

Komprimering av trädbränslen

Compression of forest fuels



Summary

Compression and baling techniques are well developed and applied to a large extent in the recycling and agricultural sector. There should therefore be good opportunities for similar methods to increase logistics and handling efficiency for forest fuels.

This study provides an overview of possible compression techniques that could be used separately or in combination with mechanical pressing to increase the efficiency of the supply chain.

The results showed that round baling, horizontal compression, and rectangular baling can be of interest. Of these, rectangular baling is expected to give the lowest cost (16.8 SEK/MWh for pressed material). The bail density of this method is expected to be 400-750 kg/m³.

The logistics analysis shows that compression can be profitable in long distance shipping by boat. The effect on rail transport efficiency depends on which container solution being used, but compression is profitable when transporting in standard ISO containers. The analysis also shows that the heating plants are likely to need a separate bail unloading station.

Other positive effects of compression are increased storability (lower material losses), as well as more efficient storage and handling. In pellets production, pressing can be a cost-effective way to reduce moisture.

To better assess the possibilities of bailing and compression, practical tests of different bailing techniques are required to verify the fuel density that different technologies can provide.

Förord

Denna rapport ingår i projektet *Lagring och hantering via terminal*, som finansieras av Energimyndigheten tillsammans med aktörer inom skogs- och energibranschen. Detta delprojekt har också fått finansiering från Paper Province. Författarna vill tacka samtliga finansiärer som möjliggjort projektet.

Projektet utförs gemensamt av Skogforsk och SLU. Vi vill också rikta ett varmt tack till de tillverkare av utrustning som bidragit med underlag till studien samt de representanter från energiföretag som ställt upp på intervjuer.

Uppsala i oktober 2017

Mats Brindbergs, M3B och Johanna Enström, Skogforsk

Innehåll

Summary.....	2
Förord.....	3
Sammanfattning.....	5
Bakgrund.....	6
Potential för effektivare hantering.....	6
Beprovade tekniker för komprimering av grot.....	6
Pressning för reduktion av fukthalt.....	6
Syfte.....	8
Metod.....	9
Resultat.....	10
Allmän presentation av komprimeringstekniker.....	10
Rundbalning.....	10
Rektangulär balning.....	11
Komprimering i container - Roller Pack.....	12
Komprimering i container	
- Horisontell komprimering/knivkomprimering.....	12
Komprimering med vacuum.....	13
Komprimering med skruvpress.....	13
Summering av komprimeringstekniker.....	13
Metoder för att ta hand om emballeringsmaterialet från komprimering.....	14
Mottagarnas perspektiv på pressat och komprimerat material.....	14
Söderenergi AB.....	14
Eon Örebro.....	14
AB Fortum Värme.....	15
Analys.....	15
Värdet av inplastning.....	15
Kostnader för pressning och komprimering.....	15
Kostnad för komprimering av pressat sågspån och avverkningsrester.....	16
Exempel på effekter i en logistikkedja.....	19
Slutsatser och diskussion.....	20
Vilken teknik kan ge efterfrågade volymvikter?.....	20
Vilka transportalternativ är aktuella och hur påverkas dessa av pressning	
och komprimering?.....	20
Mervärden med komprimering?.....	21
Analys av mottagarnas perspektiv.....	21
Var i logistikkedjan ska komprimering ske?.....	22
Referenser.....	23
Personlig kommunikation.....	23
Tillverkare av utrustning.....	23
Energiföretag.....	23
Bilaga 1. Kalkyler och grundläggande förutsättningar för komprimeringstekniker.....	24

Sammanfattning

Tekniker för komprimering och balning är väl utvecklade och tillämpas i stor skala inom återvinnings- och jordbrukssektorn. Det bör därför finnas goda möjligheter att liknande metoder skulle kunna öka logistik- och hanteringseffektiviteten även för skogsbränslen.

Den här studien ger en översikt över möjliga komprimeringstekniker som skulle kunna användas separat eller i kombination med mekanisk pressning för att öka effektiviteten i försörjningskedjan.

Resultaten visade att komprimeringsteknikerna rundbalning, horisontell komprimering samt rektangulärbalning kan ge tillräckliga volymvikter för att vara intressanta. Av dessa beräknas rektangulärbalning kunna ske till lägst kostnad (16,8 kr/MWh för pressat material). Balnsdensiteten för denna metod förväntas ligga mellan 400 och 750 kg/m³.

Logistikanalysen visar också att pressning och komprimering i första hand kan bli lönsamt vid långa transportavstånd på båt. Effekten vid järnvägstransporter beror på vilken containerlösning som används, men vid transporter i standard ISO container är pressning och komprimering lönsam. Analysen visar också att mottagande värmeverk sannolikt behöver en separat station för upplösning av balar.

Andra positiva effekter av pressning och komprimering är ökad lagringsbarhet (lägre substansförluster), samt effektivare lagring och hantering. Vid pelletsproduktion kan pressning vara ett kostnadseffektivt sätt att sänka fukthalten.

För att bättre kunna bedöma möjligheterna med pressning och komprimering krävs praktiska tester av respektive balningsteknik där man verifierar vilken densitet på bränslet som olika tekniker kan ge.

Bakgrund

POTENTIAL FÖR EFFEKTIVARE HANTERING

Hantering av trädbränslen från skog och industri till förbrukare innehåller många moment och tekniklösningar. Några specifika förutsättningar är att de stora förbrukarna är koncentrerade till Mälardalen och Västkusten, medan råvaran finns utspridd över hela Sverige. Förbrukningen är koncentrerad till vinterperioden. Sammantaget medför detta ett behov av långväga transporter av ett skrymmande material, samt behov av lagring av producerat material i tidsperioden mellan produktion och förbrukning. Samtidigt är energivärdet idag relativt lågt för biprodukter och skogsflis, 150-178 kr/MWh (Anon. 2016).

I Sverige finns stora volymer grot som idag inte tas tillvara på grund av att hanterings- och logistikkostnaden överstiger betalningsviljan hos slutförbrukaren. Primära skogsbränslen står för ca 8 TWh av den årliga energiproduktionen i Sverige (Anon. 2014). Enligt SKA 2015 (Fridh & Christiansen 2015) är potentialen efter hänsyn till ekologiska restriktioner, cirka 45 TWh, varav 30 TWh finns i förnygringsavverkningar. Det innebär att det finns en stor outnyttjad resurs. När grot tas ut ska, enligt Skogsstyrelsen, minst 20 procent av avverkningsresterna lämnas på hygget. Studier från södra Sverige har dock visat att 52 till 56 procent av groten lämnas kvar beroende på uttagsmetod (Nilsson 2016). Även här finns alltså en potential till effektivare hantering.

Reduktion av fukthalten i flisat trädbränsle ger ett högre effektivt värmevärde och ökar även materialets lagringsbarhet. Att komprimera material inför transport kan ge logistikvinster både under transporten och genom ökad lagringseffektivitet. Ett vanligt mått på stackad bark på terminal är 1 ton/m² (Larsson 2017, pers. kom.). Balat material staplat till 10 meters höjd ger istället cirka 4 ton/m² vid densiteten 500 kg/m³.

BEPRÖVADE TEKNIKER FÖR KOMPRIMERING AV GROTT

Det vanligaste sättet att komprimera grot är idag mobil flisning vid avlägg. Denna teknik ger lägre densitet på materialet än vad som är optimalt ur logistiksynpunkt, speciellt vid långa transportavstånd. Andra prövade tekniker för kompaktering inför transport är buntning och balning av såväl hel som sönderdelad grot. Ett flertal buntare av lösgrot (Fiberpac 370, John Deere 1190 E samt Rogbico GTK 5100) har studerats med avseende på prestationer, energiåtgång och kostnader (Andersson & Nordén 2000, Edman 2009). Men trots ett omfattande utvecklingsarbete har inte dessa metoder slagit igenom på grund av för höga kostnader.

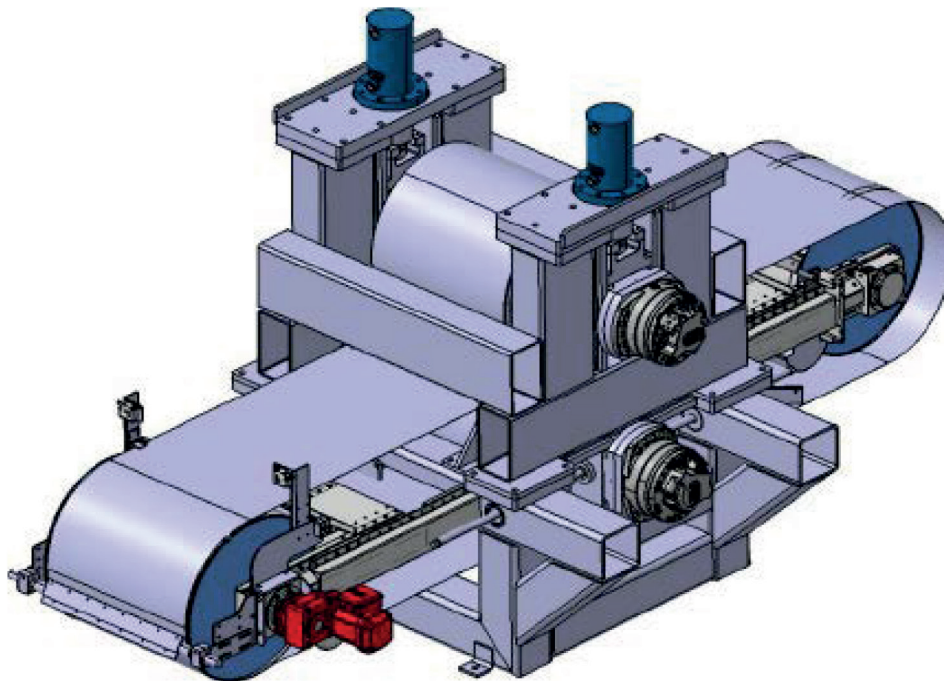
Rundbalning av osönderdelad grot har genomförts med en balpress från Flexus Bala AB monterad på en skotare. Tekniken har studerats vid balning på hygge samt vid väg (Nordén 1998). Den fungerade i båda fallen, men har inte lyckats slå igenom på marknaden. Studier av rundbalning med vanliga lantbruksmaskiner är genomförda i Italien av University of Turin (Manzone 2016). Även den tekniken fungerade väl men kostnaderna för hela processen var hög.

PRESSNING FÖR REDUKTION AV FUKTHALT

Att sänka fukthalten i materialet kan vara eftersträvarsvärt av flera skäl. Önskemålen på fukthalt varierar mellan olika förbrukare av skogsbränsle. Vissa efterfrågar ett torrt material, men ofta är materialets jämnhet viktigare (Vedholm 2017, personligt meddelande). Transporter av flis kan vara viktbegränsade i de fall materialet är fuktigt,

exempelvis för spån. För sågverksbiprodukter i form av spån är fukthalten omkring 55 procent. Genom att avlägsna vatten ur färskt spån och flis tidigt i logistikkedjan kan både effektivt värmevärde och logistikeffektivitet öka. Vinsterna uppstår framförallt på långa transportavstånd med båt eller tåg. Långa transportavstånd, över 150 kilometer med bil är ovanliga på grund av höga kostnader. För grot som har legat och torkat under goda förutsättningar är det dock normalt volymen som är begränsande vid transport.

Ett utvecklingsprojekt med syfte att sänka fukthalten i biobränslen genom pressning pågår hos företaget Drinor. Enligt Drinors tester kräver mekanisk avvattning mindre än en tiondel av energiåtgången jämfört med termisk avvattning (Wikberg 2016, personligt meddelande). Det har också visat sig att pressad flis öppnar upp flisbitarna som då får ett flikigt utseende. I pilotförsök har det visat sig lättare att komprimera den pressade flisen till önskad densitet (Wikberg 2016, personligt meddelande). En prototypmaskin är byggd (Figur 1), och omfattande tester för att pressa sågspån, bark, grot, flisat och krossat material är genomförda.



Figur 1. Prototypmaskinen Drinor CDP (Continuous Dewatering Press).

Vid förprojekteringen har två maskinstorlekar identifierats som lämpliga. De har kapaciteter på 30 respektive 120 m³s per timme. I nuläget pågår projektering av en fullskalig maskin med en kapacitet på 120 m³s/timme. Enligt tester utförda av tillverkaren sänker pressen fukthalten på trädbränsle från cirka 55 procent till omkring 35 procent. Under en studie utförd av Skogforsk i samarbete med FP Innovation testades effekten på fukthalt och volym för flera olika trädbränslematerial med hjälp av prototyppressen. Resultaten visade en fukthalt efter pressning på omkring 45 procent (utom för bark), oberoende av materialets ingångsfukthalt (Volpé m.fl. 2017). Efter studien har tillverkaren justerat och uppgraderat maskinen. Maskinen har sedan gett stabila fukthalter efter pressning på omkring 35 procent (Wikberg 2017). Fler oberoende studier kommer troligen att göras.

Att gå från 55 till 35 procents fukthalt innebär att ca 100 liter vatten pressas ur varje kubikmeter sågspån. Det effektiva värmevärdet ökar då med mer än 1 MWh/ton. Volymen efter pressning är däremot relativt oförändrad (Volpé m.fl. 2017). För att effektivisera

försörjningskedjor över långa transportavstånd med behov av byte av transportslag har frågan om komprimering av det pressade materialet aktualiserats. Möjligheten till komprimering är intressant både som fristående process och i kombination med pressning.

Den bästa effekten av pressning fås på fiberbaserade material med relativt hög fukthalt. Sågspån och nyhuggen flis av klenvirke eller färsk grot ger en stabil minskning av fukthalten. Avverkningsrester som har legat i välta och torkat en vårperiod har normalt mindre än 50 procents fukthalt och effekten av pressning är därmed lägre. Bark från sågverk och massaindustri är ofta fuktig eftersom vattenbegjutning används vid barkning, men effekten av pressning av bark är klart begränsad (Volpé m.fl. 2017, Romlin. 2017. personligt meddelande). Bark består av korkceller och det är således enbart det fria vattnet som påverkas. Vid pressning av vedceller kollapsar cellen och stor del av det fria vattnet i lumen försvinner.

Syfte

Detta är en förstudie i syfte att utvärdera möjligheterna med komprimering av träbränslen inför transport, både som fristående process och i kombination med pressning.

Beräkningar är gjorda för att se om pressning med efterföljande komprimering höjer värmevärdet och sänker transportkostnaden så mycket att det överstiger kostnaden för åtgärderna.

Följande tekniker har analyserats:

- Komprimering genom rundbalning
- Komprimering genom rektangulärbalning
- Komprimering i container
 - Roller Pack
 - Horisontal komprimering
- Komprimering med vacuum
- Komprimering med skruvpress

Teknikerna har analyserats utifrån följande frågeställningar:

- Vilken teknik kan ge efterfrågade volymvikter?
- Vilka transportalternativ är aktuella och hur påverkas dessa av pressning och komprimering?
- Hur påverkas hanteringen i logistikkedjan av en övergång till pressat och komprimerat material och vilka mervärden finns med avseende på transporteffektivitet, lagringseffektivitet och substansförluster?
- Hur ser mottagarna på pressat och komprimerat material?
- Hur ser mottagarna på olika omslutningsmaterial vid komprimering? Exempelvis nät och omslagsplast vid rundbalning eller tråd, snören och nät vid rektangulärbalning.
- Var i logistikkedjan bör pressning och komprimering ske?

Metod

Tillgängliga kommersiella komprimeringstekniker har inventerats. Företag som tillverkar och marknadsför de principiellt olika komprimeringslösningarna har därefter valts ut. Dessa företag har besökts och information om produkter, kapacitet och övriga faktorer har samlats in. Personliga intervjuer tillsammans med företagets publicerade material i broschyrer och på hemsidor utgör faktaunderlag. Företagens representanter har fått tillgång till exempel på pressat material för att kunna bedöma möjligheterna med komprimering.

Av de presenterade komprimeringsteknikerna har de tre mest intressanta valts ut för vidare analys utifrån följande övergripande frågeställning: Vilka förutsättningar kan pressning och komprimering vara lönsamt som transportförberedande behandling?

Brytpunkter för volymfyllnad och viktfullnad med pressad respektive obehandlad flis och spån har jämförts och ligger till grund för analysen. Kostnader för de olika transportslagen är hämtade från aktörer på marknaden och anses spegla den aktuella marknadsnivån. Följande sex transportalternativ har analyserats:

- **Transport med lastväxlarlastbil.**
Taravikt för bil och släp: 19 ton, lastutrustning: 3,5 ton, bruttovikt: 64 ton, nettolast: 41,5 eller 120 m³s. Brytpunkt för fullt lastutnyttjande 346 kg/m³s.
- **Transport med flisbil.**
Taravikt: 15 ton, lastutrustning: 5,5 ton, bruttovikt: 64 ton, nettolast: 43,5 ton eller 135 m³s. Brytpunkt för fullt lastutnyttjande: 322 kg/m³s.
- **Transport på järnväg med containervagn Sgnss 60´.**
Taravikt: 19,6 ton, bruttovikt: 90 ton. Tre olika containeralternativ:
 - Vanlig 20 fots ISO container. 3 st per vagn, vikt lastutrustning: 6.6 ton, nettolast: 63,8 ton eller 99 m³s. Brytpunkt för fullt lastutnyttjande: 644 kg/m³s.
 - Innofreight fliscontainer 3 st per vagn, vikt lastutrustning: 8 ton, nettolast: 62,4 ton eller 138 m³s. Brytpunkt för fullt lastutnyttjande: 452 kg/m³s.
 - Specialcontainer anpassad till järnvägens lastprofil A, vikt lastutrustning: 9 ton, nettolast: 61,4 ton eller 170 m³s. Brytpunkt för fullt lastutnyttjande: 361 kg/m³s.
- **Båttransport av typ Navalys MV Finland.**
Nettolast: ca 7098 ton och 324 TEU (*Twenty-foot Equivalent Unit*), varav 180 TEU inombords och 144 TEU på däck, ca 10 600 m³s i container eller 9100 m³s i balar. Brytpunkt för full lastutnyttjande enbart inom bord: 1200 kg/m³, med däckslast i container: 670 kg/m³s eller 780 kg/m³s för packat eller balat material.

Intervjuer har också gjorts med tre potentiella mottagande kraftvärmeverk, för att få en bild av möjligheterna för dessa att ta emot ett komprimerat material. Det gäller både frågeställningen hur de ser på pressat material i sig och hur de ställer sig till eventuella omslutningsmaterial som kan krävas. Mottagarna har valts ut för att de är stora aktörer som nyttjar andra transportslag än endast lastbil för sin försörjning. Intervjuerna har gjorts per telefon, fritt utefter de två frågeställningarna.

Resultat

ALLMÄN PRESENTATION AV KOMPRIMERINGSTEKNIKER

I kapitlet beskrivs principer för hur varje teknik fungerar. Utförligare beskrivning av respektive metod finns i bilaga 1. En summering av bland annat prestationer för respektive teknik återfinns i tabell 1 nedan.

Rundbalning

Rundbalningstekniken är en vidareutveckling av den teknik som används inom jordbruket för lagring av ensilage. Här finns flera tillverkare av utrustning både för jordbruks-tillämpning och för återvinning. Företaget Flexus Balasystem i Nossebro har valts som representant för rundbalningstekniken. De har patent och är en stor leverantör av balningsutrustning till återvinningssystem i Sverige och Europa.

Rundbalningsmaskinen består av två delar, en matningsdel samt en komprimerings- och balningsdel. Materialet fylls på i matardelen med en kran eller transportband och matas sedan in i komprimeringsdelen som består av en roterande trumma. Omkring trumman finns kraftiga stålmattor som formar ett mothåll. Allteftersom material fylls på ökar trycket mellan trumman och stålmattorna. När ett givet tryck uppnåtts är själva balningen färdig och balen fixeras med ett polytennät. Därefter går balen över till inplastningsläget där en plastfilm viras flera varv (normalt 5-7 varv) runt balen. När den komprimerade balen lyfts över till inplastaren påbörjas komprimering av nästa bal. Företaget har tidigare erfarenheter av att bala färsk grot på hygge.

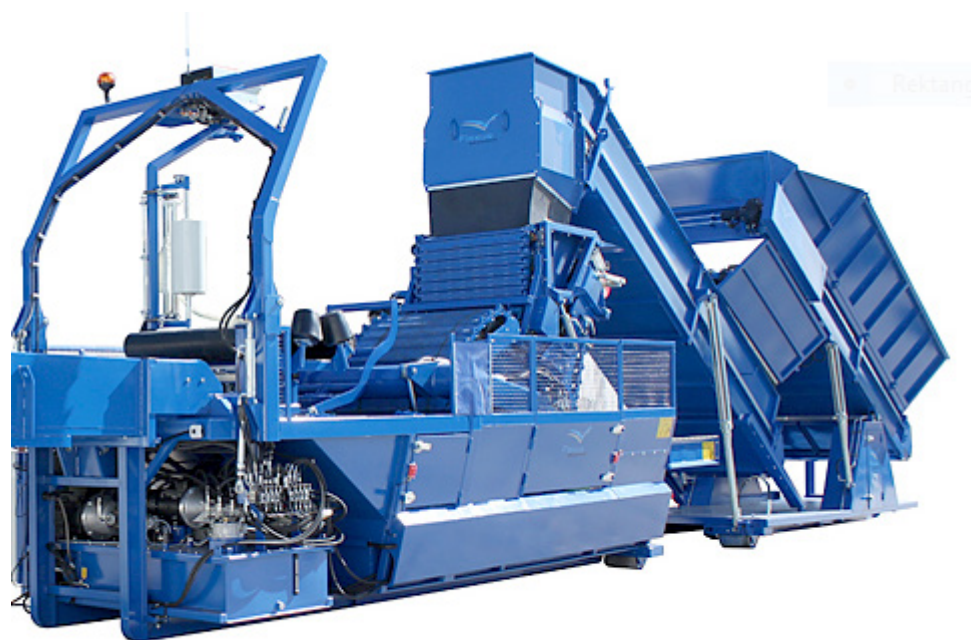


Bild 2. Flexus balmaskin. Foto: Flexus Balasystem AB

Rektangulär balning

Rektangulärbalning genom en hydraulisk press är vanlig vid hantering av återvinningsmaterial som kartong, tidningar och förpackningar. Företaget Presona AB har valts som representant för tekniken. De tillverkar pressar i fler storlekar och har en omfattande marknad i Europa och Asien.

Pressningen sker i två steg. Från inmatningsanordningen hamnar materialet i en förpress. Där pressas materialet ner i själva balkammaren med en vertikal rörelse och en första komprimering sker. Huvudpressen komprimerar sedan materialet med en horisontell kolvrörelse. Mottrycket skapas då av material som tidigare pressats framåt i balkammaren. När önskad ballängd uppnås startar bandningen. Presona har utvecklat teknik för bandning med brännbara band som kan bindas i både längs- och tvärled, så kallad korsbindning. Eftersom förpressen skiljer materialet i presskammaren från fyllnadstratten behövs inga knivar eller andra skäranordningar. Detta medför lågt slitage och låg energiåtgång. När förpressen återgår till sitt utgångsläge fylls presskammaren på med nytt material och nästa cykel startar. Den färdiga balen kan sedan omslutas med plastfolie eller nät för ökad lagringsbarhet.

Denna press ger sannolikt den högsta baldensiteten och högsta kapaciteten. Enligt företagets bedömningar kan man nå ca 750 kg/m³ i densitet. Företaget har erfarenhet av att bala halm och andra jordbruksprodukter men saknar erfarenhet av trädbränslen.



Bild 3. Presona balpress. Foto: Presona AB

Komprimering i container - Roller Pack

Den enklaste formen för komprimering är den som används på många återvinningsanläggningar. Här används en standardcontainer med en stor rulle. Själva rullen är monterad på en kranarm som går fram och tillbaka. Genom rullens tyngd, cirka 2 ton, och viss rotation skapas en komprimering. Tekniken är enkel och lösningen är mobil, men komprimeringsgraden låg. Överslagsmässigt ger tekniken ett presstryck på mindre än 10 N/cm² att jämföra med 100 N/cm² för rektangulär balning. Bedömningen är att detta inte räcker till för att nå önskade effekter.



Bild 4. Roller Pack komprimator.
Foto: Varig Teknik.

Komprimering i container

- Horisontell komprimering/knivkomprimering

En vanlig teknik inom återvinning är horisontell komprimering. Här fylls materialet på uppifrån och en kraftig horisontell kolvrörelse pressar materialet in i en container. Själva containern skapar mottrycket för komprimeringen. Genom fram och återgående kolvrörelser matas material i containern och komprimeringen sker. Många olika utföranden finns och helautomatiska lösningar för containerväxling är tillgängliga. Företaget Varig Teknik o Miljö AB representerar Husmann Umwelttechnik i Sverige.

Eftersom containern tar emot materialet och skapar ett mottryck ställs stora krav på hållfasthet. Varig gör bedömningen att en vanlig ISO-container inte klarar de tryck som uppstår och därför är upprättade kalkyler baserade på en container i höghållfast stål (Mårtensson B. 2017).



Bild 5. Varig omlastningsstation.
Foto: Varig Teknik.

Horisontell komprimering av osönderdelade avverkningsrester direkt in i container tillämpas i Canada av företaget Cyclofor (Bild 6). Den färdigpackade containern körs till en terminal för bearbetning och sortering i olika fraktioner. Enligt uppgift producerar maskinen cirka 15 ton komprimerat material per timme.



Bild 6. Komprimering av osönderdelad grot på hygge. Foto: Cyclofor.

Komprimering med vacuum

Tekniken är enkel men bedöms inte som användbar eftersom undertrycket motsvarar max 1 bar. I de tester som är gjorda med pressat material behövs betydligt kraftigare komprimeringstryck (Wikberg 2016). Dessutom bygger tekniken på att materialet inne-sluts i ett lufttätt emballage som inte skadas vid hantering. Bedömningen är att emballagekostnaden i kombination med lågt komprimeringstryck utesluter metoden.

Komprimering med skruvpress

Skruvpressar av flera olika typer används bland annat inom massaindustrin för att avvattna bark och infuktat fibermaterial. Bedömningen är att de presstryck som åstadkoms är för låga samt att det saknas lösningar för bestående komprimering efter skruvpressen vilket utesluter metoden.

Summering av komprimeringstekniker

Tabell 1. Summering av komprimeringstekniker. Data bygger på tillverkarens uppskattningar.

	TEKNISK LÖSNING OCH TILLVERKARE		
	Rundbalning Flexus balmaskin	Rektangulär balning Presona	Komprimering i container (knivkomprimering) Varig Teknik o Miljö
Prestation	15 ton/h	30-40 ton/h	18-55 ton/h
Baldensitet	400-500 kg per m ³	400-750 kg/m ³	300 kg/m ³
Balvikt	ca 500 kg	500-1000 kg	-
Investeringskostnad*	6,6 MSEK	5,1 MSEK	2,2 MSEK
Omslutningsmaterial	Nät eller plast	Tråd eller band	Container
Mobil lösning möjlig	Ja. Byggt på 2 lastväxlarchassin.	Delvis. Komprimatorn mobil, men ej påfyllnadsanläggningen.	Svårt. Beroende på automatiserings- och komprimeringsgrad.

*Avser även kringutrustning.

Tabell 2. Övriga tekniska lösningar för komprimering.

	Roller-pack i container	Vacuum	Skruvpress
Kommentar	För lågt presstryck.	Lågt presstryck. Kräver lufttätt emballage.	För lågt presstryck. Ger ingen kvardtäende komprimering.

METODER FÖR ATT TA HAND OM EMBALLERINGSMATERIALET FRÅN KOMPRIMERING

Rundbalat material inslaget i nät och plast eller enbart nät öppnas i samband med förbränning. En vanlig metod är man matar med hjullastare och har en utrustning som öppnar balen och emballaget hålls kvar. Omslagsmaterialet läggs sedan för återvinning. Denna teknik är också vanlig inom lantbruket. Företaget Flexus Bala AB har också utvecklat större stationära enheter för balöppning och materialåtervinning.

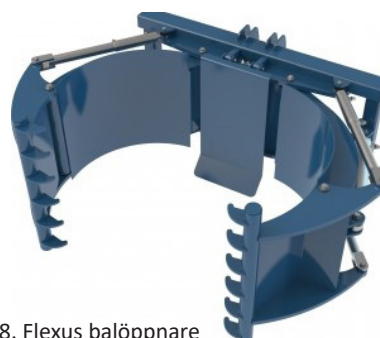


Bild 8. Flexus balöppnare
Foto: Flexus Balasystem AB

När det gäller rektangulärbalning används metalltråd eller band. Presona AB har utvecklat band som också kan ingå i förbränningsprocessen. Balöppnare finns för att avskilja emballage som metalltråd, plastband, sträckplast, plastnät med hög precision. Företaget ReTec Miljö AB tillverkar o säljer balöppnare som används för att lösa/riva upp balar av olika typer av material sammanhållna av tråd, nät eller omslutna av plast”.

MOTTAGARNAS PERSPEKTIV PÅ PRESSAT OCH KOMPRIMERAT MATERIAL

Söderenergi AB

Intervju med Olle Ankarling (logistikansvarig) och Sylve Vedholm (chef bränsleavdelningen), Söderenergi.

Företaget hanterar idag balat material av papper och plast inom sitt system för returbränslen. Det balade materialet löses upp i en kross där även emballagematerialet krossas och skickas till förbränning. Hanteringen av trädbränslen är helt uppbyggd för mottagning och hantering av bulkmaterial. Genom att det rör sig om stora volymer material per dygn är målet att hålla en stabil mix av inkommande material med varierande fukthalter. Man har i nuläget inget större behov av material med så låg fukthalt som 35 procent. Det viktiga för anläggningen är att skapa jämnhet i flödet.

Skulle man ta emot balat material tillkommer en kostnad för balöppning. För att balhantering skulle kunna vara ett alternativ skulle det troligen krävas att en stor andel av företagets försörjning skedde på detta vis, och att man då kunde erhålla en lägre försörjningskostnad, till följd av sänkta transportkostnader.

Eon Örebro

Intervju med Mikael Norberg (inköpare av biobränsle), Eon.

Eon tar emot betydande mängder trädbränslen där en stor del bearbetas i den egna stationära huggen. Här har man erfarenheter från buntad grot som gått genom huggen. Trots att huggleverantören angav att det inte skulle vara några problem med bindings-

material uppstod driftstörningar. Banden letade sig in i transportörer och växlar och medförde förslitningsproblem. Bedömningen är därför att man behöver en separat upplösningsstation för buntat material om man ska hantera sådant. I Åbyverket har man i nuläget inget behov av material med så låg fukthalt som 35 procent. Ideal fukthalt ligger på 45 procent, men upp till 50 procent kan hanteras. Låga priser på träddränslen och god tillgång på returträ gör att man har god råvaruförsörjning.

AB Fortum Värme

Intervju med Kjell Levin (Senior trader biomass), Fortum.

Fortum är en stor förbrukare av träddränslen och hänvisade till leveranser på båt eller tåg beroende på sitt läge. Hela råvarumottagningen är i nuläget anpassad till bulkhantering. På grund av begränsat utrymme är det i nuläget svårt att hantera en separat upplösning av balar. Den låga fukthalten är i sig en fördel ur energisynpunkt och ligger väl inom de ramar som anläggningen är dimensionerad för.

Analys

VÄRDET AV INPLASTNING

En italiensk studie visar på att inplastat material kan ge ökad lagringsbarhet (Manzone 2016). Där studerades lagring av flisad energived under två år. Oberoende av om balarna lagrades under tak eller i det fria fann man inte någon förändring av vare sig fuktinnehåll eller substansförlust i de inplastade balarna. Bränslets substansförlust påverkas till stor del av materialets fukthalt vid uppläggning i stacken men också av stackens storlek, materialets sammansättning, komprimeringsgraden och temperatur (Nilsson & Törnqvist 2013). Bearbetat material, huggen grot eller bränsleflis, som lagras i stack under en sommarsäsong kan medföra stora substans- och energiförluster. Nilsson & Thörnqvist anger att 2-3 procent substansförlust per månad är vanligt. Värdet av detta kan grovt bedömas till 13 kr/MWh under en tremånadersperiod (beräknat utifrån priset 165 kr/MWh). Om materialet är emballerat som vid rundbalning är substansförlusterna alltså små, men kostnaderna för emballeringsmaterial vid rundbalning uppgår till ca 38 kr/MWh (Flexus Bala). Det betyder att minskade substansförluster i sig inte kan motivera en inslagning med en folie.

Genom pressning sänks fukthalten och tätheten på materialet ökar genom komprimering. Tillsammans med möjligheten att lagra mer material per kvadratmeter är det sannolikt att substansförlusterna blir små även vid lagring av pressat och komprimerat material utan inplastning. Liten angreppsytta för gasutbyte och mikroorganismer anses vara orsaken till att obearbetat material har lägre substansförlust än bearbetat (Nilsson & Törnqvist 2013).

KOSTNADER FÖR PRESSNING OCH KOMPRIMERING

Kostnader för pressning av färskt sågspån och färska avverkningsrester med Continuous Dewatering Press.

Erfarenheter från pressning med olika material har visat att den är effektivast på blött, homogent material som spån och färsk stamvedsflis. Resultatet på avfuktningen skiljer sig mellan den studie som gjorts (Volpé m.fl. 2017) och tillverkarens uppgifter. Eftersom maskinen utvecklats efter studien har vi valt att bygga analysen på tillverkarens uppgifter om en utgående fukthalt på 35 procent för materialen sågspån, grotflis och stamvedsflis.

Kostnaden för pressning varierar beroende på maskinens storlek och utnyttjande. För den mindre typen, med en kapacitet på 30 m³/h bedöms kostnaden till omkring 14 kr/MWh. För den större varianten, med en kapacitet på 120 m³/h, bedöms kostnaden istället till drygt 10 kr/MWh. Se kalkyl i Bilaga 1. Produktiviteten, och fukthalten efter pressning påverkas av hur materialet matas in (bredd och tjocklek på bädden samt matningshastighet på bandet). Det utgör en osäkerhetsfaktor vid beräkningen av kostnaden för pressningen.

Kostnad för komprimering av pressat sågspån och avverkningsrester

För den vidare analysen har tre principiellt olika komprimeringstekniker valts: Rundbalning, Horisontell balning i container och Rektangulärbalning (Tabell 3). Horisontell balning är främst tänkt som en möjlighet direkt efter skotning medan de övriga har ett högre presstryck och därför är mer intressanta för kompaktering i samband med pressning senare i kedjan. Fukthalten för det pressade materialet har antagits vara 35 procent och energiinnehållet har antagits vara 3,23 MWh/ton.

Tabell 3. Kalkyl för tre utvalda balningstekniker för spån och grot.

	Rundbalning	Horisontell	Rektangulär
Kapital, drift och underhåll			
Investering (kkr)	5 600	200	3 100
Ränta (%)	5	5	5
Livslängd (h)	20 000	20 000	30 000
Rep. och service, enl. tillverkaren (kr/ton)	8	5	5
Drift och personal (kr/ton)	2,9	1,75	1,2
Produktion (ton/h)	15	25	38
Summa kapital, drift och underhåll (kr/ton)	34,2	7,3	9,8
Förbrukningsmaterial			
Nät (kr/ton)	20,8	-	-
Omslag (kr/ton)	37,8	-	-
Container (kr/ton)	-	3,3	-
Tråd/band (kr/ton)	-	-	12
Elförbrukning	1,4	1,5	1,7
Kringutrustning, hantering (kr/ton)	4,1	5	3,3
Personal, påfyllning och balhantering (kr/ton)	70	42	27,6
Summa förbrukningsmaterial (kr/ton)	168,3	59,1	54,4
Summa kapital, drift och underhåll samt förbrukningsmaterial (kr/MWh)			
	52,1	18,3	16,8
Pressning och komprimering			
Pressning (kr MWh)	10,4	10,4	10,4
Komprimering (kr MWh)	52,1	18,3	16,8
Summa pressning och komprimering (kr MWh)	62,5	28,7	27,4

En betydande kostnadspost är hantering av material vid pressning och komprimering (se tabell 4). Den innefattar kringutrustning (t.ex. transportörer) samt maskiner och förare för balhantering och påfyllnad av material. Osäkerheten i dessa siffror är stor och påverkas troligen i hög grad av materialomsättningen.

Tabell 4. Hanteringskostnad för respektive metod.

	Rundbalning	Horisontell	Rektangulär
Pressning (kr/MWh)	5	5	5
Komprimering (kr/MWh)	21,7	13	8,5
Summa (kr/MWh)	26,7	18	13,5
Andel av totalkostnad (%)	43	64	50

Tabell 5. Förhållandet mellan volym- och viktbegränsning. I tabellens anges färgade fält anges lastvikten i ton vid full lastvolym, det vill säga transportslagets maximala lastvolym x materialets densitet. Värden som överstiger den maximalt tillåtna lastvikten har markerats med rött.

	Fukthalt (%)	Densitet (kg/m ³ s)	Energi (MWh/ton)	Lastbil (ton/m ³ s)		Järnvägsvagn, 20m (ton/m ³ s)			Båt (ton/m ³ s)
				Lastvxl. 41,5/120	Flisbil 43,5/135	Special 61,4/170	Inno cont 62,4/138	Iso cont 63,8/99	Navalis 7098/9100
Före pressning									
Sågspån	55	350	2,03	42	47,25	59,5	48,3	34,65	3185
Bark	60	400	1,73	48	54	68	55,2	39,6	3640
Flisad grot	45	320	2,03	38,4	43,2	54,4	44,16	31,68	2912
Träddelar	54	350	2,09	42	47,25	59,5	48,3	34,65	3185
Efter pressning									
Sågspån	35	250	3,23	30	32,5	42,5	34,5	24,75	2275
Bark	45	360	2,63	33,2	46,8	61,2	49,68	35,64	3276
Flisad grot	35	240		28,8	31,2	40,8	33,12	23,76	2184
Träddelar	35	250	3,23	30	32,5	42,5	34,5	24,75	2275

I rödmarkerade alternativ i tabell 5 kommer man inte att kunna lasta full volym då fordonets lastvikt begränsar. Vita fält anger kombinationer av material och transportlösning där lastvolymen begränsar. Här är komprimering intressant för att nå full lastvikt och förbättrad transporteffektivitet.

Tabell 6 visar transportkapaciteten uttryckt som antal MWh för de olika alternativen. Med utgångspunkt i det mått som är begränsande (vikt eller volym) har energiinnehållet per lass beräknats. Observera att det behandlade materialet i tabell 6 både är pressat och komprimerat. För material efter pressning och komprimering har två olika bulkdensiteter analyserats. Detta kan ses som en känslighetsanalys av resultaten. Vilka faktiska bulkdensiteter som uppnås har inte testats praktiskt. Siffrorna baseras istället på diskussioner med tillverkarna av komprimeringsutrustningen.

Tabell 6. Maximal nyttolast i MWh för olika transportalternativ och material.

	Fukthalt (%)	Densitet (kg/m ³ s)	Energi (MWh/ton)	Lastbil (ton/m ³ s)		Järnvägsvagn, 20m (ton/m ³ s)			Båt (ton/m ³ s)
				Lastvxl. 41,5/120	Flisbil 43,5/135	Special 61,4/170	Inno cont 62,4/138	Iso cont 63,8/99	Navalis 7098/9100
Endast sönderdelat									
Sågspån	55	350	2,03	84,2	88	121	98	70	6466
Bark	60	400	1,73	72	75	106	95	69	6297
Flisad grot	45	320	2,03	78	88	110	90	64	5911
Träddelar	54	350	2,09	87	91	124	101	72	6657
Efter pressning och komprimering, 500									
Sågspån	35	500	3,23	134	141	198	202	160	14697
Bark	45	500	2,63	109	114	161	164	130	11967
Flisad grot	35	500	3,23	134	141	198	202	160	14697
Träddelar	35	500	3,23	134	141	198	202	160	14697
Efter pressning och komprimering, 780									
Sågspån	35	780	3,23	134	141	198	202	206	22927
Bark	45	780	2,63	109	114	161	164	168	18668
Flisad grot	35	780	3,23	134	141	198	202	206	22927
Träddelar	35	780	3,23	134	141	198	202	206	22927

Tabell 7. Jämförelse av transportkostnader för obearbetat material (sågspån, grotflis eller stamvedsflis) samt pressat och komprimerat material med olika transportslag.

	Avstånd (km)	Transport obearbetat (kr/MWh)	Transport, pressat och balat (kr/MWh)	Pressning och balning (kr/MWh)	Transport + pressning + balning (kr/MWh)
Lastväxlare, 120 m ³ s	100	41,7	26,1	27,2	53,3
Lastväxlare, 120 m ³ s	200	72	45,1	27,2	72,3
Flisbil, 135 m ³ s	100	39,5	24,7	27,2	51,9
Flisbil, 135 m ³ s	200	71,6	44,7	27,2	71,9
Jvg vagn Iso cont, 99 m ³ s	400	81	35,4	27,2	62,6
Jvg vagn Iso cont, 138 m ³ s	400	57,8	28,1	27,2	55,3
Jvg vagn Soecial, 170 m ³ s	400	46,8	28,6	27,2	55,8
Båt, Navalis, 9100 m ³ s	800	95,7*	30,6	27,2	57,8

* Utan däckslast

Tabell 7 visar att det är lönsamt att pressa och komprimera material för lastbilstransport vid transportavstånd över 200 kilometer. För järnvägsalternativen är pressning och komprimering lönsamt med Inno cont och standard ISO containrar, vilket är de transportlösningar som idag används på marknaden. Däremot är det inte lönsamt med den specialcontainer som maximerar volymen enligt den så kallade A-profilen. Med specialiserade containerlösningar ökar möjlig lastvolym och därmed minskar behovet av komprimering.

Med en rationell hanteringslösning kan lönsamhetsgränsen för bearbetning sänkas, likaså om komprimeringsgraden ökar. Utifrån antagande att komprimering av torr grotflis skulle kunna ske lika effektivt som för pressat material blir resultatet än mer fördelaktigt för komprimeringsalternativet.

För sjötransporter av sågspån eller flis är däckslast nödvändig för att utnyttja båtens lastförmåga. Redan vid pressning och komprimering till 500 kg/m³s är det klart fördelaktigt sett till totalkostnaden.

Som exempel tar fartyget Navalis 324 TEU (Twenty foot Equivalent Unit, det vill säga 20-fot containrar) med däckslast inkluderad, men endast 180 TEU utan (in hold). Den lastar totalt 7098 ton. Skulle hela volymen stivas i ISO container (324 st) blir önskvärd komprimeringsgrad 597 kg/m³. Komprimering i balar ger en högre brytpunkt eftersom nyttolasten då kan utnyttjas fullt ut. Enligt specifikation kan Navalis ta 9100 m³ balat material vilket ger 780 kg/m³ för att fullt utnyttja lastkapaciteten. Tabell 8 visar även en jämförelse med ett mindre bulkfartyg.

Tabell 8. Förhållande mellan volym och lastvikt vid olika alternativ för sjöfrakt. Containerar om 33 m³ och 2,2 tons taravikt har använts i beräkningarna. De tre första alternativen avser fartyget Navalis och det sista alternativet ett fiktivt mindre bulkfartyg.

	*Lastvikt	Lastvolym	Densitet vid full lastvikt
I containers, med däckslast	6 390 ton	10 700 m ³	597 kg/m ³
Balat, med däckslast	7 098 ton	9 100 m ³	780 kg/m ³
Löst i lastutrymme, ej däckslast	7 098 ton	6 000 m ³	1 180 kg/m ³
Jämförelse med bulkfartyg	3 500 ton	4 000 m ³	875 kg/m ³

* Containers taravikt borträknat.

Eftersom pressning och komprimering medför att materialet homogeniseras både vad gäller fukthalt (cirka 35 procent) och densitet ger det samma effekt på transporteffektiviteten som för sågspån (även förutsatt att energitätheten i ingångsmaterialen är likvärdig). Detta gäller också material som flisat klenvirke/träddelar.

EXEMPEL PÅ EFFEKTER I EN LOGISTIKKEDJA

Förutom rena transportkostnader medför pressning och komprimering andra effekter i logistikkedjan. Som exempel tas här en beräkning för leverans av sågspån från Kåge sågverk till Fortum Värme Värtan. Pressning och komprimering förutsätts ske i Skellefteå hamn.

Tabell 9. Exempelkalkyl för båttransport av sågspån mellan Kåge och Värtan (Stockholm) vid normal lastningstid.

	Obearbetat (kr/MWh)	Pressat + komprimerat (kr/MWh)
Transport från såg till hamn, 25 km	14	14
Pressning	10,4	10,4
Komprimering	6,8	16,8
Stuverihantering lastning	6	3
Lastning på båt	4,9	3
Kortare lastningstid		-2
Stuverihantering lossning	3,6	1,8
Lossning av båt	6,3	4
Sjöfrakt, 800 km	*95,7	20,4
Summa	129,6	67,4

* Utan däckslast.

Kalkylen ger ett klart fördelaktigt resultat för alternativet pressning och komprimering. Transportkostnaden i det obearbetade alternativet kan eventuellt sänkas genom att lasta, exempelvis rundvirke, på däck, som ofta sker, men knappast i storleksordningen 62,2 kr/MWh, som utgör skillnaden i exemplet.

Slutsatser och diskussion

VILKEN TEKNIK KAN GE EFTERFRÅGADE VOLYMKVIKTER

Tre av de inventerade komprimeringsteknikerna förväntas ge tillräckliga volymvikter för att vara intressanta för transportförberedande behandling: Rundbalning (ca 400 kg/m³), horisontell komprimering (ca 300 kg/m³) samt rektangulärbalning (400-750 kg/m³). Av dessa beräknas rektangulärbalning kunna ske till lägst kostnad (16,8 kr/MWh för pressat material). Det är också den teknik som förväntas ge högst densitet.

Hanteringen i anslutning till pressning och balningen beräknas stå för mellan 43 och 64 procent av kostnaderna för de analyserade metoderna. Det har därför stor betydelse hur denna hantering läggs upp och i vilken typ av flöde komprimering sker. En press och komprimator som placeras vid ett större sågverk i direkt flöde från spånmatningen sänker sannolikt kostnaden för hantering. En annan starkt kostnadspåverkande faktor är vilken typ av emballage som krävs för att hålla ihop balarna. För balning med plastomslag ökar kostnaden snabbt. Praktiska studier krävs för att ge kunskap om vilka emballage som fungerar på olika typer av material (pressad liksom obehandlad flis).

I analysen ingår inget material som är komprimerat utan att först ha pressats. Tillverkarna av utrustningen har endast fått se pressat material för att göra en bedömning av komprimeringsgrad utifrån detta. Det kan antas att hyggestorkad och flisad grot skulle gå i princip lika bra att komprimera. Möjligen krävs ett ökat tryck för att nå samma komprimeringsgrad då materialet inte först mjukats upp genom en pressning. Det kan också ha betydelse för hur materialet i balen håller ihop om det pressats eller inte, på grund av den "flikighet" som kommer av pressningen. Då hyggestorkad grot ofta ligger på omkring 35 procents fukthalt kan resultaten (Tabell 4 och 5) antas gälla även för ett sådant material, förutsatt att det kan pressas till samma densitet. Kostnadsfördelarna med balning i de olika transportalternativen skulle då öka med omkring 16 kr/MWh. För att få säkrare data om kompakteringsgrad för olika sortiment krävs praktiska tester.

VILKA TRANSPORTALTERNATIV ÄR AKTUELLA OCH HUR PÅVERKAS DESSA AV PRESSNING OCH KOMPRIMERING?

Analysen visar att pressning och komprimering skulle kunna vara lönsamt med samtliga transportslag på långa avstånd. Beträffande lastbilstransport gick gränsen vid cirka 20 mil. Det finns skäl att anta att det främst är fartygs- och tågtransporter som skulle komma i fråga. Lastbilstransporter över 20 mil är så pass kostsamma att de normalt inte körs som reguljära flöden, utan mer i undantagsfall när ett behov uppstått. För större kontinuerliga flöden är en järnvägstransport ofta billigare redan på detta avstånd.

Analysen visade att pressning och komprimering som transportförberedande behandling skulle vara lönsamt för de två containeralternativ som idag finns på marknaden, ISO container och Inno cont (Inofreights systemlösning). Det tredje alternativet, en specialcontainer maximerad efter järnvägens A-profil nyttjas inte idag. En orsak är troligen att den ställer vissa krav på utrustning för lastning och tömning. Traditionellt sker lastning av container på järnvägsvagn med hjullastare och skopa. Överkant på container är 4,5 m och föraren sitter lägre vilket medför att hen har svårt att se fyllnadsgraden. Lastning och lossning med materialhanterare försedd med skopa är fullt möjligt för denna containertyp.

Kalkylerna för båttransport visar den absolut största potentialen. Det är inte alltid möjligt att hitta lämplig kompletterande däckslast vid flistransporter och även med möjlighet till däckslast är det normalt långt kvar till full lastvikt.

En förutsättning för transportförberedande komprimering är att det finns ett relativt stort kontinuerligt flöde så att utnyttjandet på utrustningen hamnar på en acceptabel nivå. Kalkylerna förutsätter ett flöde på ca 60 000 ton per år för att avskrivningstiderna ska bli 6-7 år. Ett medelstort sågverk producerar ca 60 000 ton spån per år. Flera pelletsproducenter omsätter betydligt större mängder spån. Pressning och komprimeringsutrustning kan också tillverkas i mobila lösningar för att till exempel kunna användas på terminaler inför lastning på båt eller tåg. För att inte flyttkostnaderna ska bli för höga krävs terminaler med relativt stor materialomsättning eller ett bra samarbete mellan fler terminaloperatörer.

MERVÄRDEN MED KOMPRIMERING?

Vilka mervärden finns med komprimering med avseende på transporteffektivitet, lagringseffektivitet och substansförluster och vilka konsekvenser får det för val av teknik och metod i hanteringen?

En övergång från bulkhantering till balar får konsekvenser i logistikkedjan då materialhanteringen påverkas både hos leverantören och mottagaren. Detta kan ha fördelar, exempelvis vid båtlastning och båtlossning. Pressat och komprimerat material har ett högre energiinnehåll vilket medför effektivare hantering. En effektivare hantering förkortar lastnings- och lossningstiden för båten och därmed transportkostnaden. Det kan också ge ett effektivare utnyttjande av tillgänglig lagringsyta hos mottagaren, vilket ofta är en begränsning samt reducera substansförluster under sommarlagring.

Vid pelletsproduktion finns stora vinster eftersom torkkapaciteten normalt är en flaskhals. Detta är också det tillämpningsområdet som står närmast implementering. Ett projekt pågår för tillfället med att installera en fullskalig press hos en pelletstillverkare.

ANALYS AV MOTTAGARNAS PERSPEKTIV

Hur ser mottagarna på pressat och komprimerat material och hur ställer de sig till olika omslutningsmaterial?

Det viktiga för anläggningarna är att skapa jämnhet i flödet. Skulle man ta emot balat material tillkommer en kostnad för balöppning. För att balhantering skulle kunna vara ett alternativ skulle det troligen krävas att en stor andel av företagets försörjning skedde på detta vis, och att man då kunde erhålla en lägre försörjningskostnad, till följd av sänkta transportkostnader.

Anläggningar med rökgaskondensering vill normalt inte ha för torrt material. Från Värtan påpekades att anläggningen tål låg fukthalt och att man då kan generera större energimängd per tidsenhet. Men en så pass stor anläggning på liten yta har samtidigt mycket svårt att förändra sin mottagningslogistik.

Pelletstillverkarna har en annan situation där torkkapaciteten ofta är en flaskhals i produktionen. Där finns stora vinster i att implementera ett logistikkoncept som ger ett torrare och homogentare ingångsmaterial.

VAR I LOGISTIKKEDJAN SKA KOMPRIMERING SKE?

Baserat på utförda kalkyler är pressning kombinerat med komprimering intressant framförallt på långa transportavstånd. Det är när materialet ska transporteras med båt eller på standardjärnvägsvagnar med eller utan ISO container som bearbetningen är lönsam. Förutsatt att hyggestorkad grot kan komprimeras lika effektivt som pressat material är det tänkbart med logistiklösningar där endast komprimering sker på en större terminal eller lastplats inför en längre vidare transport.

De mobila komprimeringslösningar som tidigare studerats på hygge eller vid bilväg har hitintills inte kunnat konkurrera ekonomiskt.

För sågspån kan det också vara aktuellt att utföra pressningen vid sågverket innan spånnet hamnar på en spånstack. Ska spånnet användas för pelletstillverkning blir frågan mer om sågen eller pelletstillverkaren ska ta hem vinsten. Det som talar för att pelletstillverkaren är den mest lönsamma placeringen är att de har stora spån mängder från flera sågar, ofta på korta transportavstånd samt att det i de flesta fall är torkkapaciteten som är flaskhalsen i produktionen. Vinsten med pressning kan då tas ut antingen som ökad produktion eller sänkt kostnad för torkning. Det finns exempel på anläggningar där pelletsproduktionen kan öka med 50 procent om spånets ingående fukthalt sänks från 55 procent till 35 procent före torkning.

Tabell 10. Tänkbara alternativ för placering av komprimering.

Produkter	Plats för komprimering
Sågspån	Såg Hamn Pelletstillverkare
Färska avverkningsrester	Terminal Hamn Värmeverk
Flis från träddelar och klenvirke	Terminal Hamn Värmeverk

Referenser

- Anon. 2014. Skogsstatistisk årsbok 2014. Skogsstyrelsen. Jönköping.
- Anon. 2016. Energimyndigheten, Trädbränslen o Torvpriser, 2016 Q4. EN 037.
- Andersson, G., Nordén, B. 2000. Fiberpac 370. Skogforsk arbetsrapport nr 448.
- Edman, T. 2009. Buntning av GROT med lastbilsmonterad utrustning. SLU arbetsrapport 251.
- Fridh, M. & Christianse, L. 2015. Rundvirkes- och skogsbränslebalanser för år 2013 – SKA 15. Meddelande nr. 3. Skogsstyrelsen. Jönköping.
- Nordén, B. 1998. Jämförande studie av balning, anpassade trädrester, ej anpassade trädrester i vält. Skogforsk Arbetsrapport nr 398.
- Manzone, M. 2016. Storage of woodchips in pressed bales. University of Turin
- Nilsson, B. 2016. Extraction of logging residues for bioenergy – effects of operational methods on fuel quality and biomass losses in the forest. Doctoral dissertation, Department of Forestry and Wood Technology. Linnéuniversitetet. No 270 2016.
- Nilsson, D., Thörnqvist, T. 2013. Lagring av flisad GROT vid värmeverk. Linnéuniversitetet rapport nr 17 2013.

PERSONLIG KOMMUNIKATION

Tillverkare av utrustning

- Augustsson, Ted. ReTec Miljö AB. 201701
- Lewandowski, Stefan. Presona AB. 201701
- Mårtensson, Björn. Varig Teknik & Miljö AB. 201701
- Svensson, Peter. Flexus Balsystem AB. 201701
- Wikberg, Anders. Etteplan Sweden AB. 201701

Energiföretag

- Ankarling, Olle. Söderenergi AB. 201705
- Larsson, K. Norrbränsle. 201705
- Levin, Kjell. AB Fortum Värme. 201705
- Norberg, Mikael. E.ON Värme Sverige AB. 201705
- Wedholm, Sylve. Söderenergi AB. 201705

Bilaga 1.

Kalkyler och grundläggande förutsättningar för komprimeringstekniker.

Rundbalning – Flexus Bala

Grundläggande erfarenheter, enligt tillverkarens uppgifter (Svensson P. 2017):

- Traditionell grot fungerar utmärkt att bala. Matning sker då direkt in i balkammare med hjälp av kran och gripsåg.
- En normal bal har en diameter på 1,2 m med samma höjd.
- En normal bal innehåller ca 1,2 m³.
- Den färdiga balen omsluts av ett nät för hållfasthet.
- Balen omsluts sedan av en plastfolie för att stabilisera materialet och förhindra gasutbyte.
- Prestation: 25-30 balar per timme d.v.s. ca 15 ton.
- Normal balvikt är 500 kg för de flesta återvinningsmaterial. Vid balning av grot 1998 uppnådde man 435 kg per bal, d.v.s. ca 417 kg/m³ vid en fukthalt på 31 %. Enbart nät användes då som omslag.
- Hantering sker med hjullastare och balgrip. Balarna kan också hanteras med materialhanterare vid höglagring. Större kranar hanterar 2 balar åt gången.
- Höglager med 12-13 lager balar används i samband med återvinning.
- Balningsmaskinerna håller hög teknisk utnyttjandegrad.
- Maskinerna drivs med el, förbrukning ca 50 kW.
- Balningsutrustningen är byggd på 2 st lastväxlarflak och därmed relativt enkla att flytta. Beräknad tidsåtgång för en flytt är 2 + 2 timmar plus tiden under transport.
- Viktiga kostnadspåverkande parametrar:
 - Maskinutnyttjande
 - Kostnad för inslagningsfolie samt behov av folie
 - Kostnad för el, tillgång till industriell (ca 0,6 kr/kWh) kontra el från dieselgenerator (2,6 kr/kWh + 0,4 kr/kWh generator, dieselpris 10 kr/l)

Tabell 1. Kalkylförutsättningar Flexus balmaskin

Investering, balpress	5,6 mkr
Investering, kringutrustning för påfyllning	1 mkr
Livslängd	10 år 20 000 tim
Ränta	5 %
Produktion	15 ton/tim vid 200kg/m ³ tillfört material
Elpris	0,6 kr/kWh
Förbrukningsmaterial, nät	0,4 kr/m, 27 m/bal
Förbrukningsmaterial, plast	21 kr/kg, 4 lager = 0,9 kg/bal
Maskiner för hantering av material inkl. förare	1 050 kr/tim

Rektangulärbalning - Presona

Grundläggande erfarenheter, enligt tillverkarens uppgifter (Lewandowski S. 2017):

- Bredden på balarna är som standard 1100 mm. Höjden är som standard 720, 750 eller 1100 mm. Längden är ställbar.
- Baldensitet: 400-750 kg/m³ beroende på presstorlek och material.
- Presskapacitet, beroende på ingående material, 30-40 ton per timme (volymkapaciteten kan begränsa frö mycket lätta material). Ökad ballängd medför ökad kapacitet.
- Normal balvikt 500-1000 kg beroende på storlek.
- Hantering sker med hjullastare och balgrip. Balarna kan också hanteras med materialhanterare vid höglagring.
- Pressen kan ställas upp utomhus men ett skärmtak är att föredra.
- Underhåll och byte av slitagedelar kan utföras av egen personal.
- Presona har levererat en mobil utrustning som flyttas på trailer.
- Maskinen drivs med el ca 55 kW alt. 2*55 kW.
- Viktiga kostnadspåverkande parametrar:
 - Maskinutnyttjande
 - Kostnad för tråd alt. band
 - Behov av inslagingsfolie
 - Kostnad för el, tillgång till industri-el kontra el från dieselgenerator

Tabell 2. Kalkylförutsättningar

Investering, press	3,1 mkr
Investering, kringutrustning för påfyllning	2 mkr
Livslängd	15 år 20 000 h
Ränta	5 %
Produktion	38 ton/h (ingångsmaterial 200 kg/m ³)
Elpris	0,6 kr/kWh
Förbrukningsmaterial, tråd/band	23 m/bal, 1 Euro/kg
Maskiner för hantering inkl. förare	1 050 kr/tim

Horisontell knivkomprimering

Grundläggande erfarenheter, baserat på tillverkarens uppgifter (Mårtensson B. 2017):

- Enkel teknik.
- Låg investeringsnivå.
- Mobil lösning möjlig.
- Drivs med el 7,5 kWh.
- Volym per timme 60-185 m³.
- Begränsad densitet på komprimerat material, sannolikt ca 300 kg/m³.
- Tendens till lägre densitet i den övre delen av containern.
- Omlastningsstationer för stora godsmängder finns i drift på flera ställen. Stationerna är högt automatiserade.

Tabell 3. Kalkylförutsättningar

Investering, press	0,2 mkr
Investering, kringutrustning för påfyllning	2 mkr
Livslängd	10 år 20 000 h
Ränta	5 %
Produktion	25 ton/h (ingångsmaterial 200 kg/m ³)
Elpris	0,6 kr/kWh

Container för komprimering och hantering

Investering	100 000 kr/st
Livslängd	10 år
Volym ³⁴	m ³
Omlopp per år	75 = 75*34=2 550 m ³ /år
Maskiner för hantering inkl. förare	1 050 kr/h