torkas från 50 % till ca 15 % inom 5 månader (Gigler m.fl., 2004). Värmebildning uteblev och ts-förlusterna begränsades till 3,5-5 %. Simuleringsstudier visade att torkningsförloppet påverkades av luftens vattenupptagande förmåga, partikelstorlek och högens storlek (lagringsdjup). En slutsats var att bitar skall vara tillräckligt stora för att skapa ett lågt mottryck men tillräckligt små för att undvika att den interna fuktdiffusionen begränsar torkningsprocessen.

En viktig ekonomisk aspekt är rymdvikten hos materialet då det påverkar transportkostnaden. Gigler et al (1999) angav volymvikten 160 kg ts/m³ för flis (0-50 mm), 145 kg ts/m³ för bitar (50-250 mm) och 80 kg ts/m³ för helstam (upp till 8 m längd).

I Storbritannien använder sig ett företag av en Austoft för billettsskörd. Salixen kapas i bitar om 150-200 mm längd och får torka i högar utomhus eller under tak. Ingen värmebildning sker då de långa bitarna ger god luftväxling och torkning sker naturligt ner till ca 25 % vattenhalt. Däremot krävs en andra sönderdelning med kvarn då värmeverket kräver en mycket finfördelad produkt med partiklar om 2-5 mm längd (O'Sullivan, 2006).

E.6 Lagring av buntar

I lagringsförsök under engelska förhållanden med Salixbuntar producerade av en I lagringsförsök under engelska förhållanden med Salixbuntar producerade av en Bundler från svenska Salix Maskiner hade i medel färskvikten 136 kg ts och ts-halten var i medel 46 kg ts. Buntarna var ca 2 m långa och 60 cm i diameter. Ingen uppgift om rymdsvikt angavs men vid beräkning baserat på vikt, längd och diameter fås ca 227 kg/m³. Buntarnas vattenhalt minskade från 54 % vid skörd under vinter till 19 % i juli månad. Minskningen i färskvikt var 1,4 % i veckan i medel under de 7 första månaderna. Torrsubstanshalten ökade från 46 till 81 % från vintern till juli månad (15 dec-22 juli). Torrhalten minskade endast från 81 % till 80 % under de efterföljande månaderna från juli till december. Detta visar på att materialet inte återfuktas nämnvärt, enligt Beale och Morpeth (2000).

Torrsubstansförlusten var mindre än 10 % (Beale och Morpeth, 2000), dock visste man vid studien inte exakt hur stora de var. Torrsubstansförlusten uppmättes till 9,3 %, men man misstänker att värdet innehåller mätfel då minskningen inte var konsekvent över perioden. Med linjär regression av mätdata blev minskningen 5,4 %.

E.7 Lagring av hela stammar i välta

Lagring av hela stammar ger goda förutsättningar för naturlig torkning. Skörd av helstam under vintern och efterföljande lagring fram till augusti följande höst gav en sänkning av vattenhalten från 50 % till 20 % under holländska förhållanden (Gigler et al, 2000; Gigler et al, 1999). Torkningshastigheten uppgick till ca 5 % per månad, vilket också gällde bitar, medan ts-förlusterna uppgick till 1 % (helstam) respektive 2 % (bitar) per månad. Volymvikten angavs till 80 kg/m³ för helstam (upp till 8 m längd).

E.8 Valvbildning i högar med flis och billets

Mattsson och Kofman (2003) studerade partikellängdens betydelse för tendensen till valvbildning i högar med flis och billets. Valvbildning kan ske över en utmatningsöppning i ett bränsleförråd och därmed störa matningen till förbränningsanläggningen. De studerade produkterna anges i tabell 2. Tendensen till valvbildning kunde till stor del förklaras av andelen partiklar längre än 100 mm samt vattenhalten. En större viktsandel partiklar över 100 mm samt högre vattenhalt hade en signifikant ($p < 0,0001$) positiv inverkan på valvens storlek. Dessutom visade sig billets ha mindre tendenser till valvbildning än flis. Billets från Austoft med nominella längden 100 mm bildade mindre valv än flis från Bender med en nominell längd på 25 mm. Den tänkbara förklaringen var att billets är cylindriska med jämnare yta jämfört med den mer kantiga formen på flis. Billets med nominella längden 50 mm flödade bättre än flis från Claas. Bränslet producerat av både Austoft och Claas visade mindre tendenser till valvbildning jämfört med flis från GROT. Mattson och Kofman (2003) hänvisade också till äldre opublicerade rapporter som visade att billets från tidigare versioner av Austoft hade högre tendens till valvbildning p.g.a. högre andel långa toppar från Salix, ”rättsvansar”. Nyare versioner av Austoft har alltså förbättrats med avseende på kapningen av Salixen.

F Använda antaganden om lagringsbarhet

På grund av brist på dokumenterade studier av lagringsbarheten för *Salix* i buntar samt bitar har antaganden för detta fått göras i studien. Antagandena om lagringsförluster och torkning vid lagring baseras förutom på resultat från lagringsförsök, vilka beskrivs i bilaga E, även på avstämningar av rimligheten med forskaren Raida Jirjis, SLU, som har lång erfarenhet från forskning på lagring av träråvara.

En rad faktorer påverkar lagringsbarheten, vilket beskrivs i bilaga E. Väderleken påverkar mycket, d.v.s. när på året och var i landet lagring sker. I detta fall antas lagringen ske med de förhållanden som gäller i Mälardalen. Då skörd normalt sker under vintermånaderna, ungefär från november till mars, är det rimligt att här anta att lagringen börjar i mars.

Medeltemperaturen i Mälardalen uppskattas utifrån SMHIs statistik om medeltemperaturer 1961-1990 grovt ligga under noll december till mars, i april kring ca 5 °C, maj ca 10 °C, juni-augusti ca 15-18 °C, september ca 11 °C, oktober 7 °C, november ca 2 °C (www.smhi.se).

Det kan antas att torrsubstansförluster inte sker vid temperaturer under noll grader, d.v.s. ungefärligen under månaderna december till mars, då försök utförda av Jonsson och Jirjis (1997) visat att den mikrobiella aktiviteten är mycket låg vid minusgrader. Från april, då medeltemperaturerna börjar stiga över noll, antas substansförluster börja ske.

Flis bör inte lagras vid plusgrader annat än mycket korta perioder p.g.a. risken för mögelbildning och stora torrsubstansförluster, enligt Raida Jirjis (se även kap E.4). Antaganden och beräkningar för en längre lagringstid är därmed inte relevanta, och flis antas i denna studie inte mellanlagras.

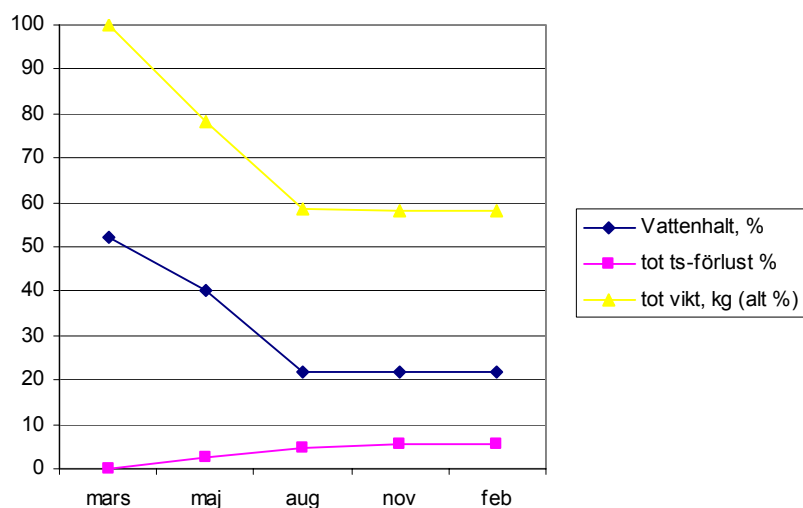
De buntade *Salix*skotten och bitarna antas här att de lagras i hög med naturlig ventilation. Fram till början av september kan torkningen antas vara god. Under hösten, från och med september, kan det antas att ingen fortsatt torkning sker, på grund av kallare och fuktig väderlek. Vidare antas att materialet inte återfuktas (Jirjis, pers. medd., 2008). Detta pekar bl.a. studien av Beale och Morpeth (2000) på, där torrhalten för de studerade buntarna minskade minimalt från 81 % till 80 % under månaderna från juli till december, en minskning som inkluderade både förlust av torrsubstans p.g.a. mikrobiell aktivitet och vattenavgång p.g.a. torkning.

I nedanstående tabell sammanfattas antaganden för torkning och torrsubstansförluster som tagits fram, och som använts i studiens beräkningar för lagring i 3 respektive 6 månader. Dessa lagringstider har valts för studien då det vid lagring mer än 6 månader efter skörd i mars sker enligt antagandena inte sker någon torkning utan bara ts-förluster. I realiteten är torkningsförloppet icke-linjärt, d.v.s. torkningen går snabbare den första tiden och planar sedan ut, men har förenklats i antagandena.

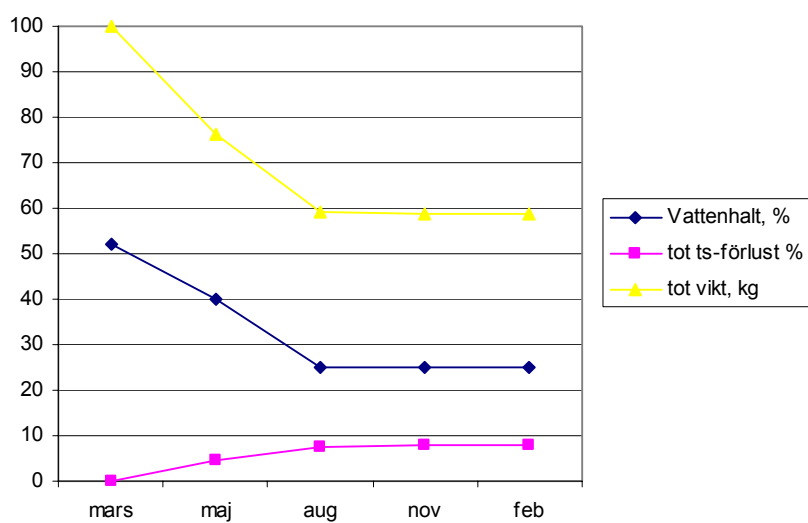
Tabell 71. Antaganden för lagring och ts-förlust och torkning vid lagring av *Salix* i bitar och buntar som använts i studien

	mars-maj	juni-aug	sept-nov	nov-feb
Lagringstid skörd i mars	(3 mån)	(6 mån)	(9 mån)	(12 mån)
Buntar				
ts-förlust %/mån	0,8	0,8	0,2	0,1
tot ts-förlust %	2,4	4,8	5,4	6,0
Vh-ändr, %/mån	4,0	6,0	0	0
Bitar				
ts-förlust %/mån	1,5	1,0	0,2	0
tot ts-förlust %	4,5	7,5	8,1	8,1
Vh-ändr, %/mån	4,0	5,0	0	0
Flis	Lagring av flis ej relevant i studien			

Följande diagram illustrerar hur det antagna förloppet med torkning, vattenhaltsändring och vikt ser ut för det lagrade materialet med dessa antaganden.



Figur 18. Antagen lagringsbarhet för buntar (from mars)



Figur 19. Antagen lagringsbarhet för bitar (from mars)

Som figurerna ovan visar sker enligt antagandena ingen torkning efter augusti (lagring 6 månader), medan torrsubstansförlusterna fortfarande ökar något därefter. Vikten hos en given mängd Salix minskar märkbart över vår- och sommarmånaderna som en effekt av vattenavgången och substansförlusterna, för att sedan förbli relativt oförändrad under vintermånaderna.

G Detaljerad redovisning av räkneexempel - effekt av kostnadssänkande åtgärder och mervärden vid lagring

Här redovisas räkneexemplen från kapitel 7.3 mer detaljerat. Där framgår även övriga förutsättningar som inte redovisas här.

Tabell 72. Kostnader och intäkter för bitskördesystemet efter det att åtgärder för att minska kostnader medtagits

Bitskördesystem (2 ha fält)	Lagringstid			
	0 mån	3 mån	6 mån	
Odlingskostnad	77	77	77	
Skörde- och logistikkostnad	115	115	115	
Förändrad kostnad som effekt av ökat energiinnehåll och torrsubstansförluster*		-2	-2	
Summa grundfall, kr/MWh	192	195	196	
Åtgärd och kostnadsförändring				
10 % ökad skördekapacitet	-7	-7	-7	
Summa efter åtgärd, kr/MWh	185	188	189	
Antagen betalning vid leverans	200	200	220	200
Nettointäkt grundfall, kr/MWh	8	5	25	24
Nettointäkt grundfall, kr/ha*	715	452	2 260	366
Nettointäkt e. åtgärder kr/MWh	15	12	32	11
Nettointäkt e. åtgärder, kr/ha*	1 340	1 100	2 890	1 000

*Antaget energiinnehåll i skörden: 89, 90 resp. 92 MWh/ha efter 0, 3 resp. 6 mån lagring.

Tabell 73. Kostnader och intäkter för buntskördesystemet när åtgärder för att minska kostnader har vidtagits

Buntskördesystem (2 ha fält)	Lagringstid			
	0 mån	3 mån	6 mån	
Odlingskostnad	77	77	77	
Skörde- och logistikkostnad	124	124	124	
Förändrad kostnad som effekt av ökat energiinnehåll och torrsubstansförluster*		2	2	
Summa grundfall, kr/MWh	201	199	199	
Åtgärd och kostnadsförändring				
10 % ökad skördekapacitet	-4	-4	-4	
Rationellare insamling av buntar	-17	-17	-17	
10 % Ökad lastvikt vid vägtransp.	-7	-7	-7	
Summa efter åtgärder, kr/MWh	173	172	172	
Antagen betalning vid leverans	200	200	220	200
Nettointäkt grundfall, kr/MWh	-1	1	21	1
Nettointäkt grundfall, kr/ha**	-89	89	1 940	89
Nettointäkt e. åtgärder, kr/MWh	27	28	48	27
Nettointäkt e. åtgärder, kr/ha**	2 410	2 580	4 320	2 560

**Antaget energiinnehåll i skörden: 89, 92 resp 95 MWh/ha efter 0, 3 resp 6 mån lagring.

Tabell 74. Kostnader (kr/MWh) för flisskördesystemet när odlingskostnaden är medräknad

Direktflisningssystem (2 ha fält)	
Odlingskostnad	77
Skörd- och logistikkostn, grundfall	81
Summa grundfall, kr/MWh	158
Antagen betalning vid leverans	200
Nettointäkt grundfall, kr/MWh	42
Nettointäkt grundfall, kr/ha***	3740

***Antaget energiinnehåll i skörden: 89 MWh/ha vid 0 mån lagring (direktleverans).

Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeteknisk forskning och utveckling. Forskningsprogrammet är tillämpningsinriktat och fokuseras på energi- och processindustriernas behov och problem.

Bakom Värmeforsk står följande huvudmän:

- Elforsk
- Svenska Fjärrvärmeföreningen
- Skogsindustrin
- Övrig Industri

VÄRMEFORSK SAMARBETAR MED
STATENS ENERGIMYNDIGHET

VÄRMEFORSK SERVICE AB
101 53 Stockholm
Tel 08-677 25 80
Fax 08-677 25 35
www.varmeforsk.se

Beställning av trycksaker
Fax 08-677 25 35