



# Dimensionering av industrilager för biobränsle

*A mill stock model for bio fuel*



**Simon Nilsson**

**Arbetsrapport 224 2008**  
**Examensarbete 30hp D**

**Handledare:**  
**Dag Fjeld**

---

Sveriges lantbruksuniversitet  
Institutionen för skoglig resurshushållning  
S-901 83 UMEÅ  
www.srh.slu.se  
Tfn: 018-671000



ISSN 1401-1204  
ISRN SLU-SRG-AR-224-SE



# **Dimensionering av industrilager för biobränsle**

*A mill stock model for bio fuel*

**Simon Nilsson**

Examensarbete i ämnet skogshushållning med inriktning teknik  
Handledare: Dag Fjeld  
Examinator: Tomas Nordfjell

---

## Förord

Den här rapporten är ett examensarbete som utförts vid institutionen för skoglig resurshushållning vid SLU i Umeå. Arbetet omfattar 30 högskolepoäng och har inriktning mot logistik och lagerhantering. Dag Fjeld har varit handledare till examensarbetet och uppdragsgivare var John Fagerbo från Billerud Karlsborg AB.

Under vårvintern 2006 besökte jag John Fagerbo vid Billeruds bruk i Karlsborg. John ansvarar för virkesanskaffningen till massabruket. Min avsikt med besöket var att om möjligt finna något examensarbete, sommarjobb eller någon praktikplats. Under besöket visade det sig att Billerud och John hade flera tänkbara uppslag till examensarbeten. En alldeles ny biobränsleanläggning var på gång att tas i bruk under hösten 2006. I och med detta stora biobränsleprojekt fanns det många frågetecken angående hantering och lagerhållning av de för Billerud nya sortimenten som skall användas till biobränsle.

Efter den här första intressanta kontakten med John Fagerbo bestämde jag mig ganska fort för att utföra examensarbetet åt Billerud Karlsborg AB. Under sommaren träffades jag och John ytterligare för att diskutera utformningen och upplägget kring arbetet. Slutligen kom vi fram till att det behövdes en djupare analys av biobränslelagrets storlek och den extra lagerhantering som ett stort lager medför. När examensarbetet var förankrat hos handledaren Dag Fjeld vid SLU blev det klart att min uppgift var att dimensionera biobränslelagret.

Uppgiften växte fort under arbetets gång och det har medfört en stor arbetsinsats från både handledare och uppdragsgivare. Dagarna och kvällarna har varit många då jag och handledare Dag funderat på olika möjliga lösningar till alla de problem som vi stött på under arbetets gång. Jag vill tacka både Dag och John för det fina stödet och det stora engagemang som de visat mig.

Umeå den 6 mars 2008

## Sammanfattning

Syftet med denna studie var att åstadkomma en enkel modell för att dimensionera bibränslelagret till Billerud Karlsborg och därefter presentera en rekommenderad lagernivå för bibränslet. De sortiment som behandlas i lagermodellen är GROT (grenar och toppar), bark, torrflis, råspån och sågspån. Modellen har vissa avgränsningar och beräkningarna baseras på en sannolikhetsfördelning av de variationer som kan uppstå vid inleverans. I modellen finns två olika sätt att klara försörjningen vid ojämn inleverans. Det ena är att lagra den volym som krävs för att täcka variationen och det andra är ett snabbt inköp från spotmarknaden till extra högt inköpspris. I vissa situationer kan kombinationen av dessa två val vara den billigaste lösningen. Modellen kan användas som beslutsstöd vid lagerdimensionering.

Några svagheter i modellen är att den endast behandlar underleveranser och förutsätter att alla överleveranser stoppas. Modellen tar inte heller med några variationer i pannans förbrukning. Nyckelfaktorer som används i beräkningarna är: leveransprecision, inköpskostnad, lagerkostnad som i sin tur inkluderar substansförlust, hanterings- och räntekostnad.

Modellen föreslår en lagernivå som inte medför några extra inköp från spotmarknaden. När lagret blir för stort finns inte tillräckligt med fysiskt utrymme intill bibränslepannan och därmed blir det aktuellt med ett mellanlager som kräver en extra omlastning. Modellen visar på kraftigt ökade kostnader när extra omlastning krävs och föreslår därför inte så stora lagernivåer. Den teoretiska lagernivå som behövs enligt modellen för att parera variationen i inleverans är mellan 2450-8000MWh.

Nyckelord: Lagermodell, Leveransprecision, Lagerkostnad, GROT

## Summary

The aim of this study was to develop a simple model for calculating stock costs for bio fuel at Billerud Karlsborg and subsequently recommending a suitable stock level of bio fuel. The stock components considered in the model are GROT (branches and tops), bark, dry wood chips, raw wood chips from barking and sawdust. The calculations are based on a probability distribution of historical deviations between ordered and delivered volumes. The model presents two different ways to manage the supply in case of irregular deliveries. The first way is to stock enough volume to cover the deviations and the second way is to compensate with a quick purchase from the spot market (at extra high purchase prices). In some situations the best solution might be a combination of these two alternatives. The stock model is used to support such decisions concerning dimensioning of stock levels.

The model has a number of limitations. Firstly it only deals with delivery deficits and assumes that all delivery surpluses are stopped. Secondly it does not deal with variations in the consumption of the bio fuel burner. Key variables used in the calculations are delivery precision, purchase prices and stock costs (where stock costs include handling costs, capital costs and loss due to decomposition).

The results of this study recommend a reduction from today's level of bio fuel stocks. The model suggests a stock level that avoids any extra purchases from the spot market. At present there is insufficient stock space for large stocks near the bio fuel burner, which brings up the need for an intermediate stock and therefore extra handling. When extra handling is required the model shows considerably increased costs and therefore the model proposes avoiding high stock levels. The stock levels proposed by the model are between 2450 and 8000MWh.

Keywords: Stock model, Delivery precision, Stock cost, Branches and tops

## Innehållsförteckning

Förord.....	2
Sammanfattning .....	3
Summary .....	4
Innehållsförteckning .....	5
1. Inledning .....	6
1.1 Bakgrund.....	6
1.2 Syfte (mål) .....	7
2. Material och metoder .....	8
2.1 Utveckling av modell och val av variabler .....	10
2.1.1 Beräkning av leveransprecision .....	11
2.1.2 Beräkning av extra inköpskostnad .....	13
2.1.3 Beräkning av lagerkostnad.....	15
2.2 Datainsamling och sammanställning av data.....	16
2.3 Skattning av kostnader vid olika lagernivåer.....	18
3. Resultat .....	19
3.1 Leveransprecision per leverantör för sortimentet GROT, bark och råspån.....	19
3.1.1 Sammanvägd leveransprecision för GROT, bark och råspån.....	22
3.1.2 Sammanställd sannolikhetsfördelning för LP av GROT, bark och råspån.....	22
3.2 Leveransprecision per leverantör för sortimentet torrflis/spån.....	23
3.2.1 Sammanvägd leveransprecision för torrflis och spån.....	24
3.2.2 Sammanställd sannolikhetsfördelning för LP av torrflis/spån.....	24
3.3 Beräknade kostnader vid olika lagernivåer.....	25
3.3.1 Beräknade kostnader för GROT, bark och råspån vid olika lagernivåer.....	25
3.3.2 Beräknade kostnader för torrflis/spån vid olika lagernivåer.....	26
3.4 Känslighetsanalys .....	27
3.4.1 Känslighetsanalys för GROT, bark och råspån.....	27
3.4.2 Känslighetsanalys för torrflis/spån .....	34
4. Diskussion.....	42
4.1 Brister.....	42
4.2 Tolkning av resultat .....	43
4.3 Tillämpning av resultat .....	45
4.4 Slutsats .....	45
Referenser .....	48

# 1. Inledning

I och med ökande energipriser har Billerud satsat mer på att framställa egen el. På företagets hemsida står följande: ”Billerud ska sänka förbrukningen av extern energi. Investeringar inom energiområdet på 1 090 MSEK slutfördes under året och omfattar nya turbiner för mottryckskraft och ombyggnad av barkpannorna vid de svenska bruken. Återbetalningsperioden är mindre än fyra år och investeringen leder till en ökad självförsörjningsgrad av el från 30 till 60 procent.” (www.billerud.se 2007).

## 1.1 Bakgrund

Ett steg i energiarbetet som Billerud tagit vid de svenska bruken är den nya biobränsleanläggningen i Karlsborg. Anläggningen drivs på GROT (grenar och toppar), bark, torrflis och sågspån (Fagerbo 2006, pers. komm.). För att säkerställa pannans produktion krävs någon form av buffert/lager. Ett lager används för att frikoppla olika resurser. Att hålla ett lager är inget självändamål, generellt gäller att hålla lager så små som möjligt. I många fall har ett lager skapats för att ge en intern säkerhet i företaget mot eventuella störningar av olika slag i materialflödet. Alla former av lager måste någon gång ifrågasättas (Lumsden 1998). Lager finns på många olika platser i vårt samhälle och i vår vardag.

Biobränsle är till största delen en biprodukt från skogsbruket och skogsindustrin. Eftersom biobränsle är ett relativt nytt sortiment som är av lägre värde än timmer styrs inte avverkningarna på grund av GROT behovet. I en bristsituation kan inte avverkningarna öka bara för att tillgodose behovet av GROT eftersom stora mängder timmer faller ut vid de flesta avverkningarna. En annan faktor som påverkar anskaffningen är att biobränsle och GROT hantering är relativt nytt i norra Sverige. En omogen anskaffningskedja medför ofta många oväntade störningar som med tiden arbetas bort eller i alla fall minskas. På de allra flesta avverkningarna i norra Sverige görs inget GROT uttag. Det finns en stor potential till ett ökat uttag under de kommande åren (Anon 2003).

All lagring och lagerhantering medför kostnader av olika grad som beror på lagrets storlek och omfattning. Kostnader i form av ränteförluster, hantering och kvalitetsnedsättning förekommer i rundvedslager (Hägg 1991). När det gäller biobränsle finns liknande kostnader för hantering som innebär traktorkörning och ränteförluster på lagervolymens bundna kapital. Kvalitetsnedsättningen är däremot inte samma som på rundved. När det gäller biobränsle mäts kvalitetsnedsättningen främst i substansförlust. Vid nedbrytning av organiskt material uppstår substansförluster. Substansförluster är en förlust av torrmasa i bränslet. Den uppstår vid mikrobiell och kemisk nedbrytning av vedsubstansen. Vid mikrobiell nedbrytning som utgörs av rötsvampar bildas värme vilket i sin tur påskyndar nedbrytningen, detta medför att stora bränslestackar med träflis har en högre substansförlust i de centrala och övre delarna (Löwegren och Jonsson 1987). Enligt en studie av (Jirjis och Lehtikangas 1993) förekommer substansförluster även i ej sönderdelat trädbränsle. Substansförlusterna i denna studie är dock inte lika stora som i Löwegrens och Jonssons studie som behandlar sönderdelat trädbränsle. I en studie från (Nylinder och Thörnqvist 1980) som bland annat behandlar krossat, flisat och sönderhugget hyggesavfall visar på energiförluster på mer än 30 procent under de nio månader långa lagringsförsöket.



En oklarhet i lagerhanteringen för Billerud är frågan vad ett stort biobränslelager kostar i jämförelse med ett litet lager. I artiklarna av (Lubiani och Companies 2007) och (William 1985) diskuteras olika faktorer som påverkar kostnader av en felaktig flihantering inom massaindustrin.

Om man inte har något lager alls eller ett väldigt litet lager risker man ökade leveranskostnader eller i värsta fall driftstörningar på den producerande anläggningen. Ett driftstopp kan ge mycket stora negativa ekonomiska konsekvenser. Man kan säga att lager används för att köpa ökad produktionssäkerhet till den producerade anläggningen. Ett väl dimensionerat lager kan leda till stora ekonomiska besparingar. Ett lager bör ligga på den nivå som ger de totalt sett lägsta kostnaderna för lagerhållning, inleverans/anskaffning, hantering och produktionsbortfall. Att hitta den nivån i verkligheten är mycket svårt och problematiken kring lagerhållning är mycket komplex. Enligt tidigare studier finns ingen enkel modell för dimensionering av industrilager för biobränsle.

### ***1.2 Syfte (mål)***

Syftet med examensarbetet är att skapa en enkel modell för att skatta kostnaden vid olika nivå av biobränslets industrilager vid Billerud Karlsborg AB. Modellen är en förenkling av verkligheten och tar ingen hänsyn till årstidsvariationer eller variation i förbrukning. Lagerstyrningen sker månadsvis. Modellen bygger på att lagerkostnaden jämförs med kostnaden för extra inköp.

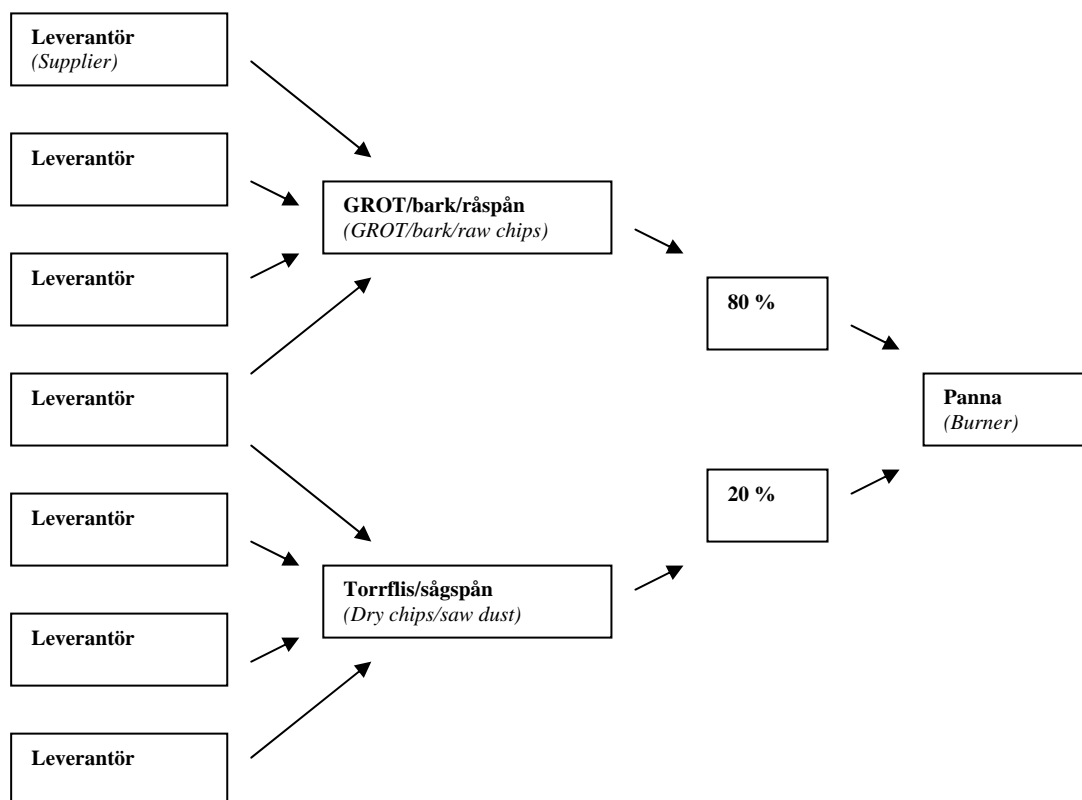
Den andra huvuduppgiften är att använda modellen för att presentera en ekonomisk rekommendabel nivå för biobränsle industrilagrets mållagervolym.

## 2. Material och metoder

För att skaffa en bredare kunskap om det lager som skall dimensioneras har studiens arbete inledningsvis fokuserat på de rådande förutsättningar som finns vid den aktuella lagerplatsen. Specifika förutsättningar för Billerud Karlsborgs biobränslelager är följande:

Drivmedlet till anläggningen är biobränsle i form av GROT, bark, torrflis och spån. GROT köps till största delen från externa leverantörer inom skogsbranschen. Barken kommer till största delen från det egna rensrietet. Spån och torrflis köps in från externa sågverk som restprodukter vid framställning av sågade trävaror. Torrflisen har låg fukthalt eftersom den är tillverkad av färdiga torkade sågverksprodukter som haft någon kvalitetsdefekt eller justerats längdmässigt. När det gäller bränslets egenskaper så är GROT och bark likartade. Spån och torrflis har andra egenskaper eftersom de är mycket torrare (Fagerbo 2006, pers. komm.). På grund av de olika egenskaperna hanteras bränslet som två separata sortiment. Det ena är GROT, bark och råspån och det andra är torrflis och spån.

Biobränslepannan är byggd för en viss bränsleblandning (bränslemix) men beroende på kvaliteten på bränslet kan den variera mycket. I Billerud Karlsborgs fall är panna byggd för en bränslemix på ca 80/20. Med det menas att bränslet skall utgöras av ca 80 procent GROT/bark och ca 20 procent torrflis/spån (se figur 1). När en ny panna tas i bruk måste bränslemixen testas fram genom en tids drift för att hitta den optimala förbränningen.



Figur 1. Flödesschema för biobränsle, från leverantör till panna.

Figure 1. The figure describes the flow of bio fuel from suppliers to the burner.

Biobränsleanläggningen är byggd inom massabrukets industriområde. I direkt anslutning till pannan finns en lageryta som rymmer ca 10000Mwh biobränsle. Efter genomläsning av studie från (Matsson 1988) och diskussion med (Fagerbo 2006, pers. komm.) bestämdes lagerytans storlek till 10000MWh. Denna yta rymmer inte lika mycket om den delas upp på de olika sortimenten. Om ytan delas upp rymmer den ca 8000Mwh vilket motsvarar 6400Mwh GROT/bark och 1600Mwh torrflis/spån om bränsemixen är 80/20 (Fagerbo 2006, pers. komm.).

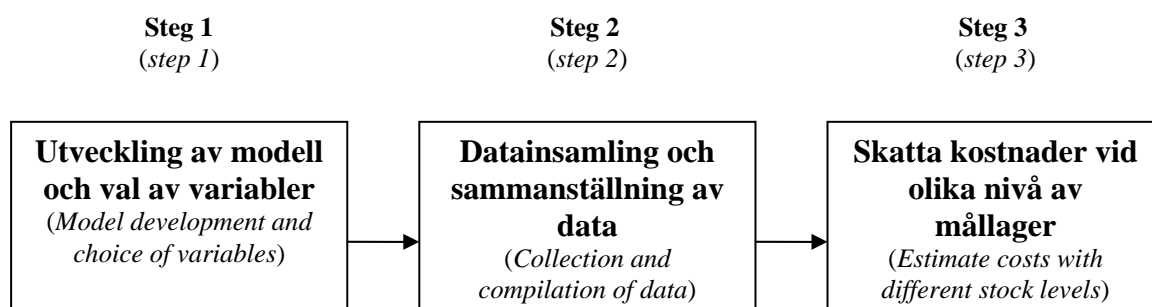
Om lagervolymer överstiger de 8000Mwh som kan lagras i anslutning till pannan måste den överskjutande volymen lagras utanför industriområdet ca 700 meter ifrån pannan. Att ha ett mellanlager som ligger på långt håll från pannan medför en ökad hanteringskostnad eftersom bränslet måste lastas om och transporteras ytterligare en gång.

I alla typer av lagerhantering har man vissa förutbestämda styrningsperioder där lagret skall hålla en viss nivå vid periodens slut. Exempel på styrningsperioder kan vara veckovis, månadsvis eller årsvis. När det gäller rundved och liknande anskaffning använder man sig ofta av någon form av månadsvis styrning som följs upp och korrigeras löpande inom perioden, för att slutligen nå en önskad nivå vid periodens slut. Den styrningsperiod som används i det här examensarbetet bygger på månadsvis styrning och det innebär att lagret skall ha samma nivå vid periodens slut som vid dess start.

Driftstopp får inte förekomma på grund av råvarubrist utan istället prioriteras extern anskaffning till ett mycket högre inköpspris.

I det här examensarbetet används en helt ny modell för att dimensionera lagret till biobränsleanläggningen. Den viktigaste faktorn som har den största inverkan på lagrets storlek är ekonomi. För att examensarbetet skall bli ett så användarvänligt hjälpmedel som möjligt vid lagerdimensionering, bygger modellen på den enkla principen att kostnader jämförs vid olika lagernivå. Den lagernivå som ger den totalt sett lägsta kostnaden är den nivå som föreslås av modellen.

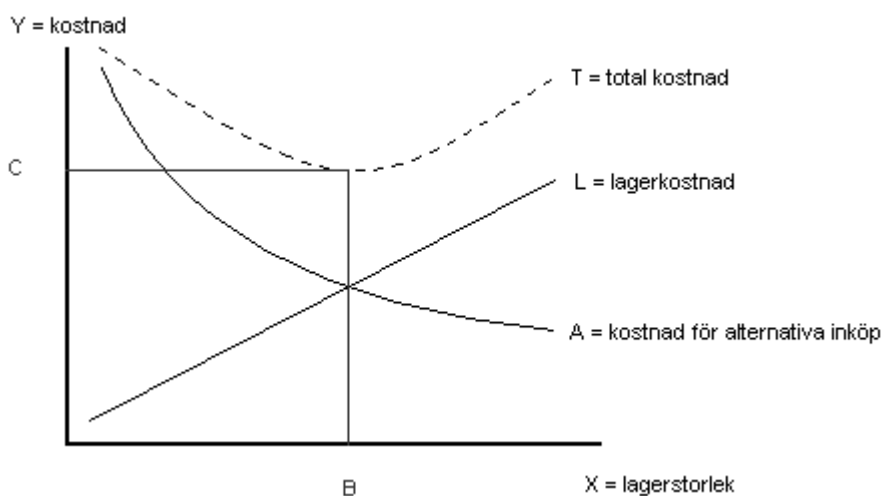
Arbetets gång kan delas in i tre olika faser (se figur 2). Den första fasen är att utveckla modellen och välja de ingående variablerna, för att på ett enkelt sätt kunna skatta kostnader vid olika nivå av mållager. Steg två är att samla in och sammanställa de data som behövs för att kunna utföra beräkningarna enligt modellen. Slutligen i steg tre skattas mållagrets totala kostnader vid olika lagernivåer.



Figur 2. Arbetschema.  
Figure 2. Schedule of the work.

## 2.1 Utveckling av modell och val av variabler

Lagrets huvudfunktion är att parera för de variationer som kan uppstå i förbrukning och inleverans. Modellen tar endast hänsyn till de variationer som kan uppstå vid inleverans, i modellen anses förbrukningen vara jämnt fördelad över hela året. I den modell som använts finns två olika valmöjligheter att parera för de variationer som uppstår vid ojämn inleverans. Det ena är att lagra en stor volym till ordinarie inköpspris med en lagerkostnad. Det andra alternativet är att ha ett mindre lager och parera de större variationerna med hjälp av snabba alternativa externa inköp, men då till ett högre inköpspris. För att hitta den bästa nivån på mållagret kan det vara kombinationen av de båda alternativen som ger den totalt sett lägsta kostnaden (se figur 3).



Figur 3. Lagerkostnad (L), kostnad för alternativa inköp (A) och total kostnad (T) vid olika lagerstorlek (X).

Figure 3. Stock costs (L), cost of alternative purchases (A) and total cost (T) with different stock levels.

I diagrammet ovan visas:

**A** = Kostnad för att parera låg leveransprecision med alternativa inköp vid lagervolym X

**L** = Kostnad för att parera låg leveransprecision med lager vid lagervolym X

**T** = Totalkostnaden

$$\mathbf{T = A+L}$$

För att hitta den bästa nivån på lagerstorlek och alternativa inköp så måste kostnaderna för de båda kurvorna vägas samman, detta ger den totala kostnaden som visas i form av kurva T. Där den totala kostnaden av de båda parametrarna är som lägst, där finner vi det bästa alternativet på lagerstorlek och alternativa inköp. Detta samband förklaras grafiskt i figur 3.

Kurva A visar den kostnad som uppstår då lagret är för litet för att klara av att parera för alla underleveranser. Detta medför att extra biobränsle måste köpas in till en högre kostnad. Kostnad A står för ”alternativ inköpskostnad”

L visar lagrets kostnad som är direkt beroende av lagrets storlek. Ett stort lager innebär få externa inköp. Stora lager ger däremot en högre kostnad för lagerhållning. I

lagerkostnaden (L) ingår kostnad för extra hantering, substansförlust och räntekostnad på bundet kapital.

### 2.1.1 Beräkning av leveransprecision

LP (leveransprecision) är ett vanligt förekommande begrepp i den här rapporten. Med leveransprecision menas: den procentuella skillnaden mellan beställning och leverans inom en förutbestämd tidsperiod. LP kan därmed vara både positiv och negativ. Vid underleveranser blir LP negativ och vid överleveranser blir LP positiv. Nedan i tabell 1 visas ett exempel på skattad leveransprecision från leverantör X. Beställd och levererad volym kan visas i MWh, m3f, antal lass eller liknande enheter. Det viktiga är inte enheten utan att beställd och levererad volym mäts med samma enhet för att få den procentuella skillnaden. Till stora avvik räknas alla leveranser som avviker mer än 50 procent från den beställda volymen. Avvik under 20 procent räknas som små avvik. Leveransprecision mellan 50-20 procent bedöms som normala avvik. I tabell 1 visas under-/överleverans skillnad mellan beställning och leverans. Raden LP i % visar den skattade leveransprecisionen i procent för varje vecka och även för en styrningsperiod som är fyra veckor.

Tabell 1. Exempel på leveransprecision i procent från leverantör X under de sju första veckorna och dessutom leveransprecisionen från en fyra veckors sammanhängande period år 2006

*Table 1. An example of delivery precision in percent for supplier X during the first seven weeks and also from a period of four consecutive weeks in 2006.*

<b>Leverantör X</b>							
<i>(Supplier X)</i>							
<b>År 2006 vecka nr:</b>							
<i>(Year 2006 week nr:)</i>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
<b>Beställd volym</b>							
<i>(ordered volume)</i>	26600	26600	26600	26600	26600	26600	26600
<b>Levererad volym</b>							
<i>(delivered volume)</i>	25352	24430	24429	27661	22451	25123	28505
<b>över-/underleverans</b>							
<i>(over-/under delivery)</i>	-1248	-2170	-2171	1061	-4149	-1477	1905
<b>LP i %</b>							
<i>(delivery precision)</i>	-5	-8	-8	4	-16	-6	7
<b>LP i % per fyra veckor</b>							
<i>(delivery precision/4 weeks)</i>	-4						
<b>Leverantör X andel av den totala års beställningen</b>							
<i>(Supplier X's part of total ordered volume in 2006)</i>	18 %						

$$LP\ i\ \% = L_v/B_v - 1$$

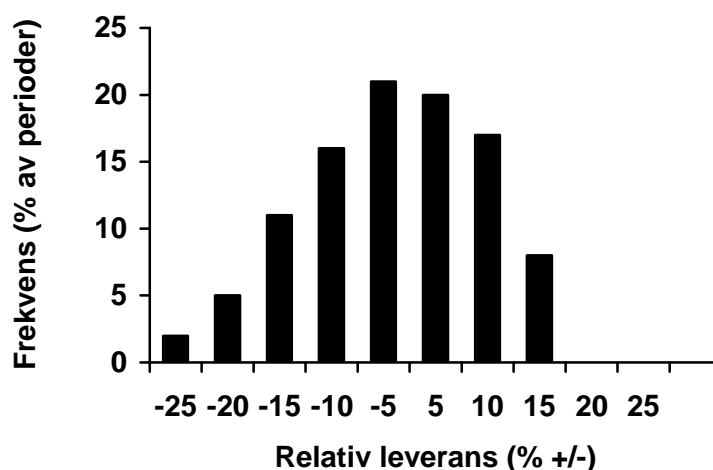
LP i % = Procentuell skillnad mellan beställning och leverans under en förutbestämd tidsperiod.

$L_v$  = levererad volym

$B_v$  = beställd volym

För varje enskild leverantör beräknas leveransprecisionen på samma sätt som i tabell 1. För att skapa en gemensam leveransprecision för alla leverantörer viktas varje LP med respektive leverantörs andel av den totala årsbeställningen. Den viktade leveransprecisionen som innehåller samtliga leverantörer sammanställs i ett histogram där varje avvik i LP, klassindelas och bildar en fördelningskurva. Exempel på klassindelning kan vara klasser om fem enheter vardera, -10 till -5, -5 till 0, 0 till 5, 5 till

10, 10 till 15, osv. Den relativa frekvensen av leveransprecisionen presenteras i ett histogram i form av en fördelningskurva (se figur 4). Lämpligt antal klasser ger en jämn fördelning. Med många klasser blir klassbredden mindre vilket kan ge en hackig fördelning, framförallt på mindre sampel.



Figur 4. Exempel på histogram med frekvens av leveransprecision. Klassbredden motsvarar leveransavvikelse på upp till fem procent per lagerklass.

*Figure 4. Example of a histogram with frequencies of delivery precision. The class width on the x-axis corresponds to delivery deviations of five percent.*

Modellen är byggd för att parera variationer i underleveranser. Frekvensen som histogrammet visar åskådliggör sannolikheten för leverans inom varje lagerklass. I kommande beräkningar så används endast den del av histogrammet som har negativa klasser, det vill säga underleveranser. Modellen är konstruerad så att alla överleveranser stoppas och därmed ignoreras i de fortsatta beräkningarna. När leveransstatistiken för underleveranserna är sammanställd visar det sig att fördelningen i stort sett är triangulär. Eftersom sannolikhetsfördelningen för negativa avvik i stort sett är triangulär approximeras den med en triangulär fördelning. Vid triangulär fördelning gäller följande: Linjärt förhållande där den största observerade underleveransen utgör basen i triangeln. Vid avvik "noll" finns största Y-värdet, det vill säga största sannolikheten för leverans. Avvik "noll" kan beräknas med formeln  $Y = (2/X)*U$  (Holm 2007 pers. komm.)

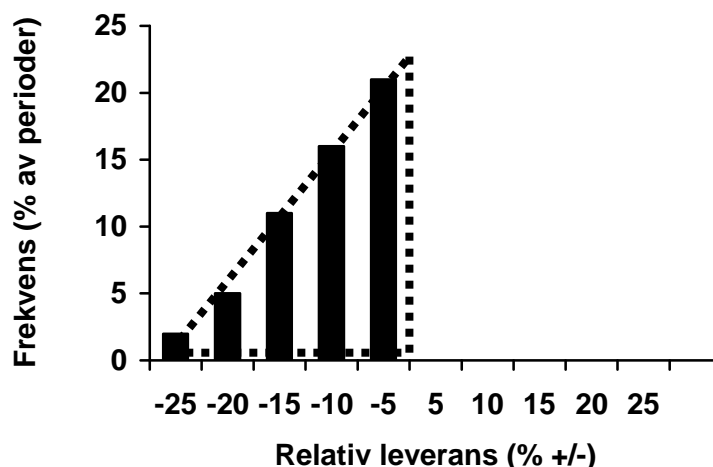
$$Y = (2/X)*U$$

**Y** = sannolikhet för leverans vid avvik X.

**X** = procentuellt avvik i underleverans från beställd volym.

**U** = procentuell andel underleveranser av total leverans.

Ovanstående formeln används för att beräkna sannolikheten för underleverans vid olika lagernivåer. Den triangulära fördelningen ger ett linjärt förhållande där avvik i underleverans lättare kan jämföras vid olika lagernivåer (se figur 5).



Figur 5. Exempel på en triangulär fördelning av leveranser. Fördelningen baseras på klassindelade underleveranser där varje klass motsvarar ett avvik på upp till fem procent vardera. Största leveransavviket under fyra sammanhängande veckor ger basen i den triangulära fördelningen, som visas med hjälp av den svarta streckade linjen.

*Figure 5. Example of a triangular distribution of delivery precision. The distribution is based on delivery deficits where each class has a width of five percent. The largest deviation during four consecutive weeks represents the base of the triangular distribution.*

De olika nivåerna på mållagret som jämförs har samma intervall som klassindelningen i histogrammet. I det här fallet skulle klassindelningen ge fem olika lagernivåer att jämföra. Dessa lagernivåer skulle motsvara mellan -5 och -25 procent av den totala månadsbeställningen.

### 2.1.2 Beräkning av extra inköpskostnad

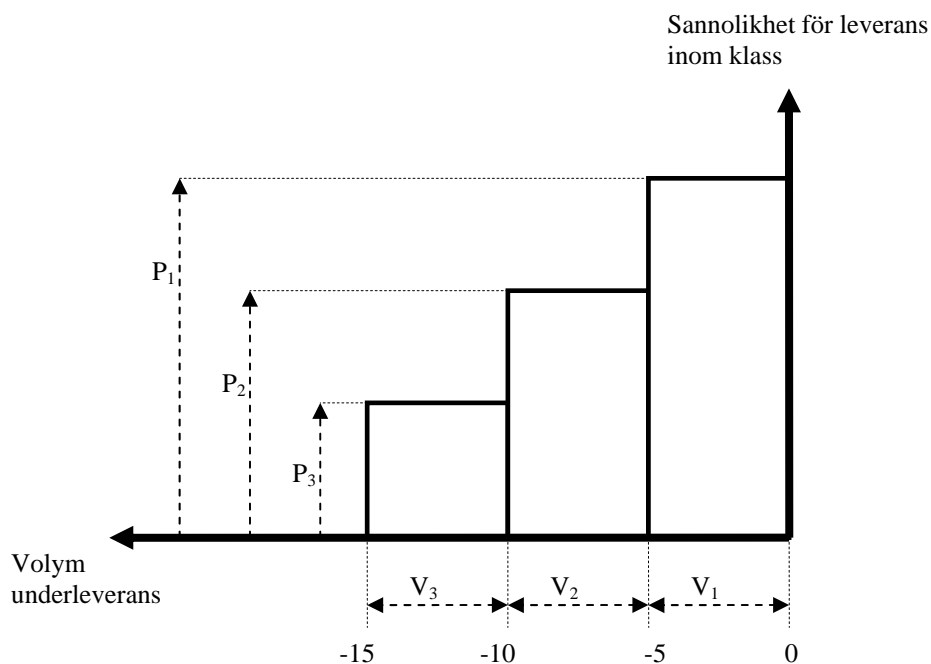
Med hjälp av leveransstatistiken beräknas det genomsnittliga förväntade underskottet för varje alternativ lagernivå. Det förväntade underskottet för respektive lagerklass multipliceras med kostnaden för extra anskaffning. I kostnaden för extra anskaffning är priset högre än vid normala inköp. I modellen väljs hur många procent dyrare de externa inköpen på kort tid skall vara. Vid klasser med låg lagernivå blir sannolikheten för underskott större och därmed också det förväntade extra inköpet. Detta beror på att det finns flera tänkbara leveranssituationer som ger upphov till lagerbrist. Det förväntade underskottet beräknas genom att summera sannolikheten för underleverans multiplicerat med dess volym (se figur 6).

$$I_k = V_x * P_x$$

$I_k$  = extra inköpskostnad

$V_x$  = volym underleverans i klass x

$P_x$  = sannolik för leverans inom klass x



Figur 6. Exempel på beräkning av genomsnittligt förväntat underskott vid tre olika lagernivåer. Dessa lagernivåer motsvarar underleveranser på upp till -5, -10 och -15 procent av beställningen från en period om fyra sammanhängande veckor.

Figure 6. An example of how to calculate the expected delivery deficit for three different stock levels. Each stock level corresponds to delivery deficits of 5, 10 and 15 percent over a period of four weeks.

Tabell 2. Förväntat underskott och eventuell merkostnad till följd av underleverans vid sju olika lagernivåer

Table 2. Expected deficits and extra costs for seven alternative stock levels.

Lagerklass (Stock class)	kl 7	kl 6	kl 5	kl 4	kl 3	kl 2	Kl 1
Lagernivå (MWh) (Stock level)	2680	2297	1914	1532	1149	766	383
Sannolikhet för underleverans (Probability of deficit)	$P_7 = 0,011$	$P_6 = 0,034$	$P_5 = 0,056$	$P_4 = 0,079$	$P_3 = 0,101$	$P_2 = 0,124$	$P_1 = 0,146$
Förväntat underskott (antal enheter) (Expected deficit)		$P_7*(kl\ 7-kl\ 6)$	$P_7*(kl\ 7-kl\ 6)+$ $P_6*(kl\ 6-kl\ 5)$	$P_7*(kl\ 7-kl\ 6)+$ $P_6*(kl\ 6-kl\ 5)+$ $P_5*(kl\ 5-kl\ 4)$	$P_7*(kl\ 7-kl\ 6)+$ $P_6*(kl\ 6-kl\ 5)+$ $P_5*(kl\ 5-kl\ 4)+$ $P_4*(kl\ 4-kl\ 3)$	$P_7*(kl\ 7-kl\ 6)+$ $P_6*(kl\ 6-kl\ 5)+$ $P_5*(kl\ 5-kl\ 4)+$ $P_4*(kl\ 4-kl\ 3)+$ $P_3*(kl\ 3-kl\ 2)$	$P_7*(kl\ 7-kl\ 6)+$ $P_6*(kl\ 6-kl\ 5)+$ $P_5*(kl\ 5-kl\ 4)+$ $P_4*(kl\ 4-kl\ 3)+$ $P_3*(kl\ 3-kl\ 2)+$ $P_2*(kl\ 2-kl\ 1)$
	=	4,2	17,2	38,6	68,9	107,6	155,1
Merkostnad per enhet för att täcka underskott (Extra cost per unit to cover deficit)	150	150	150	150	150	150	150
Total merkostnad per lagerklass för att täcka underleveranser (Total cost to cover deficit)	0	632	2585	5794	10333	16135	23259



### 2.1.3 Beräkning av lagerkostnad

Extra kostnad för ett ökat lager kan beräknas genom att summera kostnad för substansförlust, extra hantering och ränta på bundet kapital. Summan av dessa kostnader ger den totala lagerkostnaden vid aktuellt mållager.

$$L_k = S_k + H_k + r_k$$

$L_k$  = lagerkostnad (kr/MWh)

$S_k$  = substansförlustkostnad (kr/MWh)

$H_k$  = hanteringskostnad (kr/MWh)

$r_k$  = räntekostnad (kr/MWh)

Substansförlustkostnaden beräknas genom att multiplicera substansförlusten som anges i procent med lagervolymen. Substansförlusterna är mindre under den första veckan när temperaturerna i flisstacken är lägre och nedbrytningsprocessen inte kommit igång (Bergman och Nilsson 1967), därav dras en veckas volym av från totalvolymen innan substansförlusten beräknas. Detta gör att modellen inte räknar med någon substansförlust under den första veckan.

$$S_k = S_f * (L_x - v_f) * I$$

$S_f$  = Substansförlust (procent per vecka)

$L_x$  = lagervolym (MWh)

$v_f$  = 1 veckas förbrukning (MWh)

$I$  = normalt inköpspris (kr/MWh)

Kostnaden för extrahantering det vill säga traktorhantering beräknas genom att multiplicera kostnaden för extrahanteringen med den volym som överstiger den lagernivå som medför en fördyrad hantering. I verkligheten blir hanteringen dyrare när bränslestacken ökar i storlek efter som traktorn får en längre körsträcka. För att göra modellen enkel är hanteringen satt till vissa gränsvärden. Den första lagernivå i modellen som medför en extrahantering inträffar när totallagret blir större än 3000MWh. När totallagret blir 6000MWh fördubblas denna extrahantering på grund av att traktorn får en ännu längre körsträcka och därmed en besvärligare och dyrare hantering. Om det totala lagret blir större än de 8000MWh som ryms i direkt anslutning till pannan tillkommer ytterligare en extrahantering på den överskjutande volymen. All volym som inte ryms vid pannan måste lagras på en annan lagerplats (kajen) och måste därför lastas om ytterligare en gång på lastbil innan den volymen är framme vid pannan.

$$H_k = (OL * G_{ol}) + (EH * G_1) + (EH * 2 * G_2)$$

$OL$  = extra kostnad för omlastning på volym över 8000MWh (15kr/MWh)

$G_{ol}$  = volym över gränsvärde för omlastning (8000MWh)

$EH$  = kostnad för extra hantering över gränsvärde (1kr/MWh)

$G_1$  = volym över gränsvärde för extra hantering (3000MWh)

$G_2$  = volym över gränsvärde för extra hantering (6000MWh)

Räntekostnaden beräknas genom att dividera den totala lagervolymen som finns med en veckas förbrukning, för att få ut lagrets täcktid i veckor. Lagrets täcktid anger hur många

veckor den lagrade volymen kommer att ligga innan lagervolymen omsätts. För att beräkna räntekostnaden för lagret måste den totala inköpskostnaden multipliceras med täcktiden (lagervärdet) och den aktuella räntan per vecka.

$$r_k = t \cdot l_v \cdot r$$

$t$  = lagrets täcktid (antal veckor)

$l_v$  = lagervärde (kr)

$r$  = ränta per vecka (procent)

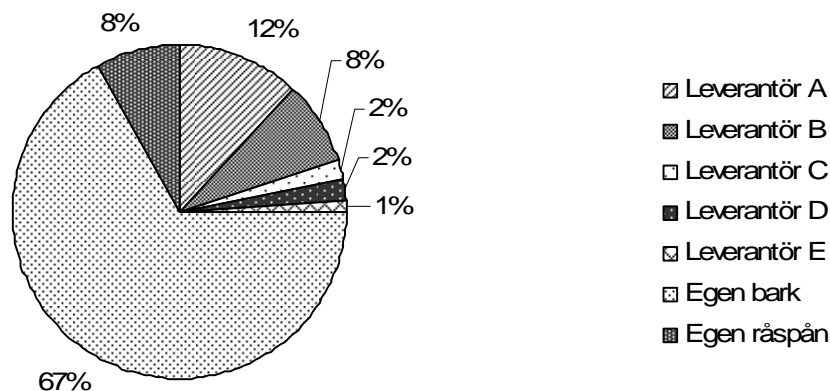
## 2.2 Datainsamling och sammanställning av data

Modellen bygger till stora delar på leveransstatistik. Det primära målet med insamlingen av leveransstatistiken är att åstadkomma en sannolikhetsfördelning av de underleveranser som inträffat. Den leveransstatistik som använts är till stora delar baserad på Billeruds egna leverantörer och i annat fall till liknande anläggningar och med liknande förutsättningar. All insamling av data har inletts med ett telefonsamtal där examensarbetets syfte förklarats på ett snabbt och enkelt sätt. Själva data materialet har därefter skickats via e-post eller post. För att dimensionera de olika lagren har olika leveransstatistik använts till GROT/bark/råspån och torrflis/sågspån. I vissa fall är det samma leverantörer som levererar de båda sortimenten. De leverantörer som använts för att samla in leveransstatistik är: (se tabell 3)

Tabell 3. Billerud Karlsborgs leverantörer av GROT/bark/råspån och respektive leverantörs andel av den totala års beställningen (Data är i vissa fall hämtat från tidigare års leveranser från dessa leverantörer till liknande mottagningsplatser.)

*Table 3. Suppliers of GROT/bark and raw chips from barking and their part of the total yearly order at Billerud Karlsborg.*

	Leverantör (Supplier)	Andel av årsbeställning (%) (Part of yearly order)
1	Egen bark (2005 & 2006)	67
2	Leverantör A	12
3	Egen råspån (2005 & 2006)	8
4	Leverantör B	8
5	Leverantör C	2
6	Leverantör D	2
7	Leverantör E	1



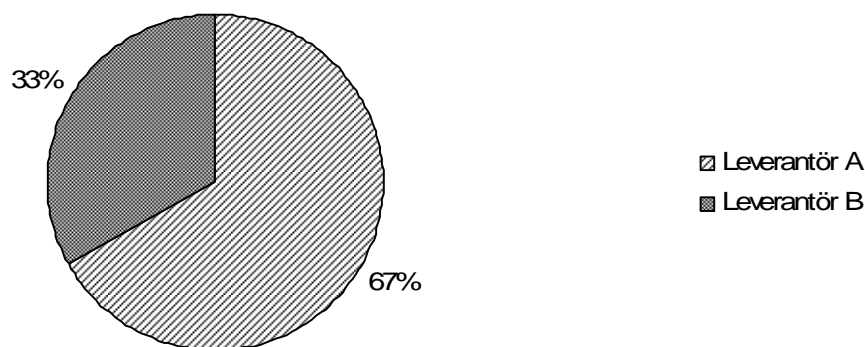
Figur 7. Respektive leverantörs andel av den totala årsbeställningen är grafiskt angiven i ovanstående figur. I figuren visas även andelen egen bark och egen råspån.

Figure 7. Suppliers' part of the yearly order of GROT/bark and raw chips from barking.

Tabell 4. Billerud Karlsborgs leverantörer av torrflis/spån och respektive leverantörs andel av den totala årsbeställningen. (Data är i vissa fall hämtat från tidigare års leveranser från dessa leverantörer till liknande mottagningsplatser.)

Table 4. Suppliers of dry chips and saw dust and their part of the total yearly order at Billerud Karlsborg.

	Leverantör (Supplier)	Andel av årsbeställning (%) (Part of yearly order)
1	Leverantör E	67
2	Leverantör A	33



Figur 8. Respektive leverantörs andel av den totala årsbeställningen av torrflis och spån.

Figure 8. Suppliers' part of the yearly order of dry chips and saw dust.

Det är inte bara leveransstatistik som samlats in, för övrigt har Billeruds kalkylränta, substansförluster och rådande hanteringskostnader samlats in. Kalkylräntan är inom Billerud bestämd till 11,7 procent (Nilsson Sandlund 2007, pers. komm.). Substansförlusterna varierar mycket beroende på bränslets sortiment, kvalitet, lagringsmetod och rådande väderförhållanden. Den substansförlust som används i modellen är satt till en procent/vecka. Denna nivå på substansförlusterna bedöms som det mest rimliga efter de olika litteraturstudierna (Löwegren och Jonsson 1987; Pettersson 2007, pers. komm.). Hanteringskostnaden är svår att bestämma men helt klart råder en extra hantering när stacken får en större volym. När volymen blir så stor att hanteringen inkluderar en omlastning blir kostnaden mycket högre. Hanteringskostnaden är beräknad till 1kr/MWh när stacken ökar med 3000MWh och ytterligare 1kr/MWh när stacken ökar till 6000MWh. När stacken blir så stor att hanteringen inkluderar en extra omlastning så är kostnaden beräknad till 15kr/MWh (Fagerbo 2007, pers. komm.).

### ***2.3 Skattning av kostnader vid olika lagernivåer***

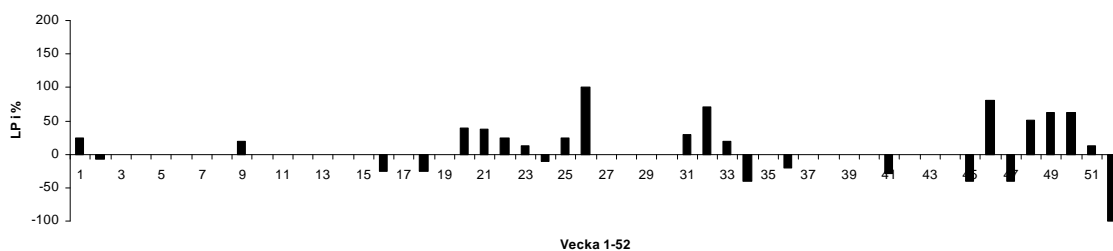
De kostnader som beräknats vid de olika lagernivåerna är inköpskostnad och lagerkostnad. I lagerkostnad och inköpskostnad finns olika del kostnader som substansförlust, ränta, mm. I kapitel 2.1 förklaras hur de olika kostnaderna och dess ingående parametrarna beräknas. Den lagermodell som använts för att skatta kostnaderna har arbetats fram i programmet Excel. All styrning av inleveranser sker i perioder om fyra veckor. Vid styrning på fyra veckors nivå finns utrymme att parera leveransavvik innan perioden är över. I många fall förekommer både över och underleveranser inom samma fyra veckors period om man bryter ner leveranserna på veckonivå. Det som kan tvinga fram en hårdare styrning är en sammanhängande serie av underleveranser (liten sannolikhet). I ett sådant fall krävs en mycket hård styrning för att uppnå önskad lagernivå vid periodens slut.

### 3. Resultat

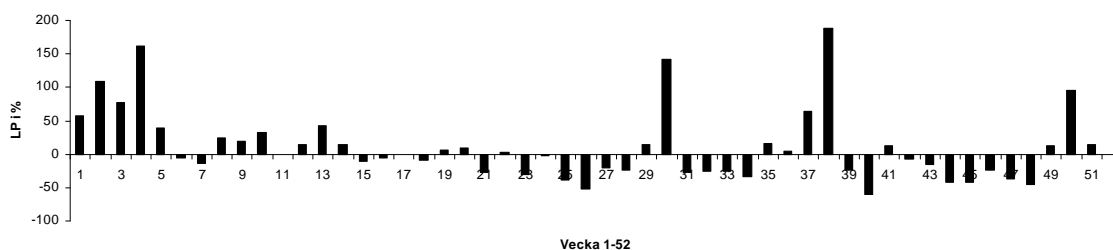
Här nedan presenteras de olika resultaten från arbetet. Först presenteras leveransprecisionen för Billerud Karlsborgs olika biobränsleleverantörer och en sammanställd leveransprecision för de båda sortimenten. Sedan redovisas en triangulär sannolikhetsfördelning som baseras på leveransavvik från fyra veckor sammanhängande tidsperioder av den sammanvägda leveransprecisionen. Slutligen presenteras kostnaden för olika lagernivåer och en känslighetsanalys där olika parametrar förändras. Hela tiden har lagret hanterats som två olika sortiment. Först presenteras GROT, bark och råspån lagret och sedan följer resultatet för torrflis och spån lagret.

#### 3.1 Leveransprecision per leverantör för sortimentet GROT, bark och råspån

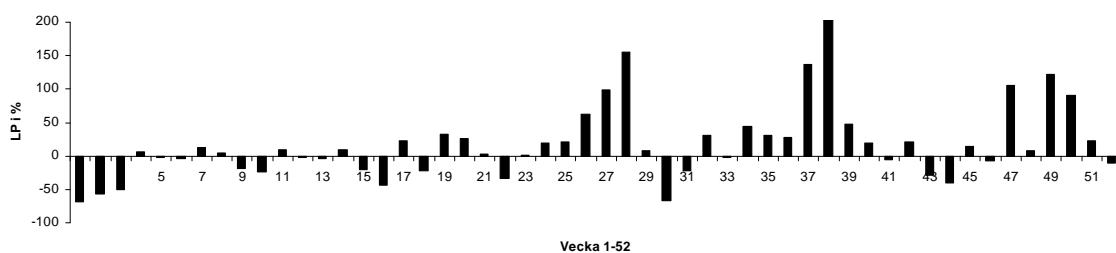
Här visas leveransprecisionen för varje enskild leverantör som levererar GROT eller bark till Billerud. Diagrammen visar leveranser från tidigare år där under- respektive överleveranser visas i procentuellt avvik från den beställda volymen per vecka (se figur 9-17).



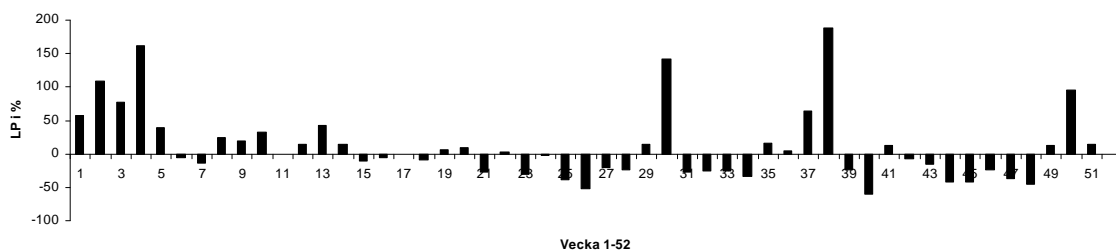
Figur 9. Leveransfördelning (LP i %) per vecka av GROT och bark för leverantör A.  
*Figure 9. Distribution of GROT and bark delivery (LP %) each week from supplier A.*



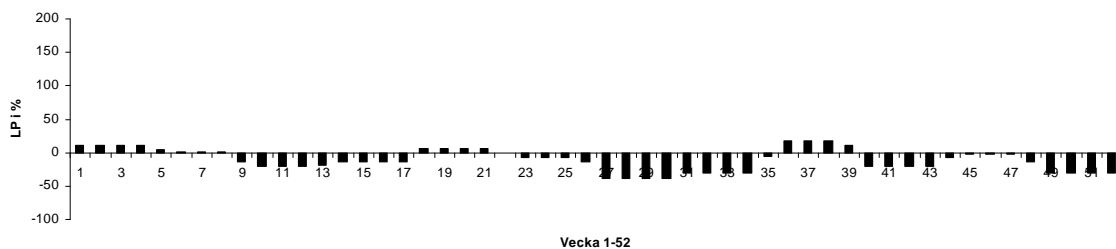
Figur 10. Leveransfördelning (LP i %) per vecka av GROT och bark för leverantör B.  
*Figure 10. Distribution of GROT and bark delivery (LP %) each week from supplier B.*



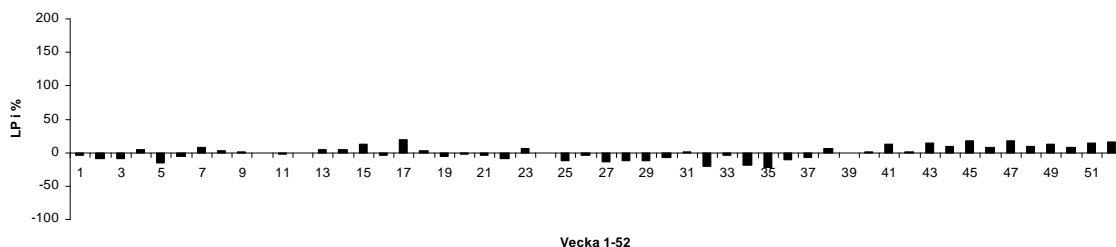
Figur 11. Leveransfördelning (LP i %) per vecka av GROT och bark för leverantör C.  
*Figure 11. Distribution of GROT and bark delivery (LP %) each week from supplier C.*



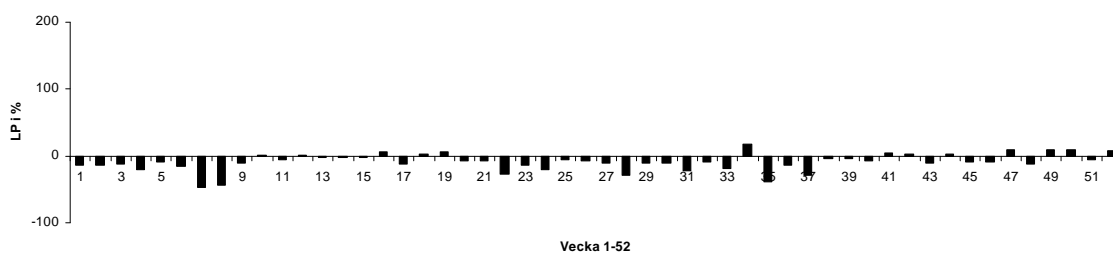
Figur 12. Leveransfördelning (LP i %) per vecka av GROT och bark för leverantör D.  
*Figure 12. Distribution of GROT and bark delivery (LP %) each week from supplier D.*



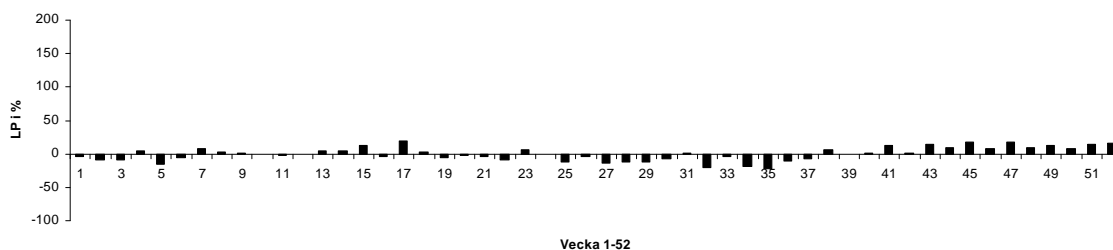
Figur 13. Leveransfördelning (LP i %) per vecka av GROT och bark för leverantör E.  
*Figure 13. Distribution of GROT and bark delivery (LP %) each week from supplier E.*



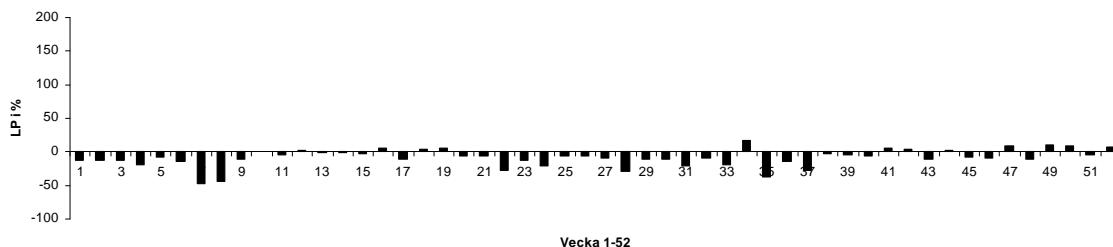
Figur 14. Leveransfördelning (LP i %) per vecka av egen bark från renseriet år 2006.  
*Figure 14. Distribution of bark delivery (LP %) each week from Billerud's own mill 2006.*



Figur 15. Leveransfördelning (LP i %) per vecka av egen bark från renseriet år 2005.  
 Figure 15. Distribution of bark delivery (LP %) each week from Billerud's own mill 2005.



Figur 16. Leveransfördelning (LP i %) per vecka av egen råspån från renseriet år 2006.  
 Figure 16. Distribution of raw chips from barking delivery (LP %) each week from Billerud's own mill 2006.

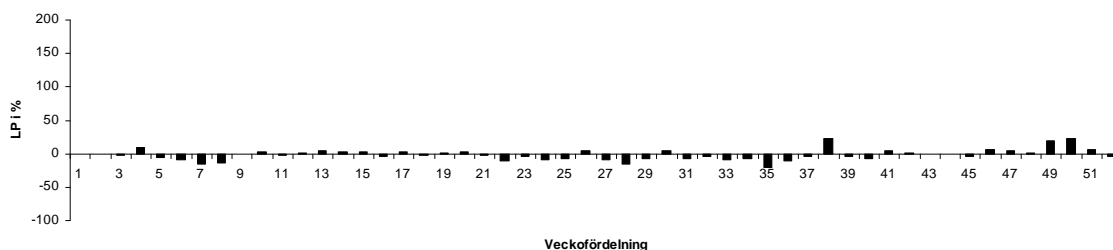


Figur 17. Leveransfördelning (LP i %) per vecka av egen råspån från renseriet år 2005.  
 Figure 17. Distribution of raw chips from barking delivery (LP %) each week from Billerud's own mill 2005.

Enskilda leverantörer har ofta stora avvik, (mer än 50 procents avvik från den beställda volymen). Leverantör A-D hade stora avvik i leveransprecisionen vid 35 av 208 observationer (se figur 9-12). Detta innebär att leverantör A-D hade stora avvik i 17 procent av alla leveranser. Tillsammans står leverantör A-D för 24 procent av den årliga GROT, bark och råspån anskaffningen till Billerud. Det är viktigt att de större leverantörerna kommer med jämna leveranser för att den totala anskaffningen skall hålla en jämn nivå. I Billeruds fall är det egna renseriet den största leverantören som står för 75 procent av alla leveranser i sortimentet GROT, bark och råspån. Renseriet har en mycket jämn produktion vilket innebär små leveransavvik (mindre än 20 procent). Av 208 observationer var bara 18 stycken över 20 procents leveransavvik, vilket innebär att mer än 91 procent av leveransavviken var små. Ingen leverans avvek mer än 50 procent (se figur 14-17).

### 3.1.1 Sammanvägd leveransprecision för GROT, bark och råspån

Den sammanvägda leveransprecisionen är resultatet av samtliga leverantörer inklusive egen produktion från renseriet som levererar GROT, bark och råspån till Billerud. Vid sammanvägningen har respektive leverantörs enskilda beställning viktats mot Billeruds totala beställning av det sortimentet. En liten leverantör får därmed mindre påverkan än en stor leverantör på den sammanvägda leveransfördelningen. De stora avviken från de mindre leverantörerna påverkar inte så mycket när man ser till den totala leveransprecisionen. Det kan till och med vara så att avvik från olika leverantörer tar ut varandra. Under vecka 38 hade leverantör A, B, C och D stora överleveranser (större än 50 %) men i den sammanvägda leveransfördelningen blir inte avviken lika markant (se figur 9-12 och 18). Totalt sett är nästan alla leveransavvik små (mindre än 20 %) i den sammanvägda leveransfördelningen och bara 2 av 52 observationer avvek mer än 20 procent från den beställda volymen. Det innebär att mer än 96 procent av alla leveransavvik i den sammanvägda leverans fördelningen är små, det vill säga mindre än 20 procent avvik (se figur 18).



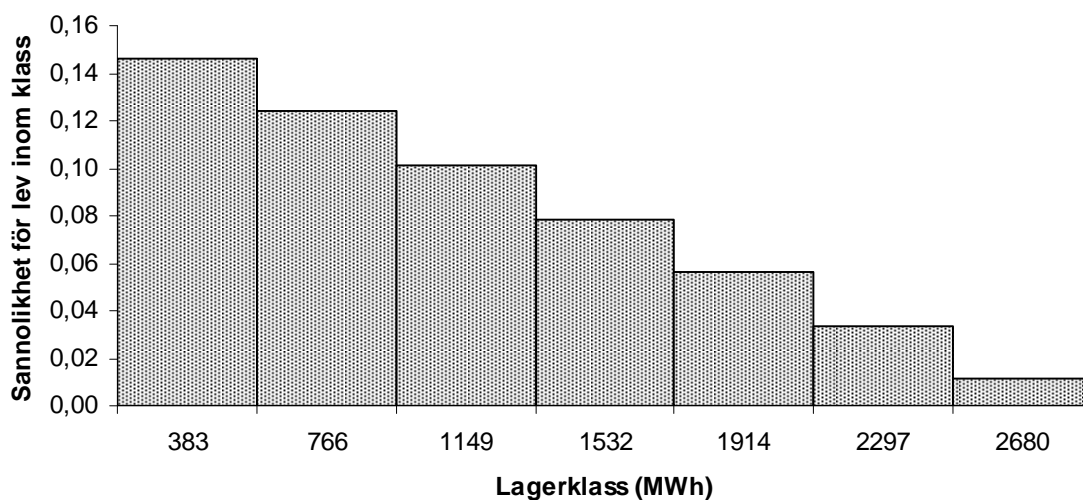
Figur 18. Den sammanvägda leveransfördelningen (LP i %) per vecka av samtliga GROT och bark leverantörer, inklusive leveranser av råspån från det egna renseriet.

*Figure 18. Compiled delivery precision (LP %) each week from all suppliers of GROT/bark and raw chips from barking.*

### 3.1.2 Sammanställd sannolikhetsfördelning för LP av GROT, bark och råspån

I det här stycket presenteras hur stor sannolikhet det är för att underleveranser av olika storlek skall inträffa (se figur 19). För att gå från leveransstatistik i veckor till sannolikhet för underleverans i fyra veckors perioder, måste leveransprecisionen i figur 18 summeras till fyra veckors sammanhängande serier. Den största sammanhängande underleveransen i en fyra veckors period utgör basen i den triangulära fördelningen som visar sannolikheten för leverans inom respektive lagerklass (se figur 19). Klassbredden i figuren nedan motsvarar ett fem procentigt negativt leveransavvik per lagerklass från den beställda månadsvolymen. Tillvägagångssättet hur man förvandlar leveransprecision till sannolikhet för underleverans inom motsvarande lagerklasser har förklarats tidigare i rapporten under material och metod i stycke 2.1.1 och 2.1.2.



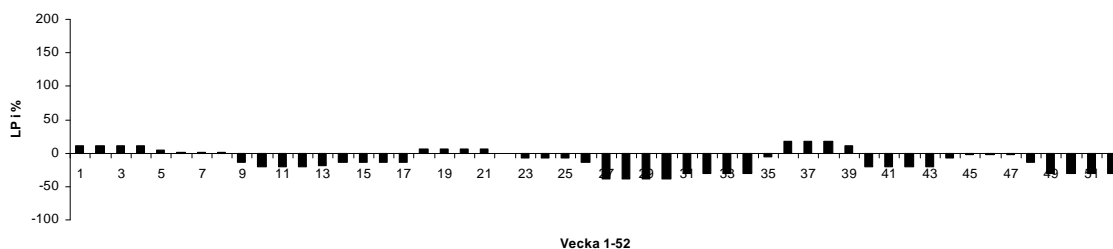


Figur 19. Triangulär sannolikhetsfördelning av negativa leveransavvik för GROT, bark och råspån i MWh för fyra veckor sammanhängande leveransperioder.

*Figure 19. Triangular distribution of negative deviations for deliveries of GROT, bark and raw chips from barking for four week periods.*

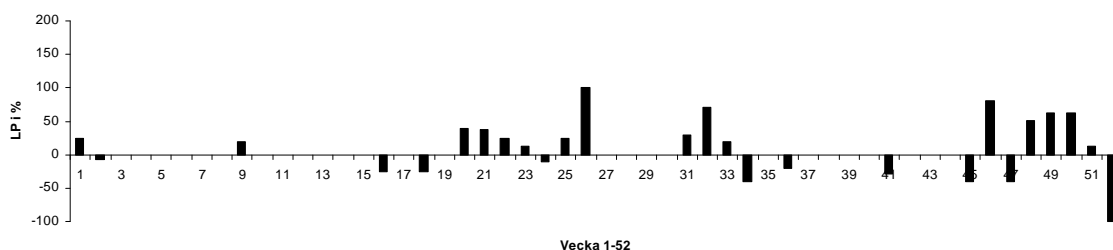
### 3.2 Leveransprecision per leverantör för sortimentet torrflis/spån

Här visas leveransprecisionen för varje enskild leverantör som levererar torrflis eller spån till Billerud (se figur 20 och 21). Diagrammen visar leveranser från tidigare år där under- respektive överleveranser visas i procentuellt avvik från den beställda volymen per vecka.



Figur 20. Leveransfördelning (LP i %) per vecka av torrflis och spån för leverantör E.

*Figure 20. Distribution of dry chips and saw dust delivery (LP %) each week from supplier E.*



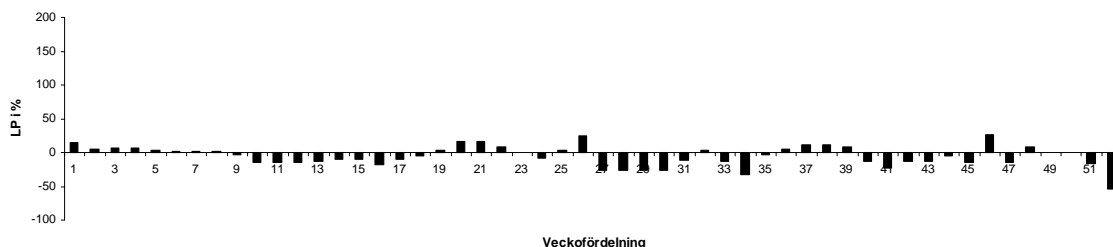
Figur 21. Leveransfördelning (LP i %) per vecka av torrflis och spån för leverantör A.

*Figure 21. Distribution of dry chips and saw dust delivery (LP %) each week from supplier A.*

När det gäller leveranser av torrflis och spån har Billerud bara två olika leverantörer. Med få och stora leverantörer är det viktigt att dessa kommer med jämna inleveranser. Leverantör E har inga stora avviker som avviker mer än 50 procent från beställningen (se figur 20). Leverantör A har inte bra leveransprecision eftersom 6 av 52 leveranser avviker mer än 50 procent från beställningen (se figur 21). Leverantör A har hela 67 procent av torrflis och spånleveranserna och leverantör A står för 33 procent. Vid sammanvägningen gör detta att de stora avviken från leverantör A dämpas lite av leveransprecisionen från leverantör E.

### 3.2.1 Sammanvägd leveransprecision för torrflis och spån

Den sammanvägda leveransprecisionen är resultatet av samtliga leverantörer som levererar torrflis och spån till Billerud. Vid sammanvägningen har respektive leverantörs enskilda beställning viktats mot Billeruds totala beställning av torrflis och spån (se figur 22). För torrflis och spån fanns bara två olika leverantörer som levererar till Billerud.

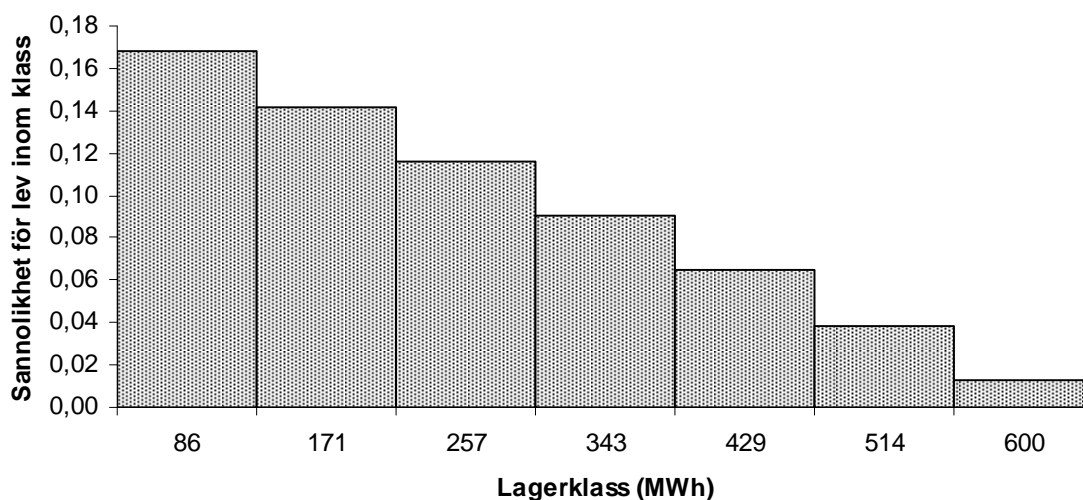


Figur 22. Den sammanvägda leveransfördelningen (LP i %) per vecka från de båda leverantörerna av torrflis och spån till Billerud.

*Figure 22. Compiled delivery precision (LP %) each week from both suppliers of dry chips and saw dust.*

### 3.2.2 Sammanställd sannolikhetsfördelning för LP av torrflis/spån

I det här stycket presenteras sannolikhetsfördelningen för torrflis och spånlagret (se figur 23). Sannolikhetsfördelningen presenteras för sju olika lagerklasser där varje lagernivå motsvarar ett avvik om fem procentenheter från fullständig leverans. Beräkningarna från leveransprecision till sannolikhetsfördelning går till på samma sätt som för GROT, bark och råspån, tillvägagångssättet har förklarats i styckena 2.1.1 och 2.1.2.



Figur 23. Triangulär sannolikhetsfördelning av negativa leveransavvik för torrflis och spån i MWh för fyra veckor sammanhängande leveransperioder.

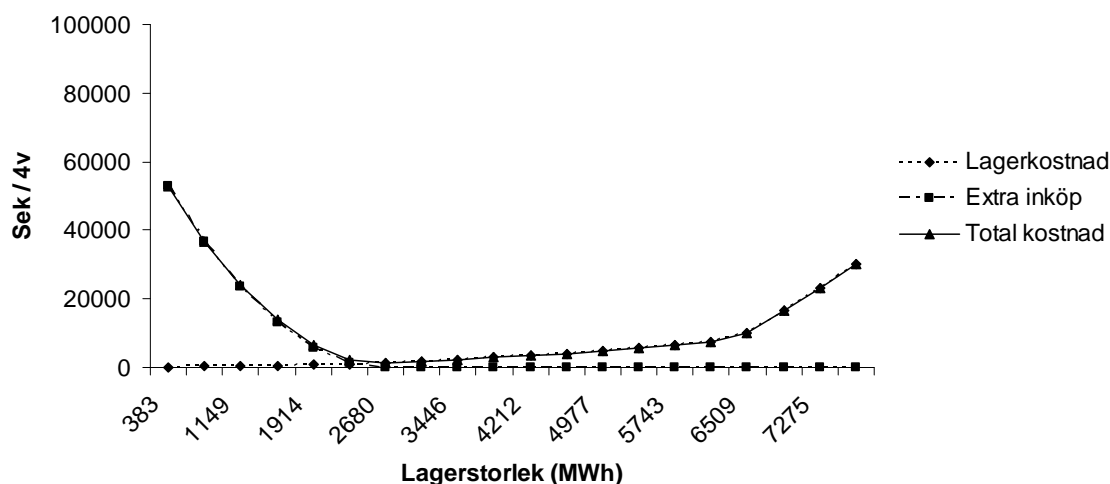
*Figure 23. Triangular distribution of negative deviations for deliveries of dry chips and saw dust for four week periods.*

### **3.3 Beräknade kostnader vid olika lagernivåer**

Lagermodellen ger en skattad total kostnad vid olika förutbestämda lagernivåer. Modellen jämför mellan de två olika valen ”kostnad för extern extra anskaffning” och ”kostnad för lagerhållning”. Den lagernivå som ger den totalt sett lägsta kostnaden föreslås av modellen och även ett lagerintervall där lagerkostnaden är ekonomiskt acceptabel. Eftersom biobränslet hanteras som två olika sortiment utförs beräkningarna för de båda sortimenten separat.

#### **3.3.1 Beräknade kostnader för GROT, bark och råspån vid olika lagernivåer**

För sortimentet GROT, bark och råspån visas kostnaden för olika lagernivåer (se figur 24). GROT och bark utgör merparten av Billerud Karlsborgs biobränsle. Lagerkostnaden visas i den streckade linjen som ökar med en ökande lagervolym. Extra inköpskostnad visas med den punktstreckade linjen som minskar med en ökad lagervolym. Totalkostnaden för GROT, bark och råspån visas i den heldragna linjen.



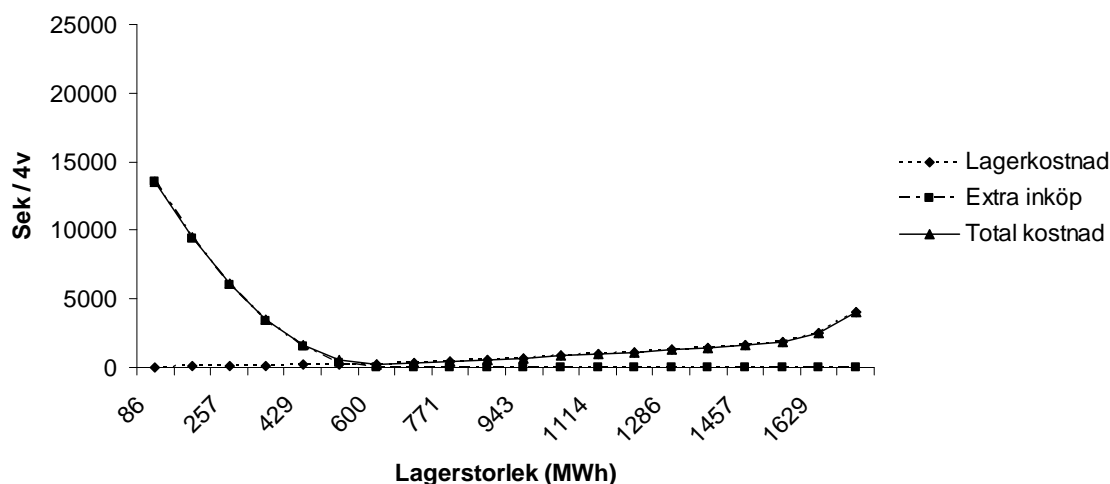
Figur 24. Kostnadskurva som visar lagerkostnad, extra inköpskostnad och total kostnad (sek/4v) för GROT, bark och råspån lagret vid olika förutbestämda lagernivåer (MWh).

Figure 24. Cost curves showing stock cost, purchase price and total cost (sek/4v) for predetermined stock levels of GROT, bark and raw chips from barking.

Den lägsta kostnaden för GROT, bark och råspån är enligt modellen vid lagernivån 2680MWh. Under den lagernivån ökar kostnaden eftersom det blir aktuellt med externa inköp till extra högt pris för att täcka en del tänkbara leveransavvik. Mellan lagernivån 2680MWh och 6509MWh är den totala kostnaden svagt stigande på grund av räntekostnader, substansförluster och hanteringskostnader. På lagernivåer över 6500MWh blir det en ökad totalkostnad eftersom den lagernivån kräver en extra omlastning. Den av modellen föreslagna lagerintervallet är mellan 2000 – 6500MWh.

### 3.3.2 Beräknade kostnader för torrflis/spån vid olika lagernivåer

Torrflis och spån utgör ca 20 procent av den totala bränsleförsörjningen. I figur 25 visas de olika kostnaderna för lagerhållning och extra inköp av torrflis och spån.



Figur 25. Kostnadskurva som visar lagerkostnad, extra inköpskostnad och total kostnad (sek/4v) för torrflis och spån vid olika förutbestämda lagernivåer (MWh).

Figure 25. Cost curves showing stock cost, purchase price and total cost (sek/4v) for predetermined stock levels of dry chips and saw dust.

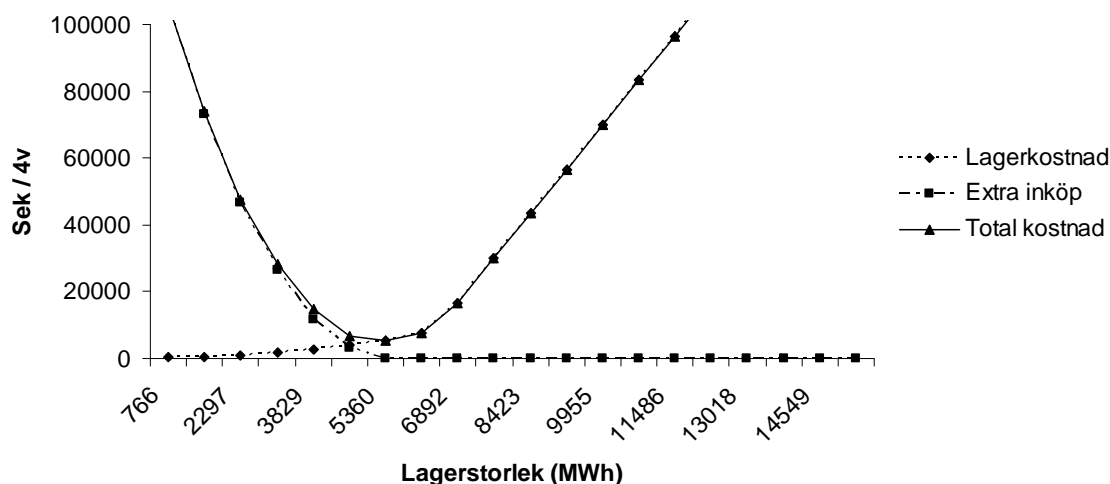
Den lagernivå som ger den lägsta kostnaden av torrflis och spånlagret är vid 600MWh. Här gäller samma princip som vid GROT, bark och råspån lagret. Lagervolymer under 600MWh räcker inte för att gardera för alla tänkbara leveranssituationer och därför tillkommer en kostnad för de dyra externa panikinköpen. Vid lagernivån 1500MWh ökar kostnaden på grund av extrahantering i form av en omlastning vid mellanlagret. Den av modellen föreslagna lagernivån är mellan 450 och 1500MWh.

### 3.4 Känslighetsanalys

En känslighetsanalys visar vad som händer med lagrets kostnad när de olika parametrarna förändras. I känslighetsanalysen fördubblades respektive halverades parametrarna var för sig och de övriga parametrarna är låsta vid ursprungsvärdena. Analysen visar vilken/vilka parametrar som har den största inverkan på lagrets kostnad. Känslighetsanalysen är utförd på både GROT/bark/råspån och torrflis/spån lagret.

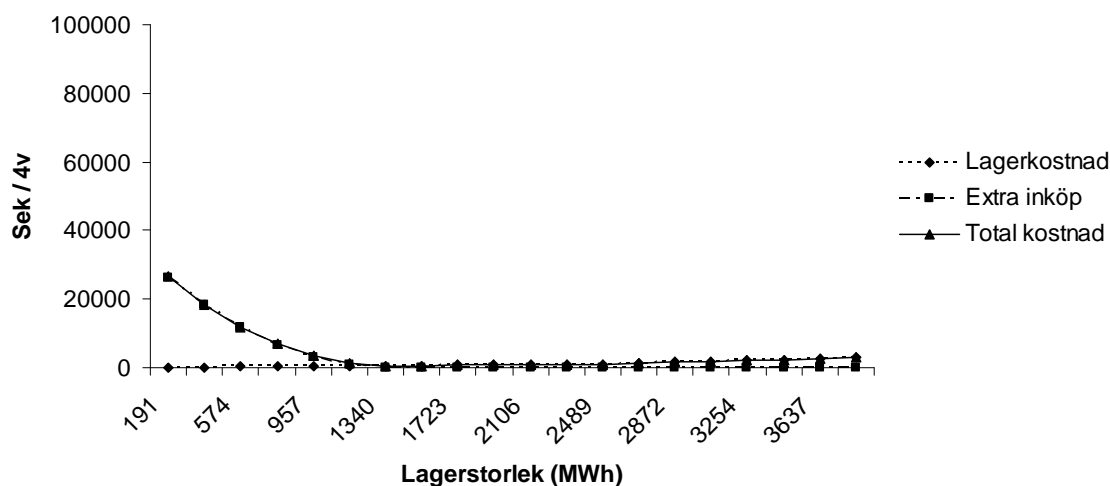
#### 3.4.1 Känslighetsanalys för GROT, bark och råspån

I känslighetsanalysen för GROT, bark och råspån varierar de ingående parametrarna. Dessa är leveransprecision, kostnad vid extra inköp, ränta, hanteringskostnad, volym för extra hantering och inköpspris. Nedan presenteras analysens resultat grafiskt (se figur 26-37).



Figur 26. Kostnadskurva där leveransprecisionen har försämrats vid inleverans av GROT, bark och råspån. Det största avviket från beställd volym har fördubblats.

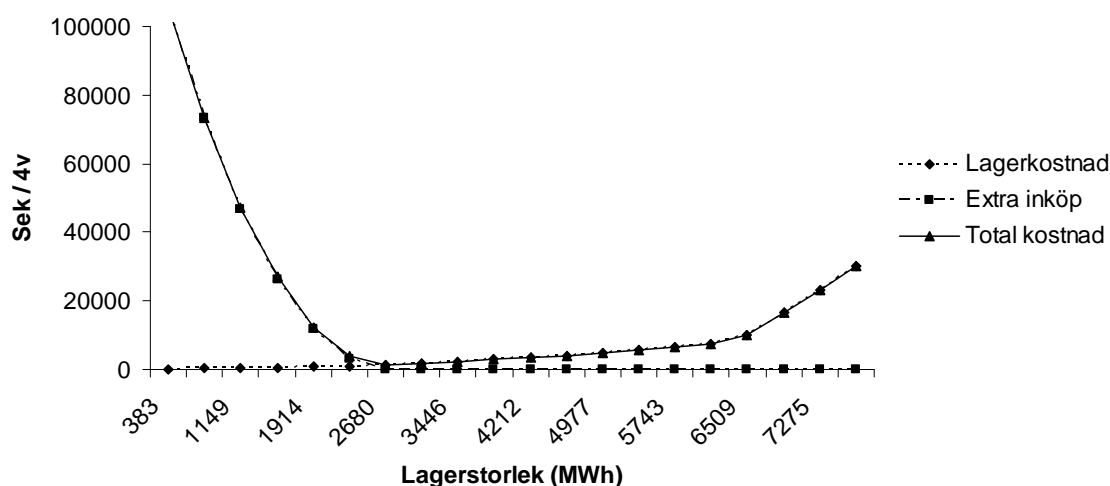
Figure 26. Sensitivity analysis with cost curves where delivery precision for GROT, bark and raw chips from barking is halved.



Figur 27. Kostnadskurva där leveransprecisionen har förbättrats vid inleverans av GROT, bark och råspån. Det största avviket från beställd volym har halverats.

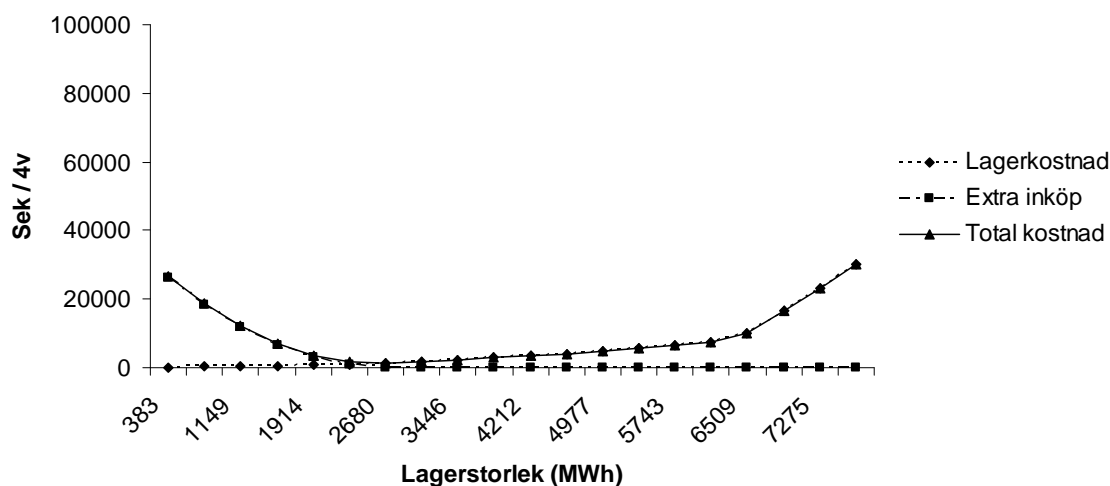
Figure 27. Sensitivity analysis with cost curves where delivery precision for GROT, bark and raw chips from barking is doubled.

Den första parametern som förändrades i känslighetsanalysen var leveransprecision. Leveransprecisionen både fördubblades och halverades (se figur 26 och 27). Med halverat leveransavvik blir inleveranserna säkrare vilket medför att modellen föreslår ett mindre lager. Vid försämrad leveransprecision blir det osäkert med ett litet lager eftersom det finns stor risk att extravolymer måste köpas in. Leveransprecision är den svåraste parametern att jämföra grafiskt i känslighetsanalysen eftersom förändringar i LP innebär att lagerklasserna i modellen ändrar klassbredd. Extra hantering i form av omlastning förekommer i båda fallen vid 6500MWh men med halverad leveransprecision föreslår modellen ett så litet lager att den kostnadsökningen kommer utanför den grafiska presentationen som visas i figur 27.



Figur 28. Kostnadskurva där kostnaden för extra inköp av GROT, bark och råspån har fördubblats från 200 procent till 400 procent av ordinarie inköpspris.

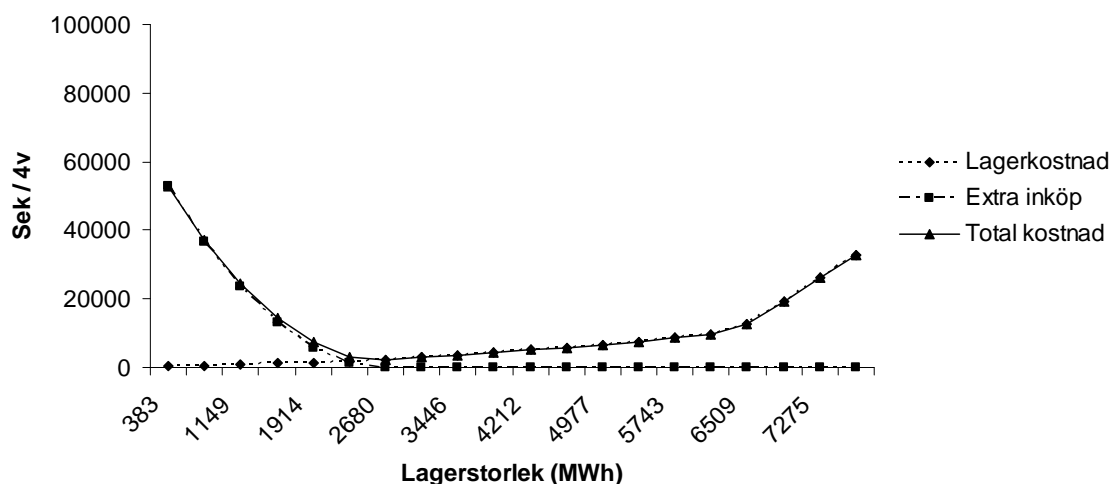
Figure 28. Sensitivity analysis with cost curves where extra purchase prices of GROT, bark and raw chips from barking are doubled from 200 percent to 400 percent.



Figur 29. Kostnadskurva där kostnaden för extra inköp av GROT, bark och råspån är halverad från 200 procent till 100 procent av ordinarie inköpspris.

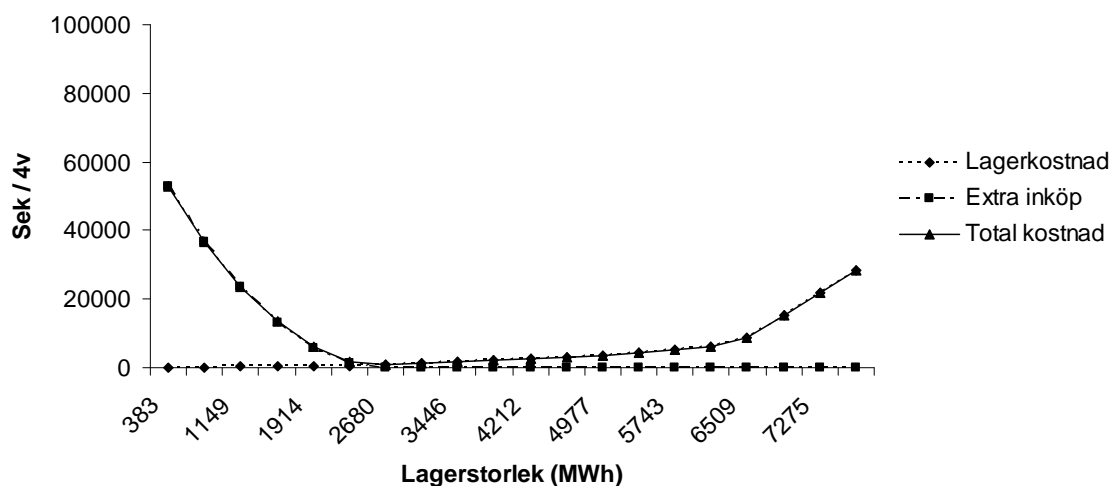
Figure 29. Sensitivity analysis with cost curves where extra purchase prices of GROT, bark and raw chips from barking are halved from 200 percent to 100 percent.

I ovanstående känslighetsanalys har priset på extra inköp fördubblats respektive halverats (se figur 28 och 29). Om priset på spotmarknaden fördubblas kommer det att bli mycket dyrt att göra extra inköp. Den lagernivå som modellen föreslår förändras inte vid fördubblat inköpspris på spotmarknaden. Om lagret understiger de 2680MWh som är optimalt stiger totalkostnaden mycket fort. Vid halverat inköpspris på spotmarknaden blir det tvärt om och totalkostnaden ökar inte lika fort vid underskott.



Figur 30. Kostnadskurva där räntan på det bundna kapitalet för GROT, bark och råspån lagret är fördubblad från 11,7 procent till 23,4 procent.

Figure 30. Sensitivity analysis with cost curves where capital costs of GROT, bark and raw chips from barking are doubled from 11,7 percent to 23,4 percent.

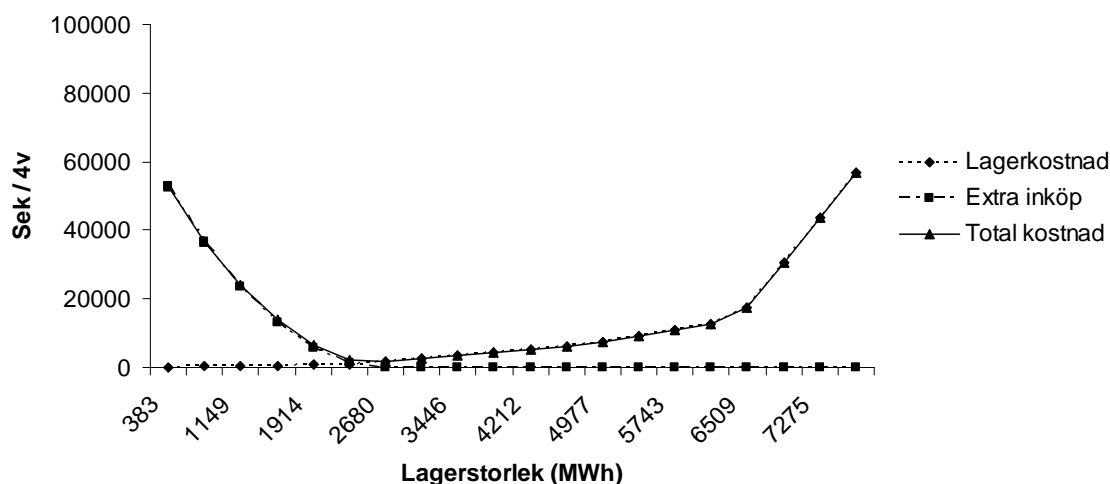


Figur 31. Kostnadskurva där räntan på det bundna kapitalet för GROT, bark och råspån lagret är halverad från 11,7 procent till 5,85 procent.

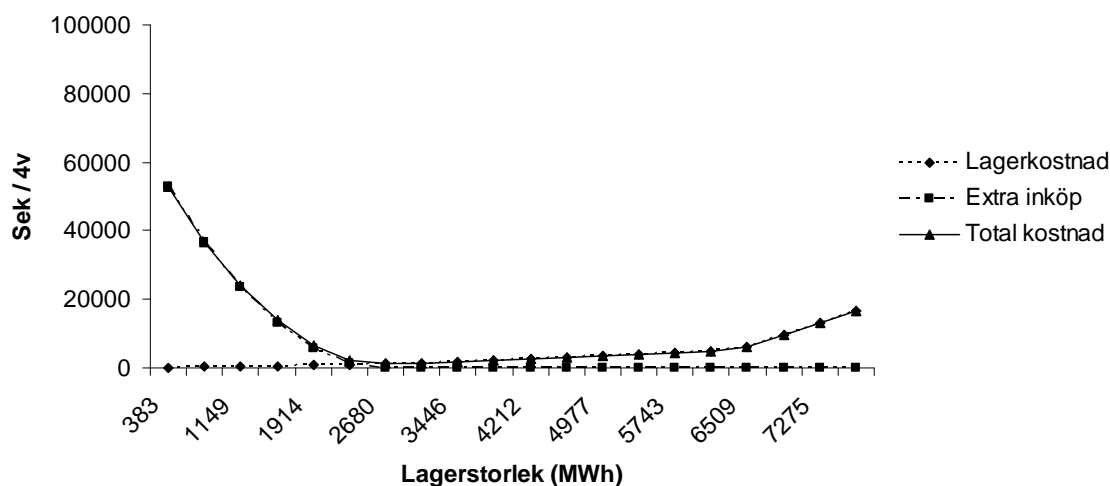
Figure 31. Sensitivity analysis with cost curves where capital costs of GROT, bark and raw chips from barking are halved from 11,7 percent to 5,85 percent.

I den här delen av känslighetsanalysen har räntekostnaden på det bundna kapitalet i lagret jämförts. Räntan fördubblades från 11,7 procent till 23,4 procent och halverades till 5,85 procent (se figur 30 och 31). Räntan är en parameter som påverkar väldigt lite och det går nästan inte att se någon skillnad mellan räntesänkningen och räntehöjningen vid så här låga lagernivåer.



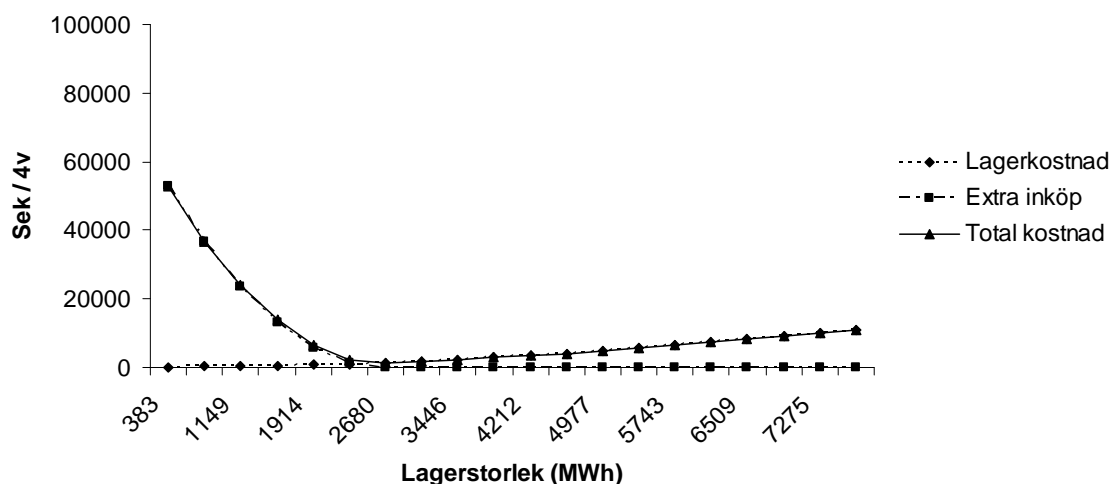


Figur 32. Kostnadskurva där hanteringskostnaden för GROT, bark och råspån är fördubblad.  
 Figure 32. Sensitivity analysis with cost curves where handling costs of GROT, bark and raw chips from barking are doubled.

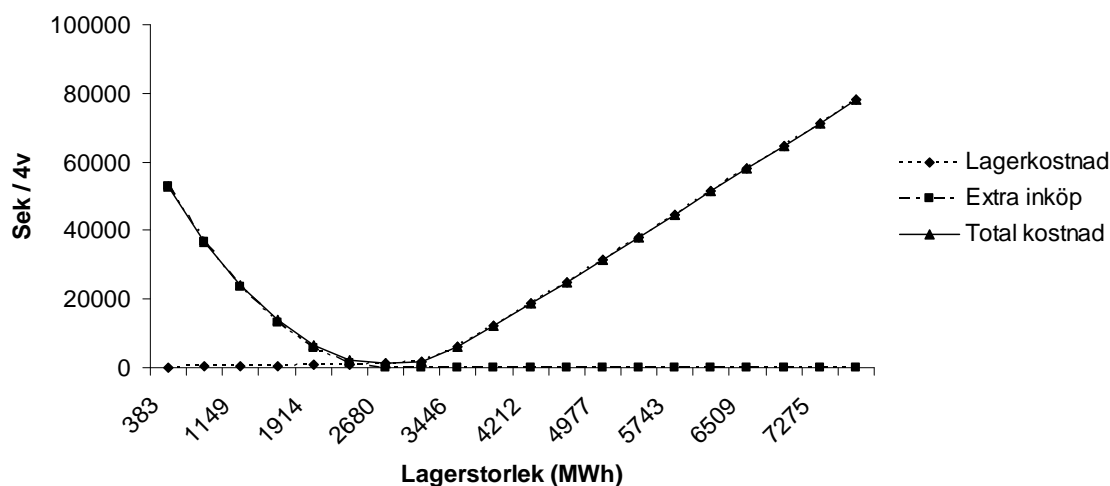


Figur 33. Kostnadskurva där hanteringskostnaden för GROT, bark och råspån är halverad.  
 Figure 33. Sensitivity analysis with cost curves where handling costs of GROT, bark and raw chips from barking are halved.

Vid förändrad hanteringskostnad blir det ingen skillnad vid små lager. När lagervolymer ökar ger den fördubblade hanteringskostnaden en tydligare påverkan av totalkostnaden (se figur 32 och 33). Om hanteringskostnaden ökar är det inte lönsamt att lagra stora mängder bränsle. Vid gränsvärdet 6500MWh och där över blir det aktuellt med omlastning på mellanlagret och då gör den ökade hanteringskostnaden för omlastning att den totala kostnaden stiger mycket fort.

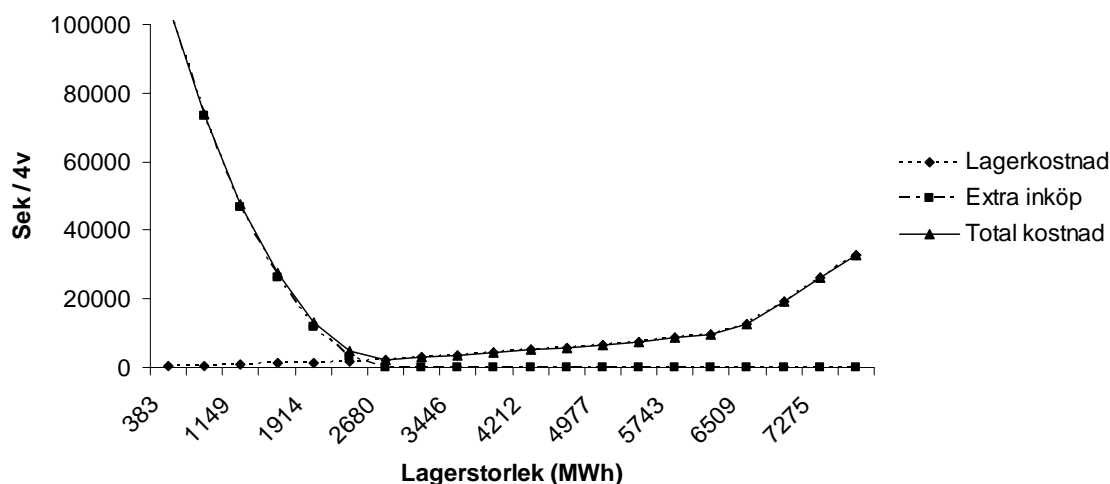


Figur 34. Kostnadskurva där lagerutrymmet för GROT, bark och råspån intill pannan är fördubblat. Det vill säga, extrahantering med omlastning inträffar vid en större lagernivå.  
 Figure 34. Sensitivity analysis with cost curves where stock space for GROT, bark and raw chips from barking is doubled.

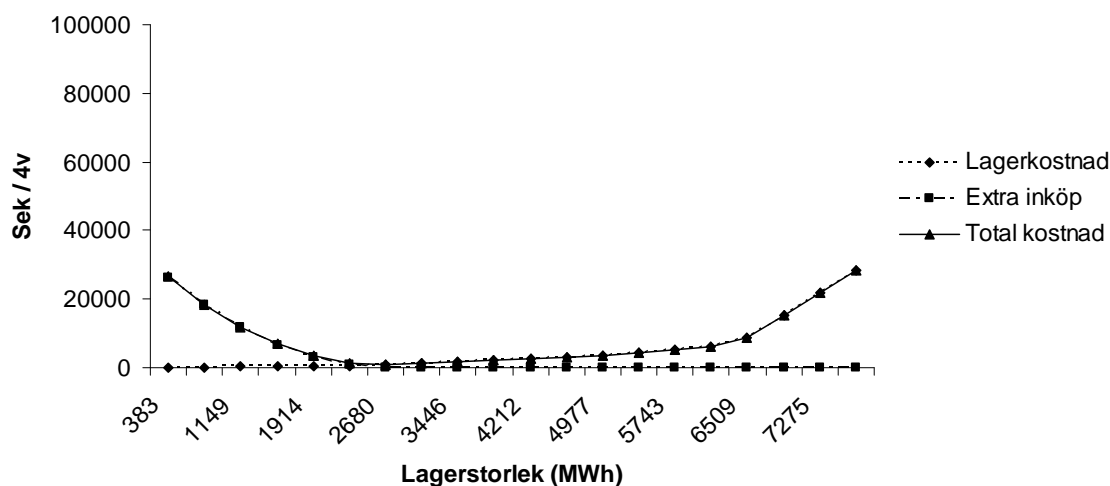


Figur 35. Kostnadskurva där lagerutrymmet intill pannan för GROT, bark och råspån är halverat. Detta medför att extrahantering med omlastning inträffar vid en mindre lagernivå.  
 Figure 35. Sensitivity analysis with cost curves where stock space for GROT, bark and raw chips from barking is halved.

Enligt grundförutsättningarna ryms det 6500MWh GROT, bark och råspån intill pannan. I den här delen av känslighetsanalysen är den volymen både fördubblad och halverad (se figur 34 och 35). Med fördubblad volym innan extrahantering inträffar blir kostnadsökningen inte förrän lagerstorleken uppgår till 13000MWh. Med halverad volym för extrahantering kommer omlastningskostnaden redan vid 3250 MWh.



Figur 36. Kostnadskurva där ordinarie inköpspris för GROT, bark och råspån är fördubblat.  
 Figure 36. Sensitivity analysis with cost curves where regular purchase prices of GROT, bark and raw chips from barking are doubled.



Figur 37. Kostnadskurva där ordinarie inköpspris för GROT, bark och råspån är halverat.  
 Figure 37. Sensitivity analysis with cost curves where regular purchase prices of GROT, bark and raw chips from barking are halved.

Med ett förändrat inköpspris visar det sig att den största förändringen blir vid små lagernivåer där extra inköp förekommer. (se figur 36 och 37). Detta beror på att priset för extrainköp är fördubblat mot det ordinarie inköpspriset. Det ger en stor kostnadsökning vid extrainköp om det ordinarie priset stiger till det dubbla. Att det inte blir någon märkbar förändring på större lagernivåer beror på att räntekostnaden och substansförlustkostnaden påverkar totalkostnaden väldigt lite och att hanteringskostnaden inte berörs av förändrat inköpspris.

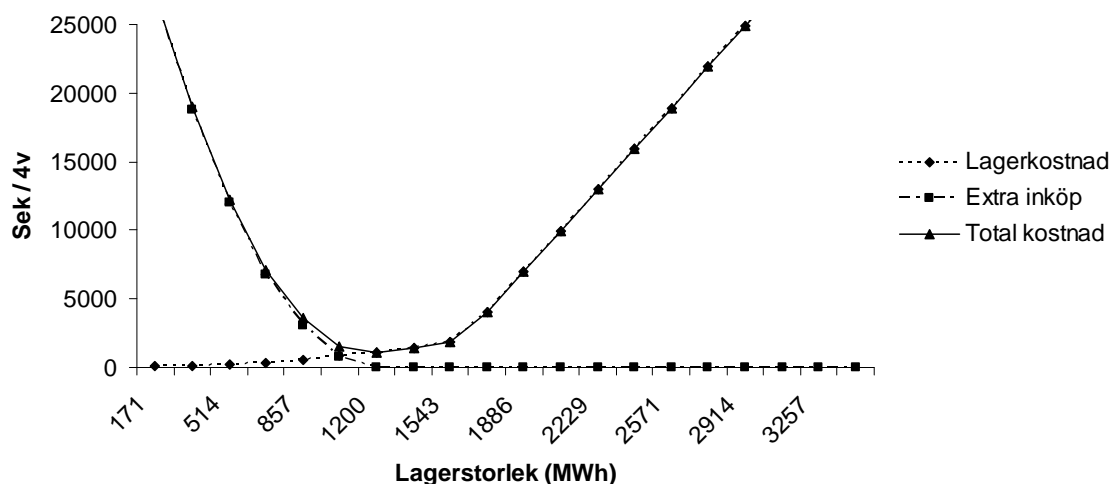
Tabell 5. Sammanställning av känslighetsanalysen för GROT, bark och råspån.  
*Table 5. Compilation of sensitivity analyses for GROT, bark and raw chips from barking.*

<b>Känslighetsanalys, GROT, bark och råflis</b>			
<b>Parameter</b> (Parameter)	<b>Förändring</b> (Change)	<b>Huvudeffekt</b> (Main effect)	<b>Föreslagen lagernivå (MWh)</b> (Proposed stock level)
Alla oförändrade (No variation)	-----	-----	2000 – 6500
Leveransprecision (Delivery precision)	Fördubblade avvik (Doubled deviation)	Dyrt med små lager (Expensive with small stock)	4200 – 6500
	Halverade avvik (Halved deviation)	Prisvärt med små lager (Praiseworthy with small stock)	1100 – 3600
Extra inköpskostnad (Extra purchase price)	Fördubblad (Doubled)	Dyrt med små lager (Expensive with small stock)	2300 – 6500
	Halverad (Halved)	Prisvärt med små lager (Praiseworthy with small stock)	1900 – 6100
Ränta på lagerkostnad (Capital cost)	Fördubblad (Doubled)	Dyrt med stora lager (Expensive with big stock)	2000 – 6000
	Halverat (Halved)	Prisvärt med stora lager (Praiseworthy with big stock)	2000 – 6500
Hanteringskostnad (Handling cost)	Fördubblad (Doubled)	Dyrt med stora lager (Expensive with big stock)	2000 – 5300
	Halverad (Halved)	Prisvärt med stora lager (Praiseworthy with big stock)	2000 – 6800
Lageryta vid panna (Stock space near burner)	Fördubblad (Doubled)	Prisvärt med stora lager (Praiseworthy with big stock)	2000 – 7000
	Halverat (Halved)	Dyrt med stora lager (Expensive with big stock)	1900 – 3800
Inköpspris (Regular purchase price)	Fördubblad (Doubled)	Dyrt med små lager (Expensive with small stock)	2200 – 6500
	Halverat (Halved)	Prisvärt med små lager (Praiseworthy with small stock)	1300 – 6500

Den parameter som har den största inverkan på föreslagen lagerstorlek är leveransprecisionen (se tabell 5). Om leveransprecisionen fördubblas respektive halveras blir det stora förändringar på hur mycket extravolym som måste köpas in vid olika lagernivåer. Den största förändringen på föreslaget lagerintervall uppmärksammades vid halverade avvik på leveransprecisionen, det var en sänkning med 2900MWh på den övre lagernivån. Förändringar i lagerytans storlek intill pannan har också en stor påverkan på det föreslagna lagerintervallet. Vid halverad lageryta föreslog modellen en sänkning av lagerintervallet med 2700MWh på den övre lagernivån. Parametrar som inte påverkar den totala lagerkostnaden lika mycket är inköpspris, hanteringskostnad och kostnad för extra inköp. Dessa parametrar gav avvik från det ursprungliga föreslagna lagernivån på upp till 1200MWh. Den parameter som har den minsta påverkan på den totala lagerkostnaden är ränteförändringar, en fördubblad ränta gav en sänkning av det ursprungliga föreslagna lagerintervallet med endast 500MWh.

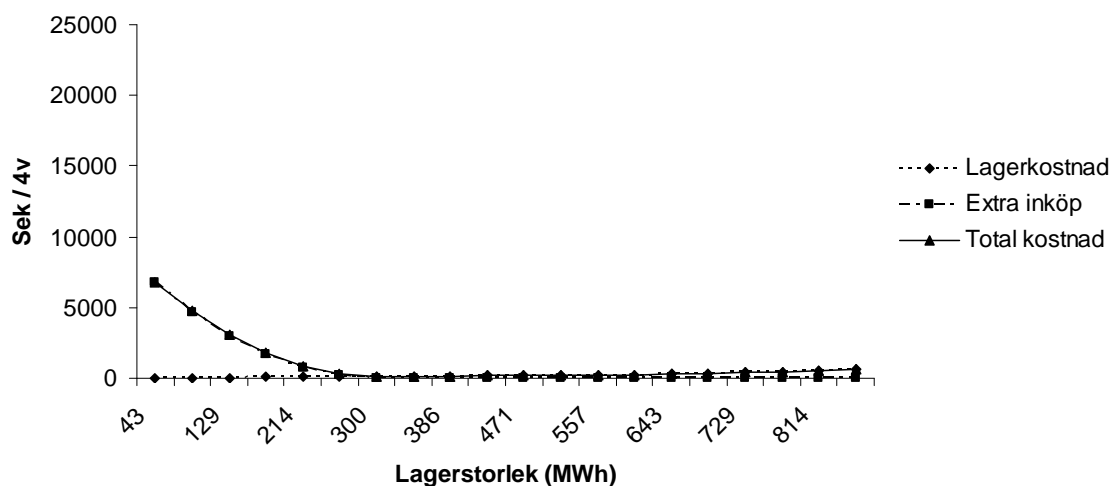
### 3.4.2 Känslighetsanalys för torrflis/spån

I känslighetsanalysen för torrflis/spån varierar de ingående parametrarna. Dessa är samma som för GROT/bark/råspån lagret dvs. leveransprecision, kostnad vid extra inköp, ränta, hanteringskostnad, volym för extra hantering och inköpspris (se figur 38-49).



Figur 38. Kostnadskurva där leveransprecisionen för torrflis och spån har försämrats. Det största avviket från beställd volym har fördubblats.

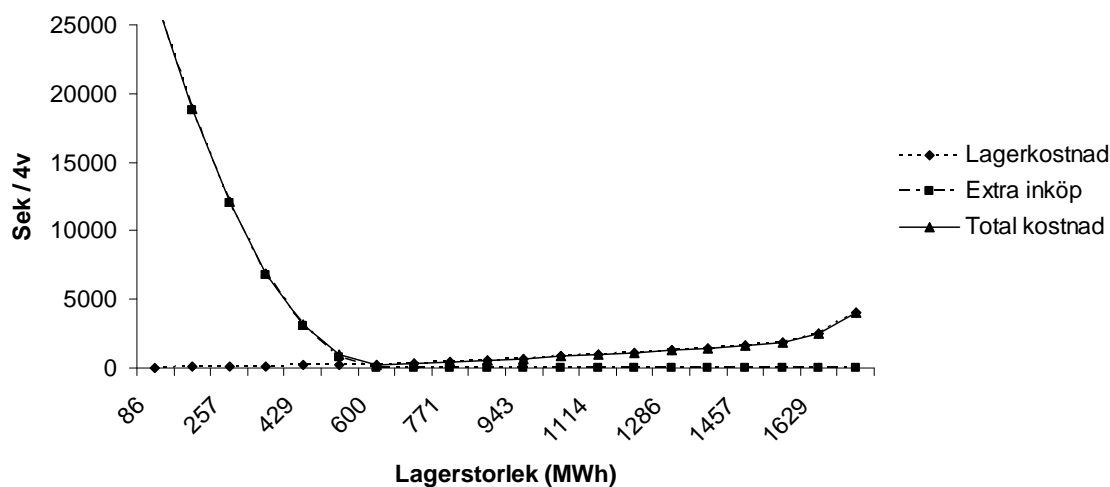
Figure 38. Sensitivity analysis with cost curves where delivery precision for dry chips and saw dust is halved.



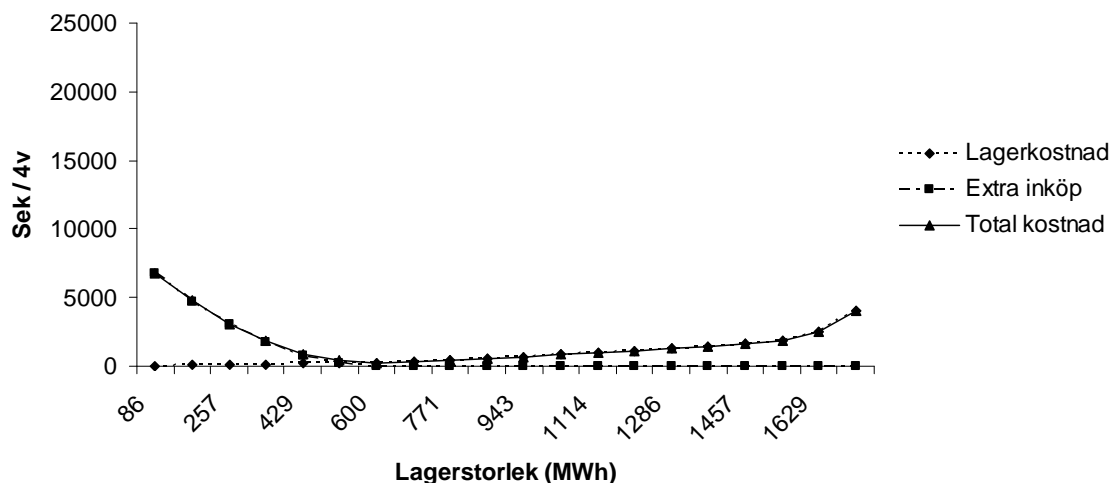
Figur 39. Kostnadskurva där leveransprecisionen för torrflis och spån har förbättrats. Det största avviket från beställd volym har halverats.

Figure 39. Sensitivity analysis with cost curves where delivery precision for dry chips and saw dust is doubled.

För torrflis och spån blir påverkan av förändrad leveransprecision densamma som för GROT, bark och råspån (se figur 26-27 och 38-39). Det som skiljer sig är att lagernivåerna är mindre eftersom torrflis och spån endast utgör ca 20 procent av den totala förbrukningen. Vid förbättrad leveransprecision blir inleveranserna säkrare vilket i sin tur medför att modellen föreslår ett mindre lager. Vid försämrad leveransprecision blir det osäkert med ett litet lager eftersom det finns stor risk att extravolymer måste köpas in.

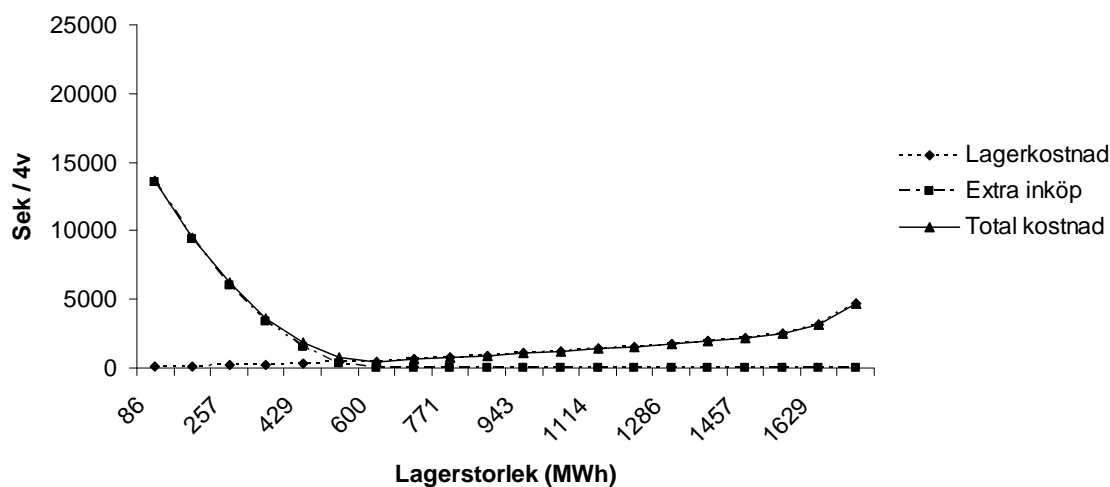


Figur 40. Kostnadskurva där kostnaden för extra inköp av torrflis och spån har fördubblats från 200 procent till 400 procent av ordinarie inköpspris.  
 Figure 40. Sensitivity analysis with cost curves where extra purchase prices of dry chips and saw dust are doubled from 200 percent to 400 percent.



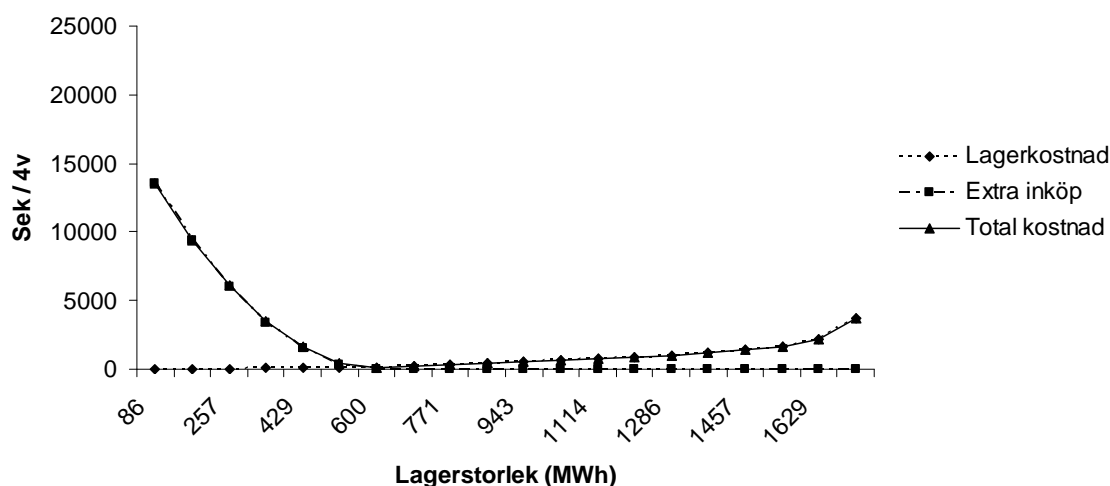
Figur 41. Kostnadskurva där kostnaden för extra inköp av torrflis och spån är halverad från 200 procent till 100 procent av ordinarie inköpspris.  
 Figure 41. Sensitivity analysis with cost curves where extra purchase prices of dry chips and saw dust are halved from 200 percent to 100 percent.

I ovanstående känslighetsanalys har priset på extra inköp av torrflis och spån fördubblats respektive halverats (se figur 40 och 41). Om priset på spotmarknaden fördubblas kommer det att bli mycket dyrt att göra extra inköp. Den optimala lagernivå som modellen föreslår förändras inte vid förändrat inköpspris på spotmarknaden. Om lagret understiger de 600MWh som är optimalt stiger totalkostnaden mycket fort. Vid halverat inköpspris på spotmarknaden blir det tvärt om och totalkostnaden ökar inte lika fort vid underskott. Liknande förändringar uppmärksammades i känslighetsanalysen för GROT, bark och råspån.



Figur 42. Kostnadskurva där räntan på det bundna kapitalet för torrflis och spån lagret är fördubblad från 11,7 procent till 23,4 procent.

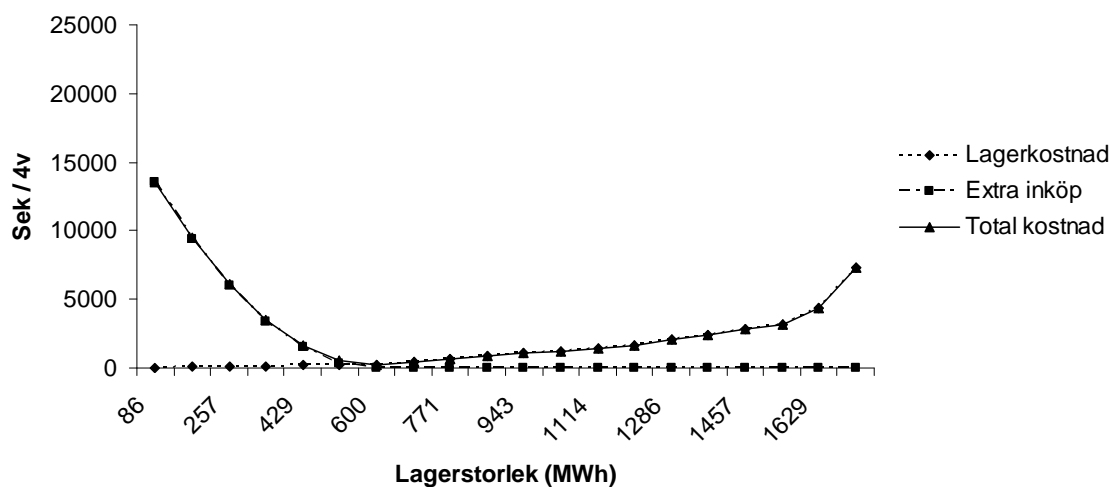
Figure 42. Sensitivity analysis with cost curves where capital costs of dry chips and saw dust are doubled from 11,7 percent to 23,4 percent.



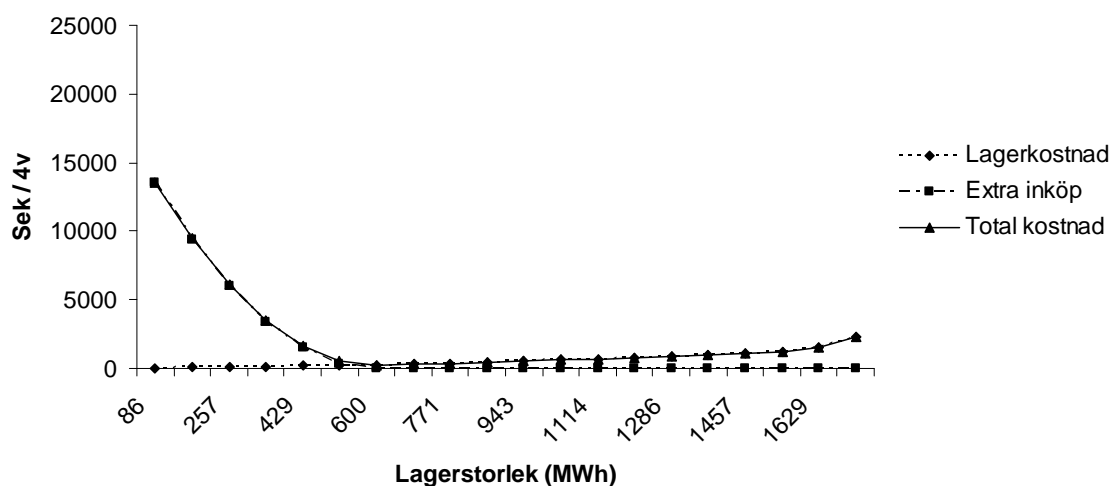
Figur 43. Kostnadskurva där räntan på det bundna kapitalet för torrflis och spån lagret är halverad från 11,7 procent till 5,85 procent.

Figure 43. Sensitivity analysis with cost curves where capital costs of dry chips and saw dust are halved from 11,7 percent to 5,85 percent.

Ränteförändringarna hade en väldigt liten påverkan på totalkostnaden (se figur 42 och 43). Räntan fördubblades från 11,7 procent till 23,4 procent och halverades till 5,85 procent utan att någon märkbar skillnad kunde observeras på totalkostnaden. Lika liten förändring observerades i känslighetsanalysen för GROT, bark och råspån (se figur 30 och 31).



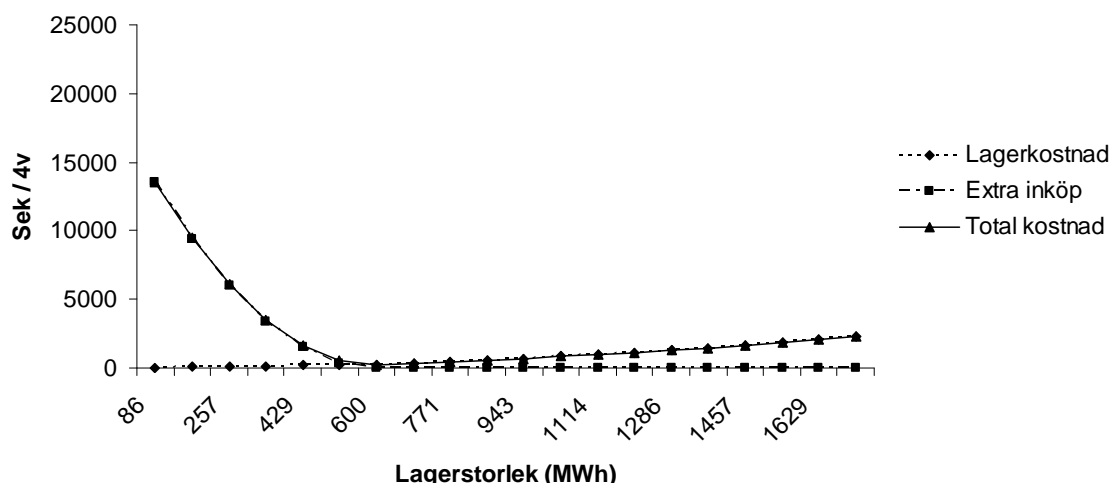
Figur 44. Kostnadskurva där hanteringskostnaden för torrflis och spån är fördubblad.  
 Figure 44. Sensitivity analysis with cost curves where handling costs of dry chips and saw dust are doubled.



Figur 45. Kostnadskurva där hanteringskostnaden för torrflis och spån är halverad.  
 Figure 45. Sensitivity analysis with cost curves where handling costs of dry chips and saw dust are halved.

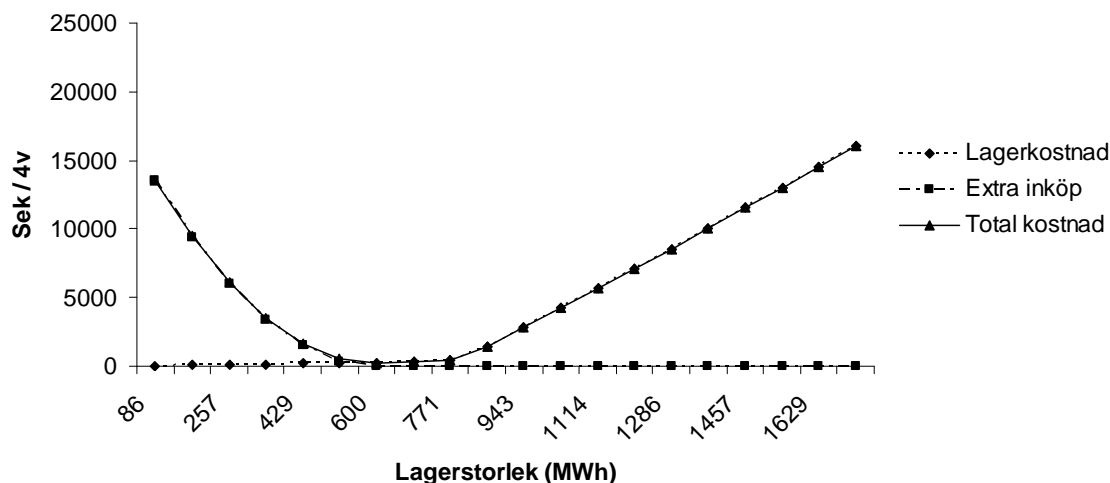
Förändringar i hanteringskostnad ger störst påverkan vid stora lager eftersom det medför en extrahantering i form av omlastning (se figur 44 och 45). Vid förändrad hanteringskostnad blir det ingen skillnad vid små lager. Liknande resultat observerades i känslighetsanalysen för GROT, bark och råflis (se figur 32 och 33).





Figur 46. Kostnadskurva där lagerutrymmet för torrflis och spån intill pannan är fördubblat. Det innebär att extrahantering med omlastning inträffar vid en större lagernivå.

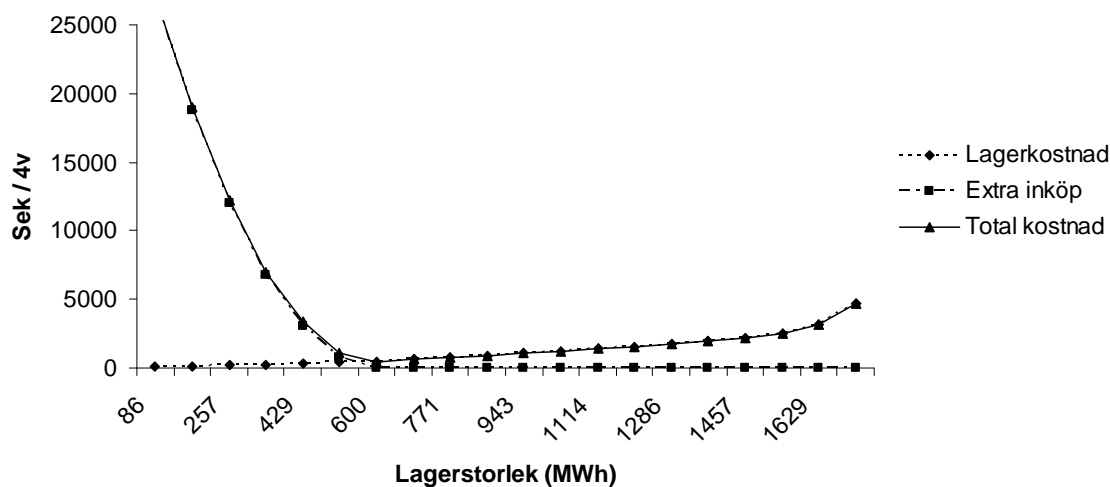
Figure 46. Sensitivity analysis with cost curves where stock space for dry chips and saw dust is doubled.



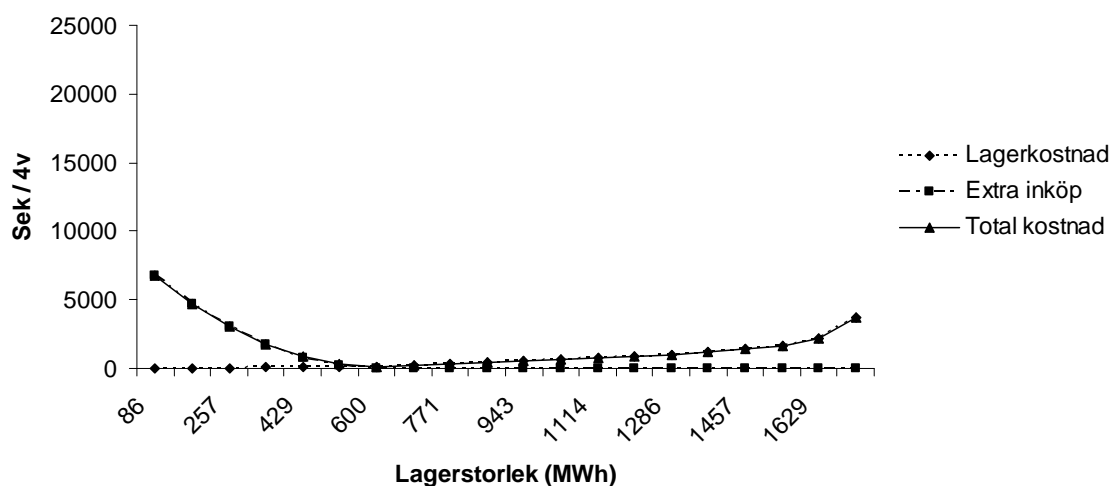
Figur 47. Kostnadskurva där lagerutrymmet för torrflis och spån intill pannan är halverat. Det innebär att extrahantering med omlastning inträffar vid en mindre lagernivå.

Figure 47. Sensitivity analysis with cost curves where stock space for dry chips and saw dust is halved.

Utrymmet intill pannan är beräknat att rymma 8000MWh så för torrflis och spån som endast utgör 20 procent av bränsleförbrukningen blir det ett utrymme på 1500MWh. När detta fördubblas så förskjuts kostnaden för extrahantering till 3000MWh och hamnar därmed utanför den grafiskt synliga delen i figur 46. Vid halverad lageryta intill pannan blir gränsen för extrahantering med omlastning redan vid 750MWh. Detta medför en ökad kostnad vid stora lagernivåer (se figur 46 och 47).



Figur 48. Kostnadskurva där ordinarie inköpspris för torrflis och spån har fördubblats.  
 Figure 48. Sensitivity analysis with cost curves where regular purchase prices of dry chips and saw dust are doubled.



Figur 49. Kostnadskurva där ordinarie inköpspris för torrflis och spån har halverats.  
 Figure 49. Sensitivity analysis with cost curves where regular purchase prices of dry chips and saw dust are halved.

Med ett förändrat inköpspris visar det sig att den största förändringen blir vid små lagernivåer där extra inköp förekommer i stor utsträckning. (se figur 48 och 49). Om inköspriset minskar blir det billigare att göra inköp från spotmarknaden. Med ett ökat inköspris blir det givetvis dyrare vilket även resultatet från känslighetsanalysen för GROT, bark och råspån visar (se figur 36 och 37). Att det inte blir någon märkbar förändring på större lagernivåer beror på att räntekostnaden och substansförlustkostnaden påverkar totalkostnaden väldigt lite och att hanteringskostnaden inte berörs av förändrat inköpspris.

Tabell 6. Sammanställning av känslighetsanalysen för lager av torrflis och spån.  
 Table 6. Compilation of sensitivity analyses for dry chips and saw dust.

<b>Känslighetsanalys, torrflis och spån</b>			
<b>Parameter</b> (Parameter)	<b>Förändring</b> (Change)	<b>Huvudeffekt</b> (Main effect)	<b>Föreslagen lagernivå (MWh)</b> (Proposed stock level)
Alla oförändrade (No variation)	-----	-----	450 – 1500
Leveransprecision (Delivery precision)	Fördubblade avvik (Doubled deviation)	Dyrt med små lager (Expensive with small stock)	1000 – 1500
	Halverade avvik (Halved deviation)	Prisvärt med små lager (Praiseworthy with small stock)	250 – 800
Extra inköpskostnad (Extra purchase price)	Fördubblad (Doubled)	Dyrt med små lager (Expensive with small stock)	500 – 1500
	Halverad (Halved)	Prisvärt med små lager (Praiseworthy with small stock)	400 – 1200
Ränta på lagerkostnad (Capital cost)	Fördubblad (Doubled)	Dyrt med stora lager (Expensive with big stock)	450 – 1400
	Halverat (Halved)	Prisvärt med stora lager (Praiseworthy with big stock)	450 – 1500
Hanteringskostnad (Handling cost)	Fördubblad (Doubled)	Dyrt med stora lager (Expensive with big stock)	450 – 1200
	Halverad (Halved)	Prisvärt med stora lager (Praiseworthy with big stock)	450 – 1600
Lageryta vid panna (Stock space near burner)	Fördubblad (Doubled)	Prisvärt med stora lager (Praiseworthy with big stock)	450 – 1600
	Halverat (Halved)	Dyrt med stora lager (Expensive with big stock)	450 – 850
Inköpspris (Regular purchase price)	Fördubblad (Doubled)	Dyrt med små lager (Expensive with small stock)	500 – 1500
	Halverat (Halved)	Prisvärt med små lager (Praiseworthy with small stock)	300 – 1500

Förändringar i leveransprecision är den parameter som ger den största påverkan på föreslagen lagerstorlek (se tabell 6). Vid halverad respektive fördubblad leveransprecision ser vi förändringar i det föreslagna lagerintervallet på upp till 700MWh från det ursprungligt föreslagna lagerintervallet. Fördubblad respektive halverad lageryta intill pannan ger också stora förändringar på den föreslagna lagernivån. På förändringar i lagerytan är variationen upp till 650MWh. Övriga parametrar som inte har lika stor påverkan på den föreslagna lagernivån är inköpspris, hanteringskostnad och extra inköpskostnad dessa ger förändringar på upp till 300MWh. Den parameter som ger den minsta förändringen på den totala lagerkostnaden är ränteförändringar, fördubblad ränta ger endast en sänkning av föreslaget lagerintervall med 100MWh.

## 4. Diskussion

I följande stycke diskuteras brister i material, metod, modell och dess indata. Därefter följer en tolkning av resultatet. Hur resultatet kan tillämpas i praktiken tas även upp i diskussionen och avslutningsvis kommer en slutsats över hela arbetet.

### 4.1 Brister

Den lagermodell som tillämpats för dimensioneringen av biobrännslagret är en förenkling av verkligheten. En modell är alltid en förenkling av verkligheten. Att kunna återspegla vardagen i detalj är omöjligt. Tydliga brister i den lagermodell som använts i det här arbetet är bland annat att ingen hänsyn tagits till variationer i förbrukning. Modellen förutsätter att biobrännspannan har en jämn förbrukning under hela året. En ökad förbrukning i kombination med en låg inleverans medför ett stort underskott. Modellen tar inte med den ökade förbrukningen vilket medför att det i verkligheten krävs ett större lager eller mycket extra inköpt volym. En annan brist är att all indata bygger på ett till två års historik vilket är en mycket kort tidsperiod i det här sammanhanget. För att fånga upp extrema avvik så behövs flera års indata. Delar av indata är inte från Billerud Karlsborgs biobrännleanläggning eftersom den nyligen tagits i drift. Indata bygger på liknande anläggningar och liknande leverantörer vilket medför varierande förutsättningar. För att fånga upp årstidsvariationer i förbrukning och inleverans krävs mer än ett års indata. Förutsättningar som förfallsperioder och semesterperioder hos leverantörerna kan variera väldigt mycket när man tittar på andra anläggningar än Billerud Karlsborgs.

Lagermodellen tar endast hänsyn till negativa leveransavvik, detta innebär att alla överleveranser enligt modellen stoppas. I verkligheten stoppas inte små överleveranser vilket innebär att dessa kan kompensera en del underleveranser. En överleverans ger en extra buffert som inte syns i modellen. En annan svaghet i lagermodellen är att den räknar med fullständig omsättning av lagret. Det vill säga att mellanlagret hela tiden omsätts i modellen med följd av en ökad hanteringskostnad. I praktiken tippas en del nylevererade lass i direkt anslutning till pannan på bekostnad av en förlängd lagringstid på mellanlagret. Exempelvis om mellanlagret är på 100m<sup>3</sup> är det onödigt att tippa alla lass på mellanlagret och direkt efter varje lass lasta upp ett nytt från mellanlagret och köra in det till pannan. Detta skulle innebära att mellanlagret omsätts flera gånger per dag vilket naturligtvis är onödigt.

När det uppstår underleveranser av det ena sortimentet kan dessa i vissa fall täckas delvis av överleveranser från det andra sortimentet. I teorin skall bränslmixen vara 80/20 men i praktiken kan man tillåta vissa förändringar av bränslmixen om det är brist på ett sortiment och överskott på ett annat. Modellen räknar hela tiden på en bränslmix som är fördelad med 80 procent GROT/bark/råspån och 20 procent torrflis och spån.

Indata av leveransprecision visar att avviken i stort sett var triangulärt fördelade. I verkligheten kanske det är någon form av normalfördelning men av de indata jag hade blev fördelningen i stort sett triangulär. Av den anledningen och med hjälp av approximation tillämpades triangulär fördelning där det största negativa leveransavviket utgör basen i triangeln. En sådan approximation påverkar naturligtvis slutresultatet men modellen är inte anpassad för att dimensionera lagret med någon större precision. Modellen ger en grov skattning av en rekommendabel lagernivå.

## 4.2 Tolkning av resultat

Det resultat som lagermodellen ger är inte totalkostnaden för att lagra biobränsle utan den visar endast på den ekonomiska skillnaden mellan ett stort respektive ett litet lager. I lagrets verkliga totalkostnad ingår till exempel fullständig hanteringskostnad. I den här modellen används bara extra hanteringskostnad när volymen överstiger vissa gränsvärden. De kostnader som visas i resultaten (se figur 24 och 25) är lagerkostnad (streckad linje), och extra inköpskostnad (punktstreckad linje). Summan av dessa ger den totala kostnaden (heldragen linje) som visar på skillnad i kostnad mellan stort respektive litet lager.

Den lagernivå som modellen föreslår och som ger den totalt sett teoretiskt lägsta kostnaden med de givna förutsättningarna är:

2680MWh GROT, bark och råspån

600MWh torrflis och spån

Vid ovanstående lagernivåer är lagret tillräckligt stort för att parera eventuella variationer som uppstår vid inleverans. Kostnaderna för ränta, substansförlust och extrahantering är små eftersom totallagervolymen endast är 3280MWh och hanteras i direkt anslutning till pannan och omsätts dessutom (vid normal drift) inom mindre än en veckas tid.

Om lagernivån däremot minskar så mycket att den kommer under den föreslagna optimala lagernivån ökar sannolikheten för extra inköp väldigt fort. Redan vid 2500MWh GROT/bark/råflis och vid 500MWh torrflis/spån har kostnaden ökat markant (se figur 24 och 25). Det medför i sin tur en ökad totalkostnad. Om lagret däremot ökar över den optimala lagernivån blir det en större hanteringskostnad, räntekostnad och ökade substansförluster. Räntekostnaden och substansförlusten har relativt liten påverkan på totalkostnaden vid så här små lagervolymer som det här rör sig om. Hanteringskostnaden däremot har väldigt stor betydelse för totalkostnaden när den överskrider den lagernivå som inte ryms i direkt anslutning till pannan (se figur 24 och 25). Vid lagernivåer på 6500MWh för GROT/bark/råspån och 1500MWh för torrflis/spån blir det aktuellt med extraomlastning eftersom den totala lagerytan intill pannan inte rymmer mer än 8000MWh. Fördelningen mellan sortimenten är 80 procent GROT/bark/råspån och 20 procent torrflis/spån eftersom bränslmixen är 80/20. Denna kostnadsökning visas grafiskt i figur 24 och 25.

Det lagerintervall som modellen föreslår är mellan:

2000 – 6500MWh GROT, bark och råspån

450 – 1500MWh torrflis och spån

En känslighetsanalys är gjord för att se hur de olika parametrarna påverkar kostnaden vid olika lagernivåer, detta visas grafiskt i form av förändringar i modellens föreslagna lagerintervall (se figur 26-49). Diskussionen om känslighetsanalysen stöds av tabell fem och sex som finns i resultat delen. Den första parametern som förändrades var leveransprecisionen (se figur 26-27 och 38-39). En förändring i leveransprecision ger

stora skillnader i lagerstorlek. Vid halverad leveransprecision (fördubblade avvik) föreslår modellen en ökning av minimilagret med cirka 50 procent för att undvika de externa dyra inköpen, som en försämrad leveransprecision ökar sannolikheten för. Vid förbättrad leveransprecision (halverade avvik) föreslår modellen en lagersänkning med ca 50 procent som därmed halverar det rekommenderade lagerintervallet.

Den andra parametern som förändrades var extra inköpskostnad (se figur 28-29 och 40-41). En ökad inköpskostnad av extravolymer resulterar i en lagerökning av minimilagret på cirka 15 procent. Detta beror på att den extra inköpskostnaden blir fördubblad och modellen undviker den kostnaden även vid liten sannolikhet. Resultatet av ökad inköpskostnad vid inköp av extravolymer gör det än mer kännbart att ligga på litet lager. Här syns det tydligt att det kan kosta väldigt mycket om lagret blir för litet och man blir tvungen att köpa extra dyrt. Däremot om den extra inköpskostnaden halveras föreslår modellen en sänkning av det föreslagna lagerintervallet med knappt 10 procent. Att modellen ger en lagersänkning beror på att det blir billigare att ta en del extra inköp till reducerat pris i stället för att lagra en stor volym med ordinarie substansförlust, hanterings- och räntekostnad.

Räntan är en annan parameter som ändrades i känslighetsanalysen, den både fördubblades och halverades men det gav ingen större förändring (se figur 30-31 och 42-43). Att justera årsräntan med några procent är en mycket liten förändring när föreslagen lagernivå omsätts på mindre än 10 dagar.

Hanteringskostnaden både fördubblades och halverades i känslighetsanalysen (se figur 32-33 och 44-45). Med fördubblad hanteringskostnad föreslår modellen en sänkning av den föreslagna lagernivåns övre gräns med cirka 20 procent. Med halverad hanteringskostnad föreslås en ökning av lagerintervallets övre gräns med cirka 5 procent. Att ökningen inte blir lika stor som sänkningen beror på att extrahantering med omlastning trots sänkningen är en kraftigt begränsande faktor på lagervolymer.

Även lagerytan i anslutning till pannan förändrades i känslighetsanalysen (se figur 32-33 och 46-47). Med fördubblad lageryta föreslår modellen en ökning av lagerintervallets övre gräns med drygt fem procent. När lagerytan fördubblas kommer kostnaden för omlastning mycket senare. I det här fallet blir övriga lagerkostnader begränsande och den övre gränsen i det föreslagna lagerintervallet förskjuts endast med cirka fem procent. Om lagerytan intill pannan halveras så föreslår modellen en sänkning av det övre gränsvärdet i lagerintervallet med nästan 50 procent. Detta beror på att kostnaden för extrahantering med omlastning inträffar mycket tidigare och därmed blir en större lagervolym väldigt kostsam.

Inköpspriset både fördubblades och halverades (se figur 34-35 och 48-49). Med en fördubblad prisökning förändrades den föreslagna lagernivåns undre gräns med cirka tio procent upp. Vid ökat inköpspris förändras även priset på spotmarknaden och eftersom priset för extra inköp fördubblas i modellen så blir det extra dyrt att köpa in volymer på spotmarknaden. Av den anledningen föreslår modellen en ökning av den undre lagernivån för att slippa dessa dyra inköp. Ett halverat inköpspris gav en sänkning av den undre föreslagna lagernivån med ca 35 procent. En prissänkning öppnar för en ökad handel på spotmarknaden eftersom inköpskostnaden sjunker i förhållande till övriga

lagerkostnader. Därmed blir det lönsamt att parera för vissa avvik med externa inköp i stället för att lagra för alla tänkbara leveranssituationer.

Den parameter som har den största inverkan på lagrets storlek är enligt känslighetsanalysen Leveransprecision. Därefter följer parametrarna lageryta intill panna, kostnad för extra inköp, inköpspris och hanteringskostnad. Den parameter som påverkar resultatet minst är räntekostnaden på bundet kapital i lager.

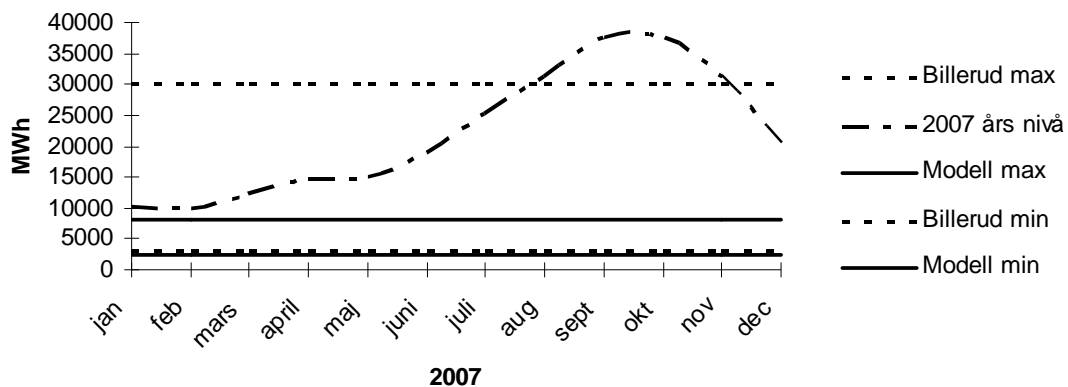
### ***4.3 Tillämpning av resultat***

Hur ska vi använda lagermodellens resultat? Resultatet kan definitivt användas som beslutsstöd vid lagerdimensionering. Utifrån modellens resultat kan en lager policy arbetas fram, till exempel kan max- och miniminivåer fastställas för biobränslelagret. Med tanke på den osäkerhet som finns i både indata och modell så bör resultatet inte användas i exakthet, utan istället användas som en vägledning i vid lagerdimensionering. Det kan ge en fingervisning om Billerud Karlsborgs biobränslelager är på en kostnadseffektiv nivå vid de rådande förutsättningarna som modellen är uppbyggd på. När anskaffningskedjan är så pass omogen som den är inom biobränslesektorn i norra Sverige kan oväntat stora variationer uppstå. Som köpare av biobränsle gäller det att skaffa sig en bild över de olika leverantörerna och dess leveransprecision. Efter en tids drift infinner sig en känsla av hur säkra leveranserna är och då kan lagrets max och miniminivå justeras till en ekonomiskt acceptabel nivå.

Som nämnts tidigare i rapporten tar modellen inte hänsyn till årstidsvariationer. Under vinterhalvåret när det är kallt ute kommer pannan att ha en högre förbrukning vilket lättare pareras med ett ökat lager. På sommaren när det är semesterperiod minskar transportkapacitet, biobränsleproduktion mm. Sommartid är pannans produktion lägre men det är ändå viktigt att parera för ovan nämnda leveransstörningar. Att bygga in detta i modellen blir mycket komplext med de indata som finns att tillgå. Det bästa och säkraste sättet är att man överdimensionerar lagret första året/åren för att skaffa sig lokal kännedom om sina leverantörer och dess pålitlighet.

### ***4.4 Slutsats***

Om man strikt följer lagermodellen föreslås en total lagervolym mellan 2450-8000MWh. Delar man upp denna volym innebär det 450-1500MWh torrflis och spån och 2000-6500MWh GROT, bark och råflis (se figur 24 och 25). En större kostnadsökning inträffar först när totallagret överstiger de 8000MWh som ryms i direkt anslutning till pannan och när lagret understiger de 2450MWh som beräknats till gräns för extern extraanskaffning. På grund av ovan nämnda brister i modellen och dess indata tycker jag att det känns onödigt att vara så precis i resultatet. Det känns även vanskligt att lägga sig nära det föreslagna minimilagret på 2450MWh. Resultatet får bedömas utifrån de givna förutsättningarna och en större lagernivå kan mycket väl motiveras. Det är inte bara nackdelar med stora lager. Stora lager ger en trygghet i försörjningen och därmed en behagligare arbetsmiljö och minskade resurser till flödesstyrning. En annan fördel med ett stort lager är att det kan användas vid prispförhandlingar, det vill säga en form av förhandlingspsykologi. Att visa upp ett stort och stabilt lager inför leverantörerna ger en bild av trygghet och överflöd. Som säljare blir det i en sådan situation både omotiverat och svårt att pressa upp priserna.



Figur 50. Billeruds lagerpolicy med maximal-/minimallagernivå (MWh) och den av modellen rekommenderade maximal-/minimallagernivån samt 2007 års faktiska lagernivå.

Figure 50. The stock policy of Billerud with purposed max-/min stock levels, the max-/min stock levels recommended by the model and the actual stock level of 2007.

Om man ser till den lagernivån som Billerud Karlsborg hade under hösten år 2007 visar det på en betydligt större lagernivå än vad modellen föreslår med de rådande förutsättningarna (se figur 50). En av förklaringarna till detta kan vara att modellen förutsätter en jämn förbrukning under hela året vilket Billerud mest troligen inte räknar med under vinterhalvåret. Det finns med all säkerhet många andra parametrar som motiverar ett stort lager.

För att finjustera lagernivåerna bör en ny körning av lagermodellen utföras när pannan varit i drift ett par år. Fördelen med en ny körning är att man då kan använda leveransstatistik från den panna som modellen avser. Det skulle ge en ökad säkerhet i modellens indata och därmed ett än mer pålitligt resultat. Det är viktigt att kalibrera sig med jämna tidsintervall för att lagerutvecklingen skall följa med när både anskaffningskedja och förbrukning stabiliseras. Ett annat styrmedel som kan vara mycket effektivt för att minska lagret är att ge någon form av leveransbonus. Bonusen kan utformas på olika sätt, antingen kan de leverantörer som har den bästa leveransprecisionen premieras eller så premieras exempelvis alla leverantörer som inte har avvik överstigande 20 procent. Leveransprecision är en viktig parameter och därmed tycker jag att man vid kontraktsförhandlingar kan ställa krav på att leveranserna skall vara jämnt fördelade över tiden.

I modellen har inga årstidsvariationer identifierats så utifrån lokala kunskaper om leverantörerna och pannans förbrukning kan det vara aktuellt vidta speciella åtgärder för det aktuella lagret. Det kan till exempel vara stängt under hela juli månad på ett sågverk som levererar torrflis till Billerud Karlsborg. För att parera en sådan typ av variation kan det vara befogat överskrida maximal föreslagen lagernivå av torrflis redan ett par månader innan. Andra tänkbare parametrar som kan medföra stora lagervariationer är: tjällossning, minskad transportkapacitet, transportavstånd, väglag, produktionstakt (tillgång), avtal, pris, mm. Kan man förutse ett större avvik av någon karaktär skall man givetvis försöka lagra för det i god tid.



Vid en framtida användning av lagermodellen går det kanske att identifiera och bygga in ytterligare parametrar i modellen. Exempel på en sådan parameter skulle kunna vara variation i förbrukning. Modellen som arbetats fram i det här examensarbetet kan användas vid dimensionering av andra lager, exempelvis rundvedslager vid sågverk/massabruk. Om modellen skall användas vid lagring av oorganiska material måste givetvis parametern substansförlust tas bort ur modellen och justeringar vidtas så att den passar in vid rådande förutsättningar.

## Referenser

- Anon. 2003. Fokus, Bioenergi – en översikt. nr 1/2003, utges med stöd av Energimyndigheten
- Bergman, Ö. och Nilsson, T. 1967. Studier över utomhuslagring av aspvedsflis vid Hörnefors sulfitfabrik. Skogshögskolan, Institutionen för virkeslära, Stockholm, Rapport nr R 55
- Hägg, A. 1991. Lagring av timmer och massaved ur ekonomisk synvinkel. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära, Uppsala, Rapport nr 225
- Jirjis, R. och Lehtikangas, P. 1993. Bränslekvalitet och substansförluster vid vältlagring av hyggesrester. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära, Uppsala, Rapport nr 236. Kapitel 4.3 s.11
- Lubiani, T. och Compaines, R. 2007. Chip handling methods and impacts. Paperi ja Puu – Paper and Timber Vol.89/No.6/2007
- Lumsden, K. 1998. Logistikens grunder, Teknisk logistik. Studentlitteratur, Lund. Kapitel 12. s.249
- Löwegren, G och Jonsson, L. 1987 Lagring av flisade hyggesrester och flisad ekstamved i stora stackar. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära, Uppsala, Rapport nr 191. Kapitel 7.5 s.22
- Matsson, J. 1988. Träbränslens hanteringsegenskaper- en litteraturstudie över kunskapsläget och lämpliga mätmetoder. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik, Garpenberg, Rapport nr 174
- Nylinder, M. och Thörnqvist, T. 1980. Lagring av grenar och toppar i olika fraktioner. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära, Uppsala, Rapport nr 113
- William, S. F. 1985. Chip pile storage – a review of practices to avoid deterioration and economic losses. Tappi Journal vol.68, no.8

## Nätreferenser:

([http://www.billerud.se/billerud/page\\_\\_\\_\\_125.aspx?epslanguage=SV](http://www.billerud.se/billerud/page____125.aspx?epslanguage=SV)) 2007-11-05

**Personliga kommunikationer:**

Fagerbo J, 2006, Virkeschef Billerud skog AB, Karlsborg

Holm S, 2007, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning, Umeå

Nilsson Sandlund P, 2007, Ekonomichef Billerud Karlsborg AB

Pettersson M, 2007, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsskötsel avd. teknologi, Umeå