

**JTI-rapport**  
Lantbruk & Industri

**384**

# Tågtransport och terminal- hantering av Salix

Förstudie

Maya Forsberg



JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik

---

**2009**



**JTI-rapport**  
Lantbruk & Industri  
**384**

# Tågtransport och terminal- hantering av Salix

Förstudie

*Railway transport and terminal transhipment  
of Short Rotation Willow Crops*

*Pre-study*

Maya Forsberg

© JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik 2009

Citera oss gärna, men ange källan.

ISSN 1401-4963



# Innehåll

Förord.....	5
Sammanfattning .....	7
Summary .....	8
Introduktion .....	9
Bakgrund .....	9
Syfte .....	11
Mål .....	11
Genomförande .....	11
Utformning av effektiva terminaler .....	13
Lastning och lossning på terminal .....	14
Vägning .....	15
Planering av tågtransporter samt avtal.....	15
Miljöpåverkan och lokval.....	16
Möjligheter med avseende på transport av bränslen från åkern.....	16
Vridbänksvagnen – en intermodal lösning lämpad för små flöden av biobränslen .....	20
Test av transport av skogsflis med vridbänksvagn.....	22
Olika lastbärare och storlekar – för- och nackdelar samt kostnader .....	24
Generella kostnader för järnvägstransport och terminaler .....	25
Exempel på kostnader för tågtransport av flis .....	26
Transport av rundved.....	26
Referenser .....	28
Bilaga 1. Försök med lastning och tågtransport av buntad grot .....	29



## Förord

Denna förstudie är resultatet av ett samarbete mellan JTI och Skogforsk, inom Skogforsks projekt Järnvägsterminaler som ingår i programmet ESS (Effektiva Skogsbränslesystem). Förstudien har letts av JTI med Maya Forsberg som projektledare.

Ett stort tack till Skogforsk och projektledare Johanna Enström som öppnat dörrarna till medverkan i projektaktiviteter samt för information och stöd. Deltagandet i projektmöten samt diskussioner med de inblandade aktörerna har varit mycket givande. Förutsättningar och möjligheter har diskuterats med Pär Winberg, Green Cargo, och Göran Sjöström, Lantmännen Agroenergi. De har haft en aktiv roll i arbetet med att dra slutsatser med avseende på tågtransport av bränslen från åkern. Ett varmt tack riktas även till Energimyndigheten, som finansierat studien.

Uppsala i oktober 2009

*Lennart Nelson*

VD för JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik



## Sammanfattning

Det övergripande syftet med denna förstudie är att bidra till en ökad samordning av bibränslen från skog och åker vid tågtransport och terminalhantering, för att hitta effektivare transportlösningar med avseende på kostnader och miljö. Förstudien syftar till att få en övergripande bild av transporter av bibränsle på järnväg. Förstudiens mål är att utifrån Skogforsks pågående projekt ”Järnvägsterminaler” sammanställa slutsatser till nytta för lantbrukets aktörer om samordningsmöjligheter av bränsleflödena mellan agrara bränslen (i synnerhet flisad och buntad Salix) och skogsbränslen. Vidare att sammanställa slutsatser om utformning av effektiva terminaler samt relaterade kostnader. Bedömningar av möjligheterna att använda den studerade tekniken även för andra agrara bränslen lämpliga för förbränning ingår även. Förstudien ska utgöra ett underlag för planering av en fördjupad studie av mobil terminalhantering, med ett aktivt deltagande av lantbruksintressenter.

Vid tågtransport och terminalhantering av större flöden av bibränsle är det ekonomiskt fördelaktigt att utforma stora terminaler med fasta investeringar för effektiv hantering, för att uppnå ett högt utnyttjande av utrustning och maskiner samt en hög lageromsättning.

För mindre flöden, såsom agrara bränslen, som behöver hämtas i olika områden kan det lämpa sig med en mer enkel och mer temporär terminallösning. Det är då fördelaktigt att välja intermodala tågtransportlösningar, dvs. lösningar där samma lastbärare kan användas för olika transportslag med smidig omlastning. Dessa bör även bygga på standardlösningar, innebära låga terminalinvesteringar samt medge flexibel och temporär lastning i olika områden där råvaran finns.

Flisad Salix kan vid eventuell tågtransport hanteras med samma hanteringsutrustning som skogsflis, dvs. standardiserade containersystem, vilket medför enkel lastning och lossning, samt ha likvärdiga kostnader. Detsamma gäller vid transport av briketterad eller pelleterat åkerbränsle, med skillnaden att en container med tak kan krävas då materialet är torrare.

Eventuella buntar av grot eller Salix bör kunna hanteras med infrastruktur som används för rundved med vissa anpassningar. För transport av stråbränslen i balform, såsom halm och rörflen, finns tågagnar och utrustning att använda, men mer anpassning krävs av exempelvis lastbärare för att en bra helhetslösning ska nås. En tillräckligt hög volymvikt krävs för ett bra lastutnyttjande, och lösningar för effektiv lastning och lossning behöver studeras närmare.

Avgörande för att hitta smarta, kostnadseffektiva transportlösningar från åker/skog till anläggning är samarbete mellan involverade parter. Utöver arbetet med att finna lämpliga lastbärare och lösningar för lastning/lossning behöver upplägg för vad som är betalningsgrundande tänkas igenom samt hur gränssnitten i affären mellan olika parter ska dras.

## Summary

The overall aim of this pre-study is to contribute to an increased co-handling of biomass from forest and field at terminal and railway transport, in order to find effective transport solutions with regard to costs and environment. The aim of the pre-study is also to get an overall picture of transport of biomass on railway. The objective is to draw conclusions of use for interested parties within the agricultural sector, on what possibilities there are to handle biomass from forestry and agriculture with the same logistical infrastructure. Conclusions are drawn especially with regard to Short Rotation Willow Crops (here Salix) handled as chips or bundles, but also briefly for other energy crops suitable for combustion. Furthermore, the study draws conclusions on how to design effective terminals and related costs. The pre-study is intended as a planning material for a more in-depth study of a mobile terminal solution, with active participation from interested players in the agricultural sector.

When considering railway transport and terminal transshipment of large volumes of biomass, there is a clear economical benefit in designing large terminals and making investments in effective handling equipment, in order to get a high use of equipment and a high storage turnover.

A more simple and temporary terminal solution may be suitable for smaller flows of biomass, such as agricultural fuels, which need to be collected in different areas according to availability. An intermodal solution, i.e. which involves the transportation of freight in the same type of carrier (a container for example) when changing modes of transportation, is suitable for this purpose. The solution should also build on standardised equipment, involve low terminal investments and flexible and temporary transshipment in different areas near the location of the biomass.

For railway transport, the same handling equipment may be used for wood chips and Salix chips, i.e. standardised container systems, involving simple transshipment and similar costs.

If Salix is to be handled as bundles, which is not usual in Sweden today, the same infrastructure used for timber would work, with some adjustments. When transporting straw or Reed Canary Grass, handling in square bales is an option. However, more work is needed to combine and adapt train trailers and freight carriers to find a good transport solution. A sufficient density is also needed in order to optimize load capacity on the train and truck, as well as finding solutions for effective transshipment. If these crops are to be handled as pellets or briquettes (which has a higher density), the standardised container systems may be used (as for chips) with the difference that a container cover is required in order to protect the material from moisture.

In order to find cost effective transport solutions from forest/field to energy plant, cooperation between involved parties is of crucial importance. Apart from finding suitable freight carriers and equipment for effective transshipment, there is also a need to find suitable business models for the involved parties.

# Introduktion

## Bakgrund

En rad biobränsleeldade kraftvärmeanläggningar planeras och byggs för närvarande i Sverige, där tillförseln av biobränsle i flera fall planeras ske på tåg. I takt med att efterfrågan på biobränsle ökar, ökar också intresset för att transportera råvara från mer glesbefolkade områden till tätbefolkade regioner, där efterfrågan är större. Vid långa transportavstånd kan då järnvägstransporter vara ett konkurrenskraftigt alternativ till lastbil.

För jordbrukets del är möjligheten att leverera åkerbränslen med tåg till anläggningar med stora bränslebehov intressant. Detta dels då det kan minska kostnader och miljöbelastning för längre transporter i jämförelse med lastbil. Dels då det möjliggör att mer långsiktiga kontrakt kan tecknas, vilket underlättar för aktörer i lantbrukets leveransled att våga satsa och göra de investeringar som krävs för att få en effektiv logistikkedja.

I studien "Jordbruket som leverantör av åkerbränslen till storskaliga kraftvärmeverk – fallstudie Värtan" (Forsberg et al., 2007), uppskattades bl.a. kostnader för tågtransporter av halm och Salix samt möjligheter till sänkta kostnader. Det visade sig att tågtransport kan bli ett konkurrenskraftigt alternativ vid avstånd över 10-25 mil, bl.a. beroende på densitet och lastutnyttjandet på tåget, samt givetvis bränslepriset. Stora osäkerheter finns dock vid uppskattning av terminalkostnader för hantering av Salix och halm, pga. avsaknad av underlag. Det framgick att en viktig faktor är varaktigheten för en tågterminal över tiden, dvs. att den byggs flexibel och att inte enbart ett bränsle kan hanteras. En tänkbar lösning är mobila terminaler som diskuterats inom skogsbranschen för hantering av skogsråvara. Tack vare flexibiliteten att hämta råvaran där den finns i olika perioder, kan transportavstånd minskas och höga kostnader för fasta terminaler undvikas. Andra slutsatser var att kostnads-sänkningar i logistikkedjorna uppnås genom ökad volymvikt hos bränslena, samhantering med skogsbränslen samt färre hanteringssteg i kedjan.

Skogforsk driver inom ramen för programmet ESS (Effektiva Skogsbränslesystem) projektet Järnvägsterminaler, som handlar om hur effektiva terminaler för järnvägstransport av skogsbränsle ska utformas. Projektet startade i januari 2008 och pågår i två år.

Denna förstudie initierades då Skogforsk och JTI såg att en större nytta kunde uppnås med Skogforsks projekt genom att även beakta bränslen från åkern, då i första hand Salix. Detta var även något intressentföretagen i projektet Tågterminaler ställde sig positiva till. Tanken var att slutsatser även ska kunna dras om effektiv hantering (teknik, lastning och lossning) samt möjlig samhantering för Salix med skogsbränslen. Förutom Salix i flisad form, som brukas idag, är det även ur skörde- och lagringssynpunkt intressant att dra slutsatser om möjlig hantering av Salix i buntad form. I Skogforsks projekt var planen att även studera lösningar för hur olika mobila/temporära terminallösningar kan se ut. Idén med temporära terminaler är att hålla nere fasta terminalkostnader genom att med mindre modifieringar så långt möjligt utnyttja befintliga, mindre terminaler. Under Skogforskprojektets gång flyttades fokus från mindre terminaler till att mer allmänt studera lösningar för flexibel lastning och lossning, som kan passa hantering av större såväl som mindre flöden av bränsle, vilket även återspeglas i denna förstudie.

Då många tågterminaler är under planering i landet kan det vara strategiskt att i ett tidigt skede ha underlag för möjligheterna till en "bränsleflexibel" hantering, och hur eventuell samhantering av exempelvis Salix med skogsbränslen kan se ut. Lantmännen har uttryckt intresse av flexibla lösningar för hantering av mindre flöden Salix. Förutsättningar som gäller för sådana leveranser har beaktats vid bedömningen av vilka lösningar som kan vara värda att lyfta fram från Skogforsk-projektet och studera vidare.

Förstudien har vidare som avsikt att beakta frågeställningar av intresse för lantbrukets aktörer, här i första hand Lantmännen, som varit en diskussionspart i förstudien vad gäller Salix. Totalt ca 13 000 ha Salix odlas i Sverige, från Dalarna i norr till Skåne i söder, av sammanlagt ca 250 odlare, där Lantmännen Agroenergi är en huvudaktör för leverans och försäljning av Salixflis till värmeverk. Ett normalår har Lantmännen Agroenergi ca 200 GWh Salix att leverera. Ca 25 värmeverk använder Salix som en del av sitt bränslebehov. Inblandningen är i normalfallet 10-15 %.

Lantmännen Agroenergi har vid tidigare tillfällen undersökt möjligheten att köra flisad Salix på tåg, men då tyckt att kostnaderna blivit för höga, vilket delvis berodde på att det skulle innebära ett antal omlastningar. Andra lösningar för tågtransport är dock intressanta för Lantmännen. Enligt Lantmännen är det exempelvis tänkbart att det kan komma att löna sig att transportera Salix från t.ex. Skåne och Östergötland till Mälardalen, där avsättningen är bättre och betalningsförmågan högre än i andra delar av landet.

I dagsläget har Lantmännen problem med att skörd och logistik åter upp för mycket av lönsamheten för odlarna, varför det är intressant att se på såväl kostnads-sänkande åtgärder i logistiken som möjligheten att hitta regioner och avnämare med bättre betalningsförmåga (Lindblad, pers. medd., 2009).

Volymerna av Salix som Lantmännen levererar är fortfarande små, varför system och terminaler eller lösningar för lastning och lossning anpassade för mindre flöden av bränsle till terminalen är mest intressant. Vid leverans av flis är det viktigt för Lantmännen att kunna använda "vanliga" 35-40 m<sup>3</sup> containrar som idag brukas vid skörd. På grund av att det än så länge handlar om mindre volymer som transporteras från olika fält blir stora containrar för dyrt. Hantering av buntad Salix är även intressant, enligt Lantmännen Agroenergi. Om Salix kan levereras i buntad form möjliggör det leverans av Salix under hela året, då buntar till skillnad från flis kan lagras. Lantmännen är med den flisade Salixen ännu inte en säker leverantör, då denna direktlevereras vid skörd och därmed är beroende av när skörd är möjlig. Dessa frågeställningar har beaktats i den mån det är möjligt i studien samt vid planering av det påföljande projektet om flexibla lösningar för lastning och lossning av Salix.

Förstudien förväntas bidra till målet att stärka Salix konkurrenskraft genom FoU-verksamhet som kan förbättra förutsättningarna för nyckelaktörer inom branschen inom ramen för Energimyndighetens program "Uthållig tillförsel och förädling av biobränsle" och inriktningen *Lantbruk*.

## Syfte

Det övergripande syftet med denna förstudie är att bidra till en ökad samordning av biobränslen från skog och åker vid tågtransport och terminalhantering, för att hitta effektivare transportlösningar med avseende på kostnader och miljö. Den här förstudien syftar till att få en övergripande bild av transporter av biobränsle på järnväg.

## Mål

Förstudiens mål är att till nytta för lantbrukets aktörer och utifrån Skogforsks pågående projekt ”Järnvägsterminaler” sammanställa slutsatser om

- samordningsmöjligheter av bränsleflödena mellan agrara bränslen (i synnerhet flisad och buntad Salix) och skogsbränslen
- utformning av effektiva terminaler samt relaterade kostnader för Salix

Förstudien ska utgöra ett underlag för planering av en fördjupad studie av mobil terminalhantering i samband med Skogforsks projektdel om ”Mindre temporära terminaler – lastning”, med ett aktivt deltagande av lantbruksintressenter.

Underlaget ska även innehålla kvalitativa bedömningar av möjligheterna att använda den studerade tekniken även för andra agrara bränslen.

## Genomförande

JTI har genom kontakt med Skogforsk under deras pågående projekt identifierat generella frågeställningar av intresse men också frågor med avseende på agrara bränslen. Viss anpassning av information och beräkningar har skett, och slutsatser har dragits med hjälp av projektaktörerna. JTI har även deltagit i ett antal projektaktiviteter under förstudiens gång, såsom projektmöten där olika berörda aktörer deltagit (från energibolag till representanter från skogsindustrin bl.a. Kockums, Söderenergi, Skellefteå Kraft, EON, Fortum, CMT, Södra, Banverket och Green Cargo) och studiebesök, som listas nedan. Diskussioner har förts med Lantmännen och Green Cargo där bedömningar gjorts om relevans utifrån existerande förutsättningar för leverans av Salix. Vidare har vi planerat upplägget av ett efterföljande projekt om flexibla terminallösningar, som studien identifierat som en intressant lösning för lantbruksaktörer. Slutsatserna rapporteras här.

### Aktiviteter som genomförts inom Skogforsks projekt Järnvägsterminaler

- *Två mindre fallstudier av olika lastbärare:* mellan Hoting-Örnsköldsvik (Innofreight containrar) samt Vilhelminna-Umeå (lastväxlarcontainrar), våren 2008.
- *Lossning med hjälp av hjullastare* har utretts, men kräver för stora maskiner för att vara ett intressant alternativ.
- *En kartläggning av möjligheter för svenska värme- och kraftvärmeverk att ta emot järnvägstransporter* har utförts i form av ett examensarbete av Martin Frosch.

- En större fallstudie av systemtransporter med flis till Örebro och Västerås utfördes under hösten 2008. Studien finns dokumenterad som en arbetsrapport av Skogforsk: *Systemtransporter av skogsbränsle på järnväg*, nr 678, 2009. Studien har givit resultat om bland annat hur den interna terminallogistiken påverkar effektiviteten vid lastning och lossning.
- *Kockums vridbänksvagn* har studerats i ett mindre försök mellan Stockaryd och Gävle. En informell rapport finns, men den skall kompletteras med en fullständig ekonomisk analys.
- *Buntar på järnväg*. Ett praktiskt försök att lasta buntad grot på vanliga rundvirkesvagnar utfördes i Sveaskogs regi och studerades inom ramen för projektet. JTI deltog även i studien, se bilaga 1.
- JTI deltog aktivt i studien av den sistnämnda aktiviteten, samt har genom diskussioner med berörda parter tillgodogjort sig informationen från övriga studier och dragit slutsatser utifrån dessa.

JTI har även deltagit i två av projektmötena och i studiebesök för att identifiera tekniska lösningar av intresse vid hantering av Salix. Ett studiebesök gjordes på Stockarydterminalen i Småland, där vridbänksvagnen demonstrerades.

#### **Projekt Järnvägsterminalers pågående och planerade aktiviteter**

De aktiviteter som inte har avslutats eller påbörjats inom Skogforsks projekt listas nedan. Dock ingår inte medverkan eller rapportering och slutsatser utifrån dem i denna förstudie.

- *Lastning med separatlastare* (byggd på grävmaskinsschassi). En ny typ av skopa kommer även att testas.
- *Vislandaterminalen*. Utformning av terminalen.
- *Sammanställning av olika containersystem för flis*: Innofreights system, lastväxlarcontainrar med gaffeltunnlar, Pik-systemet samt vridbänksvagnen.
- En ekonomisk analys av tågtransporter inklusive lastning och lossning.
- Ett nummer av Skogforsks skrift *Resultat om terminalhantering* samt om *olika containersystem och kostnader* ska ges ut.
- *Miljöanalys*.
- *Föredrag eller slutseminarium* i början av 2010.

## Utformning av effektiva terminaler

I detta kapitel ges en översikt med slutsatser till nytta vid planering av effektiva terminaler vid tågtransport utifrån projekt Järnvägsterminaler. Slutsatserna har i första hand dragits utifrån avslutade delstudier i projekt Järnvägsterminaler, vilka finns listade under avsnittet Genomförande, och utifrån möten med berörda aktörer samt studiebesök inom ramen för projektet och denna förstudie. Slutsatser dras också med avseende på lösningar som även kan lämpa sig vid hantering av Salix samt övergripande med avseende på andra agrara bränslen.

Vid transport av biobränsle på järnväg behövs terminaler för effektiv lastning/lossning mellan lastbil och tåg. Eventuell sönderdelning kan även ske effektivt på en terminal. Materialet kan även mellanlagras på terminalen, vilket ökar leveranssäkerheten. Terminalen kan även erbjuda andra nyttor, såsom att serva affären mellan leverantör och kund genom exempelvis vägning av materialet, kvalitetskontroll och mätning av fukthalt.

På så sätt kan även kunden få information om vilka kvaliteter som kommer att levereras. Alla möjligheter till att skapa mervärde i hanteringen bör beaktas vid planering av en terminal och dess logistik.

Vad som menas med begreppet terminal beror bland annat på hur stora flöden som ska hanteras. I de följande avsnitten beskrivs några huvudprinciper samt vad som är bra att tänka på vid terminalutformning, men olika varianter finns givetvis.

### Stora terminaler

För större flöden av bränsle är det fördelaktigt att utforma stora terminaler med fasta investeringar för effektiv hantering. Genom att hantera stora volymer på en terminal kan ett högt utnyttjande på maskininvesteringar, effektiv sönderdelning och en hög lageromsättning uppnås. Ett möjligt alternativ är att ha öppna terminaler som drivs av en fristående part, specialiserad på storskalig och effektiv hantering på terminalen, dit samverkande företag levererar biobränslen. En sådan stor terminal för hantering av biobränslen bör byggas för att kunna hantera alla typer av biobränslen, även exempelvis mindre flöden av biobränslen från lantbruket (Winberg, pers. medd., 2009).

### Anpassade rundvirkesterminaler

I Skogforsks Tågterminalprojekt var de flesta terminaler som användes i försöken rundvirkesterminaler, där flis hanterades som ett extra sortiment. Bland fördelarna med en kombinerad hantering är att terminalen och resurserna kan utnyttjas bättre. Bland nackdelarna med hantering av flis kan nämnas att terminalerna ofta är anpassade för rundved och att ytan för möjlig hantering av andra biobränslen kan ligga långt ifrån spåret. Vad gäller buntar av grot eller Salix, som bör kunna hanteras med samma utrustning som rundved med vissa anpassningar (se avsnittet Buntad Salix samt bilaga 1), bör dessa sortiment kunna passas in enklare.

### Små temporära terminaler

För hantering av mindre flöden som behöver hämtas i olika områden kan det lämpa sig med en mer enkel och flexibel terminallösning som innebär mindre fasta investeringar som belastar den hanterade mängden. Det är då också särskilt

lämpligt att hitta intermodala lösningar, dvs. lösningar som möjliggör smidig omlastning mellan lastbil och tåg och där samma lastbärare kan användas. Standardlösningar för lastbärare är då att föredra, t.ex. en standardcontainer som kan transporteras både på lastbil och på tåg samt hanteras med vanligt förekommande utrustning. Denna typ av lösningar är särskilt intressanta för tågtransport av agrara bränslen då det kan vara ett enkelt sätt att få till stånd en fungerande lösning utan stora fasta terminalinvesteringar.

En sådan lösning med användande av en vridbänksvagn har studerats inom ramen för projektet, och beskrivs i avsnittet Vridbänksvagnen – en intermodal lösning lämpad för små flöden av biobränslen. Kockums Industrier har nyutvecklat vridbänksvagnen Sgnss<sup>023</sup> som är en boggi-godsvagn. Det speciella med den är möjligheten att lasta och lossa järnvägsvagnen enbart med lastbil, dvs. tunga lastfordon eller kranar behövs inte.

En annan alternativ intermodal lösning skulle kunna vara att använda standardiserade containervagnar och låta en truck följa med tåget. Stickspår med en asfalterad yta bredvid kan då användas för temporär lastning/lossning av containrar. Tekniken har använts i slutet av 90-talet under ett antal år för distribution av livsmedel i containers. Den s.k. ”Dalkullan” utvecklades av SJ Gods, nuvarande Green Cargo. Då handlade det om väsentligt lägre vikter att hantera än de som är aktuella för lastbärare fyllda med flisad/krossad Salix. Lastning/lossning skulle då kunna ske under järnvägens kontaktledning. Dock undersöks möjligheterna att ta med större truckar, men denna fråga är än så länge på skisstadiet pga. truckens tyngd och storlek för att klara uppdraget, då maxvikt och lastprofilen på vagnen sätter en begränsning.

Bland fördelarna med lösningar som de ovan beskrivna är att de innebär att konventionell och välkänd teknik kan användas samt att de enkelt kan användas vid stickspår eller terminaler som används för andra ändamål. Användning av flexibel terminalutrustning förenklas och extern utrustning behövs inte. En bemannad terminal behöver inte användas och en liten terminalyta krävs, vilket ger låga terminalkostnader. För lösningarna gäller att samma containrar samt utrustning för hantering av dessa används, t.ex. att containrar med tunnlår krävs för att gaffeltruckarna ska kunna användas eller att krokbil krävs för att lasta av containern från en vridbänksvagn. Detta är dock ett mindre problem då denna utrustning är vanligt förekommande och då standardcontainrar används (Voxenius, 2008).

### **Lastning och lossning på terminal**

En viktig slutsats av studierna är att logistiken på terminalen behöver läggas upp så att tåget kan lastas snabbt för att undvika stillestånd. Detta medför att fler tågset per vecka kan köras och järnvägens höga fasta kostnader kan fördela på en större volym.

Vidare bör andra störande aktiviteter undvikas på terminalområdet. Vid projektets studier av lossning på terminal förekom samtidigt leveranser med flisbilar och lastmaskiner som forslade material till en tippficka, vilket krävde vaksamhet och koordinering hos förarna (Enström, 2009a). Med ökad planering och koordinering kan övrig trafik minskas under själva tåglossningen.

När tågpersonal finns på plats bör man vidare ha ett nära samarbete mellan maskinförare och tågpersonalen utvecklas för att få en effektiv terminallogistik. Vid projektets studier där tåget flyttades på terminalen vid lastning och lossning iaktogs att ett ökat samarbete hade effektiviserat arbetet. Kostnaden att ha tågpersonal på plats bör dock vägas mot kostnaden för längre lastningstid.

För att möjliggöra en effektiv lastning kan bränslehögarna placeras nära spåret. I en av projektet Järnvägsterminalers ingående delstudier studerades ett systemtåg som lastades vid fem terminaler och lossades i Örebro och Västerås. Syftet var att se vilka faktorer som påverkar effektiviteten. Tidsstudier visade att lastningstiden i allra högsta grad är beroende av avståndet mellan tågagn och flisstack. Hanteeringskostnaden skiljde flera kronor per MWh beroende på avståndet. På en av de studerade terminalerna låg flisen i högar vid ändarna av tågsetet. Där krävdes det dubbelt så mycket hjullastartid för att lasta tågsetet som på en terminal där flisen låg i en sträng utmed spåret (Enström, 2009a).

Lastningen av ett tågset med 23 vagnar tog i ovannämnda studie mellan fyra och sex timmar på de olika terminalerna. Mellan en och tre hjullastare användes för lastning. Att lossa ett tågset tog mellan fyra och fem timmar, inklusive en omväxling. Flisen tömdes på marken och stackades sedan upp.

En maximal fyllnadsgrad av tåget är viktigt för systemets effektivitet. Exempelvis gör ett för fuktigt material att lastvolymen inte kan utnyttjas fullt, och mindre energi kan transporteras per tåg.

Vid lastning av containrar bör föraren av lastaren kunna se ner i containern, vilket inte är möjligt om lastare och container står på marknivå. Vid planering av nya terminaler bör detta beaktas så att lastaren kan stå på en högre nivå än containrarna, t.ex. genom att spåret är nersänkt eller lastningsytan upphöjd. Då kan lastaren även få bättre räckvidd att fördela materialet i containern. Dock försvåras städning av spåren om banan är upphöjd (Enström, 2009b).

## Vägning

Att kunna väga materialet så korrekt som möjligt på terminalen är viktigt både för att få ett gott utnyttjande av järnvägsvagnarnas lastkapacitet och för att få ett bra underlag för betalning. De hjullastare som användes i projektets studie av systemtransporter av skogsbränsle till Örebro var försedda med krönta vågar som ackumulerade vikten för varje lastad skopa, och som hade en noggrannhet på  $\pm 1$  procent (Enström, 2009a).

Exempelvis kan en felmarginal på fem procent vid vägning innebära att priset för tågtransporten skiljer  $\pm 20\,000$  kr från det verkliga värdet (Enström, pers. medd., 2009).

## Planering av tågtransporter samt avtal

För att säkra tider i Banverkets tidtabell för spåren samt för att få ett effektivt flöde vid transport av stora volymer krävs framförhållning. Ansökan för tilldelning av spårkapacitet behöver vara Banverkets tillhanda i april inför det kommande året. I annat fall får man använda sig av restkapaciteten som återstår för järnvägen (Enström, pers. medd., 2009).

Alla involverade parter i en tåglösning tjänar på att tänka igenom avtalen och hitta rätt drivkrafter för vad som är betalningsgrundande samt hur gränssnitten i affären mellan olika parter ska dras. Målet med avtalen bör vara att frakta så mycket energi (MWh) per tåg som möjligt, dvs. ett högt kapacitetsutnyttjande, samt att minska risken för störningar i transportererna (Winberg, pers. medd., 2009).

### **Miljöpåverkan och lokval**

Vid längre transportavstånd (längre än ca 15 mil för flis) finns stora miljöfördelar med tågtransport jämfört med lastbilstransport. Exempelvis rymmer ett tågset med 23 vagnar (med stora containrar på 46m<sup>3</sup>) med flisat skogsbränsle ca 2,5 GWh, vilket motsvarar ca 23 flisbilar med släp. Ur miljösynpunkt är det även fördelaktigt att möjliggöra användning av ellok på terminalen. Om ett diesellok krävs på terminalen finns risk att det av praktiska skäl även används vid fjärrtransporten (Winberg, pers. medd., 2009).

För att köra ett ellok till en terminal krävs en kontaktledning över spåret ända fram. För att undvika att kontaktledningen är i vägen för lastningsarbetet kan elloket backa vagnarna in till lastningsplatsen eftersom lastning av exempelvis en halva av vagnarna i taget lastats. Detta kräver plats samt att tågpersonal finns tillgänglig. I ett av projektets studier lades materialet i stackar eller limpor utmed spåret vid varje lastning. Detta merarbete bör dock vägas mot tidsbesparingen i lastningen av tåget, som kan vara en fördel om tågschemat är pressat (Enström, 2009a).

## **Möjligheter med avseende på transport av bränslen från åkern**

### **Flisad Salix och annan bulkvara**

Flisad Salix, eller annan liknande bulkvara, kan hanteras med samma system som beskrivs för flisad skogsråvara i denna studie. Fukthalten ligger vanligtvis kring 50 % för både flisad Salix och skogsråvara, men kan variera mellan 35-50% (i undre kant flisad grot) beroende på säsong. Volymvikten för nyskördad flis av Salix och skogsråvara är också ungefär densamma, men kan för båda slagen variera beroende på fukthalt och fraktionsfördelning.

Vad gäller skogsråvara kan volymvikten variera beroende på om sortimentet består av grotflis, bränslevedsflis, stubbkross och bark. Ett medelvärde för grotflis som angivits i projekt Järnvägsterminaler är 315 kg/m<sup>3</sup> (Skogforsk, 2009). Man brukar räkna med en volymvikt på 320 kg/m<sup>3</sup> för nyskördad konventionell Salixflis. I ett fältförsök utfört av JTI med en fraktion av flis och större bitar som trampats på i en container, hade materialet en volymvikt på 365 kg/m<sup>3</sup> vid fukthalten 53 %, vilket visar att en viss kompaktering även är möjlig (Forsberg et al., 2009).

Energiinnehållet för flisad Salix och olika sortiment av skogsflis ligger på en jämförbar nivå. Nedan ges ett exempel på värmevärdet vid vanliga fukthalter för några olika sortiment från skogen respektive Salix. Fukthalt och askhalt finns även angivna.

Tabell 1. Exempel på värmevärde, fukthalt och askhalt för några olika sortiment av Salix och skogsråvara. Källa: Bioenergiportalen (SLU, avdelningen för kemi och biomassa, Värmeforsk, JTI).

Bränsle	Effektivt värmevärde (MWh/ton)	Fukthalt (%)	Askhalt (%)
Grot	2,6	45	1,5
Barkflis	2	55	3
Sågspån	2,3	50	1,5
Salixflis	2,2	50	1,5
Frästörv	2,6	50	2-6

Annan bulkvara bör kunna transporteras på i princip samma sätt. Dock behöver torrare bulkvaror såsom exempelvis pellets och briketter, som har en fukthalt ner till ca 11 % jämfört med flisens ca 50 %, täckas för att de inte ska suga åt sig vatten. En container med lock behövs då istället för en s.k. open-top container. Pellets och briketter transporteras idag inte på järnväg.

### Buntad Salix

Buntar av GROT eller Salix bör till stor del kunna hanteras med befintlig infrastruktur för rundvirkestransporter. För tågtransporten bör standardvedvagnar kunna användas. Timmer lastas med en vanlig lastmaskin (t.ex. Volvo 180 Highlift eller en Logstacker), som griper timret uppifrån.



Figur 1. Lastning av timmer med lastmaskin, Volvo 180 Highlift. (Källa: [www.mewab.com](http://www.mewab.com))

Idag hanteras inte Salix i buntform i Sverige, varför det inte finns någon särskild inarbetad buntform att ta hänsyn till. Om tågtransport av Salix i buntform skulle bli aktuellt vore det fördelaktigt att dimensionera buntarna för att passa in i timmerhanteringen på terminal och tåg, t.ex. så att längden överstiger vanliga avstånd mellan bankarna (sidostagen) på tågvarnen med tillräcklig marginal (se även bilaga 1). Detsamma gäller vid vägranport med timmerbilar samt övrig utrustning för timmer som kan användas för samhantering, exempelvis på värmeverket.

Trots att buntar av Salix förmodligen håller ihop bättre än buntar av grot behövs sannolikt någon form av täckning för att inte riskera att grenar och kortare bitar faller av tåget, vilket skulle innebära en säkerhetsrisk då material kan hamna i växlar samt nedskräpning av banvallen. Denna slutsats drogs utifrån det försök som genomfördes som en del av Skogforsks projekt Tågterminaler, och som JTI medverkade i för att även kunna dra slutsatser med avseende på möjligheten att transportera buntad Salix på tåg. Försöket finns redovisat i bilaga 1. I försöket konstaterades även att buntbanden bör vara så täta att kortare delar inte faller ur.



Figur 2. Försök med lastning av buntad grot på tåg, Vitvattnet 2009. Foto: M. Forsberg

### Stråbränslen

Stråbränslen, exempelvis halm eller rörflen, kan också tänkas transporteras på järnväg. Tågtransport och hantering av dessa bränslen berörs dock endast kortfattat i denna studie.

En tillräcklig volymvikt krävs för ett bra lastutnyttjande och lösningar för effektiv lastning och lossning behöver studeras närmare. Vid transport av briketterad eller pelleterat åkerbränsle kan containersystem användas, vilket medför enkel lastning och lossning. Den anpassning som krävs är främst att containern bör ha lock.

Balad halm och rörflen har en volymvikt som är relativt låg. Fyrkantiga balar är att föredra framför runda (cylindriska) balar för maximalt lastutnyttjande. I dagsläget kan halm i fyrkantbal ha en densitet mellan 150 och 188 kg/m<sup>3</sup>, beroende på vilken balpress som används<sup>1</sup> (Forsberg et al., 2007). Någon form av komprimering av materialet kan vara värd att beakta för att öka lastutnyttjandet på tåget. Detta bör

<sup>1</sup> Hesstonbal (vikt 553 kg) respektive hårdpressad Hesstonbal (vikt 691 kg), båda med dimensionerna h=1,20m, b=1,28m, l=2,40m. Fyrkantbalar med andra mått finns även.

dock vägas mot den energi samt kostnad som krävs. En studie JTI utförd med en övergripande kalkyl av kostnaden för transport av balad halm pekar på att halm kan levereras med tåg för en kostnad på strax under 150 kr/MWh vid ett transportavstånd på 10-25 mil (inkl. lastbilstransport 3 mil till terminal). Om halmens alternativvärde på ca 25-30 kr/MWh räknas in, dvs. den växtnäring som förs bort med halmen, blir kostnaden upp till 180 kr/MWh (Forsberg et al., 2007).

Då sådana transporter inte ännu förekommit finns inga färdiga anpassade lösningar för vare sig tågtransport eller terminalhantering.

För att effektivt lasta och lossa halmbalar på tåg kan det vara fördelaktigt att lasta på/av enheter med flera halmbalar samtidigt. Här är det tänkbart att s.k. racks, som idag används när man kör bildelar etc., kan användas med viss anpassning. En truck eller lastmaskin kan användas beroende på vilken vikt som ska lyftas (Winberg, pers. medd., 2009).



Figur 3. Exempel på hur racks kan se ut (källa: Bransbo et al., 2005).

Racks har bl.a. fördelen att de gör det möjligt att lagra mycket på en relativt liten yta, samt är lätta att förflytta då de har hjul (Bransbo et al., 2005).

Vad gäller tågtransporten kan en flakvagn användas, vilken kräver att lasten binds fast. Ett annat alternativ är att använda standardcontainervagnar, på vilka racksen exempelvis skulle kunna låsas fast med containerfästena (Winberg, pers. medd., 2009). För transport av stråbränslen i balform finns således tågvagnar och utrustning att använda, men mer anpassning av exempelvis lastbärare krävs för att en bra helhetslösning ska nås.

Då stråbränslena ofta är torrare än flis kan täckning behövas för att undvika uppblötning av materialet vid vått väder. Fukthalten för halm och rörflen kan ligga mellan ca 15 och 20 % fukthalt, se exempel i tabellen nedan där även effektivt värmevärde samt askhalt framgår.

Tabell 2. Exempel på värmevärde, fukthalt och askhalt för Halm och rörlan. Källa: Bioenergiportalen (SLU, avdelningen för kemi och biomassa, Värmeforsk, JTI).

Bränsle	Effektivt värmevärde (MWh/ton)	Fukthalt (%)	Askhalt (%)
Halm	4	15	7
Rörlan	4	14	6

Inga vanligt förekommande lösningar finns heller för komprimering av halmbalar. En tänkbar möjlighet är att ha en stationär anordning på terminalen för att komprimera balarna. Andra sätt att uppnå en högre volymvikt är att pelletera eller brikettera stråbränslet, vilket bl.a. innebär en extra kostnad. Dock kan då bränslet hanteras i bulkform i containrar, vilket är enklare ur lastnings- och lossningssynpunkt (Winberg, pers. medd., 2009).

För att balansera tillgången på halmen, som skördas på hösten, för leverans under eldningsäsongen samt för att kunna planera in ett smart flöde med terminalen, behöver mellanlagring förmodligen ske i fältkant eller på någon form av mellanlagringsplats, då längre mellanlagring på en tågterminal kan bli för kostsam. En idé som dök upp vid diskussioner kring mellanlagring är att de racks som används kanske kan användas som lagringsenhet om det förses med ett tillräckligt skydd för nederbörd och fukt (Winberg, pers. medd., 2009).

## Vridbänksvagnen – en intermodal lösning lämpad för små flöden av biobränslen

Att använda en vridbänksvagn är en möjlig lösning som förenklar lastning och lossning vid tågtransport som identifierats inom ramen för projekt Järnvägs-terminaler. Fördelen med en vridbänksvagn är att containern kan direktöverföras mellan lastbil och järnvägsvagn.

Ett mindre test har utförts inom projektet där denna teknik utnyttjats i mottagningsändan. Tekniken bygger på att ett standardlastväxlarflak och en kroklastbil av standardtyp används tillsammans med en specialjärnvägsvagn. Lastning och lossning av flaket till och från denna järnvägsvagn kan göras utan truck eller annan lastutrustning. Skogforsks projekt studerade enbart vridbänksvagnen vid ankomstorten. Dock ingick inte den del med transport från skogen till ett avsändande lastningsspår, samt hela tågomlopp, vilket krävs för att få en helhetsbild av det totala flödet.

Förutsättningarna som krävs vid användande av en vridbänksvagn är en hårdgjord yta vid spåret där på/avlastning ska ske, samt att spåret ligger i rätt nivå gentemot lastbilen

En vridbänksvagn har nyligen utvecklats av Kockums Industrier, där vridbänken som containrarna står på kan vridas ut och lastning/lossning kan ske med en standardlastbil för rullflaksramar. Modellen är en boggigodsvagn Sgnss<sup>023</sup> dimensionerad för 25 tons axellast och vridbänkarna kan vardera ta en container med maxvikten 22 ton. Vagnen har en rullflaksram för transport av 6-meterscontainrar. Vagnen kan lasta tre containrar, vilket motsvarar en lastbil med släp, och har en låg höjd för att passa lastbilen (Kockums Industrier, 2009).

Lastbilen behöver vara utrustad med krok (vanligt förekommande) för att klara omlastningen. En truck eller annan utrustning för lastning/lossning behöver därmed inte finnas på plats, vilket är en fördel då en sådan investering kräver ett högt utnyttjande för att vara ekonomisk.



*Figur 4. Bildsekvens som visar lastning av en container på vridbänksvagn med hjälp av lastbil med krok. Foto: M. Forsberg*

Vagnen är även ett intressant alternativ med avseende på transport av bulkformiga bränslen från lantbruket, exempelvis flisad Salix. Vridbänksvagnen kan tänkas användas vid relativt oanvända stickspår med de rätta förutsättningarna i geografisk närhet till Salixfälten.

Ur både transportörens och kundens perspektiv finns en poäng att ha standardlösningar som kan tillämpas på olika kunder med intresse av att köra t.ex. bulkvara, då det kan möjliggöra serietillverkning och minskade tillverkningskostnader, samt minskade driftskostnader då årstidsvariationer kan överbryggas.

Genom att inga andra fasta investeringar, annat än en eventuell hårdgjord yta som ligger i rätt nivå gentemot spåret, behöver göras för omlastningsplatsen vid järnvägsspåret kan lösningen vara lämplig för transport av mindre flöden där tillgången finns i olika regioner i olika perioder. Om vagnen inte utnyttjas fullt under året kan kostnaderna minskas genom att hitta ett samutnyttjande med andra bulkvaror under övriga perioder under året.

### Test av transport av skogsflis med vridbänksvagn

Ett test med vridbänksvagnen genomfördes inom ramen för projekt Järnvägsterminaler (Skogforsk, 2009), från vilket delar av slutsatserna rapporteras här. Bakgrunden till att testet kom till stånd var ett önskemål från deltagarna att studera om vridbänksvagnstekniken fungerar för biobränsletransporter, här skogsflis.

Vagnen testades under mars månad till mitten av april 2009, med ett lastlopp (transport tur och retur mellan avsändande och mottagande plats) i veckan. Totalt gjorde vridbänksvagnen 6 lastlopp. Huvuddelen av flisen transporterades i ”opentop”-container, dvs. en container utan tak. Skogforsk utförde tre fältstudier på plats och följde upp via korta last- och lossningsrapporter från lastbilschaufförerna. Lastning skedde på en järnvägsterminal i Stockaryd på lördagar och lossning på en omlastningsplats i utkanten av Gävle på söndag/måndag.

Omlastningsplatsen i Gävle hade en asfalterad yta intill spåret och låg vid en normalräls. En faktor att ta hänsyn till vid omlastning med vridbänksvagnen är att höjden på den omgivande ytan som lastbilen står på ligger i rätt nivå för att lasta/lossa i containerns lastplan på vagnen. I detta fall blev höjden till lastplanet summan av rälsens höjd på ca 150 mm, vagnens höjd 1135 mm, och vridbänksanordningens höjd på 95 mm, dvs. 1380 mm.

Vagnen är 4-axlig och är utrustad med 3 vridbänksenheter. På var och en av dessa var rullflak (container med krokfäste fram och rullar baktill) placerade som rymde 40 m<sup>3</sup> och vägde 2200 kg vardera. Maximal totalvikt som vagnen klarar är mellan 21 500 och 22 000 kg/rullflak, vilket gav en maximal vikt på 90 ton för vagnen.

Lastbilen som användes var en 3-axlig dragbil utrustad med krok och ett 4-axligt släp. Den maximala lastvikten var 59-60 ton. Detta ger en taravikt (lastekipagets vikt utan lastgods) på dragbilen och släp på cirka 20-21 ton, vilket inte ansågs helt optimalt. Sannolikt finns lättare lastbils ekipage som klarar detta uppdrag. Krok-bilen som användes vid de fyra första lossningarna var inte utrustad med luftfjädring baktill. Under testperioden uppmanades lastande terminal i Stockaryd att lasta maximalt 10 ton/flak, med hänsyn till lastförmågan för lastbilen som användes vid lossning i Gävle.

Nedan visas ett exempel på tider som uppmättes för ett av försöken vid omlastning, transport och lossning till kraftvärmeverket samt återlastning av flaken på vagnen.

Omlastning av de lastade flaken	31 minuter
Lossning + körtid till kraftvärmeverket	56 minuter
<u>Återlastning av tomma flak</u>	<u>11 minuter</u>
Summa	98 minuter

Utifrån försöken drogs slutsatsen att det bör kunna gå att komma ner i lossningstider runt 7 min per container vid en storskalig hantering och med vana förare.

Vidare drogs bland annat följande slutsatser om förbättringsmöjligheter för att få en sammanhållen systemlösning:

- Lastning kan ske på en terminal med flaken placerade på vagnen. Om flaken har en volym på 40 m<sup>3</sup>, bör man lasta så stor volym som möjligt. I försöket låg begränsningen för detta i att kapaciteten på lastbilen var 10 ton/flak, vilket innebär att flakets volym användes till ca 70 %. Volymmässigt fanns därmed plats för ytterligare ca 3 ton material.
- Flaken kan även hämtas direkt i skogen eller åkern vid en bilväg, fyllda med bränslet i färdigflisad form. Detta ställer krav på att flakvikten är anpassad till lastbilens lastförmåga.
- Den aktuella 4-axliga prototypvagnen har en lastkapacitet på 21,5x3 ton (egenvikt 25,5 ton, totalvikt 25,5+64,5=90 ton). Under försöken utnyttjades knappt 60 % av kapaciteten. Om flaket fylls till brädden utnyttjas kapaciteten bättre. Totalvikten på flaket blir då mellan 15 och 16 ton beroende på bränslets densitet. Transporten till och från vagnen behöver då sannolikt utföras med två flak per bil och släp, alternativt 3 flak om man kan få specialtillstånd för tung transport.
- Ett annat alternativ innebär att istället använda en tvåaxlig vagn. Ingen sådan vagn finns idag, men om vridbänksvagnar ska användas kommer de att behöva byggas oavsett om vagnen ska vara två- eller fyraxlig. En tvåaxlig vagn bedöms väga max 13 ton i egenvikt + två flak à 16 tons totalvikt (13+16+16=45 ton, eller 22,5/axel). Ungefärligt inköpspris för olika typer av järnvägsvagnar är:

Vridbänksvagn	Inköpspris	Årlig underhållskostnad
Fyraxlig	ca 1 400 000 SEK*	ca 33 000 SEK
Tvåaxlig	ca 1 010 000 SEK*	ca 22 000 SEK

\* Budgetpris för 100 vagnar inklusive alla tester och myndighetsgodkännande, uppgift från Peter Linde, Kockums Industrier.

Som jämförelse kostar en fyraxlig standardcontainervagn ca 75 000-80 000 € i inköpspris, vid köp av ca 100 vagnar. Den årliga underhållskostnaden är ca 30 000 SEK.

Flaken som användes i testen var av allroundmodell, vilket innebär att de är hållfasthetsmässigt överdimensionerade för krossat/flisat biobränsle. De väger enligt uppgift från tillverkaren 2,2 ton. Ett nytt lättviktsflak (1700 kg) har tagits fram som skulle täcka behovet för dessa transporter. Det tillverkas av CMT och är avsett för transporter av material med låg densitet, som t.ex. flis och spannmål (CMT, 2009). Tanken är att detta flak ska kunna ersätta det extra lätta flaket i eventuella vidare försök då det innebär 1-1,5 ton ytterligare nyttolast per vagn, beroende på vilket axelval som görs. Cirkapriser redovisas nedan för de olika rullflaken med en volym på 40 m<sup>3</sup>.

Flak	Inköpspris	Årlig underhållskostnad
Flexiflak, taravikt 2200 kg (användes i försöket)	ca 55 000 SEK*	ca 33 000 SEK
Lättflak, taravikt 1600 kg	ca 55 000 SEK*	ca 22 000 SEK

\* Uppgifterna från Martin Wåhlin CMT, tillverkare av flaken som användes i försöket.

- En ständig utveckling av lastbilar pågår. För det aktuella upplägget skulle lastbilen kunna förbättras genom att ha:
  - en lägre egenvikt på 12 ton och en lastvikt på 14 ton på 3 axlar. Släpet kan ha en egenvikt på 6 ton och 2x14 ton i lastvikt eller 34 ton på 4 axlar, vilket ger totalvikten 60 ton (lösningen finns idag).
  - luftfjädring för att reglera höjden bak på bilen, vilket underlättar att passa in lastnivån. Volvo har 19 cm i lyfthöjd som standardhöjd.
  - en ledad krok, vilket skulle innebära att lastningsvinkeln blir mindre.
  - vajer spel för ut- och invidning av rullflaken.
- För den mottagande terminalen eller omlastningsplatsen krävs en öppen plan intill vagnen där lastbilen kan operera. Det är en fördel ur produktionssynpunkt om den mottagande terminalen har kontaktledning in till lossningsspåret.

En informell projektrapport finns från testet ”Rapport testperiod vridbänksvagn våren 2009” (Skogforsk, 2009) inom ramen för projekt Järnvägsterminaler, men den skall kompletteras med en fullständig ekonomisk analys, varför detta inte redovisas i denna förstudie.

## Olika lastbärare och storlekar – för- och nackdelar samt kostnader

Enligt ett examensarbete som genomfördes inom ramen för projektet har endast ett fåtal värmeverk och kraftvärmeverk idag tillgång till järnvägsspår hela vägen fram (Enström, pers. medd., 2009). Transporten från skogen eller åkern måste därmed ske med bil, varför det är viktigt att få ett fungerande flöde hela vägen med smidiga byten av transportslag – en intermodal transportkedja. Vidare styr valet av lastbärare som används vid tågtransport till stor del behovet av teknik för lastning och lossning.

I projekt Järnvägsterminaler har bland annat större fliscontainrar från Innofreight studerats, vilka är en av de varianter som finns på marknaden. En annan variant är standardlastväxlarcontainrar, som finns i storlekar upp till 40 kubik och som kan flyttas till lastbil utan att materialet behöver tömmas ur.

Containrarnas transportkapacitet har stor betydelse för den totala transportkostnaden (kr/MWh) vid transport av sönderdelat material. Verksamhetens skala, dvs. hur stora flöden som hanteras, har även stor betydelse för kostnaderna. Kort sammanfattat innebär små containrar lägre investeringskostnader i terminalhanteringsutrustning och högre flexibilitet, vilket gör att de lämpar sig för mindre flöden. Dock krävs (investering i) många containrar jämfört med om stora containrar används. Stora containrar kräver mer maskinresurser vid den avlastande terminalen

och är därmed lämpligare då stora flöden hanteras eftersom man då kan få en högre utnyttjandegrad på maskinerna.

### Kostnad för transport av flis med olika containerstorlekar

Kostnader för hantering och tågtransport med större containrar, speciellt utvecklade för transport av flis (Innofreights modeller WoodTainer XXL resp. XXXL), jämfördes utifrån försök med mindre containrar (58 m<sup>3</sup>, 46 m<sup>3</sup> resp. 40 m<sup>3</sup>). Enligt ett exempel med tre tågtransporter per vecka, d.v.s. en relativt stor volym, och en tågsträcka på 300 km visade sig stora containrar vara fördelaktigast, se kostnaderna i tabellen nedan. Kostnaderna ska ses som ungefärliga då de kan variera flera kronor per MWh beroende på förutsättningarna i det enskilda fallet (Enström pers. medd., 2009).

Tabell 3. Hanterings- och transportkostnader i kr/MWh för olika containerstorlekar vid transport av stora flöden. Källa: Enström pers. medd., 2009.

Containerstorlek	40 m <sup>3</sup>	46 m <sup>3</sup>	58 m <sup>3</sup>
Hantering	21	19	18
Tågtransport	32	30	28
<b>Totalt, kr/MWh</b>	<b>53</b>	<b>49</b>	<b>48</b>
<b>Totalt, kr/m<sup>3</sup>s</b>	<b>46</b>	<b>43</b>	<b>40</b>

Densitet: 3,1 m<sup>3</sup>s/ton, energiinnehåll 0,87 MWh/m<sup>3</sup>s, fukthalt ca 45%. Antaget optimalt lastutnyttjande har tågseten i exemplet 23, 22 respektive 20 vagnar (4-axliga vagnar).

### Generella kostnader för järnvägstransport och terminaler

Järnvägstransporter är ett konkurrenskraftigt alternativ till lastbil när avståndet mellan sönderdelningsterminal och värmeverk överstiger ca 15 mil.

Kostnaderna för terminalhantering kan delas upp i tre poster:

1. kapitalkostnad – hyra eller avskrivning för terminalen
2. hanteringskostnad, t.ex. för stackning och lastning
3. kostnad för substansförluster vid lagring.

Kostnaderna är mycket beroende av terminalens förutsättningar och interna logistik. Kapitalkostnaden per kubikmeter är t.ex. direkt proportionell mot årsomsättningen.

Om större volymer kan hanteras på en terminal och fler turer köras varje vecka belastar tågets höga kostnader kostnaderna per hanterad enhet mindre. Detta möjliggörs med en effektiv lastning och lossning, snabb transport och högt lastutnyttjande samt minimerad stilleståndstid för tåget. Cirka 50 procent av kostnaderna utgörs av fasta kostnader (kapital bundet i lok, vagnar och lastbärare) enligt projektets beräkningar. Den rörliga delen utgörs av personal, elektricitet och banavgifter. Exempelvis betyder en extra järnvägsleverans i veckan 40 gånger om året cirka 100 GWh bränsleflis extra per år, att slå ut på de fasta kostnaderna. Om lagret kan omsättas två gånger per år i stället för en gång så halveras kapitalkostnaden per kubikmeter (Enström, pers. medd., 2009).

## Exempel på kostnader för tågtransport av flis

Inom ramen för projekt Järnvägsterminaler har kostnaden för terminalhantering, järnvägstransport och lossning uppskattats till totalt ca 57 kr/m<sup>3</sup>s (35+13,5+10). Vid 45 % fukthalt motsvarar det 67 kr/ MWh, vilket kan jämföras med ett försäljningspris vid energianläggningen som i exemplet antas vara 175 kr/MWh.

Förutsättningarna som gäller för denna kostnad redovisas nedan för terminal respektive järnvägstransport.

### Terminal

Lagringskapacitet: 3 m<sup>3</sup>s per m<sup>2</sup>

Omsättning av lagret: 2 gånger/år

Investering i anläggning: 300 kr/m<sup>2</sup>

Kalkylränta: 7 %

Avskrivning: 20 år på terminalen, 7 år på maskiner (lastning med hjullastare)

Kapitalkostnad: 5,5 kr/ m<sup>3</sup>s

Hanteringskostnad: 6 kr/ m<sup>3</sup>s

Totalt: 11,5 kr/ m<sup>3</sup>s + eventuella kostnader för substansförluster vid lagring

### Järnvägstransport

För ett tågssystem i ett effektivt flöde kan transportkostnaden på järnväg vara ca 0,2 kr per tonkm. Det innebär ca 35 kr/m<sup>3</sup>s med medeltransportavståndet 30 mil.

Vid värmeverket lossas containrarna med en rundvridande truck som utnyttjas 15 timmar/vecka under 35 veckor/år med cirka 3 tåglossningar/vecka. Dessutom används en mindre maskin för stackning.

Hanteringskostnad: 6 kr/m<sup>3</sup>s för trucken samt 4 kr/m<sup>3</sup>s för stackning.

Beräkningarna har gjorts med Excelverktyget FLIS (Flexibel Lathund för Interaktiv Systemanalys), och baseras på ett genomsnitt från olika källor. Verktyget kan användas för analyser av logistikkedjan för skogsbränsle, och kan beställas från Skogforsk.

### Transport av rundved

Allmänt kostar rundvirkestransport (lastning ej inkluderat) cirka 18-19 öre/tonkm eller 12-15 kr/m<sup>3</sup> fub för rundvirke vid vanliga transportavstånd (ca 20-40 mil), enligt Skogforsks erfarenheter (Enström, pers. medd., 2009). Buntar kan som nämnt tänkas transporteras med rundvedsvagnar, men behöver förmodligen täckas för att material inte ska ramla av vid transporten. Kostnader för transport av buntar av Salix eller grot har inte beräknats inom ramen för projektet. Kostnaderna bör dock kunna bli något dyrare för Salixbuntar med tanke på att volymvikten är lägre än för timmer, vilket gör att lastutnyttjandet inte blir fullt lika högt samt då täckningen även medför en extra kostnad.

## Slutsatser och diskussion

För tågtransport av större flöden av biobränsle är det fördelaktigt att utforma stora terminaler med fasta investeringar för effektiv hantering. Detta för att uppnå ett högt utnyttjande på investeringar och utrustning samt en hög lageromsättning.

För mindre flöden som behöver hämtas i olika områden kan det lämpa sig med en mer enkel och flexibel terminallösning som innebär mindre fasta investeringar som belastar den hanterade mängden. Att välja en intermodal tågtransportlösning (lösningar som möjliggör smidig omlastning mellan lastbil och tåg och där samma lastbärare kan användas för de olika transportslagen) som bygger på standardlösningar är då att föredra. Detta innebär låga terminalinvesteringar samt medger flexibel och temporär lastning i olika områden där råvaran finns. Denna typ av lösningar är särskilt intressanta för tågtransport av agrara bränslen i bulkform.

Flisad Salix kan hanteras på samma sätt som skogsflis och har likvärdiga kostnader. Idag hanteras Salix i flisad form och tillgången är än så länge relativt liten i jämförelse med skogsflis, dvs. det handlar om transport av små flöden.

Buntar av grot eller Salix bör kunna hanteras med samma utrustning och inarbetade infrastruktur som används för rundved med vissa anpassningar. En anpassning är att tågagnarna sannolikt behöver täckas för att mindre kvistar och träddelar inte ska falla ut, vilket skräpar ned samt innebär en säkerhetsrisk.

För transport av stråbränslen i balform, såsom halm och rörflen, finns tågagnar och utrustning att använda, men mer anpassning krävs av exempelvis lastbärare för att en bra helhetslösning ska nås. En tillräcklig volymvikt krävs för ett bra lastutnyttjande och lösningar för effektiv lastning och lossning behöver studeras närmare. Vid transport av briketterad eller pelleterat åkerbränsle kan container-system användas, vilket medför enkel lastning och lossning. Den anpassning som krävs är främst att containern bör ha tak.

Hittar man bara smarta lösningar utifrån en helhetssyn på transportsystemet från åker/skog till anläggning kan stora kostnadsbesparingar nås. Vad gäller transport av mindre flöden åkerbränslen från lantbruket, i synnerhet flisad Salix, på tåg talar mycket för att lösningen för att uppnå miljösamma och kostnadseffektiva Salixtransporter ligger i att hitta intermodala lösningar, att en transport av en godsenshet kan ske smidigt med utnyttjande av flera transportsätt. Övrigt som samtliga inblandade aktörer har mycket att tjäna på är att gemensamt hitta lämpliga affärsupplägg och gränssnitt för affären samt utformning av terminalutrustning och logistik.

## Referenser

### Publicerade referenser

- Enström, J., 2009a. Systemtransporter av skogsbränsle på järnväg, Skogforsk arbetsrapport nr 678.
- Forsberg, M, Baky, A., Westlin, H., Ljungberg, D och Ytterberg, P., 2007. Jordbruket som leverantör av åkerbränsle till storskaliga kraftvärmeverk – Fallstudie Värtan. JTI-rapport 361.
- Voxenius, Johan, 1998. Intermodal transshipment technologies – An overview. Göteborg March 1998.

### Opublicerade referenser

- Bransbo, L., Mellberg, P., och Westberg, J., 2005. Hur skapas ett jämt flöde av inkommande gods? Ett uppdrag från Getrag All Wheel Drive AB. EX0010, C-uppsats i företagsekonomi. Mälardalens högskola. Eskilstuna.
- CMT, 2009. Opticont Light. Produktblad. [www.cmt.se](http://www.cmt.se), 091010).
- Forsberg et al., 2009. Skördeteknik och logistik för bättre lönsamhet från små odlingar av Salix. Värmeforsk rapport (publiceras november 2009).
- Kockums industrier, 2009. Vridbänksvagn Sgnss<sup>023</sup>. Informationsblad.
- Skogforsk, 2009. Rapport testperiod vridbänksvagn våren 2009. Internrapport inom Skogforsks pågående projekt Järnvägsterminaler.
- Enström, J., 2009b. Transporter av sönderdelat material på järnväg. Försök med stora containrar mellan Hoting och Örnköldsvik. Internrapport inom Skogforsks pågående projekt Järnvägsterminaler.

### Personliga meddelanden

- Enström, Johanna, Skogforsk, april-oktober, 2009.
- Lindblad, Gunnar. VD, Lantmännen Agroenergi AB. maj 2009.
- Sjöström, Göran, Lantmännen Energi, juni-september 2009.
- Winberg, Pär, Green Cargo, april-oktober 2009.

### Internet

- [www.mewab.com](http://www.mewab.com) Volvo 180 High Lift, 2009-05-23.
- Bioenergiportalen. Värmevärden. [www.bioenergiportalen.se](http://www.bioenergiportalen.se), 2009-10-10

# Bilaga 1. Försök med lastning och tågtransport av buntad grot

Vitvattnet, Kalix, den 1 juli 2009

## Försöksupplägg

Försöket pågick mellan ca kl. 00.00 och 12.00 den 1 juli.  
Åkare: Bröderna Junttis Åkeri, Övertorneå

Tågoperatör: TGOJ (anlitade av TX)  
Organisation av försöket: Sveaskog.

Observatörer av försöket: Johanna Enström, Skogforsk och Maya Forsberg, JTI.



*Omlastning från bil till järnvägsvagn. En lastbilsburen separatlastare med 30 tonmeters kran användes (foto: J. Enström).*

Buntarna lastades på bil vid ett avlägg i skogen med separatlastare. De transporterades med totalt 6 lastbilar ca 2 mil till tågterminalen i Vitvattnet. Lastbilarna hade ca 2 m mellan bankarna och tog 3 eller 4 travar. Lasten säkrades med en kedja per trave.

På terminalen fanns 4 spår, samt en lastramp som följde en del av det ena stickspåret. Övrig mark runt spåren var grusad och, trots vissa mjuka partier, framkomlig för fordonen.

Omlastning från bil till järnväg skedde med en likadan separatlastare som vid lastningen i skogen. Den stod placerad mellan lastbilen och tågagnarna.

Tågsetet var 340 m långt och bestod av ett dieseldrivet lok med 17st 4-axliga vagnar (Sngss), varav 11 vagnar lastades med buntar. Bankarnas höjd var 2,5 m och bredden 3,1 m. Avståndet mellan bankarna för respektive trave varierade mellan 180 och 220 cm. Avståndet mellan bankparen varierade mellan 147 och 220 cm.

Buntarna hade lagrats från början av mars till början av juli, ca 4 månader. De hade då lagrats en månad mer än Sveaskog ursprungligen planerat, och var väl uttorkade även om det synbart fanns en variation i torrhalten mellan buntarna, troligtvis beroende på hur de legat i vältorna. Buntarna bestod av tall- och granris med huvuddelen tall. En del av buntarna hade hanterats en extra gång i skogen, dvs. skotats till en vinterväg och sen flyttats med separatlastare och timmerbil till en sommarväg, innan de hämtades vilket kan ha orsakat extra skador på buntarna samt banden. Den ursprungliga färskvikten var 450-500 kg per bunt (upp till 700 kg på vissa buntar enligt åkaren).



*En relativt färsk bunt med mycket tall (foto: J. Enström).*



*Vissa buntar klarade hanteringen sämre (foto: J. Enström).*

## Resultat

Den totala vikten på de 960 buntarna uppmättes med separatlastaren vid lastning till 287,5 ton, vilket ger en medelvikt per bunt på ca 300 kg. Från den ursprungliga vikten på 450-500 kg innebär det en viktminskning på 35-40 %. Vikten, utslagen per bunt, kunde dock variera mellan olika lass (en variation mellan 276 kg och 330 kg per bunt uppmättes).

På grund av torkningen hade buntarna ”säckat ihop” något och var långt ifrån lika fasta som när de var färska. Då materialet var torrt knäcktes buntarna ganska lätt av kranen vid lastning, samt orsakade en del spill vid hantering. De mindre uttorkade buntarna (troligen från botten av vältan) höll bättre. Diametern uppmättes till ca 70 cm och längden till 2,75 - 2,80 m.

Totalt 11 vagnar lastades (den sista vagnen fylldes inte helt). Fem travar om ca 16 buntar per vagn lastades. Resultaten sammanfattas i nedanstående tabell.

*Tabell med data från försöket.*

Antal buntar totalt	960 st
Vikt per bunt	300 kg
Total lastvikt	288 ton
Antal vagnar lastade	11 st
Lastvikt per vagn	25-33 ton
Lastningstid effektiv	290 min
Lastningstid totalt	390 min



*Tågvagnar lastade med grotbuntar.*

### **Tidsåtgång för omlastning**

Totalt sett tog lastningen 6,5 timme från det att första bilen ankom tågterminalen till dess att de 960 buntarna låg på tåget. Drar man bort väntetider för kranen mellan bilarnas ankomster (totalt ca 100 min) återstår 290 minuters effektiv lastningstid för de 11 vagnarna.

Per järnvägsvagn tog lastningen i genomsnitt 26 min. Antal buntar per lastad vagn varierade mellan 85 och 104 st. Att buntarna sjunkit ihop och i vissa fall fallit sönder gjorde att fler kunde lastas per vagn än vad som var beräknat utifrån de färska buntarna.

## Lastutnyttjande

Medelvikten 300 kg per bunt ger en vikt per vagnslast på 25-33 ton. Maxlasten för de aktuella vagnarna är 70 ton (vikten för bankarna måste då dras bort för att få den exakta nyttolastvikten). Vid biltransporten kom man upp i nyttolastvikter om 17 - 18 ton på de bilar som var anpassade för 4 travar och 13-14 ton på bilar med 3 travar. Uppgifter om energiinnehåll togs inte fram inom ramen för försöket, vilket behövs för att bedöma effektiviteten i transporten samt för att beräkna kostnaden per MWh.

## Säkerhet på tåg

När tåget var färdiglastat inspekterade lokföraren lasten och konstaterade att buntarna innehöll en hel del korta grenar och löst material med risk att falla av vid transport. Detta kan orsaka nedskräpning av banan, hamna i växlar samt kan utgöra en risk för urspårning om material ligger på rälsen. Föraren ville därför inte ta på sitt ansvar att köra lasten. Han påpekade att en lastningsrådgivare borde konsulteras och att någon typ av nätning eller rent av containertransport antagligen var bättre för denna typ av last. Att sätta ett band över varje trave menade lokföraren inte var tillräckligt eftersom det var så pass mycket smått material som ändå riskerade att trilla av. Buntarna lastades därför av.



*Exempel på sämre (överst) respektive bättre (nederst) sammanhållna buntar lastade på tåget (foto: J. Enström).*

## Slutsatser

- Korta lösa bitar utgör en risk vid tågtransport. Som buntarna var lastade i detta fall, utan extra säkring, lämpade de sig inte för tågtransport.
- Faktorer som påverkat buntarnas hållfasthet negativt i detta fall var torkningen (35-40 %) samt den extra hanteringen som frestat på. Buntarna hade även lagrats över dike så att vissa säckat ihop då snön smälte bort, enligt Sveaskog.
- Längre bitar av grot skulle även förbättra hållbarheten, men är en mindre genomförbar åtgärd. Längre grotbuntar skulle göra dem lättare att placera på tåget och lastutrymmet skulle utnyttjas bättre. Hållbarheten skulle dock inte förbättras (mer troligt öka påfrestningen i hanteringen) då de fortfarande skulle innehålla kortare delar.
- Ett kortare avstånd mellan bankarna skulle stödja upp buntarna bättre, men att dessa skulle anpassas mellan körning av timmer och buntar är mindre troligt då det är arbetsamt.
- Även med fastare (färskare) buntar skulle de troligen behöva säkras ytterligare för att minska risken för att material faller av vid tågtransport. Detta skulle exempelvis kunna lösas med tätare band på buntarna, eller med spännband eller nät över travarna på tågvagnarna. Ett spännband per trave hade dock inte varit tillräckligt i detta fall, enligt lokföraren.

## Slutsatser utifrån försöket m.a.p. tågtransport av buntad Salix

Då salix inte vanligen hanteras i buntad form i Sverige, och det inte finns några typiska buntdimensioner att utgå ifrån, dras här generella slutsatser som kan fungera som ett stöd vid utformning och lastning av buntarna för ev. tågtransport: Buntar av hela skott av Salix bör vara mer hållbara än grotbuntar då de skulle innehålla färre korta och lösa delar samt inte säcka ihop lika lätt vid torkning. Detta gör att risken för att tappa delar bör vara mindre. Längden bör vara minst den samma som de i försöket använda grotbuntarna (ca 2,80 m) så att ändarna utanför bankarna inte blir för korta. Buntarna skulle map. avståndet mellan bankparen på dessa vagnar kunna vara längre då det kunde vara upp till en meter mellan travarna, förutsatt att buntarnas hållbarhet inte försämras. Med en bankplacering som i försöket skulle buntarna kunna vara minst 3,3 m långa (1,8+1,5 m), räknat med de kortaste avstånden mellan bankarna. Buntad salix bör utifrån skottens längd kunna vara upp till ca 5m, dock skulle så långa travar inte rymmas bredvid varandra på vagnar med denna bankplacering. Buntbanden bör vara så täta att kortare delar inte lätt faller ur.





## **JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik...**

... är ett industriforskningsinstitut som forskar, utvecklar och informerar inom områdena jordbruks- och miljöteknik samt arbetsmaskiner. Vårt arbete ger dig bättre beslutsunderlag, stärkt konkurrenskraft och klokare hushållning med naturresurserna.

Vi publicerar regelbundet notiser på vår webbplats om aktuell forskning och utveckling vid JTI. Du får notiserna hemskickade gratis om du anmäler dig på [www.jti.se](http://www.jti.se)

På webbplatsen finns även publikationer som kan läsas och laddas hem gratis, t.ex.:

*JTI-informerar*, som kortfattat beskriver ny teknik, nya rön och nya metoder inom jordbruk och miljö (4-5 teman/år).

*JTI-rapporter*, som är vetenskapliga sammanställningar över olika projekt.

Samtliga publikationer kan beställas i tryckt form. JTI-rapporterna och JTI-informerar kan beställas som lösnummer. Du kan också prenumerera på JTI-informerar.

*För trycksaksbeställningar, prenumerationsärenden m.m.,  
kontakta vår publikationstjänst (SLU Service Publikationer):*

tfn 018 - 67 11 00, fax 018 - 67 35 00

e-post: [bestallning@jti.se](mailto:bestallning@jti.se)



**JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik**

JTI - Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering

Box 7033, 750 07 UPPSALA

Telefon: 018 - 30 33 00

Besöksadress: Ultunaallén 4

Telefax: 018 - 30 09 56

Webbplats: [www.jti.se](http://www.jti.se)