

RISIKOSTYRING AV JETFUELPRISEN MED  
FUTURES KONTRAKTER  
- EN STUDIE AV HEDGING STRATEGIER FOR FLYSELSKAPER

JET FUEL PRICE RISK MANAGEMENT USING FUTURES CONTRACTS  
- A STUDY OF HEDGING STRATEGIES FOR AIRLINES

SEBASTIAN MARKER

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP  
HANDELSHØYSKOLEN UMB  
MASTEROPPGAVE 30 STP. 2013



## **Forord**

Denne avhandlingen avslutter min mastergrad i økonomi og administrasjon ved «Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB)». Oppgavens problemstilling er et resultat av personlig interesse for flyindustrien, og flere derivat- og råvarekurs ved UMB. Arbeidet med oppgaven har gitt meg økt innsikt i jetfuelhedging og bedret forståelse for tidsserieanalyser.

Jeg vil gjerne takke min veileder Ole Gjørberg, for nyttige innspill til oppgaven, både før og under arbeidsprosessen. Videre vil jeg rette en stor takk til kjæresten min Hilde, for å bistå med korrekturlesning og moralsk støtte under skriveprosessen. Jeg vil også takke min bror Andreas, og min gode venn Sebastian, for gode råd og innspill.

Ås, 13. mai 2013

Sebastian Marker



## Sammendrag

Denne oppgaven undersøker risikostyring av jetfuelprisen gjennom hedgingstrategier med WTI- og fyringsoljefutures som sikringsinstrument. Analysen tar sikte på å estimere minimum varians hedgingrater for ulike hedgingstrategier. Formålet er å finne hedgingstrategier som gir høyest hedgingeffektivitet, og dermed gir størst reduksjon i jetfuelpriserisiko. Første del av analysen vil estimere hedgingrater med utgangspunkt i flere analysemetoder under en klassisk lineær regresjonsmodell (CLRM). Hedgingstrategiene som undersøkes, estimerer hedgingrater både med en og kombinasjoner av to futureskontrakter som forklarende variabel. Videre estimeres hedgingrater med hensyn på basis i underliggende futureskontrakt, før hedgingrater estimeres med hensyn på vintersesong for fyringsoljekontrakter. Den siste analysemetoden under CLRM tar hensyn til ulikheter i historisk prisvolatilitet på jetfuel. Andre del av analysen undersøker kointegrasjon mellom jetfuel, WTI og fyringsolje. En «Vektor Error Correction Model (VECM)» benyttes så for å estimere hedgingrater. Flere av hedgingstrategiene fra CLRM, testes her under VECM-rammeverket for å undersøke om den sistnevnte tilnærmingen estimerer hedgingrater som gir bedre hedgingeffektivitet.

Estimatene i oppgaven beregnes fra perioden januar 2000 til desember 2010, med etterfølgende out-of-sample-analyse av hedgingratene i perioden januar 2011 til desember 2012. Hovedfunnene fra den empiriske analysen viser at fyringsoljekontrakter er bedre egnet til sikring av jetfuelprisen enn WTI-kontrakter. Kombinasjoner av fyringsoljekontrakter gir større reduksjon i risiko, enn sikring i kun én fyringsoljekontrakt. VECM estimerer hedgingrater som gir bedre hedgingeffektivitet for majoriteten av sikringsstrategiene som undersøkes med ovennevnte rammeverket, sett i forhold til under CLRM.

## **Abstract**

This thesis investigates jet fuel price risk management through hedging strategies using WTI- and heating oil futures as hedging instruments. The analysis aims to estimate the minimum variance hedge ratio for different hedging strategies. The objective is to find hedging strategies that provide the highest hedging efficiency, thus giving the greatest reduction in jet fuel price risk. The first part of this investigation estimates hedging ratios of different analytical methods under a «classic linear regression model (CLRM)» framework. Among the strategies being investigated, hedging ratios with one futures contract as the explanatory variable will be estimated, as well as one which consists of combination of two futures contracts. Furthermore, I test strategies with respect to the basis of the underlying futures contract, and one in which different hedging ratios for the heating oil futures in regards to the winter season are tested. The last analytical method examines hedging strategies with respect to jet fuel price volatility trends. The second part of this investigation tests for co-integration among jet fuel and futures prices, and result allows a «Vector Error Correction Model (VECM)» to estimate hedging ratios. Several hedging strategies from the CLRM framework are then being tested under a VECM framework to determine whether the latter approach improves hedging efficiency.

In-sample estimates throughout this investigation are calculated between January 2000 and December 2010, while the out-of-sample-results are collected from January 2011 to December 2012. The main findings of this study are firstly that heating oil is more suitable for hedging jet fuel price than WTI. Secondly, that a combination of heating oil contracts improves hedging efficiency compared to hedging in one heating oil contract. And in conclusion, that the majority of the hedging strategies have estimated ratios generating better hedging efficiency through VECM than with CLRM.

## Innholdsfortegnelse

Forord .....	i
Sammendrag .....	iii
Abstract .....	iv
Figur- og tabelloversikt .....	vii
Appendiksoversikt .....	viii
1 Innledning .....	1
2 Risikostyring av jetfuelprisen .....	4
2.1 Kostnadskontroll og håndtering av jetfuelprisen .....	4
2.2 Hedging .....	5
2.2.1 Skal firmaet hedge? .....	5
2.2.2 Hvordan hedge? .....	6
2.2.3 Hvor mye skal hedges? .....	8
3 Litteratur om optimal hedging .....	13
4 Data og beskrivende statistikk .....	16
4.1 Data .....	16
4.1.1 Jetfuel .....	16
4.1.2 Råolje .....	17
4.1.3 Fyringsolje .....	18
4.2 Beskrivende statistikk .....	19
4.2.1 Jetfuelprisen .....	19
4.2.2 Korrelasjon .....	20
4.2.3 Normalfordeling .....	22
4.2.4 Volatilitet .....	23
4.2.5 Basis .....	25
4.3 Oppsummering .....	26
5 Økonometriske modeller for tidsseriedata .....	27
5.1 Antakelser og argumentasjon for metode .....	27
5.2 Uhedget og hedget posisjon .....	29
5.3 Klassisk lineær regresjonsanalyse for tidsseriedata (CLRM) .....	29
5.3.1 Antakelser for klassisk lineær regresjonsmodell (CLRM) .....	31
5.4 Autokorrelasjon i tidsserieanalyse .....	32
5.5 Heteroskedastisitet i tidsserieanalyse .....	33
5.6 Kointegrasjon og feilkorrigeringsmodeller .....	33
5.6.1 Stasjonære og ikke-stasjonære tidsserier .....	34
5.6.2 Dickey og Fuller (DF) test for enhetsrøtter .....	35
5.6.3 Kointegrasjon .....	36
5.6.4 Error Correction Model (ECM) .....	36
5.6.5 Vector Error Correction Model (VECM) .....	37
6 Optimal hedging med klassisk lineær regresjonsmodell .....	40
6.1 Estimering av optimale hedgingrater med CLRM .....	40

6.1.1	Regresjon med en futureskontrakt (2000-2010).....	40
6.1.2	Regresjon med en futureskontrakt (2000-2007).....	41
6.1.3	Regresjon med kombinasjoner av futureskontrakter.....	42
6.1.4	Regresjon med hensyn på basis i underliggende futureskontrakt .....	44
6.1.5	Regresjon med hensyn på vintersesong for fyringsoljekontraktene.....	45
6.1.6	Regresjon med hensyn på historiske volatilitetsforskjeller i jetfuelprisen.....	46
6.2	Out-of-sample-analyse fra CLRM.....	48
6.2.1	Beskrivende statistikk for out-of-sample-perioden .....	48
6.2.2	Out-of-sample - regresjon med en futureskontrakt (2000-2010) .....	49
6.2.3	Out-of-sample - regresjon med en futureskontrakt (2000-2007) .....	51
6.2.4	Out-of-sample - regresjon med kombinasjoner av futureskontrakter .....	51
6.2.5	Out-of-sample - regresjon med hensyn på basis i underliggende futureskontrakt. .....	53
6.2.6	Out-of-sample - regresjon med hensyn på vintersesong for fyringsoljekontraktene.....	54
6.2.7	Out-of-sample - regresjon med hensyn på historiske volatilitetsforskjeller i jetfuelprisen .....	54
6.3	Optimale hedgingstrategier under CLRM .....	55
7	Optimal hedging med feilkorrigeringsmodell.....	57
7.1	Langtidssammenhenger mellom jetfuel- og futurespris .....	57
7.1.1	Test for stasjonæritet, enhetsrottest.....	57
7.1.2	Test for kointegrasjon.....	58
7.1.3	Estimering av justeringshastigheten i ECM .....	58
7.2	Optimale hedgingrater med VECM.....	59
7.2.1	Johansens VAR-metode .....	59
7.2.2	VECM med en futureskontrakt .....	61
7.2.3	VECM med kombinasjoner av futureskontrakter .....	61
7.2.4	Out-of-sample - VECM med en futureskontrakt.....	63
7.2.5	Out-of-sample - VECM med kombinasjoner av futureskontrakter.....	63
7.3	Optimale hedgingstrategier under VECM.....	65
8	Avslutning.....	66
	Referanseliste .....	69
	Appendiks.....	72

## Figur- og tabelloversikt

Figur 2.1: Etterspørsel etter lager .....	12
Figur 2.2: Tilbud og etterspørsel etter lager .....	12
Figur 4.1: Jetfuelprisen i dollar .....	19
Figur 4.2: Jetfuel-, WTI- og fyringsoljeprisen i dollar .....	20
Figur 4.3: Prosentvis månedlig endring jetfuel, WTI og fyringsolje.....	21
Figur 4.4: Normalfordelingskurver av spotpris for jetfuel, WTI og fyringsolje.....	22
Figur 4.5: Rullerende årlig standardavvik av månedlig avkastning for jetfuel, WTI og fyringsolje .....	23
Figur 4.6: Rullerende årlig standardavvik av månedlig avkastning for WTI- og fyringsoljekontrakter .....	24
Figur 4.7: WTI futureskontrakter med 1, 3, 6 og 12 måneder til forfall .....	25
Figur 4.8: Fyringsolje futureskontrakter med 1, 3, 6 og 12 måneder til forfall .....	26
Figur 6.1: Prosentvise endringer i jetfuel og fyringsoljekontrakter .....	49
Figur 6.2: Prosentvise endringer i jetfuel og WTI.....	49
Tabell 4.1: Korrelasjonsmatrise for månedlig prosentvis endring mellom jetfuel, WTI og fyringsolje.....	20
Tabell 4.2: Skjevhet og kurtose i prosentvise månedlige endringer .....	22
Tabell 4.3: Årlig standardavvik fra månedlige prisendringer for jetfuel, WTI og fyringsolje .....	24
Tabell 6.1: Regresjonsanalyse jetfuel-WTI og jetfuel-fyringsolje .....	41
Tabell 6.2: Regresjonsanalyse jetfuel-WTI og jetfuel-fyringsolje (2000-2007) .....	42
Tabell 6.3: Regresjon med kombinasjoner av WTI- og fyringsoljekontrakter.....	43
Tabell 6.4: Regresjon med kombinasjoner på samme underliggende råvare .....	44
Tabell 6.5: Hedging med utgangspunkt i basis i underliggende futureskontrakt .....	45
Tabell 6.6: Hedging med utgangspunkt i vintersesong for fyringsoljekontrakter .....	46
Tabell 6.7: Hedging med utgangspunkt i historisk volatilitet for jetfuelprisen .....	47
Tabell 6.8: Endring i dollar for jetfuel og futureskontrakter i out-of-sample-perioden.....	48
Tabell 6.9: Out-of-sample - regresjonsanalyse jetfuel-WTI og jetfuel-fyringsolje .....	50
Tabell 6.10: Out-of-sample - regresjonsanalyse jetfuel-WTI og jetfuel-fyringsolje (2000-2007) .....	51
Tabell 6.11: Out-of-sample - regresjon med kombinasjoner av WTI- og fyringsoljekontrakter.....	52
Tabell 6.12: Out-of-sample - regresjon med kombinasjoner av samme underliggende råvare .....	52
Tabell 6.13: Out-of-sample - hedging med utgangspunkt i basis i underliggende futureskontrakt.....	53
Tabell 6.14: Out-of-sample - hedging med utgangspunkt i vintersesong for fyringsoljekontrakter.....	54
Tabell 6.15: Out-of-sample - hedging med utgangspunkt i historisk volatilitet for WTI- og fyringsoljekontrakter .....	55
Tabell 7.1: ECT-koeffisientverdier mellom jetfuel og futureskontrakter.....	59
Tabell 7.2: Johansens kointegrasjonstest med en forklarende futureskontrakt .....	60
Tabell 7.3: Johansens kointegrasjonstest med to forklarende futureskontrakter .....	60
Tabell 7.4: Hedgingrate med en forklarende futureskontrakt VECM .....	61
Tabell 7.5: Hedgingrater med kombinasjoner av WTI- og fyringsoljekontrakter VECM .....	62
Tabell 7.6: Kombinasjoner av kontrakter på samme underliggende råvare VECM.....	62
Tabell 7.7: Out-of-sample - hedgingrate med en forklarende futureskontrakt VECM.....	63
Tabell 7.8: Out-of-sample - hedgingrater med kombinasjoner av WTI- og fyringsoljekontrakter VECM.....	64
Tabell 7.9: Out-of-sample - kombinasjoner av kontrakter på samme underliggende råvare VECM .....	64



## Appendiksoversikt

Appendiks 1: Test av normalfordeling i residualer ved bruk av dummy-variabler.....	72
Appendiks 2: Diagnosetest - regresjon med en futureskontrakt.....	72
Appendiks 3: Diagnosetest - regresjon med kombinasjoner av kontrakter.....	73
Appendiks 4: Diagnosetest - regresjon med hensyn på basis.....	73
Appendiks 5: Diagnosetest - regresjon med hensyn på vintersesong.....	73
Appendiks 6: Diagnosetest - regresjon med hensyn på volatilitet i jetfuelprisen.....	74
Appendiks 7: Basis i out-of-sample-perioden for fyringsolje- og WTI kontrakter.....	74
Appendiks 8: Test for stasjonærhet.....	75
Appendiks 9: Tester for stasjonærhet ved førstedifferensiering.....	75
Appendiks 10: Kointegrasjonstest.....	75
Appendiks 11: Vektor AR-test med en futureskontrakt.....	76
Appendiks 12: Vektor AR-test med kombinasjoner av futureskontrakter.....	76
Appendiks 13: Diagnosetest med en futureskontrakt VECM.....	76
Appendiks 14: Diagnosetest med kombinasjoner av futureskontrakter VECM.....	77
Appendiks 15: Avkastingsserier fra hedgingstrategiene «HO3» og «HO1&HO6» in-sample under CLRM og VECM.....	78
Appendiks 16: Avkastingsserier fra hedgingstrategiene «HO3» og «HO1&HO6» out-of-sample under CLRM og VECM.....	78

# 1 Innledning

Fra et økonomistyringsperspektiv opererer flyselskap utvilsomt i en av de mest utfordrende industriene i verden. Milliardinvesteringer i flymaskiner, strenge krav til sikkerhet og mange ansatte, kombinert med høye og varierende operative kostnader, resulterer i svært små marginer for flyselskapene. Den økonomiske posisjonen varierer stort mellom flyselskapene, både for lavpris- og de tradisjonelle<sup>1</sup> selskapene. Risikostyring er et viktig element i dagens virksomhetsstyring. Et sentralt verktøy i risikostyringsarbeidet er forståelse og bruk av finansielle instrumenter (Vasigh et al. 2010).

Historisk har flyindustrien operert i to ulike miljøer. Før 1979 i USA og 1999 i Europa, var store deler av flyindustrien styrt av staten, der både flydestinasjoner og priser ble bestemt. Prissettingen gikk som regel ut på at flyselskapene satt en kost for tilbudet og ut fra dette satte staten profittmarginer. Den finansielle delen av flyindustrien var på dette tidspunktet av mindre betydning enn i dag. I senere tid har den statlige reguleringen falt noe tilbake, hvilket har ført til høyere avkastningskrav og større konkurranse blant aktørene. Seks dårlige år for flyindustrien i perioden 2000–2006, ble etterfulgt av positiv profitt i 2007. Skyhøye jetfuelpriser og finanskrisen førte igjen til dårlig lønnsomhet i 2008 og 2009 (Vasigh et al. 2010). Skiftende resultater i industrien i 2010, med stabilisering i 2011, ga etterfølgende positiv profitt i 2012 (IATA 2013). Etter reguleringen av flyindustrien har flere lavprisselskaper inntatt markedet. Lavprisselskapene utkonkurrerer flere av de tradisjonelle selskapene på drifts- og fortjenestemarginer, som følge av betraktelig lavere indirekte kostnader. Denne fordelingen gjør at markedet for lavprisselskaper har økt markant. Resultatet av økt antall lavprisaktører i markedet, fører så til reduksjon i både servicen og passasjeravkastningen for de tradisjonelle selskapene (Vasigh et al. 2010).

Etterspørselen etter lufttransport er eskalerende. Verdensøkonomien er firedoblet siden 1970, mens økningen i flyindustrien for samme periode er seksdoblet. Antall setemil har økt ni ganger, mens fraktandelen er tolvdoblet i samme tidsintervall. Trolig vil ikke denne trenden stoppe med det første. I USA estimeres det for over tre flyseter per person årlig, mens antallet er to for Europa. Fremvoksende økonomier, med Kina og India i spissen, har det samme forholdstallet på mellom 0,1 og 0,5. Ettersom disse to landene står for 2,3 milliarder av

---

<sup>1</sup> Under «tradisjonelle» refereres det til store, sentrale full-service flyselskap, og vil i USA gjerne være de seks store: U.S. Airways, American, Continental, Delta, Northwest og United.

verdens befolkning, indikerer dette potensialer. Ikke bare har etterspørselen økt, men samtidig har billettprisene sunket. Justerer man for inflasjon er prisene halvert siden 1970 (Vasigh et al. 2010). Til tross for at industrien også bestreber å effektivisere utslippene og dermed drivstoffutgiftene, øker karbonutslippet som følge av økende etterspørsel, hvilket igjen utfordrer miljøproblematikken (O'Connell & Williams 2011).

Flyindustrien har endret seg mye det siste tiåret. Energikostnadene relatert til industrien har ekspandert, og har dermed økt sensitivitet til endringer i jetfuelprisen. Drivstoffkostnadene har økt markant de siste årene, og utgjør opp mot 40 prosent av de totale operasjonelle kostnadene. Tidligere var store deler av flyselskaperes operative kostnader tilnærmet faste, slik at ved økning i antall flygninger kunne enhetskostnadene reduseres og stordriftsfordeler oppnås. Operasjonskostnadene er i dag mer variable, og enhetskostnadene kan ikke reduseres i samme grad som før. Etterspørselstettheten er også mer priselastisk, og konsekvensen av å legge økte drivstoffkostnader over på kunder kan derfor få negative følger for flyselskapene (O'Connell & Williams 2011).

Mange bedrifter møter risiko som forekommer med hyppighet, slik som prissvingninger på inputvarer, og hvor forsikring ikke er et egnet alternativ. Hedging i derivater er en metode for å sikre seg mot slike prisendringer. Flyselskap opererer med høye kostnader og volatile inputpriser, der selskap som håndterer prisrisiko effektivt, vil kunne oppnå konkurransefortrinn (Abbey 2011). Målet med hedgingen er å redusere prisendringer på jetfuel for mer stabil driftsfortjeneste og likviditet (Nascimento & Powell 2008).

Tema for denne avhandlingen retter seg mot hvordan flyselskaper kan eksponere seg mot endringer i jetfuelprisen gjennom å undersøke hedgingstrategier med bruk av futureskontrakter på WTI og fyringsolje. Jeg ønsker å estimere minimum varians hedgingrater for ulike hedgingstrategier, med formålet om å finne de hedgingstrategiene som gir høyest hedgingeffektivitet, og dermed gir størst reduksjon i jetfuelprisrisiko.

For å finne optimale hedgingstrategier undersøkes 8 futureskontrakter under 6 ulike analysemetoder. Totalt vil 49 hedgingstrategier testes under en klassisk lineær regresjonsmodell. Et utvalg av hedgingstrategiene vil så testes under en «Vector Error Correction Model» som tar hensyn til langtidslikevekten mellom jetfuel- og futuresprisen.

Futureskontraktene som ligger til grunn for hedgingen er 1, 3, 6 og 12 månederskontraktene på WTI og fyringsolje. To av analysemetodene undersøker hedging av jetfuelprisen med en

futureskontrakt, der hedgingraten er konstant gjennom sikringsperioden. En metode ser på hedgingstrategier med kombinasjoner av to futureskontrakter. For de tre resterende analysemetodene utarbeides strategier der hedgingraten endres gjennom hedgingperioden med hensyn til karakteristik i råvarene. Jeg skal så teste om det er kointegrasjon mellom jetfuelprisen og futureskontraktene. Flere av hedgingstrategiene gjennomført tidligere vil så estimeres gjennom en feilkorrigeringsmodell<sup>2</sup>, for å undersøke om estimerte hedgingrater gir bedre hedgingeffektivitet under et slikt rammeverk<sup>3</sup>. Hedgingstrategiene som estimerer hedgingrater som gir størst reduksjon i jetfuelprisrisiko, anses som optimale. Alle analysemetodene estimerer hedgingrater fra perioden januar 2000 til desember 2010<sup>4</sup>, før de testes i de to etterfølgende årene 2011 og 2012.

Oppgaven er strukturert som følger: Først vil jeg diskutere rundt risikostyring av jetfuelprisen og hvordan hedging kan redusere prisrisiko for flyselskapene, før tidligere litteratur rundt optimal hedging blir fremstilt. Videre vil jeg presentere datagrunnlaget for oppgaven og beskrive historisk statistikk for jetfuel, WTI og fyringsolje. Valg og redegjørelse for økonometriske modeller vil så bli diskutert, før selve analysen. Analysen vil bli delt i to deler. Del en, undersøker ovennevnte strategier med en klassisk lineær regresjonsmodell. Del to, tester og analyserer flere av hedgingstrategiene fra del en, med utgangspunkt i en feilkorrigeringsmodell. Avslutningsvis vil jeg diskutere de ulike hedgingstrategiene, og drøfte rundt hvilke rammeverk som best estimerer hedgingrater ved bruk av futures for flyselskaper.

---

<sup>2</sup> «Vector Error Correction Model».

<sup>3</sup> Oppgaven undersøker hedgingstrategier gjennom to rammeverk. Rammeverk refererer til enten «klassisk lineær regresjonsmodell» eller «Vector Error Correction Model».

<sup>4</sup> Med unntak av en regresjonsanalyse som undersøker innvirkningen av finansiell uro på slutten av 2000-tallet.

## 2 Risikostyring av jetfuelprisen

Dette kapitlet ser på kostnadskontroll ved bruk av sikringsstrategier, og hvordan kostnadsfordelingen er for flyselskaper. Videre vil det argumenteres for hvordan, hvorfor og hvor mye som bør hedges.

### 2.1 Kostnadskontroll og håndtering av jetfuelprisen

Kostnadsforståelse er essensielt for å drive virksomhet og oppnå profitt. Flyindustrien er en konkurranseutsatt bransje, med store investeringer og små marginer. Kostnadsbesparelser har de ti siste årene hatt økt fokus blant aktørene i flyindustrien. Kostnadsreduksjonen har naturligvis vært større hos lavprisselskapene, da de enkleste kostnadene å redusere er servicekostnadene, som åpenbart ikke er like høye sett i forhold til tradisjonelle operatører. Kostnader som er vanskeligere å kontrollere, er jetfuel, arbeidskraft, landingsavgift og luftnavigasjonsservice. Kostnadene kan deles inn i operasjonelle og ikke-operasjonelle. Operasjonelle kostnader omfatter både faste og variable kostnader som påløper som følge av selve tjenesten flyselskapet tilbyr. Videre kan de operasjonelle kostnadene deles inn i direkte og indirekte kostnader. Direkte kostnader kan knyttes direkte opp mot produksjonen, og klassifiseres gjerne i flyindustrien som setemil. Arbeidskraft og jetfuel er de to største postene under direkte operasjonelle kostnader (Vasigh et al. 2010).

Det er tre sentrale tilnærminger for håndtering av jetfuelprisen: (1) Flyselskapene kan øke drivstoffeffektiviteten. Drivstoffeffektivisering gjennomføres på kort sikt ved å fly mer drivstoffgjerrig. Det er dog begrensninger relatert til denne besparelsen grunnet sikkerhetstilsyn. På lang sikt kan investeringer i nye flymaskiner gi lavere drivstoffkostnader. (2) Overføre drivstoffkostnader til kunden gjennom drivstoffavgifter. Dette er en mye anvendt metode, særlig for frakt. (3) Sikre jetfuelprisen med å hedge i derivater eller fysisk lagre drivstoff (Morrell & Swan 2006). Vanskeligheter med lagring av store mengder drivstoff, gitt deres krav til finansiering- og lagringskostnader, gjør jetfuelhedging til en egnet, alternativ strategi for å overkomme volatile prissvingninger (Nascimento & Powell 2008).

Spotprisen på jetfuel varierer stort, og kan skape katastrofale problemer for flyselskap, både med tanke på profitt og likviditet. Som et resultat av økte jetfuelpriser, er den største kostnadsposten for et flyselskap utenfor deres kontrollsoner. Flyselskapene kan imidlertid ha mer kontroll over hvor mye prisene skal variere, og det er dette som gjøres via handel av

derivater. Flyselskaper kan kjøpe ulike typer råvarederivater for å sikre seg mot endringer i jetfuelprisen, alt etter hva som er deres intuisjoner og mål med hedgingen (Vasigh et al. 2010).

## **2.2 Hedging**

Hedging er overføring av risiko med det mål om å redusere volatiliteten til porteføljens avkastning, og på den måten kjøpe en forsikring mot prisendring. For å kunne forstå hedging er det tre spørsmål som må besvares: Skal firmaet hedge? Hvordan hedge? Hvor mye skal hedges (Vasigh et al. 2010)?

### **2.2.1 Skal firmaet hedge?**

En hedger benytter derivater for å sikre seg mot prisendringer i fremtiden. Spekulanter derimot benytter derivater til å satse på fremtidige endringer i markedsvariabler (Hull 2011). Hovedargumentet for hedging er å redusere prissvingninger i en vare, og dermed også risikoen. For mange industrier er prisen på deres utgående varer eller tjenester gjerne en funksjon av inputprisen, noe som innebærer at utgående pris relativt til inngående pris ikke avviker markant. Argumentet over avhenger mye av konkurranseforholdet i markedet, og gjelder ikke i full grad for flyselskaper, da eksempelvis drivstofftillegg på billettpriser kan gå ut over etterspørselen etter flyselskapets tjenester. Et sentralt argument for ikke å hedge er faren for prisendringer i feil retning hedgen, som kan få katastrofale følger, særlig dersom flere konkurrenter ikke hedger (Hull 2011).

Bedrifter med kostnader som ikke kan kontrolleres direkte av firmaet, og varierer utenfor selskapets innflytelse, bør vurdere hedgingalternativer. Et flyselskap innehar flere kostnader som bør analyseres for mulig hedging. Dette gjelder særlig jetfuelkostnaden og valuta. Jetfuel representerer den største hedgingmuligheten for flyselskapene. Historisk har man sett både positive og negative utfall fra hedgingstrategier i flyindustrien. For å kunne utføre en vellykket hedging bør det vedliges en hypotese om fremtidig jetfuelpris, og en forståelse for faktorene som påvirker prisen (Vasigh et al. 2010).

## 2.2.2 Hvordan hedge?

Hvis selskapet finner det hensiktsmessig å hedge, blir neste oppgave å finne ut hvordan man skal hedge. Det finnes mange typer derivater som kan benyttes. En videre beskrivelse av derivat- og futuresmarkedet vil følge under, samt en kort beskrivelse av noen alternative derivater for jetfuelhedging.

### 2.2.2.1 Derivater

Et derivat er et finansielt verktøy hvor prisen utledes fra et underliggende aktivum, der futures- og opsjonskontrakter er blant de mest benyttede (Hull 2011). Derivater kan ha både industrielle og finansielle formål. For industrielle formål vil man benytte derivater til å sikre seg mot fremtidige, volatile inputpriser, hvilket kan opprettholde stabil likviditet og profit. Mange av de industrielle hedgerne har ingen profittintuisjon. I den finansielle delen av dette markedet, er det spekulanter som er inne for å hente ut profit som følge av prisendringer i det underliggende aktivum. Det stilles ofte kritikk til slik finansiell spekulasjon, da flere mener at dette skaper volatile endringer i prisene. Derivater handles i «over-the-counter (OTC)» markeder eller via børs. En derivatbørs er et marked der individuelle handler forgår gjennom standardiserte kontrakter som defineres av børsen. Derivatbørser har eksistert lenge og har tradisjonelt fungert ved fysisk tilstedeværelse, der skrik og håndbevegelser signaliserer kjøp og salg. I dag foregår mesteparten via elektronisk handel. Elektronisk handel har også ført til økt vekst i algoritmehandel, også kjent som robohandel, som i dag er et meget sentralt tema i verdipapirdebatten. OTC-transaksjoner er handler som ikke går gjennom en børs, der gjerne to finansielle institusjoner eller klienter handler med hverandre. I OTC-markeder er det alltid en mulighet for at motparten av kontrakten ikke klarer å møte betingelsene. Særlig etter finanskrisen i 2008 har flere land satt krav om oppgjørssentraler mellom partene i en OTC-transaksjon (Hull 2011). En oppgjørssentral er en motpart i derivatmarkedet som er kjøper ovenfor selger og selger ovenfor kjøper, og garanterer derfor for motpartens innfrielse etter derivatkontraktens vilkår (Carter 2007).

Opsjoner, forwards og futures byr alle på muligheter til å tjene penger eller sikre seg mot tap. En investor kan, ved å kombinere forskjellige derivater og underliggende instrumenter, skreddersy en avkastningsprofil tilpasset markedssynet (OsloBørs 2010). Derivater er allsidige instrumenter, hvor allsidigheten gir muligheter for å påta seg store mengder risiko (Hull 2011).

#### **2.2.2.2 Futures**

Futures er en enighet om å kjøpe eller selge et aktivum på et gitt tidspunkt til en fastsatt pris. Futureskontrakter er standardiserte kontrakter som omsettes på børs. Børsen er organisert slik at partene ikke trenger å kjenne hverandre, og garanterer for at kontrakten blir opprettholdt. Gitt denne garantien vil det heller ikke være motpartrisiko ved kjøp av slike futureskontrakter. Futureskontraktene standardiseres slik at eiendelen, kvaliteten, størrelsen og leveringstidspunktet er likt for alle kontrakter. En lang posisjon vil si at en forplikter kjøp av eiendelen i fremtiden, mens en kort posisjon forplikter fremtidig salg av eiendelen. Majoriteten av futureskontrakter forfaller ikke til levering. Dette har sitt opphav i at tradere velger å avslutte sin posisjon før den spesifiserte leveringsdatoen (Hull 2011).

Futureskontrakter på råvarer stiller spesifikke krav til produktets kvalitet ved levering, da det for råvarer kan forekomme ulike grader av produktkvalitet. Kjøp og salg av futures gjennomføres gjennom en oppgjørssentral, som fungerer som en tredjepart i transaksjonen, og har som mål å redusere risiko ved handelen. For å sikre seg mot risikoen for at den ene parten i avtalen ikke klarer å møte det finansielle utfallet av kontrakten, vil det stilles marginer fra kjøper og selger. En måte å sette marginer på er å foreta daglige oppgjør på såkalte marginkontoer. Her settes en gitt sum når kontrakten inngås. For hver dag blir dagens gevinst eller tap justert for dette beløpet. Denne måten å sikre marginer på kalles for «marked to market». Oppgjøret for futureskontrakten er spesifisert i kontraktsbeskrivelsen. To vanlige former er fysisk levering eller kontant oppgjør. Ved kontant oppgjør betales gevinst- eller tapdifferansene mellom partene ved forfall (Carter 2007).

#### **2.2.2.3 Forward**

I likhet med futureskontrakter er forwardkontrakter en enighet mellom to parter om kjøp eller salg av et aktivum, på et bestemt fremtidig tidspunkt, til en bestemt pris. Forwardkontrakten skiller seg fra futures ved at de omsettes i OTC-markeder. Forwardkontraktene er derfor ikke standardiserte i samme grad som futureskontraktene (Hull 2011).

#### **2.2.2.4 Swaps**

En swap er en OTC-avtale mellom to selskap, om å bytte kontantstrømmer i fremtiden. De mest vanlige swappene er rente- og valutaswappene. I råvaremarkedet vil en swap fungere slik at en av partene betaler en fast sum for spotpris. For at transaksjonskostnadene skal holdes nede, vil kun differansen mellom fast- og spotpris bli betalt mellom partene (Hull 2011).



Flyselsskap benytter swappere til å låse inn jetfuelprisen i en avtalt tidsperiode, mens en motpart, gjerne en oljeprodusent eller distributør, ønsker å låse inn en forventet salgssum.

### **2.2.2.5 Opsjoner**

Opsjoner handles både over børs og i OTC-markeder. Det er i hovedsak to typer opsjoner: call- og putopsjoner. Opsjoner er en rett til å kjøpe eller selge noe til en fastsatt pris, innen eller på et bestemt tidspunkt. Det er både mulig å kjøpe og selge call-opsjoner, og kjøpe og selge put-opsjoner. Gitt disse mulighetene for kjøp og salg av henholdsvis call og put, er mulighetene mange for å lage ulike sammensettinger og strategier av opsjoner. Da kjøper eller selger har en mulighet, men ikke en plikt til å innløse kontrakten, vil det være en kostnad rettet mot denne muligheten. Prising av opsjoner gjøres med flere tilnærminger, hvor prinsippene i Blach-Scholes-Merton er mye brukt (Hull 2011).

### **2.2.3 Hvor mye skal hedges?**

Når et hedginginstrument er valgt må flyselsskapet undersøke hvordan prisendringene i derivatet forklarer endringene i jetfuelprisen. For jetfuel er det ingen tilsvarende futuresmarked<sup>5</sup>, og jetfuelhedging med futureskontrakter foregår ved å sikre i andre, korrelerte råvarefutures. Denne formen for hedging refereres til som krysshedging i terminologien. Siden det ikke vil være perfekt priskorrelasjon mellom de to råvarene, vil trolig optimal hedgingrate avvike fra 1. Optimale hedgingrater representeres av den mest ønskelige futuresposisjon gitt aktørens holdning til avkastning og risiko<sup>6</sup>. Det er to standard tilnærminger som er utviklet med formål om å kalkulere optimale hedgingrater. En hvor hedger ønsker minst mulig variasjon, der reduksjon i risiko foretrekkes fremfor forventet avkastning. Den andre metoden er å hedge med hensyn på både risiko og avkastning, der hedger ønsker å ta større risiko når forventningen om avkastning øker. Her vil formen på indifferenskurven reflektere holdningen hedger har til forholdet mellom risiko og avkastning (Carter 2007). I denne avhandlingen vil den første metoden bli praktisert, der formålet er å redusere risiko til et minimum, og følgelig vil denne metoden refereres til som optimal hedgingrate.

Hedgingrater kan både være mindre, lik og større enn 1. Hedgingratene bestemmes ut fra volatiliteten til de ulike posisjonene. Hvis futuresprisen som det hedges i, har lik eller større

---

<sup>5</sup> Med unntak av «Tokyo Commodity Exchange» som vil bli diskutert under avsnitt 4.1.1.

<sup>6</sup> Estimering av hedgingrater beskrives i kapittel 5.

prisvolatilitet enn jetfuel, vil hedgingraten ikke bli større enn korrelasjonskoeffisienten mellom dem, hvilket er mindre enn 1<sup>7</sup>. Hvis jetfuelprisen har større volatilitet enn futuresprisen, vil hedgingraten kunne overstige korrelasjonen og hedgingrater over 1 kan observeres (Carter 2007). Intuitivt, hvis jetfuelprisen er mer prisvolatil enn futureskontrakten det hedges i, estimeres jetfuelprisen til å endres mer enn futuresprisen, og følgelig må en større andel futures, relativt til jetfuel, hedges for å kompensere for disse endringene.

Basert på forventet risikominimering fra hedgingratene må flyselskapet bestemme hvor stor andel av jetfuelforbruket som skal hedges. Hvor stor prosentandel som hedges avhenger av flyselskapets strategier, og varierer blant aktørene. Praksisen blant mange flyselskap er å balansere forholdet, med lik prosentandel hedget som uhedget. Denne strategien vil både dra fordel av reduksjon i jetfuelprisen, samt beskytte mot dramatisk prisøkning. Et argument for å sikre en større andel jetfuel kan være drivstoffeffektiviteten til flyparken. Hvis flyselskapet innehar fly som bruker mer drivstoff enn konkurrentene, vil selskapet være mer følsomt til økning i jetfuelprisen (Vasigh et al. 2010).

Horisonten på hedgen er også av betydning. Korte hedginghorisonter reduserer sannsynligheten for store sikringsgevinster, men drar fordel av begrenset nedside. Langsiktige hedginghorisonter kan være svært risikabelt ved kraftig nedgang i jetfuelprisen (Vasigh et al. 2010). For sikring i futureskontrakter kan flere praksiser benyttes. Hvis flyselskapet ønsker en bestemt lengde på hedgen, kan én mulighet være å kjøpe en kontrakt med ønsket sikringshorisont, for så å selge denne rett før forfall. Har hedgeren lenger horisont en hva det kan kjøpes kontrakt på eller har kortsiktige tidsrammer, vil rullering bli aktuelt. Rullering kan gjøres ved å kjøpe kontrakter med gitte forfallslengder, selge disse igjen på et tidspunkt frem mot leveringsdagen, for så å kjøpe kontrakter tilbake med lengre tid til forfall. Likviditeten til kontaktene vil være sentral i valg av forfallslengden (Hull 2011).

Volatilitet måler graden av prisendringer i et aktivum over en tidsperiode og representeres av standardavviket til avkastingsseriene (Hull 2011). Følgelig vil volatiliteten være et uttrykk for jetfuelpriserisiko. Gitt at hedger ønsker å minimere risiko, vil hedgingstrategien med lavest volatilitet være å foretrekke.

---

<sup>7</sup> I absoluttverdi.

### **2.2.3.1 Normalfordeling**

Normalitet gjør at man kan regne ut standardavvik, som er et mål på prisrisiko. I statistikken benyttes ofte normalfordeling, også kalt Gaussfordeling. Gaussfordelingen antar at en variabel mest sannsynlig ligger nær middelverdien, og at sannsynligheten reduseres ettersom avviket fra dette punktet øker. Standardavvik, korrelasjon og regresjonsberegninger har redusert forklaringskraft utenfor Gaussfordelingen (Taleb 2007). Skjevhet og kurtose er begge verktøy som benyttes for å analysere variabelens avvik fra normalfordelingen. Skjevhet kan oppstå både som positiv og negativ. Positiv skjevhet indikerer at dataobservasjonene heller mer til venstre enn normalfordelingen. For negativ skjevhet vil fordelingen helle mot høyre. Et annet avvik fra normalfordelingen er kurtose, som måler sannsynlighet for fete haler i normalfordelingen. Negativ kurtose kalles platykurtic, og betyr at det er lav og bred topp, med tynne haler i normalfordelingen. Dette kan tolkes som høy volatilitet uten de alt for store ekstremtilfellene. Leptokurtic fordeling oppstår når det observeres fete haler og høyere topp. Her vil det kunne inntreffe ekstremtilfeller som normalfordelingen ikke klarer å fange opp (Li 1999).

Finansielle instrumenter har en tendens til å avvike fra normalfordelingen. Ved regresjonsanalyse med en eller flere forklarende variabler, vil trolig flere ekstreme residualer forårsake forkasting av normalitet. Med ekstreme residualer vil halen i fordelingen bli fet, og dermed svært positiv kurtose. Disse observasjonene kalles for «outliers». Det er flere metoder som kan benyttes for å bedre normaliteten i feilledet, ved eksempelvis å fjerne ekstremobservasjoner med bruk av dummyvariabler. Flere økonometrikere vil argumentere for at denne metoden kunstig bedrer karakteristikken i modellen. Ved å fjerne «outliers» vil «standard error» reduseres, hvilket reduserer «residuals sum of squares», som igjen vil øke forklaringsgraden,  $R^2$ , i modellen. Andre økonometrikere vil argumentere for at «outliers» er svært usannsynlige observasjoner, og følgelig vil modeller med dummyvariabler fortsatt være relevante. En fornuftig måte å bestemme om ekstremtilfellene skal fjernes eller ikke, er hvorvidt man kan rettfærdiggjøre at de ekskluderes fra modellen. Det er også begrensninger på hvor mange observasjoner som kan fjernes før modellen mister sin opprinnelige informativitet (Brooks 2008).

### **2.2.3.2 Basis**

Basis viser forskjellen mellom prisen på fjerne og nære kontrakter, eller mellom futureskontrakt og spotpris. Krysshedgingen vil trolig føre til basisrisiko, som er et resultat av at sammenhengen mellom jetfuel- og futuresprisen ikke vil være konstant gjennom hele

hedgingperioden. Produktspesifikke tilbuds- og etterspørselsforhold for henholdsvis jetfuel og det underliggende aktivum, samt produktforskjeller, er sentrale faktorer til at det forventes basis. Basis oppstår også mellom fjerne og nære kontrakter på samme underliggende aktivum (Carter 2007). I denne oppgaven vil jeg ta utgangspunkt i futureskontrakter med forskjellig tid til forfall, og finner det hensiktsmessig å beskrive hvorfor det oppstår prisforskjell mellom slike kontrakter. Både jetfuel, råolje og fyringsolje er råvarer som kan lagres, og følgelig anser jeg Working (1949) sin lagerteori som en anvendelig hypotese til forklaringen.

### 2.2.3.3 *Workings teori*

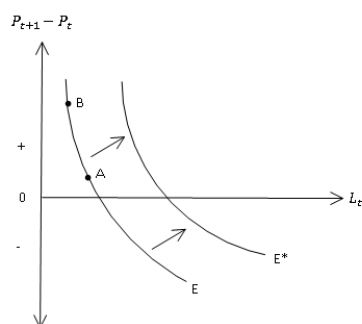
Prisforskjellen mellom futures- og spotpris, kan ifølge Working (1949) utledes:

$$F_{t,T} = S_t(1 + r_{t,T}) + W_{t,T} + C_{t,T} \quad (2.1)$$

Hvor  $F_{t,T}$  er futurespris på tidspunkt  $t$  for levering  $T$ ,  $S_t$  er spotpris,  $r_{t,T}$  er alternativkostnaden (renten),  $W_{t,T}$  er lagerkostnaden, og  $C_{t,T}$  convenience yield. Convenience yield er en fordel ved å holde den fysiske varen. Hvis dette forholdet ikke holder vil det være arbitrasje i markedet. Working uttrykte videre at prisforskjellen mellom to tidsperioder i futuresmarkedet avhenger av tilbud og etterspørsel etter lagerhold: Konsumet av et gode i en periode må tilsvare det som kommer inn fra lager fra sist periode  $L_{t-1}$ , pluss konsumet i nåværende perioden  $X_t$ , minus utgående lager  $L_t$ . Videre vil prisen,  $P_t$ , i periode  $t$  være en funksjon av konsumet,  $X_t$ , i periode  $t$ . Deriveres prisfunksjonen<sup>8</sup> med hensyn på konsumet, vil denne bli negativ. Dette refereres til som «the law of demand». Intuitivt, hvis utgående lagernivå for periode  $t$  faller, må konsumet i perioden ha økt. Ved økt konsum, vil prisen i periode  $t$  reduseres. I og med at utgående lager er redusert, vil lagernivået for neste periode være mindre, derfor vil prisen på  $P_{t+1}$  øke. Dette resulterer så i at spredningen mellom  $P_{t+1}$  og  $P_t$  blir større. I Figur 2.1 ser man at en reduksjon i  $L_t$  vil føre til en økning i prisdifferansen mellom  $P_{t+1}$  og  $P_t$  fra punkt A til punkt B. Skift i etterspørsel for lager kommer som følge av sjokk eller endringer i produksjonen  $X_t$ . Hvis  $X_t$  øker, vil etterspørselen etter lager øke, fordi det forventes at større kvanta må lagres til neste periode og  $L_t$  vil da øke. Et slik skift er vist under i Figur 2.1, hvor en økning i  $X_t$  gir et skift fra E til E\*.

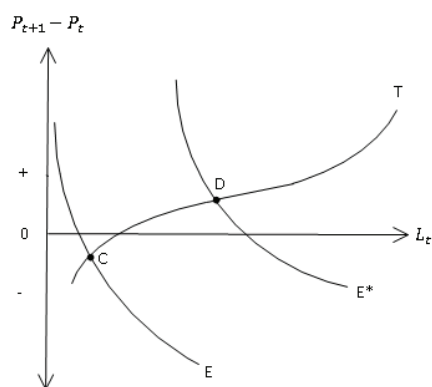
---

<sup>8</sup>  $P_t = f_t(X_t)$ .



Figur 2.1: Etterspørsel etter lager

Tilbudskurven for lager har sitt opphav i tre komponenter: Fysisk kostnad, risikoaversjon og marginal convenience yield. Den fysiske kostnaden for lager vil øke dersom  $L_t$  øker. Dette gjenspeiler den marginale kostnaden ved å holde et lager. Den risikoaverse faktoren henger sammen med at aktøren i lagermarkedet vil ha høyere avkastning for større lager. Den siste komponenten er marginal convenience yield. Dette er, som diskutert over, en negativ kostnad og vil derfor være en nedadgående kurve. Summeres disse tre faktorene til en tilbudskurve, vil man få en oppadgående kurve som flater ut på midten, for igjen å stige ved høy  $L_t$ . Dette vises i Figur 2.2 hvor tilbudskurven er markert med T. Hvis  $L_t$  er svært lav vil dette føre til lave lagerkostnader, lavt risikotillegg og høy convenience yield. Dette resulterer i en tilbudskurve som ligger lavere enn 0, punkt C, og det vil derfor være en negativ prisforskjell mellom  $P_{t+1}$  og  $P_t$ . Negativ basis refereres til som backwardation. I punkt D vil basisen være positiv og sies dermed å ligge i contango (Carter 2007).



Figur 2.2: Tilbud og etterspørsel etter lager

### 3 Litteratur om optimal hedging

I dette kapittelet gjengis tidligere forskningslitteratur om risikostyring av endringer i jetfuelprisen. Først tar jeg for meg tradisjonelle økonometriske modeller som ofte benyttes ved hedging. Videre ser jeg på forskning relatert til prisforholdet mellom råolje og andre raffineringssprodukter. Avslutningsvis tar jeg for meg tre nyere studier som omhandler optimal hedging av jetfuelprisen.

Det er gjort flere studier på optimal bruk av hedgingstrategier. Den mest kjente metoden for hedging med futureskontrakter, er en metode hvor det søkes hedgingrater som skal minimere variasjonen i det sikrede aktivum. En enkel hedgingportefølje med to aktivum, viser at optimal hedgingrate er kovariansen mellom prisen på futureskontrakten og spotprisen, dividert på variansen til futuresprisen (Leland 1960). I senere tid har flere og mer kompliserte hedgingrammeverk blitt undersøkt for å finne optimale hedgingrater. Likevel strides det blant forskere om hvilke tilnærminger som gir best resultat.

Moosa (2003) undersøker flere hedgingratemodeller for eksponering av spotprisen på aksjer og valuta. Blant modellene er en klassisk lineær regresjonsmodell, og to typer av «Error Correction Models (ECM)». Resultatene viser at det som er av betydning for om en hedge får positiv eller negativ effekt er korrelasjonen mellom prisen på den uhedgede posisjonen og hedginginstrumentet. Moosa viser at forskjellige modellspesifikasjoner ikke er av betydning i en sikringssituasjon, og viser til at klassisk lineær regresjon er like egnet til hedgingformål som de andre modellene omtalt over.

Lien (1996) undersøker sammenhengen mellom spot og futurespriser, og nødvendigheten å undersøke spot- og futuresforhold for kointegrasjon, før valg av modell i en hedgingsituasjon. Han finner at hedgingrate og hedgingeffektivitet kan endres hvis kointegrerte variabler uteblir fra den statistiske modellen. Lien og Luo (1994) viser også at kointegrasjonsammenhengen er en helt nødvendig komponent for å analysere ytelsen til ulike hedgingstrategier. Dette er i tråd med undersøkelsen til Ghosh (1993) som også viser at hedgingrater kan endres signifikant etter hvilken modell som benyttes. Klassisk lineær regresjon kritiseres for å ignorere kort- og langsiktinformasjon, som gjør at modellen kan gi feil estimater (Lien 1996).

Optimale hedgingrater kan også estimeres med modeller som ikke gir konstante hedgingrater. Kumar et al. (2008) og Yang og Allen (2005) har undersøkt optimale hedgingrater og

hedgingeffektivitet gjennom konstante- og tidsvarierende rammeverk i futuresmarkedet. Metodene som ble benyttet var «statisk regresjonsmodell med bruk av OLS<sup>9</sup>, «Vector Autoregressive Model (VAR)», «Vector Error Correction Model (VECM)» og «Multivariate Generalised Autoregressive Conditional Heteroscedasticity (MGARCH) model». VECM viste i begge analysene å være bedre enn OLS og VAR. Begge undersøkelsene konkluderte videre med at den multivariate GARCH-modellen reduserer variansen mest.

Det er grunn til å anta at det er kointegrasjon mellom spot- og futurespriser på det samme underliggende aktivum (Girma & Paulson 1999). Kointegrasjon i prisserier kan også oppstå mellom spot og et annen, korrelert underliggende aktivum. Asche et al. (2003) undersøkte prissammenhenger mellom råolje og andre raffinering produkter fra råolje. Analysen baserer seg på månedlige priser på råolje (brent) og raffinering produkter fra markedet i Rotterdam i perioden januar 1992 til november 2000. Kointegrasjonsanalyser benyttes som analyseverktøy til undersøkelse av prisene, da prisseriene er «ikke stasjonære<sup>10</sup>» og integrerte av samme størrelsesorden. Analysen indikerer kointegrasjon mellom blant annet råolje og henholdsvis diesel (gas oil) og jetfuel (kerosene). Westgaard et al. (2011) finner også sterk kointegrasjon mellom gas oil- og råoljefuturespriser.

Nascimento og Powell (2008) utarbeidet en hedgingtilnærming som søker både reduksjon av variasjon i jetfuelprisen og forventet kostnad til jetfuel<sup>11</sup>. Rammeverket aksepterer en høyere risiko for prisendringer hvis det reduserer forventede kostnader til jetfuel. Utredningen kombinerer dynamisk programmering og «Kalman filter estimation» for å oppnå optimale retningslinjer som minimerer forventede kostnader, samt holde variansen på lave nivåer. Ikke uventet finner Nascimento og Powell at ved høy toleranse for risiko, tas en mer spekulativ tilnærming i bruk, mens ved en mer risikoavers aktør vil tilnærmingen minne mer om en hedgings situasjon med lav varians, men der jetfuelkostnaden er høyere.

Bertus et al. (2009) analyserer ulike tilnærminger for sikring av jetfuelprisendringer. En uhedget posisjon, en naiv hedge, en tradisjonell minimumsvariasjonsmodell og en «Two-Factor Jump-Diffusion hedge», var de anvendte rammeverkene. Sistnevnte modell viste seg mest effektiv til å minimere prisrisiko, særlig ved lengere hedginghorisonter<sup>12</sup>.

---

<sup>9</sup> Ordinary Least Squares.

<sup>10</sup> En tidsserie hvor fordelingen ikke er konstant mellom tidsperioder.

<sup>11</sup> Hedging i råoljekontrakter.

<sup>12</sup> En hedginghorisont på 12 uker.

Adams og Gerner (2012) foretok en krysshedginganalyse av jetfuel, med bruk av et ECMGARCH-rammeverk, hvor det ble handlet forwardskontrakter fra OTC-markeder på råolje, fyringsolje og diesel<sup>13</sup>. For nærliggende kontrakter<sup>14</sup> viste det seg at diesel overgår de andre mulige sikringsproduktene i kryssikringseffektivitet. På kontrakter med mer enn tre måneder til forfall, vil effektiviteten til diesel avta i forhold til fyrings- og råoljenkontrakten<sup>15</sup>. Adams og Gerner konkluderer videre, i likhet med Bertus et al. (2009), at flyselskaper kan dra fordel av en veldesignet hedginghorisont, når man søker å eksponere seg mot risiko for endringer i jetfuelprisen.

---

<sup>13</sup> Gas Oil.

<sup>14</sup> En- og tremånederskontrakten.

<sup>15</sup> Både WTI og Brent.



## 4 Data og beskrivende statistikk

Innledningsvis vil jeg foreta en beskrivelse av råvarene og de anvendte futureskontraktene, som vil bli brukt til å estimere hedgingrater for sikring av jetfuelprisen. Beskrivende statistikk av råvarene vil så presenteres fra tidsperioden mellom januar 2000 og desember 2010. In-sample analysen som helhet, estimerer hedgingrater fra overnevnte periode, for senere å teste resultatene i perioden januar 2011 til desember 2012. Jeg anser det da som hensiktsmessig å kun presentere statistikken fra in-sample-perioden i dette kapitlet.

### 4.1 Data

Denne oppgaven tar utgangspunkt i futureskontrakter som hedginginstrument. Fordelen med futureskontrakter er at de omsettes på børs, er likvide og tillates å bli videre omsatt før kontrakten utløper. Ved sikring i futuresmarkedet vil det heller ikke være tilstedeværelse av motstandsrisiko. Den sentrale utfordringen med å sikre jetfuel med børsnoterte futureskontrakter er at kjøpet må skje på kontrakter av andre oljerelaterte produkter, da jetfuelfutures ikke omsettes på børs (Morrell & Swan 2006). Jetfuel-, WTI- og fyringsoljeprisene som anvendes i denne analysen er alle notert i amerikanske dollar. Grisse (2010) sin undersøkelse av korrelasjonen mellom WTI-prisene og dollarkursen indikerer at en økning i oljeprisen leder til depresiering av amerikanske dollar, mens en reduksjon i oljeprisen appresierer valutaen. For flyselskap som ikke er amerikanske, vil da også forholdet mellom lokal valuta og amerikanske dollar være relevant i en hedgingsituasjon. Valutarisiko vil ikke bli diskutert noe videre i denne oppgaven, og følgelig vil resultatene fra analysen trolig kunne relateres bedre til den amerikanske flyindustrien.

#### 4.1.1 Jetfuel

Jetfuel er en type drivstoff som brukes til jetmotorer og turbopropellfly, og er raffinerte typer av kerosene. Kerosene har et lavt frysepunkt, avgir lite eksos og egner seg godt til flybensin. Det finnes i hovedsak to typer drivstoff til fly, som begge går under betegnelsen jetfuel eller Aviation Turbine Fuel (ATF), nemlig Jet A og Jet A-1. Forskjellen mellom disse to er frysepunktet, der A har et frysepunkt på -40 grader, mens A-1 har frysepunkt på -47 grader. Jet A og Jet A-1 er produsert etter standardiserte internasjonale spesifikasjoner (mcxindia.com 2010). Utgangspunktet for jetfuel er råolje, hvor råoljen går gjennom en raffineringsprosess

og destilleres til kerosene. Av et fat olje bestående av 42 gallons, blir det blant annet utvunnet 19,5 gallon bensin, 9,2 gallon diesel og fyringsolje og 4,1 gallon kerosene. Kerosene skilles ut ved 200-250 grader celsius. Råoljeprisen er en sentral markedsfaktor for endringer i jetfuelprisen. Videre vil etterspørsel, vekst i passasjertrafikk og frakt, global økonomisk situasjon, og internasjonal handel være av vesentlig betydning for prisendringer på jetfuel (mcxindia 2008).

Ser man bort fra Tokyo Commodity Exchange (TOCOM) i Japan, omsettes det ikke jetfuel over børs. Da TOCOM er en liten børs med små volumer (tocom 2013), vil det være aktuelt for flyselskapene å sikre i andre korrelerte probukter på større og mer likvide børser. Skal flyselskapene sikre jetfuelprisen via børsrelaterte papirer må kjøpet foregå på råvarer hvor priskonjunkturerne er korrelerte. Mye anvendte kontrakter er råolje, enten WTI eller brent og fyringsolje (Nascimento & Powell 2008).

Jetfuelprisen som benyttes i denne avhandlingen er månedlige observasjoner på «Kerosene-Type Jet Fuel Spot Price - U.S. Gulf Coast», hvor prisen er oppgitt i dollar per gallon<sup>16</sup>.

#### **4.1.2 Råolje**

Råolje er i likhet med jetfuel utsatt for store prisendringer. Globale økonomiske hendelser, naturkatastrofer, valuta, geopolitiske hendelser, rentenivå, og endringer i pris på andre råvarer er blant sentrale påvirkningsfaktorer for råoljeprisen (mcxindia 2010). Prisen på råolje vil da følgelig, i større grad, styre prisen på raffinerte oljeprodukter. Korrelasjonen mellom jetfuel og ulike typer råolje, som brent, WTI og Dubai, gir bortimot like resultater. Jetfuelen som omtales i denne avhandlingen vil være U.S Gulf Coast Jetfuel, mens fyringsoljekontrakten, som belyses under, omsettes på NYMEX. Da direkte overførsel av priser mellom kontrakter på ICE og NYMEX ikke alltid er like anvendelig (Westgaard et al. 2011), anses det som mest hensiktsmessig å benytte WTI råoljen i denne analysen. WTI og brent har vært priset svært likt frem mot 2010. Det har de to siste årene utviklet seg en relativt stor prisdifferanse mellom de to råoljetyperne. I hovedtrekk kommer prisdifferansen som et resultat av at lagrene ved leveringsstedet for WTI, Cushing i Oklahoma, er fulle. Det er infrastrukturproblemer, særlig med rørledninger som frakter oljen til raffinierene ved Gulfen, som fører til problemer med distribusjonen (Saltvedt 2012).

---

<sup>16</sup> Data er hentet fra [www.quandl.com](http://www.quandl.com).

WTI kontraktene omsettes på New York Mercantile Exchange (NYMEX). Denne studien vil se på futureskontrakter med 1, 3, 6 og 12 måneder til forfall. Kontraktene har fysisk levering på forfallsdato med leveranse fra Cushing, Oklahoma. Hver kontrakt er på 1000 barrels (42 000 gallon)<sup>17</sup>.

### 4.1.3 Fyringsolje

Fyringsolje er i likhet med jetfuel, et raffinert produkt av råolje, og er tilnærmet det samme produktet som diesel. Diesel blir brukt som energikilde til flere typer kjøretøy, mens fyringsolje brukes til å varme opp hus og bygninger. Fyringsolje skiller seg i hovedtrekk fra diesel ved at det inneholder mer svovel. Et strengere svovelnivå krever ytterligere behandling for diesel, og er av den grunn ofte priset noe høyere enn fyringsolje. Fyringsoljeprisen styres i likhet med jetfuel i stor grad av endringene i råoljeprisen. Videre vil økt etterspørsel etter diesel, redusere produksjonen av fyringsolje, ettersom de to produktene er svært like og produseres samtidig, og dermed endre prisen. Lagernivå<sup>18</sup> og temperatur<sup>19</sup> er også markedsfaktorer som påvirker fyringsoljeprisen (mcxindia 2010).

Fyringsoljekontraktene i denne oppgaven omsettes på NYMEX og klassifiseres som «New York Harbor No.2. Heating Oil». Jeg vil se på kontrakter med forfall på 1, 3, 6 og 12 måneder<sup>20</sup>. Leveringen er fysisk og hver kontrakt tilsvarer 42000 gallon fyringsolje<sup>21</sup>.

---

<sup>17</sup> Data er hentet fra [www.quandl.com](http://www.quandl.com).

<sup>18</sup> Se Workings lagerteori i avsnitt 2.2.3.3.

<sup>19</sup> Etterspørselen etter fyringsolje er sesongavhengig, og prisen vil gjerne stige noe i vintermånedene.

<sup>20</sup> Omtales heretter som henholdsvis HO1, HO3, HO6 og HO12.

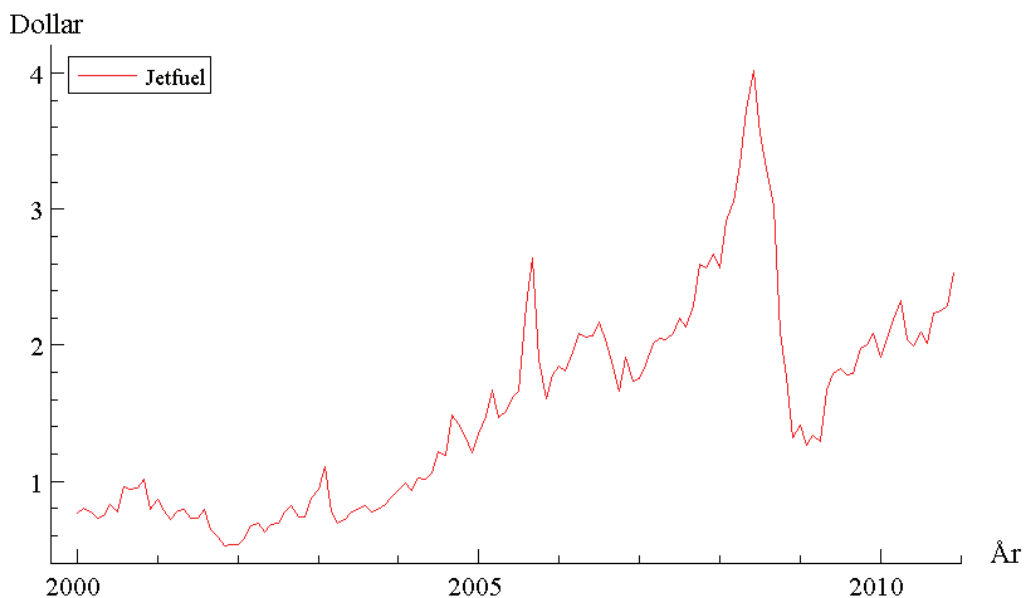
<sup>21</sup> Data er hentet fra [www.quandl.com](http://www.quandl.com).

## 4.2 Beskrivende statistikk

Presentasjonen under vil se på jetfuelprisen, med en kort analyse av prosentvise endringer. Videre vil historiske priser, korrelasjon og prosentvise endringer av jetfuel, WTI og fyringsolje fremstilles, før jeg ser på historisk volatilitet i datasettene. Avslutningsvis fremlegges historisk basis mellom de ulike kontraktslengdene.

### 4.2.1 Jetfuelprisen

Jetfuelprisen har økt dramatisk siden begynnelsen av år 2000. Figur 4.1 viser prisutviklingen i jetfuel for perioden januar 2000 til desember 2010. Jetfuelprisen har i perioden økt med 229 prosent, fra en pris på \$0,769 til \$2,528 per gallon. Grafen viser at prisen er volatil, og i perioder er endringene ekstreme. I tidsperioden januar 2007 (\$2,09) og juli 2008 (\$4,02)<sup>22</sup> økte prisen med 131 prosent, hvilket gir mer enn en dobling i prisen på ett og et halvt år. Prisfallet de seks etterfølgende månedene frem mot årsskiftet, fra høyestenotering på \$4,02, var på over 67 prosent.

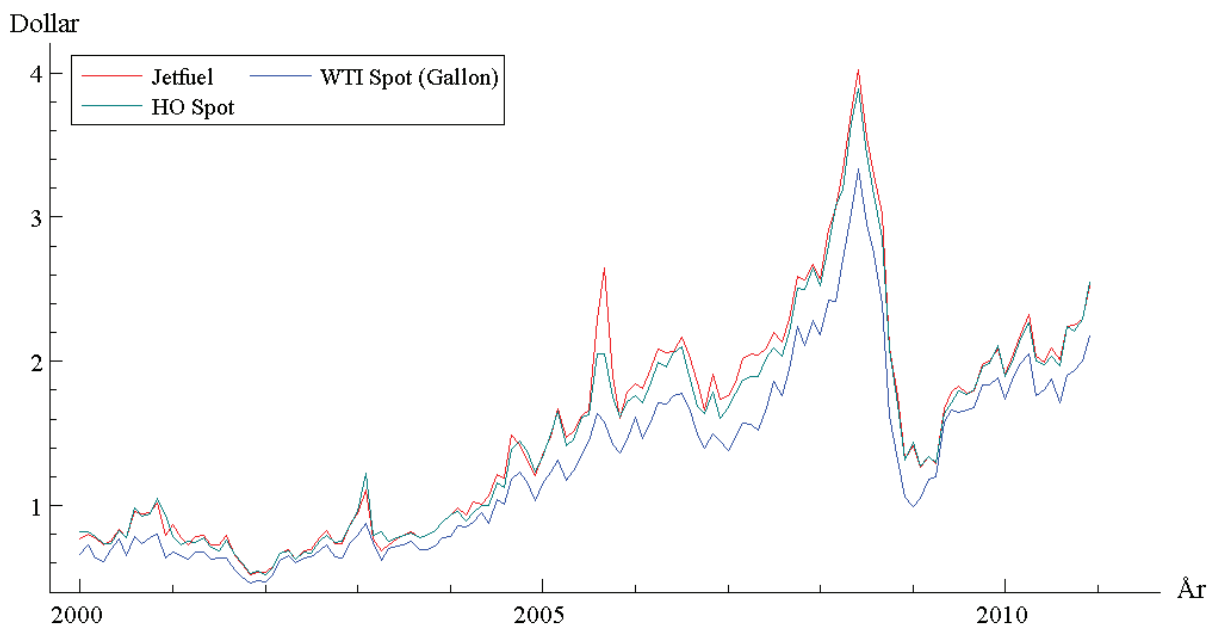


Figur 4.1: Jetfuelprisen i dollar

<sup>22</sup> Juli 2008 er den høyeste månedlige målingen i analyseperioden.

## 4.2.2 Korrelasjon

I Figur 4.2 vises spotprishistorikk for jetfuel, WTI og fyringsolje. Prisene på jetfuel og fyringsolje er opprinnelig gitt i dollar per gallon, mens WTI er oppgitt i dollar per barrel. Jeg har omregnet barrel til gallon<sup>23</sup>, slik at prishistorikken fremstår mer sammenlignbar. Grafen gir et bilde av en klar korrelasjonssammenheng mellom råvarene. I betydelige deler av tidsintervallet er jetfuel høyest priset. Forklaringen til tidvis høyere jetfuelpris ligger i at jetfuel er et finere raffinert produkt enn fyringsolje. WTI er som forventet tilnærmet alltid lavest priset av de tre råvarene, da dette ikke er et bearbeidet produkt i den forstand.



Figur 4.2: Jetfuel-, WTI- og fyringsoljeprisen i dollar

Tabell 4.1 viser korrelasjonssammenhengen mellom jetfuel, WTI og fyringsolje, men med utgangspunkt i prosentvise månedlige endringer.

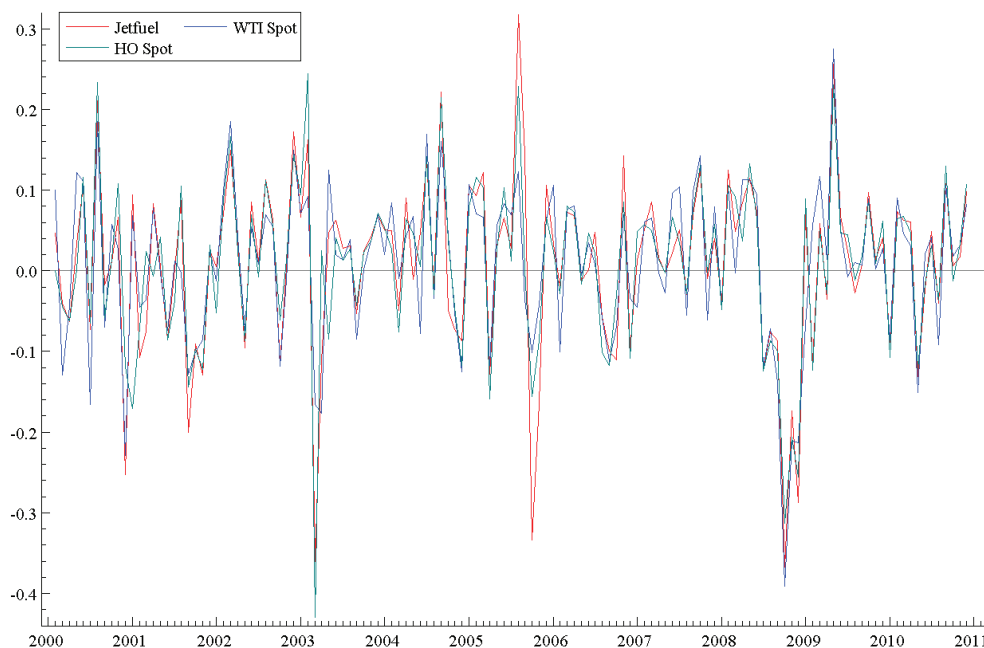
	Jetfuel	WTI Spot	HO Spot
Jetfuel	1.000	0.851	0.898
WTI Spot	0.851	1.000	0.796
HO Spot	0.898	0.796	1.000

Tabell 4.1: Korrelasjonsmatrise for månedlig prosentvis endring mellom jetfuel, WTI og fyringsolje

Korrelasjonsmatrisen viser at jetfuel korrelerer 0,898 med fyringsolje og noe lavere med WTI på 0,851. Sterk positiv korrelasjon mellom jetfuel og de to råvarene gjør at produktene er

<sup>23</sup> 1 US gallon = 0,0238095238\*oil barrel.

anvendelige til krysshedging. Da det ikke er noe perfekt korrelasjon, vil dog ikke forventingen til krysshedgen bli perfekt.

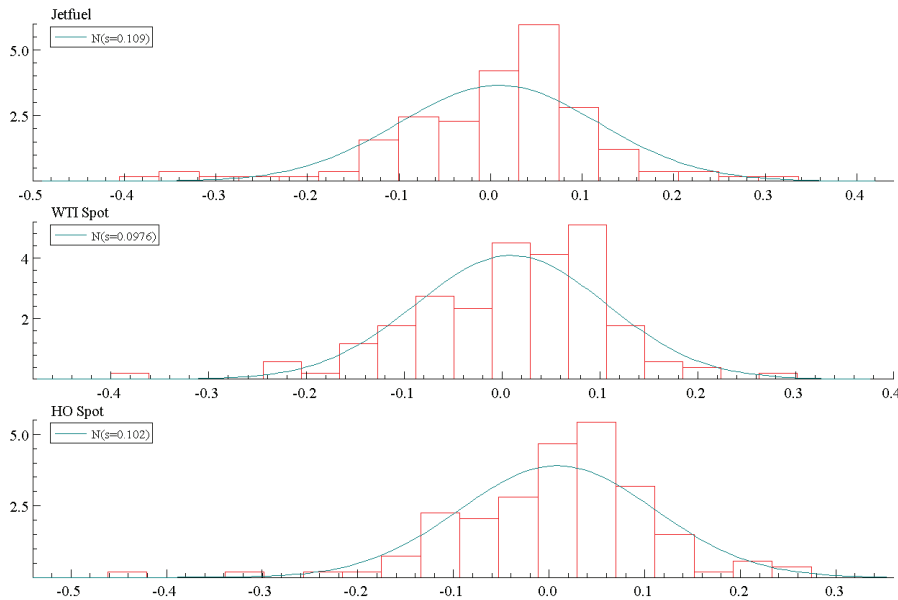


Figur 4.3: Prosentvis månedlig endring jetfuel, WTI og fyringsolje

Figur 4.3 gjengir et grafisk bilde av prosentvis, månedlig prisendring på oljeproduktene. Prisavvik på over 10 prosent observeres med kontinuitet gjennom tidsperioden, mens det tidvis er endringer på over 30 prosent. Prisvariasjonen i oljeproduktene over gjenspeiler diskusjonen rundt vurderingen av jetfuelhedging i kapittel 2.

### 4.2.3 Normalfordeling

Normalfordelingen til de prosentvise endringene vises i Figur 4.4 nedenfor. Den klokkeformede rette linjen gjennom figuren anviser normalfordelingen til endringene. Stolpene i samme figur viser den faktiske fordelingen.



Figur 4.4: Normalfordelingskurver av spotpris for jetfuel, WTI og fyringsolje

Resultatet viser at endringene i tidsseriene avviker fra normalfordelingen<sup>24</sup>. Samtlige råvarer viser tendenser til høye topper og fete haler. Dette indikerer at fordelingen er leptokurtic. Tabell 4.2 viser at tolkningen i Figur 4.4 stemmer. Kurtosen er sterk positiv<sup>25</sup>, og det er skjevhet i fordelingen.

	Skewness	Excess Kurtosis
Jetfuel	-0.819	2.007
WTI Spot	-0.707	1.397
HO Spot	-0.778	2.354

Tabell 4.2: Skjevhet og kurtose i prosentvise månedlige endringer

Resultatene fra analysen er forventet, da finansielle instrumenter har en tendens til å avvike fra normalfordelingen. Ut fra Figur 4.4, Tabell 4.2 og historisk volatilitet i prisene på jetfuel, WTI og fyringsolje, forventes at det ikke vil være normalitet i residualene fra

<sup>24</sup> Standardavviket som rapporteres i figuren er på månedlig basis. Når jeg opererer med risiko videre vil jeg henviser til årlig standardavvik. Dette omregnes enkelt ved å multiplisere månedlig standardavvik med roten av tolv.

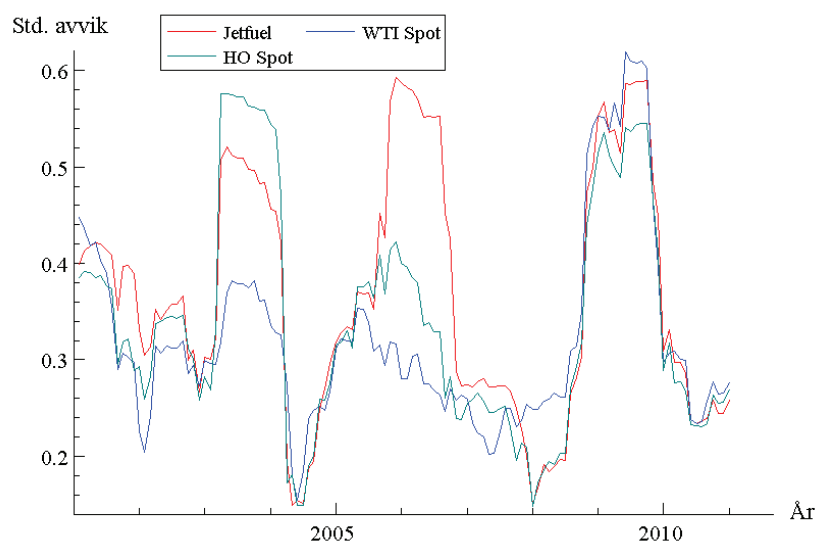
<sup>25</sup> Excess kurtose er kurtose justert for +3, der positiv excess kurtose viser leptokurtic fordeling.

regresjonsanalysene som skal gjennomføres i analysekapitlene. Avsnitt 2.2.3.1 diskuterte mulig metodikk rundt håndteringen av ikke-normalitet. Ifølge Brooks (2008) er det en grense for hvor mange dummyvariabler som kan medtas i modellen. Brooks anslår at for eksempelvis 252 månedlige observasjoner, bør det ikke være mer enn tre dummyvariabler i modellen. Datasettet i denne oppgaven er på 131 observasjoner, og jeg anser derfor maksimalt to dummyvariabler som relevant. Jeg testet så flere regresjoner hvor jeg inkluderte dummyvariabler for å dempe betydningen av ekstreme «outliers»<sup>26</sup>. Normalitetstesten ble bedre, men fremdeles forkastet. For å kunne oppnå normalitet i residualene må det inkluderes flere dummyvariabler. Jeg velger derfor å ikke fjerne ekstremobservasjoner i denne analysen, og følgelig vil det trolig ikke være normalitet i modellene som undersøkes.

I analysekapitlene vil det henvises til diagnostetester for normalitet. *Normality-testen* (Bera-Jarque) tester restleddet for skjevhet og kurtose. Under  $H_0$  er residualene normalfordelte. Dersom  $P < 0,05$  forkaster man hypotesen om at det er normalfordeling i restleddet.

#### 4.2.4 Volatilitet

Volatilitet måler graden av prisendringer i et aktivum over en tidsperiode. Figur 4.5 viser rullerende årlig standardavvik for spotprisene til jetfuel, WTI og fyringsolje<sup>27</sup>.



Figur 4.5: Rullerende årlig standardavvik av månedlig avkastning for jetfuel, WTI og fyringsolje

<sup>26</sup> Jeg testet blant annet regresjonen «Jetfuel-HO1» og «Jetfuel-HO6» med dummyvariabler for de to mest ekstreme residualene. Residualene med og uten dummyvariabel gjengis i figurform i Appendiks 1.

<sup>27</sup> Rulleringen skjer med standardavvik over tolv måneders.



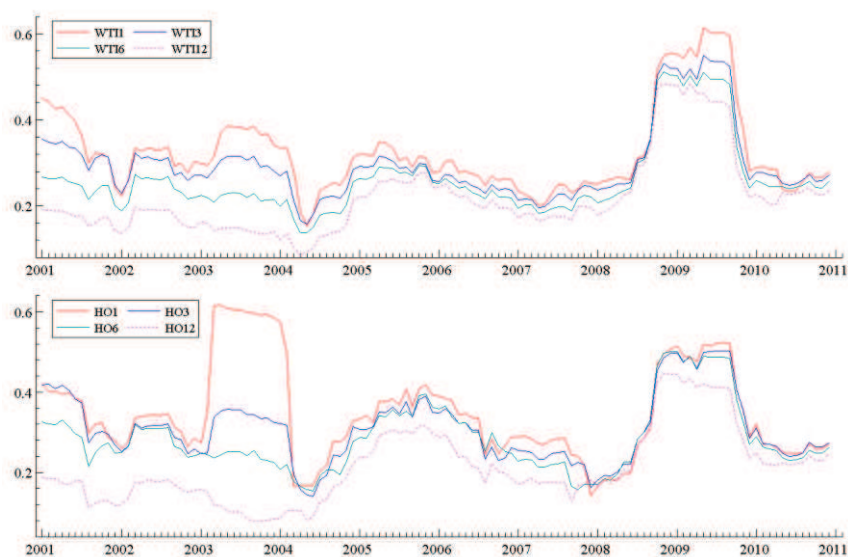
Jetfuel viser seg mest volatil sett hele perioden under ett, mens råolje holder seg noe lavere. Tredje topp i figuren viser markant høy volatilitet, og skiller seg fra de to resterende toppene, ved at råoljen er den mest volatile. Råoljen har tidligere holdt seg forholdsvis stabil når både jetfuel og fyringsolje har eskalert. Resultatet av volatilitetsøkningen i alle tre oljeproduktene kommer trolig av global økonomisk uro på dette tidspunktet.

	Std. Avvik
Jetfuel	0.380
WTI Spot	0.339
HO Spot	0.355

Tabell 4.3: Årlig standardavvik fra månedlige prisendringer for jetfuel, WTI og fyringsolje

Tabell 4.3 viser gjennomsnittlig årlig standardavvik av prisendringer på jetfuel, WTI og fyringsolje. Høyest volatilitet registreres i jetfuel, mens lavest for WTI. Avviket mellom råolje og de to raffinerte produktene skyldes muligens en noe mer elastisk pris for de to sistnevnte. Som diskutert i avsnitt 4.1 påvirkes også jetfuel og fyringsolje av andre markedsfaktorer, spesifikke til industrien, og kan således gi mer volatile prisendringer. Ved en dypere analyse av volatiliteten i utvalgte tidsperioder ser man at i perioden medio 2005 til medio 2007 er volatiliteten gjennomsnittlig 0,46, 0,25 og 0,31 for henholdsvis jetfuel, WTI og fyringsolje. I perioden fra finanskrisens start i august 2008 frem til 2011 er volatiliteten tilnærmet lik for alle råvarene, med verdier i overkant av 0,4.

Figur 4.6 under viser rullerende årlig standardavvik av månedlig avkastning for alle futureskontraktene som ligger til grunn for analysen i denne oppgaven.

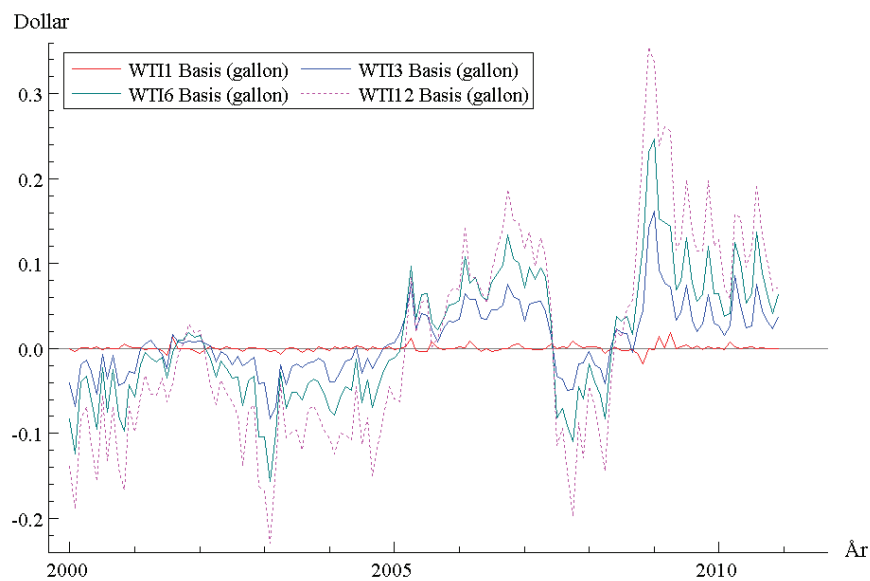


Figur 4.6: Rullerende årlig standardavvik av månedlig avkastning for WTI- og fyringsoljekontrakter

Avviket i volatilitet for de ulike forfallslengdene viser seg å være større for første del av analyseperioden. Ikke uventet øker volatiliteten til kontraktene jo nærmere man kommer forfallsdagen.

#### 4.2.5 Basis

Basis viser forskjellen mellom prisen på fjerne og nære kontrakter, eller mellom futureskontrakt og spotpris. Historiske priser på WTI- og fyringsoljekontraktene med 1, 3, 6 og 12 måneder til forfall er vist i Figur 4.7 og Figur 4.8



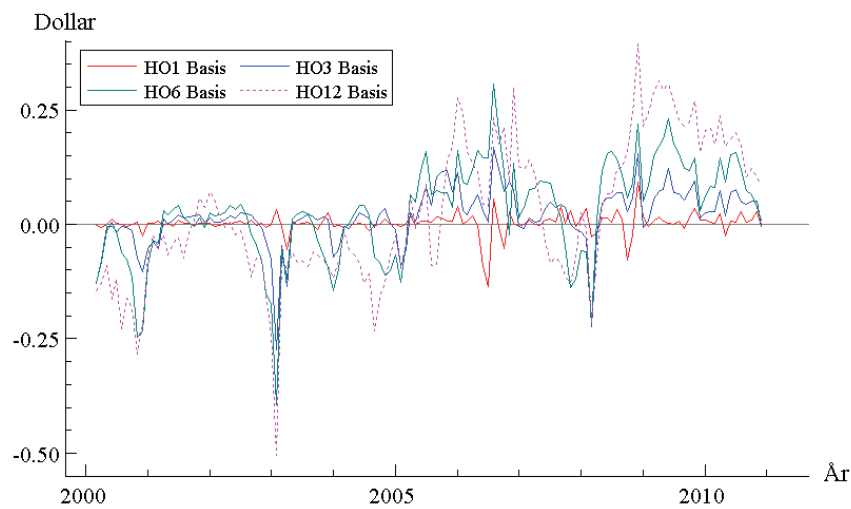
Figur 4.7: WTI futureskontrakter med 1, 3, 6 og 12 måneder til forfall

I figuren vises det at prisen på WTI<sup>28</sup> store deler av de fem første årene ligger i backwardation, mens det i 2009 og 2010 stort sett har ligget i contango. Ettersom basis trekkes mot spotpris når futures går mot forfall, vil avvikene mellom futures og spot trolig øke ettersom tidsavstanden øker. Ikke uventet vises frontkontrakten<sup>29</sup> å ha lave basisverdier, mens for tolv månederskontrakten er avvikene størst.

<sup>28</sup> Prisene er i likhet med over i avsnitt 4.2.2 omgjort fra barrel til gallon slik at WTI er mer sammenlignbart med fyringsolje.

<sup>29</sup> WTI 1.

Basisen for fyringsolje er vist i Figur 4.8. Her registreres noe større intervall i basisverdiene. Frontkontrakten viser seg, til tider, å avvike mer fra spot enn hva som observeres for WTI.



Figur 4.8: Fyringsolje futureskontrakter med 1, 3, 6 og 12 måneder til forfall

### 4.3 Oppsummering

I dette kapitlet beskrives råvarene og futureskontraktene på aktiva som skal benyttes i estimeringen av hedgingrater i denne oppgaven. Begge råvarene korrelerer sterkt med jetfuel, men fyringsolje har en tendens til å korrelere sterkere. Jetfuelprisen er i likhet med WTI og fyringsolje volatil i prisendringer, hvor det periodevis er svært høy volatilitet. Jetfuel, WTI og fyringsolje avviker fra normalfordelingen, og viser seg å ha en leptokurtic fordeling. Dette er forventet da finansielle instrumenter har en tendens til å avvike fra normalfordelingen. Kapitlet gjengir også historisk basis for WTI- og fyringsoljekontrakter med 1, 3, 6 og 12 måneder til forfall.

## 5 Økonometriske modeller for tidsseriedata

Regresjonsanalyser er sentrale statistiske modeller for empirisk analyse innen finansteori. Anvendelsen av regresjonsanalyse benyttes både til prognostisering, kovariansmatriser og for tilgang på informasjon ved portefølje- og risikostyring (Sollis 2012). Prisisikostyring ved bruk av derivater er en arena som tett undersøkes. Hedgingavgjørelser gjennom handel av futureskontrakter streber å finne optimale hedgingrater og hedgingeffektivitet. Det er gjennomført mye forskning på dette området, og av litteraturkapitlet kommer det frem usikkerhet blant forskere angående hvilke modeller som bør ligge til grunn for slike avgjørelser. Det er flere metoder for å estimere hedgingrater. Klassisk lineær regresjonsmodell, med og uten etterslep<sup>30</sup>, «Error Correction Models (ECM)», «Vector Autoregressive Models (VAR)» og «Vector Error Correction Models (VECM)» er alle anvendte modeller til estimering av konstante rater. ECM og VECM tar i tillegg hensyn til langtidslikevekten mellom variablene under estimeringen.

Dette kapitlet vil argumentere for valg av metode, og redegjøre for de antakelser som ligger til grunn i denne avhandlingen. Videre fremlegges økonometrisk metodikk som vil anvendes i analysekapitlet. Oxmetrics og Excel er programvarene som benyttes for alle beregninger i denne oppgaven.

### 5.1 Antakelser og argumentasjon for metode

Med bakgrunn i argumentene til Lien (1996), og Moosa (2003) ønsker jeg å utvikle sikringstrategier med hensyn på en klassisk lineær regresjonsmodell (CLRM), og en med bruk av feilkorrigeringsmodeller. Grunnet antall strategier med tilhørende futureskontrakter, og interesse for å sammenligne en enkel og en mer kompleks modell, velger jeg under CLRM å benytte en statisk modell som ikke inkluderer etterslep i variablene. Jeg skal også analysere hedgingrater med utgangspunkt i en feilkorrigeringsmodell. Da jeg både skal undersøke en futureskontrakt og kombinasjoner av futureskontrakter vil, ifølge Brooks (2008) og Sollis (2012), en vektormodell være fordelaktig, og følgelig utvider jeg en ECM til en VECM.

Likviditeten til fyringsoljefutures har en tendens til å avta betraktelig for kontrakter med forfall lengre enn seks måneder (Adams og Gerner 2012), mens råoljen svekkes signifikant

---

<sup>30</sup> Omtales som «lag» på engelsk. Heretter omtales «lag» som «etterslep» i selve teksten, men det engelske begrepet vil bli brukt i figurer og tabeller.

for leveringer på mer enn ett år (Morrell & Swan 2006). Hvis hedginghorisonten er lenger enn forfallslengden på likvide kontrakter<sup>31</sup>, kan det vær hensiktsmessig å rullere kontraktene. Resultatet av rulleringen er at man lager en langsiktig hedge med korte likvide kontrakter (Hull 2011). En vanlig praksis er ifølge Hull (2011) å inngå ønskelige kontrakter som skal sikre eksponeringen gjennom hedgingperioden, sitte med kontraktporteføljen til månedens slutt, for så å rullere dem inn i nye «1-måneders hedgingporteføljer». Praksisen følger så videre ut ønsket hedginghorisont. Tidligere jetfuelhedgingundersøkelser av Bertus et al. (2009) og Adams og Gerner (2012) tester hedgingrater med hedginghorisonter lik forfallslengden til kontraktene. Begge undersøkelsene konkluderer med at optimal eksponering av jetfuelprisen avhenger av sikringshorisont. Videre konkluderte Adams og Gerner (2012) med at optimalt eksponeringsaktivum også varierer med sikringshorisonten. Sentralt for denne oppgaven er å kombinere futureskontrakter, både etter råvaretype og forfallslengde, og undersøke hedgingrater ved å se på priskarakteristikk i råvarene. Jeg anser det som hensiktsmessig å etablere hedgingstrategier ved å handle en eller flere kontrakter med hyppige rullinger. Jeg velger å ta utgangspunkt i kontrakter på WTI og fyringsolje med 1, 3, 6 og 12 måneder<sup>32</sup> til forfall. Kontraktlengdenes korrelasjon med jetfuel, produktegenskaper og likviditet, som nevnt over, er grunnlaget for valget, og jeg antar at disse kontraktene er anvendelige til å forklare endringer i jetfuelprisen. Da kontraktslengdene som inngår i analysen er på en måned eller mer, vil hedgingporteføljen rulleres hver måned, uavhengig av lengden på kontrakten.

Den statiske regresjonsmodellen under CLRM antas å ha autokorrelasjon i restleddene. Da jeg ønsker å sammenligne strategier mellom en enkel statistisk modell og en mer avansert dynamisk modell, velger jeg å løse problemet med autokorrelasjon i residualene under CLRM med å bruke «Heteroskedasticity and Autocorrelation Consistent Standard Errors (HACSE)»<sup>33</sup>. VECM som benyttes i det andre analysekapittelet, er en dynamisk modell, og vil således anvende etterslep for å korrigere for autokorrelasjon.

---

<sup>31</sup> Mindre likvide finansielle instrumenter kan avvike fra teoretisk verdi, og har en tendens til å ikke respondere på samme måte med sjokk i markedet (Hull 2011).

<sup>32</sup> 12 månederskontrakten til fyringsolje anses ikke som en likvid kontrakt, men medtas som et sammenligningsgrunnlag, og fordi 12 månederskontrakten på WTI inngår i analysen.

<sup>33</sup> HACSE forklares nærmere i avsnittet om autokorrelasjon.

## 5.2 Uhedget og hedget posisjon

Hedging har som mål å kompensere for endringer i spotmarkedet med endringer fra futuresmarkedet, og dermed minimere risiko for prisendringer. Avkastingen fra en uhedget og hedget portefølje kan skrives slik:

$$R_u = (S_{t+i} - S_t) \quad (5.1)$$

$$R_h = (F_{t+i} - F_t) * h - (S_{t+i} - S_t) \quad (5.2)$$

hvor  $R$  er avkastning,  $(S_{t+i} - S_t)$  er endring i spotpris,  $(F_{t+i} - F_t)$  er endring i futurespris,  $i$  er hedginghorisonten og  $h$  er hedgingraten.

## 5.3 Klassisk lineær regresjonsanalyse for tidsseriedata (CLRM)

Regresjonsanalyse er en kvantitativ tilnærming av sammenhenger mellom en avhengig variabel, og en eller flere forklarende variabler<sup>34</sup>. Metoden skal uttrykke hvordan en variabel endrer seg som en funksjon av andre variabler (Wooldridge 2009). Hedgingrater beregnes vanligvis med bruk av regresjonsanalyse. Her vil spotprisen være den avhengige variabelen og futuresprisen den forklarende variabelen:

$$S_t = \alpha + \beta F_t + \varepsilon_t, t = 1, 2, \dots, n. \quad (5.3)$$

hvor  $S_t$  er den avhengige variabelen,  $\alpha$  er konstantleddet,  $F_t$  er den forklarende variabelen,  $\beta$  er regresjonskoeffisienten, og  $\varepsilon_t$  er residualen (feilleddet). Regresjonsanalyse kan benyttes til å finne den optimale hedgingraten og hedgingeffektiviteten til et derivat.

Da jeg ønsker å se på prosentvise endringer i pris, settes

$$\Delta S_t = \alpha + \beta \Delta F_t + \varepsilon_t, t = 1, 2, \dots, n. \quad (5.4)$$

hvor  $\Delta S_t$  og  $\Delta F_t$  er prosentvise endringer i prisen mellom to perioder  $P_t - P_{t-1}$  og beregnes med logaritmiske prisendringer  $\ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right)$ . Modellen konstruerer en regresjonslinje som tilpasser seg fra endringen i spotprisen,  $\Delta S_t$ , og endringene i futuresprisen,  $\Delta F_t$ . For å predikere beste estimat for  $\alpha$  og  $\beta$  ønsker man at avstanden mellom anslått- og observert

---

<sup>34</sup> Uavhengige variabler.

verdi, residualene ( $\varepsilon_t$ ), av spotprisen skal være minst mulig. Minste kvadrat metode (OLS<sup>35</sup>) estimerer kvadratsummen av residualene og gjør disse minst mulig:

$$\sum_{i=1}^n \hat{\varepsilon}_i^2 = \sum_{i=1}^n (S_i - \hat{\alpha} - \hat{\beta}F_i)^2 \quad (5.5)$$

Minste kvadrats regresjonslinje predikerer verdien av spotprisen med endringene i uavhengig variabel, hvor estimerte parametere oppnås med bruk av OLS.

Stigningstallet  $\beta$  kan tolkes som minimum varians hedgingrate til regresjonslinjen i 5.4.

Estimert  $\beta$  er kovariansen mellom spot og futures, dividert på variasjonen til futureskontrakten:

$$\hat{\beta} = \frac{Cov(\Delta S_t, \Delta F_t)}{Var(\Delta F_t)} \quad (5.6)$$

$R^2$  viser hvor mye av variasjonen i futureskontraktene som forklarer endringen i jetfuelprisen. Den resterende andelen  $1-R^2$  er variasjon som ikke kan forklares ut fra futureskontrakten.  $R^2$  kan uttrykke større forklaringsgrad som et resultat av at det tillegges flere forklaringsvariabler i modellen, selv om disse ikke har noe forklaringskraft.  $R^2$  refereres til som hedgingeffektiviteten, og forholdstallet viser prosentvis reduksjon i prisvariansen som oppnås som følge av valgt hedgingrate:

$$R^2 = \frac{Var(U) - Var(H)}{Var(U)} \quad (5.7)$$

hvor  $Var(U)$  er variasjonen til den uhedgede posisjone og  $Var(H)$  er variasjonen til den hedgede posisjonen (Sollis 2012).

---

<sup>35</sup> Ordinary Least Squares.

### 5.3.1 Antakelser for klassisk lineær regresjonsmodell (CLRM)

Forutsetningene for klassisk lineær regresjonsmodell (CLRM) er som følger (Wooldridge 2009):

(1) Tidsserieprosess følger en modell som er lineær i parameterne:

$$(x_{t1}, x_{t2}, \dots, x_{tj}, y_t): t = 1, 2, \dots, n.$$

(2) Ingen eksakt lineær sammenheng mellom uavhengige variabler, hvilket vil si at det ikke er perfekt kolinearit.

(3) Forventet verdi av feilleddet er lik null,  $E(\varepsilon_t) = 0$

Under antakelse (1), (2) og (3) vil OLS estimatorene være forventningsrette med OLS, hvor  $E(\hat{\beta}_t) = \beta_t, t = 1, 2, \dots, n.$

(4) Feilleddet  $\varepsilon_t$  er homoskedastisk<sup>36</sup>,  $Var(\varepsilon_t) = \sigma^2.$

(5) Ingen autokorrelasjon<sup>37</sup>,  $Cov(\varepsilon_t, \varepsilon_s) = 0.$

Under antakelsen (1) til (5) er OLS den beste lineære forventningsrette estimatoren (BLUE)<sup>38</sup> og uttrykker det, blant alle forventningsrette estimat, med minst varians.

(6) Siste antakelse er normalitet, hvor feilleddet er normalfordelt med gjennomsnitt null, og konstant varians  $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$  (Wooldridge 2009).

Antakelse (1) til (6) gjør OLS estimatene normalfordelte, der t-statistikk og F-test kan benyttes:

$$t - test = \frac{\hat{\beta}_i - \beta_i}{se(\hat{\beta}_i)} \quad (5.8)$$

$$F - test = \frac{(RSS_r - RSS_{ur})/q}{RSS_{ur}/(T-k)} \quad (5.9)$$

---

<sup>36</sup> Diskuteres i avsnitt 5.5.

<sup>37</sup> Korrelasjonen til feilleddet er lik null. Autokorrelasjon diskuteres i avsnitt 5.4.

<sup>38</sup> Best Linear Unbiased Estimator.



## 5.4 Autokorrelasjon i tidsserieanalyse

Regresjonsmodeller kan lede til autokorrelasjon i feilledet, og man vil da få statistiske problemer med effektiviteten av resultatene, da OLS ikke lenger er BLUE. Under autokorrelasjon er det mulighet for feilaktig å konkludere om en variabel er en viktig faktor for variasjonen i den avhengige variabelen. I en situasjon med positiv autokorrelasjon i residualene, vil «OLS standard error» estimater undervurdere virkelig variabilitet. Dette resulterer i en tendens til å forkaste nullhypotesen, når den i utgangspunktet er korrekt. Utfordringene over kan håndteres med «standard errors» som er konsistent under tilstedeværelse av autokorrelasjon og heteroskedastisitet i residualene, kalt «Heteroskedasticity and Autocorrelation Consistent Standard Errors (HACSE)». Bruk av modifiserte standardfeil er en av flere mulige tilnærminger for håndtering av autokorrelasjon i residualene (Brooks 2008). HACSE som beregnes i Oxmetrics følger rammeverket til Andrews (1991), og prosedyren vil bli benyttet for å korrigere for autokorrelasjon i restleddene i den statiske regresjonsanalysen i kapittel 6.

En alternativ metode for å håndtere autokorrelasjonsproblemer, er å gjøre modellen dynamisk ved å tillegge etterslep i de forklarende variablene, eller i både avhengig og forklarende variabel. Med bakgrunn i de nye estimatene kan en langsiktig statisk likevektsløsning bregnes. Å tillegge etterslep i modellen kan også fange opp sentral dynamisk struktur i de forklarende variablene, som tendenser til treghet eller overreaksjoner. «Autoregressive Distribution Lag (ADL)» modeller som inkluderer etterslep i både avhengig og uavhengig variabel, bærer likheter med feilkorrigeringsmodellene som skal analysere hedgingrater i den andre analysedelen i denne oppgaven. Følgelig vil da problemer med autokorrelasjon i residualene håndteres med å inkludere etterslep i analysekapittel 7 (Brooks 2008).

Det er flere metoder som tester for autokorrelasjon. En vanlig modell er en enkel AR(1):

$$\varepsilon_t = \rho \varepsilon_{t-1} + u_t, \quad u_t \sim IID(0, \sigma_\varepsilon^2)^{39} \quad (5.10)$$

hvor  $\varepsilon_t$  er feilledet fra regresjonen. Det antas at  $|\rho| < 1$ . Under  $\rho = 0$  forekommer ingen autokorrelasjon. Hvis  $\rho \neq 0$ , har  $\varepsilon_t$  en tendens til å korrelere med tidligere tidspunkt  $\varepsilon_{t-1}$  (Wooldridge 2009). I analysekapittelet vil det henvises til diagnostetester. Her vil en AR-test anslå hvorvidt det er seriekorrelasjon i restleddet. AR-testen i formel 5.10 tester kun første ordens autokorrelasjon. I Oxmetrics testes autokorrelasjon i restleddet (AR-testen) med

---

<sup>39</sup> Independent and identically distributed (IID).

utgangspunkt i «Lagrange-multiplier» som også kan teste for høyere orden av autokorrelasjon. Under  $H_0$  er det ingen autokorrelasjon. Hvis  $P < 0,05$  forkastes hypotesen om «ingen autokorrelasjon».

## 5.5 Heteroskedastisitet i tidsserieanalyse

Den fjerde antakelsen under CLRM krever at variasjonen i feilledet er konstant for at modellen skal være BLUE. En «Autoregressive Conditional Heteroscedasticity (ARCH)» test tester for mønster over tid i de kvadrerte residualene, hvilket indikerer om det er heteroskedastisitet i tidsseriene. En test for slike ARCH-effekter gjøres ved å kjøre en lineær regresjon, og deretter lagre residualene. Residualene kvadreres, og antall etterslep velges:

$$\hat{\varepsilon}_t^2 = \gamma_0 + \gamma_1 \hat{\varepsilon}_{t-1}^2 + \gamma_2 \hat{\varepsilon}_{t-2}^2 + \dots + \gamma_q \hat{\varepsilon}_{t-q}^2 + u_t \quad (5.11)$$

En F-test tester koeffisientene under  $H_0: \gamma_1 = 0, \gamma_2 = 0, \dots, \gamma_q = 0$ , som anslår ingen heteroskedastisitet. Alternativhypotesen tester for om koeffisientene skiller seg fra null (Brooks 2008). Når man tester for ARCH-effekter må det ikke være autokorrelasjon i feilledet. Hvis det er autokorrelasjon i modellen, vil ARCH-testen kunne gi ugyldige resultater (Wooldridge 2009).

I likhet med test for normalfordeling og autokorrelasjon, vil det vedligge en diagnosetest til analyseresultatene i kapittel 6 og 7, som tester seriekorrelasjon i restleddvariansen (ARCH). Under  $H_0$  er det ingen ARCH-effekter. Ved  $P < 0,05$  forkastes at det ikke er ARCH-effekter.

## 5.6 Kointegrasjon og feilkorrigeringsmodeller

I et velfungerende marked vil forventningen til endring av spot- og futurespris<sup>40</sup> på et finansielt aktivum, være tilnærmet perfekt korrelert og påvirkes av lik informasjon i markedet. Endringer i spot- og futurespris antas å skjer på samme tidspunkt, nåværende endringer i futuresprisen avhenger ikke av tidligere endringer i spotprisen, og nåværende endringer i spotprisen er antatt å ikke relateres til tidligere endringer i futuresprisen (Brooks 2008). Logaritmiske prisserier til spot og futures er forventet å ha en enhetsrot, mens endringene i log-prisene forventes å være stasjonære<sup>41</sup>. Avkastingsseriene som benyttes i denne

<sup>40</sup> Gjelder også endringer i log av spot- og futurespris.

<sup>41</sup> Stasjonærhet og enhetsrøtter beskrives senere i kapitlet.

avhandlingen vil derfor trolig være gyldige. Da jetfuel, WTI og fyringsolje er svært like produkter og korrelere høyt i prisendringer, vil trolig prisendringene på råvarene også avhenge av lik markedsinformasjon. Ved signifikant kointegrasjon mellom logaritmiske jetfuel- og futurespriser, vil det være mulig å inkludere det kortsiktige avviket fra langtidslikevektsforhold mellom variablene i regresjonsmodellen for prosentvise endringer. En «Error Correction Model (ECM)» kan nå benyttes for å modellere endringer i spotprisen og estimere hedgingrater. ECM kan videre utvikles til en vektor ECM, som er en sterkere feilkorrigeringsmodell når flere variabler inkluderes (Brooks 2008).

### 5.6.1 Stasjonære og ikke-stasjonære tidsserier

Stasjonære tidsserier skiller seg fra ikke-stasjonære ved at sannsynlighetsfordelingen ikke endres over tid for førstnevnte, der gjennomsnitt og varians er konstant. Før man kan teste for kointegrasjon mellom tidsseriene, må det undersøkes hvorvidt variablene er stasjonære eller ikke-stasjonære. Eksempelvis vil en tidsserie,  $y_t$ , som generer en «random walk<sup>42</sup>» modell være ikke-stasjonær<sup>43</sup> (Wooldridge 2009):

$$y_t = y_{t-1} + \varepsilon_t \quad \varepsilon_t \sim IID(0, \sigma_\varepsilon^2) \quad (5.12)$$

Granger og Newbold (1974) viste i et simuleringseksperiment, at ved ikke-stasjonærhet i modellen, vil t-statistikk og forklaringsgraden,  $R^2$ , kunne vise sterkere signifikans og høyere  $R^2$  verdier, enn hva som virkelig eksisterte. Overnevnte teoretikere argumenterte videre for at løsningen var å differensiere ikke-stasjonære prosesser. Differensiering er en transformasjon som får en prosess stasjonær fra en ikke-stasjonær. Stasjonære prosesser er integrert av orden null,  $I(0)$ .  $I(0)$  vil si at ingenting må gjøres med den før regresjonsanalyser kan anvendes. En ikke-stasjonær serie må differensieres  $d$  antall ganger for å bli stasjonær, og sies å være integrert av ordre  $d$ . En serie som er ikke-stasjonær, men hvor den førstedifferensierte av serien er stasjonær, sies å være integrert av første orden,  $I(1)$ , og inneholder således en enhetsrot (Brooks 2008).

<sup>42</sup> «Random walk» er en tidsserieprosess hvor verdien i perioden er lik forrige periodes verdi, pluss feilledet. Modellen i 5.12, er kun en av flere typer ikke-stasjonære prosesser.

<sup>43</sup> Test for stasjonærhet beskrives under avsnitt 5.6.2.

### 5.6.2 Dickey og Fuller (DF) test for enhetsrøtter

Dickey og Fuller (1979) beviste at kritiske verdier ved t-distribusjon under test for stasjonærhet, kan gi økt sannsynlighet for feilforkasting av nullhypotesen. DF utviklet så egne kritiske verdier og test for stasjonærhet.

$$y_t = \phi y_{t-1} + \varepsilon_t \quad \varepsilon_t \sim IID(0, \sigma_\varepsilon^2) \quad (5.13)$$

Under nullhypotesen,  $\phi = 1$ , følger  $y_t$  en enhetsrot. Den alternative hypotesen  $\phi < 1$  viser til stasjonærhet, fordi  $Corr(y_t, y_{t+h}) = \phi^h \rightarrow 0$  når  $\phi < 1$ . I realiteten betyr dette at nullhypotesen tester om tidsserien er  $I(1)$ , mens alternativhypotesen tester om tidsserien er  $I(0)$ .

En hensiktsmessig måte å teste for enhetsrøtter er å trekke  $y_{t-1}$  fra begge sider av formel 5.13 og definerer  $\psi = (\phi - 1)$ .

$$\Delta y_t = (\phi - 1)y_{t-1} + \varepsilon_t = \psi y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (5.14)$$

Nullhypotesen  $\psi = 0$ <sup>44</sup> kan testes under  $t = \frac{\hat{\psi}}{(se\hat{\psi})}$

Formel 5.14 kan utvides med en konstant og et trendelement:

$$\Delta y_t = \mu + \gamma t + \psi y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (5.15)$$

hvor  $\mu$  er konstant og  $\gamma$  uttrykker hvorvidt det er en positiv eller negativ trendvariabel  $t$ .

Hvis  $\varepsilon_t$  er autokorrelert, er DF-testen over ikke gyldig, og en utvidet DF-test bør benyttes:

$$\Delta y_t = \mu + \psi y_{t-1} + \sum_{i=1}^k \alpha_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (5.16)$$

Inkluderingen av etterslep i testen fra formel 5.16, vil rydde opp i problemer rettet mot autokorrelasjon (Brooks 2008).

---

<sup>44</sup> Ekvivalent med  $H_0, \phi = 1$ , fra 5.13.

### 5.6.3 Kointegrasjon

Gitt to variabler,  $y_t$  og  $x_t$ , hvor begge er  $I(1)$  prosesser, og  $y_t - \beta x_t$  er en  $I(0)$  prosess, vil  $y_t$  og  $x_t$  være kointegrerte. Kointegrasjon kan tolkes som at det er en langtidssammenheng mellom variablene, og kan være svært nyttig under etablering av regresjoner (Wooldridge 2009).

Test for kointegrasjon som involverer estimering av en regresjonsmodell med bruk av OLS<sup>45</sup>, for så å teste for enhetsrøtter i feilleddet, er en mye anvendt metode. Først estimeres  $y_t$  og  $x_t$  med bruk av OLS (5.17) for så å lagre residualene (5.18).

$$y_t = \beta_1 x_t + \varepsilon_t \quad (5.17)$$

$$\hat{\varepsilon}_t = y_t - \hat{\beta} x_t \quad (5.18)$$

Testing for enhetsrøtter i residualene kan gjøres under DF-rammeverket, vist over i avsnitt 5.6.2:

$$\Delta \hat{\varepsilon}_t = \psi \hat{\varepsilon}_{t-1} + u_t \quad (5.19)$$

Nullhypotesen  $\psi = 0$ <sup>46</sup> antyder ingen kointegrasjon, mens  $\psi < 0$  viser til kointegrasjon.  $t$ -statistikk testes ved  $= \frac{\hat{\Psi}}{(se\hat{\Psi})}$  (Sollis 2012).

### 5.6.4 Error Correction Model (ECM)

Engle og Granger (1987) viste at der hvor kointegrasjon er funnet, kan man formulere en dynamisk modell som kalles for «Error Correction Model (ECM)»<sup>47</sup>:

$$\Delta y_t = \gamma \Delta x_t + \delta (y_{t-1} - \beta x_{t-1}) + u_t \quad (5.20)$$

$$\Delta y_t = \gamma \Delta x_t + \delta \hat{\varepsilon}_{t-1} + u_t \quad (5.21)$$

hvor  $\delta$  viser justeringshastigheten til «Error Correction Term (ECT)», og måler det kortsiktige avviket fra langtidslivevektsforholdet mellom jetfuel- og futuresprisen. Den stasjonære, lineære kombinasjonen av ikke-stasjonære variabler,  $[1 - \hat{\beta}]$  fra 5.20, kalles for den kointegrerte vektor. ECM gjør at den avhengige variabelen kan justeres med den langsiktige

<sup>45</sup> En regresjon der variablene er  $I(1)$ .

<sup>46</sup> Ekvivalent med  $H_0, \phi = 1$ , fra 5.13.

<sup>47</sup>  $u_t$  er nå feilleddet, da  $\delta \hat{\varepsilon}_{t-1}$  nå er ECT.

likevekten mellom prisseriene, gjennom feilledet til likevektsforholdet. Alle variablene i ECM er stasjonære, da  $I(1)$  er gitt i førstedifferensieringsform, og det tidsetterslepene feilledet  $\hat{\varepsilon}_{t-1}$  er stasjonært gitt antakelsene for kointegrasjon. Dette gir opphav til statistisk inferens som gir mulighet for t-test, F-test samt tester for heteroskedastisitet og autokorrelasjon. I praksis vil ofte en ECM som vist i 5.21 inkludere etterslep av  $\Delta y_t$  og  $\Delta x_t$  på høyere side av ligningen istedenfor  $\Delta x_t$  (Sollis 2012).

### 5.6.5 Vector Error Correction Model (VECM)

ECM kan utvides videre til en vektor ECM. Dette er en mer fleksibel og avansert modell som kan benyttes ved en og flere forklarende variabler<sup>48</sup>. ECM som vist i formel 5.21 finner kun én kointegrert sammenheng, uavhengig av antall variabler i systemet. Svakheten under ECM retter seg her mot hvorvidt modellen finner den optimale kointegrerte sammenhengen mellom variablene, når det er mulighet for flere kointegrerte sammenhenger. Det kan være andre lineære kombinasjoner som bedre forklarer variasjonen i variabler enn under den bivariate OLS-regresjon. Utfordringene med ECM kan som nevnt løses ved bruk av en kointegrasjonstilnærming som tillater beslutsomhet med flere kointegrerte sammenhenger. En slik tilnærming er Johansens metode (Brooks 2008). For å kunne benytte Johansens test formuleres en «Vector Error Correction Model (VECM)» (Sollis 2012):

$$\Delta Y_t = \Gamma_1 \Delta Y_{t-1} + \Gamma_2 \Delta Y_{t-2} + \dots + \Gamma_{p-1} \Delta Y_{t-p+1} + \Pi Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (5.22)$$

der  $\Pi = \alpha\beta'$ <sup>49</sup>, hvor  $\alpha$  representerer en matrise med justeringshastighetsparametere, og  $\beta$  er en matrise som inneholder kointegrasjonsvektorene, og representerer den langsiktige likevekt av modellen. Kointegrasjonen mellom variablene kalkuleres ved å se på ranken ( $r$ ) til  $\Pi$ -matrisen, hvor full rank ( $g$ ) angir totalt antall variabler.  $\Pi$ -matrisen vil under full rank ( $g$ ) tilsi at variablene er stasjonære. Rank lik null ( $r = 0$ ) betyr at det ikke eksisterer noen signifikant langtidssammenheng mellom variablene. Rank hvor  $0 < r < g$  viser antall kointegrerte vektorer, og det vil følgelig være  $r$  antall langsiktige likevektsforhold (Brooks 2008). Det er to tester under Johansen metode,  $\lambda_{trace}$  og  $\lambda_{max}$ . Nullhypotesen under  $\lambda_{trace}$  innebærer at antall kointegrerte vektorer er mindre eller lik  $r$ . Alternativhypotesen anslår at antall kointegrerte

<sup>48</sup> Jeg skal teste både med en- og flere forklarende futureskontrakter, og følgelig er en vektormodell anbefalt (Brooks 2008):(Sollis 2012).

<sup>49</sup> Det  $\beta'$  er den transponerte til  $\beta$ .

vektorer er større enn  $r$ .  $\lambda_{max}$  tester om kointegrerte vektorer er lik  $r$  under nullhypotesen, og  $r+1$  under alternativhypotesen.

Gitt rank = 1, to variabler og  $p = 2$  fra (5.22) kan følgende matrise utledes<sup>50</sup>:

$$\begin{bmatrix} \Delta Jetfuel \\ \Delta Futures_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Gamma_{11} & \Gamma_{12} \\ \Gamma_{21} & \Gamma_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Jetfuel_{t-1} \\ \Delta Futures_{A, t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 & \beta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Jetfuel_{t-1} \\ Futures_{1, t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{Jetfuel} \\ \varepsilon_{Futures} \end{bmatrix} \quad (5.23)$$

Gitt rank = 2, tre variabler og  $p = 2$  fra (5.22) kan følgende matrise utledes<sup>51</sup>:

$$\begin{bmatrix} \Delta Jetfuel \\ \Delta Futures_1 \\ \Delta Futures_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Gamma_{11} & \Gamma_{12} & \Gamma_{13} \\ \Gamma_{21} & \Gamma_{22} & \Gamma_{23} \\ \Gamma_{31} & \Gamma_{32} & \Gamma_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Jetfuel_{t-1} \\ \Delta Futures_{1, t-1} \\ \Delta Futures_{2, t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_{11} & \beta_{21} & \beta_{31} \\ \beta_{12} & \beta_{22} & \beta_{32} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Jetfuel_{t-1} \\ Futures_{1, t-1} \\ Futures_{2, t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{Jetfuel} \\ \varepsilon_{Futures1} \\ \varepsilon_{Futures2} \end{bmatrix} \quad (5.24)$$

Matrise 5.24 er her tre ECM, én for hver variabel i systemet. De individuelle ECM i matrise 5.24 kan utledes (Sollis 2012):

$$\begin{aligned} \Delta Jetfuel &= \Gamma_{11} \Delta Jetfuel_{t-1} + \Gamma_{12} \Delta Futures_{A, t-1} + \Gamma_{13} \Delta Futures_{B, t-1} \\ &\quad + \alpha_{11} (\beta_{11} Jetfuel_{t-1} + \beta_{21} Futures_{1, t-1} + \beta_{31} Futures_{2, t-1}) \\ &\quad + \alpha_{12} (\beta_{12} Jetfuel_{t-1} + \beta_{22} Futures_{1, t-1} + \beta_{32} Futures_{2, t-1}) + \varepsilon_{Jetfuel} \end{aligned} \quad (5.25)$$

$$\begin{aligned} \Delta Futures_1 &= \Gamma_{21} \Delta Jetfuel_{t-1} + \Gamma_{22} \Delta Futures_{A, t-1} + \Gamma_{23} \Delta Futures_{B, t-1} \\ &\quad + \alpha_{21} (\beta_{11} Jetfuel_{t-1} + \beta_{21} Futures_{1, t-1} + \beta_{31} Futures_{2, t-1}) \\ &\quad + \alpha_{22} (\beta_{12} Jetfuel_{t-1} + \beta_{22} Futures_{1, t-1} + \beta_{32} Futures_{2, t-1}) + \varepsilon_{Futures1} \end{aligned} \quad (5.26)$$

$$\begin{aligned} \Delta Futures_2 &= \Gamma_{31} \Delta Jetfuel_{t-1} + \Gamma_{32} \Delta Futures_{A, t-1} + \Gamma_{33} \Delta Futures_{B, t-1} \\ &\quad + \alpha_{31} (\beta_{11} Jetfuel_{t-1} + \beta_{21} Futures_{1, t-1} + \beta_{31} Futures_{2, t-1}) \\ &\quad + \alpha_{32} (\beta_{12} Jetfuel_{t-1} + \beta_{22} Futures_{1, t-1} + \beta_{32} Futures_{2, t-1}) + \varepsilon_{Futures2} \end{aligned} \quad (5.27)$$

<sup>50</sup> Aktuell ved hedging med en futureskontrakt.

<sup>51</sup> Aktuell ved hedging av futureskombinasjoner.

Kumar et al. (2008), Yang og Allen (2005) og Lien (1996) viser at minimum varians hedgingrate under et VECM-rammeverk estimeres som følger:

$$h = \frac{\sigma_{sf}}{\sigma_f} \quad (5.28)$$

Hvor  $Var(\varepsilon_{Jetfuel}) = \sigma_s$ ,  $Var(\varepsilon_{Futures}) = \sigma_f$  og  $Cov(\varepsilon_{Jetfuel}, \varepsilon_{Futures}) = \sigma_{sf}$ .

VECM-rammeverket som presenteres over har statistisk inferens for variabler med enhetsrøtter. Estimering av serier med bruk av Johansens metode, er i tillegg til fordelene rettet mot å håndtere flere kointegrerte variabler, robust mot tilstedeværelse av ikke-normalitet og heteroskedastisitet (Kavussanos & Nomikos 2003).



## 6 Optimal hedging med klassisk lineær regresjonsmodell

I dette kapittelet anvendes klassisk lineær regresjon som rammeverk for å estimere optimale hedgingrater og hedgingeffektivitet. Analyseperioden gjøres med månedlige observasjoner i tidsperioden mellom januar 2000 og desember 2010. En out-of-sample-analyse vil så utarbeides for de estimerte hedgingratene i tidsintervallet mellom januar 2011 og desember 2012. Resultatene rapporteres som avkasting i prosent, og som reduksjon i risiko.

### 6.1 Estimering av optimale hedgingrater med CLRM

I dette avsnittet estimeres optimale hedgingrater med bruk av statistisk regresjon. Første del estimerer hedgingrater der jetfuelprisen kun er avhengig av en futureskontrakt både for tidsperioden januar 2000 til desember 2010, og januar 2000 til desember 2007. Videre følger en utvidet regresjonsanalyse med historiske data fra førstnevnte tidsintervall. Her vil jetfuel avhenge av kombinasjoner av to futureskontrakter. Deretter fortsetter analysen med å se på hvorvidt optimale hedgingrater kan estimeres med utgangspunkt i den observerte basisen til futureskontraktene, før hedgingrater estimeres med hensyn på vintersesong for fyringsoljekontrakten. Siste analyse under CLRM estimerer hedgingrater som tar hensyn til ulikheter i historisk prisvolatilitet i jetfuel.

#### 6.1.1 Regresjon med en futureskontrakt (2000-2010)

Regresjonsanalysen i 6.1 ser på sammenhenger mellom jetfuel spot og forklaringsvariablene WTI og fyringsolje. Analysen gjennomføres separat for hver futureskontrakt, hvilket gir totalt 8 regresjonsanalyser:

$$\Delta S_t = \alpha + \beta \Delta F_t + \varepsilon_t \quad (6.1)$$

Hvor  $\Delta S_t$  er prosentvise endringer i spotprisen på jefuelt og  $\Delta F_t$  er prosentvise endringer på futureskontrakter.  $t$ -testen under  $H_0$  tester om  $\beta = 1$ . Alternativhypotesen tester om  $\beta$  avviker seg signifikant fra 1. Signifikansnivået er satt til 5 prosent<sup>52</sup>. Da det er problemer relatert til autokorrelasjon i restleddet, vil  $t$ -testen ta hensyn til «standard error» verdiene under HAC:

---

<sup>52</sup> Kritisk verdi er 1,96.

	WTI1	WTI3	WTI6	WTI12
$\beta$	0.95	1.06	1.16	1.24
S.E ( $\beta$ )	0.05	0.06	0.08	0.09
T-test ( $\beta$ )	<b>-0.96</b>	<b>1.03</b>	2.08	2.55
R2	0.723	0.732	0.693	0.601
	HO1	HO3	HO6	HO12
$\beta$	0.94	1.07	1.11	1.25
S.E ( $\beta$ )	0.06	0.06	0.07	0.09
T-test ( $\beta$ )	<b>-1.02</b>	<b>1.08</b>	<b>1.62</b>	2.87
R2	0.806	0.821	0.754	0.605

Tabell 6.1: Regresjonsanalyse jetfuel-WTI og jetfuel-fyringsolje

$t$ -testen som viser om beta skiller seg signifikant fra 1, kan verken forkastes for de to første WTI-kontraktene eller de tre første fyringsoljekontraktene. Hypotesen forkastes dog for de to lengste kontraktene for WTI, og tolv månederskontrakten for fyringsolje.

Hedgingeffektiviteten gjenspeiles gjennom  $R^2$ . Resultatene viser at fyringsoljekontraktene forklarer mer av variasjonen i jetfuel enn hva WTI gjør.

En diagnostetest av feilleddene vil indikere mulige brudd på antakelsene for tidsserieregresjon. Tester for autokorrelasjon, heteroskedastisitet og normalitet i resultatene fra Tabell 6.1 er gjengitt i Appendiks 2. AR-testen forkaster nullhypotesen for alle regresjonene, og anslår at det er autokorrelasjon i tidsserieprosessene. ARCH-testen forkaster nullhypotesen for alle WTI-kontraktene, samt førstekontrakten til fyringsolje. De resterende fyringsoljekontraktene forkaster ikke hypotesen om seriekorrelasjon i restleddvariansen. Da det er autokorrelasjon i modellen, vil trolig resultatene fra ARCH-testen være ugyldige. Testen for normalitet blir forkastet for alle kontraktene. Excess kurtose er positiv for alle regresjonene, hvilket indikerer at fordelingen er leptokurtic. Dette er forventede resultater, da finansielle instrumenter har en tendens til å avvike fra normalfordelingen. Den statistiske analysen i Tabell 6.1 kan gi forventningsrette estimater, men er ikke BLUE.

### 6.1.2 Regresjon med en futureskontrakt (2000-2007)

Finansiell uro og globale økonomiske nedgangstider førte til turbulente markeder fra høsten 2008. Som vist i kapittel 4, var det markante prisendringer og høy volatilitet for alle tre oljeproduktene som følge av finanskrisen. Gitt markedssituasjonen mellom år 2008 og 2010, kan det være interessant å estimere hedgingrater kun fra perioden før krisen, da dette kan indikere en mer «normal» historikk i prisene.

Regresjonsanalysen er gjengitt Tabell 6.2.

	WTI1	WTI3	WTI6	WTI12
$\beta$	0.98	1.11	1.27	1.42
S.E ( $\beta$ )	0.09	0.09	0.12	0.16
T-test ( $\beta$ )	<b>-0.25</b>	<b>1.24</b>	2.30	2.70
R2	0.673	0.675	0.630	0.524
	HO1	HO3	HO6	HO12
$\beta$	0.89	1.08	1.14	1.32
S.E ( $\beta$ )	0.08	0.10	0.11	0.16
T-test ( $\beta$ )	<b>-1.44</b>	<b>0.79</b>	<b>1.25</b>	<b>1.96</b>
R2	0.745	0.766	0.679	0.471

Tabell 6.2: Regresjonsanalyse jetfuel-WTI og jetfuel-fyringsolje (2000-2007)

Estimatene over avviker noe fra Tabell 6.1. HO12 kontrakten avviker ikke lenger signifikant fra 1. Forklaringsgraden,  $R^2$ , er betraktelig lavere i Tabell 6.2 enn i Tabell 6.1 for samtlige kontrakter. Da HO12 kontrakten anses som mindre likvid i forhold til resten av kontraktene, samt at  $R^2$  er langt høyere under estimeringsperioden som inkluderte årene 2008, 2009 og 2010, anses derfor årene 2000 til og med 2010 som mulig bedre estimeringsperiode. Videre analyser vil derfor være fra sistnevnte periode. Jeg vil dog i out-of-sample-analysen under, i tillegg til de resterende analysene, se hvordan hedgingestimatene i Tabell 6.2 ville redusert risiko.

### 6.1.3 Regresjon med kombinasjoner av futureskontrakter

Analysen over rettet søkelyset mot hedging i en futureskontrakt. Resultatene indikerte at prisendringene i jetfuel, i stor grad kan forklares av både WTI og fyringsolje. Da det ikke er noen perfekt hedge mellom noen av futureskontraktene, kan det være av interesse å undersøke hvorvidt en kombinasjon av kontrakter kan øke forklaringsgraden og dermed hedgingeffektiviteten. Jeg vil derfor utvide analysen over, og se på kombinasjoner av futureskontrakter som forklaringsvariabel. En multiregresjonsanalyse benyttes og utledes:

$$\Delta S_t = \alpha + \beta_1 \Delta F_{1,t} + \beta_2 \Delta F_{2,t} + \varepsilon_t \quad (6.2)$$

Hvor  $\Delta F_{1,t}$  er prosentvise endringer i futurespris 1 og  $\Delta F_{2,t}$  er prosentvise endringer i futurespris 2. Jeg velger å se på sammensetninger med to forklarende variabler. Først ser jeg på kombinasjoner mellom en WTI- og en fyringsoljekontrakt, for så å se på kombinasjoner av

to kontrakter på samme underliggende råvare, men med forskjellig tid til forfall. F-testen under  $H_0$  tester om  $\beta_1 + \beta_2 = 1$ . Alternativhypotesen tester om summen av  $\beta_1$  og  $\beta_2$  avviker signifikant fra 1, med 5 prosent signifikans. Verdien som oppgis i F-testen er p-verdien, hvor  $p < 0,05$  forkaster nullhypotesen. Da det er problemer relatert til autokorrelasjon i restleddet, vil F-testen ta hensyn til «standard error» verdiene under HAC.

I tabellen under vises hvilke kombinasjoner som testes, hvor den førstnevnte er  $\beta_1$  og sistnevnte er  $\beta_2$ . Betaverdiene indikerer optimal hedgingrate i den enkelte futures.

	WTI1 & HO1	WTI3 & HO3	WTI6 & HO6	WTI1 & HO3	WTI3 & HO1
$\beta_1$	0.40	0.16	0.12	0.16	0.45
$\beta_2$	0.63	0.93	1.01	0.91	0.63
F-test ( $\beta_1 + \beta_2 = 1$ )	<b>0.42</b>	<b>0.09</b>	0.05	<b>0.22</b>	<b>0.10</b>
R <sup>2</sup>	0.851	0.823	0.755	0.824	0.847
	WTI3 & HO6	WTI6 & HO3	WTI1 & HO6	WTI6 & HO1	
$\beta_1$	0.42	0.06	0.38	0.43	
$\beta_2$	0.71	1.02	0.71	0.68	
F-test ( $\beta_1 + \beta_2 = 1$ )	<b>0.07</b>	<b>0.13</b>	<b>0.21</b>	<b>0.06</b>	
R <sup>2</sup>	0.767	0.821	0.774	0.838	

Tabell 6.3: Regresjon med kombinasjoner av WTI- og fyringsoljekontrakter

Analysen i Tabell 6.3 viser ni ulike kombinasjoner av WTI og fyringsolje. Den høyeste hedgingeffektiviteten finnes i sikringskombinasjonen for de to frontkontraktene, «WTI1&HO1» og «WTI3&HO1» med  $R^2$  tilnærmet 0,85, etterfulgt av «WTI6&HO1» med  $R^2$  lik 0,838. I analysen med kun enkel regresjon var høyeste forklaringsgrad mellom jetfuel og futures 0,821. Ved å kombinere futureskontrakter har hedgingeffektiviteten økt. Som nevnt i kapittel 5 vil  $R^2$  øke som følge av at flere forklarende variabler medtas i modellen. Dette medfører at den økte effektiviteten som registreres i kombinasjonsregresjonen mulig ikke er reell. Sett bort ifra kombinasjonen «WTI6&HO6» avviker ikke hedgingratene signifikant fra 1.

Diagnosetesten fra analysen over er gjengitt i Appendiks 3. Ikke uventet, viser det seg å være autokorrelasjon i samtlige kombinasjoner. ARCH-testen forkastes også for majoriteten av kombinasjonene. Normalitetstesten forkastes, heller ikke uventet, for alle kombinasjoner.

Gitt resultat fra analysene over anser jeg HO1, HO3 og HO6 som mest aktuelle kombinasjoner, da overnevnte har høyest forklaringsgrader. Jeg velger å teste kombinasjoner av de tre kontraktene, samt en kombinasjon av «WTI1&WTI3».

	WTI1 & WTI3	HO1 & HO3	HO1 & HO6	HO3 & HO6
<b>β1</b>	0.35	0.44	0.59	0.96
<b>β2</b>	0.68	0.61	0.50	0.12
<b>F-test (β1+β2=1)</b>	<b>0.61</b>	<b>0.35</b>	<b>0.07</b>	<b>0.16</b>
<b>R2</b>	0.736	0.847	0.852	0.821

Tabell 6.4: Regresjon med kombinasjoner på samme underliggende råvare

Tabell 6.4 viser at kombinasjoner med kontrakter i samme underliggende råvare også estimerer høy hedgingeffektivitet. Fyringsoljekontraktene estimerer langt høyere effektivitet enn kombinasjonen med WTI-kontrakter. Kombinasjonen «HO1&HO3» og «HO1&HO6» viser  $R^2$  verdi på rundt 0,85, i likhet med flere kombinasjoner over. Diagnosetesten fra analysen er gjengitt i Appendiks 3

#### 6.1.4 Regresjon med hensyn på basis i underliggende futureskontrakt

Avsnitt 2.2.3.2 og 2.2.3.3 utledet teori om basis mellom futures- og spotprisen i underliggende aktivum. Workings (1949) lagerteori argumenterer for at futuresprisen avhenger av renten, lagerkostnadene og convenience yield. Avsnitt 4.2.5 viser at basisutviklingen i WTI- og fyringsoljekontraktene veksler med relativt store avvik både på positiv og negativ side. Gitt denne informasjonen kan det være interessant å undersøke om det skulle være noe forskjeller og tendenser i optimale hedgingrater, som følge av at futureskontraktene har positiv eller negativ basis. Jeg tar utgangspunkt i forholdet mellom futures og spot:

$$\Delta S_t = \alpha + \beta \Delta F_t + \delta [\Delta F_t * Dummy] + \varepsilon_t \quad (6.3)$$

$$Dummy = \begin{cases} F_t \geq S_t = 1 \\ F_t < S_t = 0 \end{cases} \quad (6.4)$$

Dummyvariabelen har verdi 1 hvis det observeres positiv basis mellom futures og spot i underliggende råvare ved hedgingtidspunktet. Ved negativ basis gir dummyvariabelen verdi lik 0. I Tabell 6.5 under foreligger resultatene fra testen. Under  $H_0$  testes om  $\delta = 0$ . Alternativhypotesen tester om  $\delta$  avviker signifikant fra null med signifikansnivå på 5 prosent.

I likhet med tidligere analyser, observeres autokorrelasjon i restleddet, og følgelig benyttes HACSE.

	WTI1	WTI3	WTI6	WTI12
$\beta$	0.97	1.07	1.19	1.34
$\delta$	-0.05	-0.02	-0.06	-0.16
S.E ( $\delta$ )	0.11	0.12	0.15	0.19
T-test ( $\delta$ )	-0.44	-0.16	-0.40	-0.83
R2	0.724	0.732	0.694	0.604
	HO1	HO3	HO6	HO12
$\beta$	0.95	1.04	1.12	1.34
$\delta$	-0.02	0.03	-0.01	-0.13
S.E ( $\delta$ )	0.13	0.15	0.17	0.18
T-test ( $\delta$ )	-0.16	0.23	-0.05	-0.74
R2	0.806	0.821	0.754	0.606

Tabell 6.5: Hedging med utgangspunkt i basis i underliggende futureskontrakt

Resultatene fra testen indikerer at  $\delta$  -parametrene ikke avviker signifikant fra null. Det kan da ikke signifikant bevises at det er forskjell i optimal hedgingrate, som følge av om basisen i den hedgede kontrakten ligger i contango eller backwardation. Likevel finner jeg interessante resultat fra denne analysen. Under contango i futureskontrakten viser  $\delta$  - parametrene seg negativ for alle kontrakter, utenom HO3. De estimerte hedgingratene er derfor noe lavere når sikringskontraktene ligger i contango. Det kan derfor være interessant å teste estimatene i en out-of-sample-analyse, for å se effekten av å benytte to hedgingrater ved sikring, en for henholdsvis positiv og negativ basis. Diagnostestene for resultatene er gjengitt i Appendiks 4.

### 6.1.5 Regresjon med hensyn på vintersesong for fyringsoljekontraktene

I avsnitt 4.1 beskrives karakteristikken ved jetfuel og de futureskontraktene som skal benyttes for sikring. I beskrivelsen av markedsfaktorer som påvirker fyringsolje kommer det frem at prisen har en tendens til å øke om vinteren, da produktet benyttes til oppvarming av hus og bygninger. Det kan derfor være av interesse å undersøke om en mulig hedgingrate vil avvike mellom vinterperioden<sup>53</sup> og resten av året. Regresjonen blir utledet som følger:

$$\Delta S_t = \alpha + \beta \Delta F_t + \delta [\Delta F_t * Dummy] + \varepsilon_t \quad (6.5)$$

$$Dummy = \begin{cases} "Vinter" = 1 \\ "Vår, sommer, høst" = 0 \end{cases} \quad (6.6)$$

<sup>53</sup> November til mars.

$\Delta S_t$  vil være endringen i jetfuel spot og  $\Delta F_t$  er endringen i fyringsoljefutures<sup>54</sup>.

Dummyvariabelen vil være lik 1 for kjøp av kontrakter i perioden november til mars<sup>55</sup>, mens 0 vil indikerer kjøp av kontrakter i perioden mellom april til oktober. Under  $H_0$  testes om  $\delta = 0$ . Alternativhypotesen tester om  $\delta$  avviker signifikant fra null. Signifikansnivå er satt til 5 prosent. I likhet med tidligere analyser, observeres autokorrelasjon i restleddet, og følgelig benyttes HACSE.

	HO1	HO3	HO6	HO12
$\beta$	1.04	1.05	1.08	1.23
$\delta$	-0.21	0.06	0.07	0.07
S.E ( $\delta$ )	0.09	0.12	0.14	0.15
T-test ( $\delta$ )	<b>-2.33</b>	0.53	0.52	0.49
R2	0.816	0.821	0.755	0.606

Tabell 6.6: Hedging med utgangspunkt i vintersesong for fyringsoljekontrakter

Tabell 6.6 viser at  $\delta$  avviker signifikant fra 0 for HO1. Estimert tilsier at ved hedging i vinterperioden, bør hedgingraten være lavere enn ved perioder utenfor vinteren. De resterende fyringsoljekontraktene avviker ikke signifikant fra null, og det kan ikke påstås at det bør skilles mellom årstider for disse kontraktene.

Estimert hedgingrateresultater for HO1 skyldes at volatiliteten i fyringsoljekontrakten i vinterperioden er høyere enn for jetfuel<sup>56</sup>. Når fyringsoljekontrakten har høyere volatilitet enn jetfuel, kan ikke hedgingraten være større enn korrelasjonskoeffisienten mellom de to, hvilket er mindre enn 1. Estimert hedgingeffektivitet til HO1 har økt med 0,01 som følge av de nye ratene. Diagnosetesten fra analysen er gjengitt i Appendiks 5.

### 6.1.6 Regresjon med hensyn på historiske volatilitetsforskjeller i jetfuelprisen

Ved analyse av historisk volatilitet i jetfuelprisen, fant jeg en tendens til at volatiliteten er høyere på høsten og frem mot årsskiftet. Jeg foretok så en volatilitetsanalyse hvor jeg delte prisen mellom august og desember og januar og juli. Førstnevnte periode viste seg å ha langt høyere volatilitet, med årlige verdier på over 0,45 gjennom tiårsperioden. Intervallet fra årsskiftet frem mot sommeren, viste seg å ha årlig volatilitet på 0,30. Høyere volatilitet i

<sup>54</sup> Kun fyringsoljekontrakter som testes under denne analysemetode grunnet særegen karakteristik med kontrakten.

<sup>55</sup> Vintermånedene er valgt på bakgrunn av opplysninger fra (mcxindia.com 2010).

<sup>56</sup> Gjennomsnittlig årlig volatilitet for HO1 = 0,405 og jetfuel = 0,387 for vinterperioden.

jetfuelprisen i en periode skulle tilsi at en optimal hedgingrate muligens er høyere for denne perioden. Dette kommer av at volatiliteten i jetfuel har større sannsynlighet for å endres og følgelig må jetfuel kompenseres med en større andel fra futureskontrakten. For å finne ut om det er noe signifikant forskjell i hedgingrater mellom de to tidsperiodene<sup>57</sup>, kjøres følgende regresjon:

$$\Delta S_t = \alpha + \beta \Delta F_t + \delta [\Delta F_t * Dummy] + \varepsilon_t \quad (6.7)$$

$$Dummy = \begin{bmatrix} \text{Aug, sep, okt, nov, des.} = 1 \\ \text{Jan, feb, mar, apr, mai, jun, jul.} = 0 \end{bmatrix} \quad (6.8)$$

Resultatene fra regresjonene er gjengitt i tabellen under.  $H_0$  testes om  $\delta = 0$ .

Alternativhypotesen tester om  $\delta$  avviker signifikant fra null, med signifikansnivå på 5 prosent.

I likhet med tidligere analyser, observeres autokorrelasjon i restleddet, og følgelig benyttes HACSE.

	WTI1	WTI3	WTI6	WTI12
$\beta$	0.80	0.94	1.02	1.05
$\delta$	0.29	0.23	0.26	0.37
S.E ( $\delta$ )	0.13	0.15	0.18	0.22
T-test ( $\delta$ )	<b>2.20</b>	1.53	1.44	1.64
R2	0.739	0.740	0.702	0.614
	HO1	HO3	HO6	HO12
$\beta$	0.77	0.94	0.95	1.04
$\delta$	0.34	0.23	0.30	0.40
S.E ( $\delta$ )	0.10	0.14	0.16	0.18
T-test ( $\delta$ )	<b>3.25</b>	1.65	1.90	<b>2.24</b>
R2	0.832	0.830	0.767	0.621

Tabell 6.7: Hedging med utgangspunkt i historisk volatilitet for jetfuelprisen

Tabell 6.7 viser at estimert  $\delta$  er signifikant forskjellig fra null for begge fronkontraktene, samt HO12. De resterende  $\delta$ -verdiene viser seg likevel å være forholdsvis høye, selv om disse ikke avviker signifikant fra null. Estimert hedgingeffektivitet viser seg å være bedre for alle kontrakter under denne modellen fremfor modellen fra avsnitt 6.1.1. Diagnostestene fra analysen gjengis i Appendiks 6.

<sup>57</sup> Gjelder handlingstidspunktet til futureskontrakten.



## 6.2 Out-of-sample-analyse fra CLRM

Perioden mellom januar 2011 og desember 2012 skal benyttes for å undersøke hedgingstrategiene med de hedgingrater som er estimert. Analysen rapporterer både avkastning til porteføljen, samt standardavviket.

### 6.2.1 Beskrivende statistikk for out-of-sample-perioden

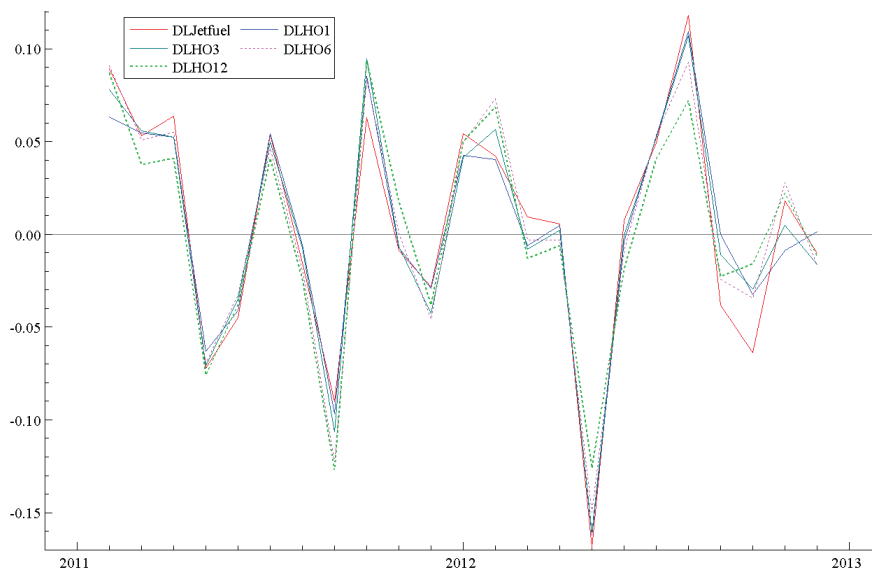
Prisen på jetfuel og fyringsolje har økt totalt sett over out-of-sample-perioden, mens WTI har sunket. Tabell 6.8 viser prisendring i dollar for jetfuel og samtlige futureskontrakter gjennom gjennomsnittlig månedlig økning, samt avkastningen i 2011, 2012 og summert gjennom hele perioden.

	Jetfuel	WTI1	WTI3	WTI6	WTI12
<b>Gjennomsnittlig månedlig endring</b>	\$ 0.01	\$ (0.00)	\$ (0.00)	\$ (0.00)	\$ (0.01)
<b>Endring 2011</b>	\$ 0.18	\$ 0.16	\$ 0.08	\$ 0.03	\$ (0.05)
<b>Endring 2012</b>	\$ 0.07	\$ (0.17)	\$ (0.15)	\$ (0.14)	\$ (0.11)
<b>Endring 2011-2012</b>	\$ 0.24	\$ (0.01)	\$ (0.07)	\$ (0.10)	\$ (0.16)
	HO1	HO3	HO6	HO12	
<b>Gjennomsnittlig månedlig endring</b>	\$ 0.01	\$ 0.01	\$ 0.01	\$ 0.01	
<b>Endring 2011</b>	\$ 0.19	\$ 0.17	\$ 0.10	\$ 0.04	
<b>Endring 2012</b>	\$ 0.11	\$ 0.11	\$ 0.16	\$ 0.11	
<b>Endring 2011-2012</b>	\$ 0.30	\$ 0.28	\$ 0.26	\$ 0.15	

Tabell 6.8: Endring i dollar for jetfuel og futureskontrakter i out-of-sample-perioden

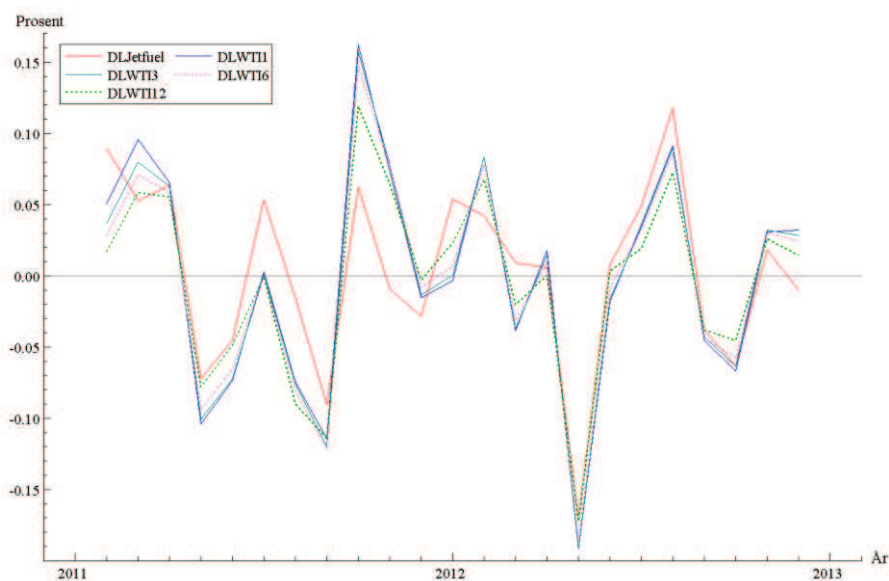
I out-of-sample-perioden har det vært en total økning i jetfuelprisen på 0,24 dollar. Dette gir en økning på 0,01 dollar per måned. For samtlige WTI-kontrakter har utviklingen vært negativ. Tabellen viser at reduksjonen i råoljen i år 2012, er sterkt medvirkende til denne nedgangen. Fyringsolje har, i likhet med jetfuel, en total prisøkning gjennom out-of-sample-perioden. For alle fyringsoljekontraktene utenom HO12, er økningen større enn for jetfuel.

Prosentvise prisendringer mellom jetfuel og fyringsoljekontraktene vises i Figur 6.1 under. Figuren viser at endringene i jetfuel og fyringsolje har vært svært korrelert i out-of-sample-perioden.



Figur 6.1: Prosentvise endringer i jetfuel og fyringsoljekontrakter

Figur 6.2 viser prosentvise endringer mellom jetfuel og WTI i årene 2011 og 2012. Avvik mellom jetfuel og WTI er langt større enn hva som ble observert i Figur 6.1.



Figur 6.2: Prosentvise endringer i jetfuel og WTI

### 6.2.2 Out-of-sample - regresjon med en futureskontrakt (2000-2010)

Et flyselskap hedger primært for å redusere risiko, og dermed ønskes lavest mulig volatilitet i prisene. Følgelig vil derfor lavest mulig standardavvik være av større interesse enn profitten hedgen genererer. Avkastningen til hedgingporteføljen uttrykker faktisk kontantstrøm av hedgen, og medtas også i beregningene under. Out-of-sample-analysen vil rapportere

gjennomsnittlig avkastning, årlig avkastning og avkastning under hele out-of-sample-perioden. Avkastningen beregnes slik:

$$R_h = (F_{t+i} - F_t) * h - (S_{t+i} - S_t) \quad (6.9)$$

hvor  $R$  er avkastning,  $(S_{t+i} - S_t)$  er prosentvis endring<sup>58</sup> i jetfuelpris,  $(F_{t+i} - F_t)$  er prosentvis endring i futurespris og  $h$  er hedgingraten. Analysen tar utgangspunkt i at porteføljen rulleres ved starten av hver måned, hvilket vil si at  $t + i$  er lik én måned. I likhet med Adams & Gerner (2012) velger jeg å rapportere reduksjon i risiko som standardavvik til avkastingsseriene vist i likning 6.9.

	Jetfuel	WTI1	WTI3	WTI6	WTI12
<b>Gjennomsnitt</b>	-0.4%	-0.4%	-0.5%	-0.6%	-0.7%
<b>Avkastning 2011</b>	-6.2%	0.4%	-2.5%	-4.6%	-8.6%
<b>Avkastning 2012</b>	-2.3%	-9.2%	-9.4%	-9.1%	-8.2%
<b>Total avkastning</b>	-8.5%	-8.8%	-11.9%	-13.7%	-16.8%
<b>Std.avvik</b>	0.0652	0.040	0.045	0.048	0.044
<b>Årlig Std.avvik</b>	0.2259	0.139	0.156	0.165	0.153
<b>R2</b>		0.619	0.521	0.465	0.540
	HO1	HO3	HO6	HO12	
<b>Gjennomsnitt</b>	0.1%	0.1%	0.1%	-0.1%	
<b>Avkastning 2011</b>	0.0%	0.4%	-2.1%	-4.4%	
<b>Avkastning 2012</b>	1.2%	1.7%	3.9%	2.5%	
<b>Total avkastning</b>	1.2%	2.1%	1.8%	-1.9%	
<b>Std.avvik</b>	0.017	0.016	0.018	0.028	
<b>Årlig Std.avvik</b>	0.058	0.054	0.063	0.097	
<b>R2</b>	0.933	0.942	0.922	0.817	

Tabell 6.9: Out-of-sample - regresjonsanalyse jetfuel-WTI og jetfuel-fyringsolje

Hedging i samtlige WTI kontrakter ville gitt totalt negativ avkastning gjennom de to årene. For fyringsolje ville det i samme periode vært gevinst i alle hedgingstrategier utenom HO12. Dette står i samsvar med Tabell 6.8, hvor prisen på de tre førstnevnte fyringsoljekontraktene har økt mer enn jetfuel, mens prisen på WTI har en reduksjon i samme periode. Selv om profitt av hedgen er positivt for resultatet til flyselskapet, er hensikten med hedgen å ha så lav varians som mulig, slik at den forventede endringen blir tilnærmet lik null. Det uhedgede årlige standardavviket er på 0,2259. Ved hedging i WTI-kontraktene reduseres denne i

<sup>58</sup> Beregnes som tidligere hvor prosentvise endringer er differensen mellom naturlige logaritmen (ln) til variabelen på tidspunkt  $t$ , minus  $\ln$   $t-1$ .

perioden til verdier på mellom 13,9 og 16,5 prosent. Fyringsoljen derimot reduserer risikoen betraktelig mer. Hedging i HO3 har redusert risikoen til 0,054, og viser i likhet med in-sample-estimatet å være den kontrakten med best hedgingeffektivitet. Hedgingeffektiviteten er dog markant høyere i out-of-sample-perioden. HO3 viste en hedgingeffektivitet på 0,821 in-sample, mens i out-of-sample viste samme hedgingstrategi effektivitet på tilnærmet 0,942. Oppsummert viser analysen at hedgingeffektiviteten for WTI er betraktelig redusert i out-of-sample-perioden, mens for fyringsoljekontraktene er det en markant økning fra in-sample-perioden.

### 6.2.3 Out-of-sample - regresjon med en futureskontrakt (2000-2007)

Som nevnt i avsnitt 6.1.2, velger jeg å se på en out-of-sample-analyse av perioden mellom januar 2000 og desember 2007, relatert til beslutningen om årene 2000 til og med 2010 er et bedre predikeringsintervall for estimering av optimale hedgingrater i denne avhandlingen.

	Jetfuel	WTI1	WTI3	WTI6	WTI12
Std.avvik	0.065	0.042	0.048	0.054	0.053
Årlig Std.avvik	0.226	0.144	0.166	0.187	0.183
	HO1	HO3	HO6	HO12	
Std.avvik	0.018	0.016	0.019	0.030	
Årlig Std.avvik	0.063	0.055	0.066	0.105	

Tabell 6.10: Out-of-sample - regresjonsanalyse jetfuel-WTI og jetfuel-fyringsolje (2000-2007)

Resultatene i Tabell 6.10 viser at reduksjonen i standardavvik er lavere for denne modellen enn i Tabell 6.9. Analyse med utgangspunkt i historiske data i perioden januar 2000 til desember 2010 viser seg å være en riktig avgjørelse.

### 6.2.4 Out-of-sample - regresjon med kombinasjoner av futureskontrakter

I regresjonsanalysen i avsnitt 6.1.3 er det estimert hedgingrater med kombinasjoner av futureskontrakter. Metoden for utregning av out-of-sample-avkastningen er lik likning 6.9, men med to futureskontrakter:

$$R_h = [(F_{1,t+i} - F_{1,t}) * h_1 + (F_{2,t+i} - F_{2,t}) * h_2] - (S_{t+i} - S_t) \quad (6.10)$$

Hvor  $h_1$  er optimal hedgingrate for futures 1, og  $h_2$  er optimal hedgingrate for futures 2. Standardavviket beregnes med utgangspunkt i avkastningene i 6.10.

Det ble estimert ni ulike kombinasjoner av WTI- og fyringsoljekontraktene. Resultatet i out-of-sample-analysen vises under:

	Jetfuel	WTI1 & HO1	WTI3 & HO3	WTI6 & HO6	WTI1 & HO3
<b>Gjennomsnitt</b>	-0.4%	-0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
<b>Avkastning 2011</b>	-6.2%	0.8%	0.1%	-2.3%	0.5%
<b>Avkastning 2012</b>	-2.3%	-2.9%	0.1%	2.6%	-0.1%
<b>Total avkastning</b>	-8.5%	-2.1%	0.2%	0.3%	0.5%
<b>Std.avvik</b>	0.065	0.022	0.018	0.019	0.018
<b>Årlig Std.avvik</b>	0.226	0.076	0.061	0.067	0.061
<b>R2</b>		0.886	0.926	0.913	0.928
	WTI3 & HO1	WTI3 & HO6	WTI6 & HO3	WTI1 & HO6	WTI6 & HO1
<b>Gjennomsnitt</b>	-0.2%	-0.1%	0.1%	-0.1%	-0.1%
<b>Avkastning 2011</b>	-0.5%	-2.1%	0.2%	-0.9%	-1.1%
<b>Avkastning 2012</b>	-3.0%	-1.2%	1.2%	-1.2%	-2.3%
<b>Total avkastning</b>	-3.5%	-3.3%	1.3%	-2.1%	-3.4%
<b>Std.avvik</b>	0.024	0.025	0.016	0.024	0.023
<b>Årlig Std.avvik</b>	0.082	0.088	0.056	0.083	0.079
<b>R2</b>	0.868	0.847	0.938	0.864	0.879

Tabell 6.11: Out-of-sample - regresjon med kombinasjoner av WTI- og fyringsoljekontrakter

Den beste hedgingstrategien finner man ved en sammensetting av WTI6 og HO3.

Reduksjonen i risiko er dog ikke like stor som HO3 fra analysen i avsnitt 6.2.2.

Hedgingeffektiviteten som ble estimert i 6.1.3 var noe høyere enn i 6.1.1, mens out-of-sample-analysen viser at regresjon med kun en forklarende variabel gir lavere standardavvik.

Det ble også estimert hedgingrater av kontraktkombinasjoner med samme underliggende aktivum:

	WTI1 & WTI3	HO1 & HO3	HO1 & HO6	HO3 & HO6
<b>Gjennomsnitt</b>	-0.5%	0.1%	0.1%	0.1%
<b>Avkastning 2011</b>	-1.4%	0.5%	-0.4%	0.2%
<b>Avkastning 2012</b>	-9.4%	1.6%	2.7%	2.0%
<b>Total avkastning</b>	-10.8%	2.1%	2.3%	2.2%
<b>Std.avvik</b>	0.044	0.015	0.014	0.016
<b>Årlig Std.avvik</b>	0.152	0.051	0.049	0.055
<b>R2</b>	0.550	0.949	0.953	0.942

Tabell 6.12: Out-of-sample - regresjon med kombinasjoner av samme underliggende råvare

Tabell 6.12 viser den høyeste hedgingeffektiviteten som er observert i analysen så langt, der standardavviket er lavest for strategien «HO1&HO6». Kombinasjonen gir en hedgingeffektivitet på 0,953. Resultatene er i samsvar med estimatene fra in-sample-analysen, som anslo høyeste effektivitet for «HO1&HO6». Relativ høyere prisvekst for HO1, HO3, og HO6 i forhold til jetfuel, resultater i positiv avkastning i de tre sistnevnte hedgingkombinasjonene i Tabell 6.12.

### 6.2.5 Out-of-sample - regresjon med hensyn på basis i underliggende futureskontrakt

Regresjonene i 6.1.4 estimerte optimale hedgingrater hvor sikring hadde utgangspunkt i basis. Estimaten predikerte hedgingrater ettersom futureskontrakten lå i henholdsvis contango eller backwardation ved sikringstidspunktet. Formelen for utregningen av avkastning og risiko er lik ligningen i 6.9, men der hedgingraten varierer med basisen til underliggende kontrakt.

	Jetfuel	WTI1	WTI3	WTI6	WTI12
<b>Gjennomsnitt</b>	0.4%	-0.3%	-0.5%	-0.5%	-0.5%
<b>Avkastning 2011</b>	6.2%	0.4%	-2.2%	-3.3%	-5.7%
<b>Avkastning 2012</b>	2.3%	-8.5%	-9.4%	-8.9%	-6.9%
<b>Total avkastning</b>	8.5%	-8.0%	-11.6%	-12.3%	-12.6%
<b>Std.avvik</b>	0.065	0.039	0.045	0.048	0.045
<b>Årlig Std.avvik</b>	0.226	0.136	0.156	0.166	0.157
<b>R2</b>		0.637	0.522	0.460	0.516
	HO1	HO3	HO6	HO12	
<b>Gjennomsnitt</b>	0.1%	0.1%	0.1%	-0.1%	
<b>Avkastning 2011</b>	0.2%	0.9%	-2.2%	-5.5%	
<b>Avkastning 2012</b>	1.1%	1.6%	3.9%	3.5%	
<b>Total avkastning</b>	1.3%	2.6%	1.7%	-2.0%	
<b>Std.avvik</b>	0.017	0.016	0.018	0.030	
<b>Årlig Std.avvik</b>	0.058	0.054	0.063	0.103	
<b>R2</b>	0.935	0.943	0.922	0.794	

Tabell 6.13: Out-of-sample - hedging med utgangspunkt i basis i underliggende futureskontrakt

Selv om ikke  $\delta$ -parameteren viste signifikans i regresjonsanalysen, fant jeg det interessant at samtlige kontrakter, med unntak av HO3, viste seg å være negative. For både front- og tremånederskontrakten til henholdsvis WTI og fyringsolje, er hedgingeffektiviteten marginalt bedre for disse hedgingstrategiene sett i forhold til konstant hedgingrate i Tabell 6.9. Basis i kontraktene fra out-of-sample-perioden er gjengitt i Appendiks 7. Fyringsoljekontraktene har

vekslet aktivt mellom contango og backwardation, mens WTI-kontraktene stort sett har hatt positiv basis i out-of-sample-perioden. Hedgingestimatene for WTI var under contango noe lavere enn ved backwardation, og følgelig har den negative avkastningen fra WTI-hedgen blitt mindre under denne analysemetoden.

### 6.2.6 Out-of-sample - regresjon med hensyn på vintersesong for fyringsoljekontraktene

Det kan argumenteres for at prisen og volatiliteten er noe høyere for fyringsolje i vintersesongen. Regresjonen i avsnitt 6.1.5 estimerte hedgingrater hvor dette ble tatt hensyn til i modellen. Frontkontrakten viste seg å signifikant å ha lavere hedgingrate i vinterperioden. I Tabell 6.14 følger en out-of-sample-analyse fra de estimerte hedgingratene. Avkastning og risiko beregnes på samme måte som i formel 6.9, men med ulik hedgingrate for vintermånedene.

	HO1	HO3	HO6	HO12
<b>Gjennomsnitt</b>	0.0%	0.1%	0.1%	0.0%
<b>Avkastning 2011</b>	-1.6%	1.0%	-1.2%	-3.3%
<b>Avkastning 2012</b>	0.7%	2.0%	4.4%	3.3%
<b>Total avkastning</b>	-1.0%	3.0%	3.2%	0.0%
<b>Std.avvik</b>	0.017	0.016	0.019	0.029
<b>Årlig Std.avvik</b>	0.058	0.055	0.065	0.099
<b>R2</b>	0.934	0.940	0.917	0.807

Tabell 6.14: Out-of-sample - hedging med utgangspunkt i vintersesong for fyringsoljekontrakter

Frontkontrakten viser marginal bedret hedgingeffektivitet under denne modellen, enn hva som ble observert under en konstant rate gjennom hele året.

### 6.2.7 Out-of-sample - regresjon med hensyn på historiske volatilitetsforskjeller i jetfuelprisen

Regresjonen i avsnitt 6.1.6 ble gjennomført ettersom det ble observert klare volatilitetsforskjeller i jetfuel på ulike tidspunkt i løpet av året. Alle kontraktene viste seg å estimere høyere hedgingrater på høsten og frem mot årsskifte, enn resten av året. Begge frontkontraktene, samt HO12, viste seg å ha signifikant høyere hedgingrate på høsten. Resultatene fra out-of-sample-analysen er gjengitt under i Tabell 6.15:

	Jetfuel	WTI1	WTI3	WTI6	WTI12
Gjennomsnitt	0.4%	0.1%	-0.2%	-0.2%	-0.2%
Avkastning 2011	6.2%	7.2%	2.9%	1.6%	-1.0%
Avkastning 2012	2.3%	-5.9%	-6.8%	-6.1%	-4.2%
Total avkastning	8.5%	1.3%	-3.9%	-4.5%	-5.1%
Std.avvik	0.065	0.043	0.046	0.048	0.045
Årlig Std.avvik	0.226	0.149	0.160	0.168	0.156
R2		0.565	0.498	0.448	0.525
	HO1	HO3	HO6	HO12	
Gjennomsnitt	0.2%	0.2%	0.3%	0.3%	
Avkastning 2011	2.7%	2.5%	1.2%	1.7%	
Avkastning 2012	2.0%	2.6%	6.0%	6.2%	
Total avkastning	4.7%	5.0%	7.2%	7.9%	
Std.avvik	0.021	0.017	0.021	0.031	
Årlig Std.avvik	0.073	0.061	0.073	0.107	
R2	0.896	0.928	0.895	0.774	

Tabell 6.15: Out-of-sample - hedging med utgangspunkt i historisk volatilitet for WTI- og fyringsoljekontrakter

Sett under ett viser Tabell 6.15 at hedgingeffektiviteten for WTI er langt lavere enn hva hedgingrate estimatene skulle tilsi, mens fyringsoljekontrakten har økt hedgingeffektiviteten. Tabell 6.7 estimerte bedre hedgingrater enn regresjonen med kontant hedgingrate gjennom året, men i out-of-sample-analysen har resultatene blitt dårligere. I out-of-sample-perioden er årlig volatilitet for jetfuelprisen 0,226, med 0,17 fra perioden august til desember, og 0,26 fra perioden mellom januar og juli. Volatilitetstrenden har trolig snudd i out-of-sample-perioden, og følelig er resultatene fra denne analysemetoden svakere.

### 6.3 Optimale hedgingstrategier under CLRM

I dette kapitlet har jeg estimert optimale hedgingrater under et klassisk lineært regresjonsrammeverk. Det ble estimert rater med utgangspunkt i ulike strategitilnærminger. Tredjekontrakten til fyringsolje viser følgelig best hedgingeffektivitet både in-sample og out-of-sample under konstant hedging med en futureskontrakt, mens «HO1&HO6» er den beste kombinasjonen både in- og out-of-sample. Hedging med hensyn på basis estimerte ingen signifikant forskjell fra hedging med konstant rate, og kontraktene med høyeste hedgingeffektivitet avviker kun marginalt fra konstant hedgingrate i out-of-sample-analysen. Hedging i fyringsoljekontrakter med hensyn på vintersesong, ga signifikant lavere hedgingrate i vintersesongen for HO1. Out-of-sample-resultatene viser kun marginalt bedret hedgingeffektivitet for HO1. Videre ble det testet med hensyn på historisk volatilitet i



jetfuelprisen. Signifikante forskjeller i hedgingrater ble estimert for flere kontrakter. In-sample-estimatet av HO1 under denne analysemetoden, ga best hedgingeffektivitet av alle strategier der det kun hedges i en futureskontrakt. Out-of-sample-resultatene fra sistnevnte analysemetode viste seg dårligere enn ved en konstant hedgingrate gjennom året. Videre undersøkelse av volatiliteten i out-of-sample-perioden, viste at den historiske volatilitetstrenden fra in-sample-perioden hadde snudd. Jeg anser hedgingstrategiene fra sikring med hensyn på vintersesong og volatilitetsendringer i jetfuelprisen fra in-sample-perioden som interessante. Gitt resultatene fra sistnevnte strategier i out-of-sample-analysen velger jeg å se på hedgingstrategiene med konstante hedgingrater i videre analyse.

Out-of-sampel-analysen viser totalt sett langt bedre hedgingeffektivitet for fyringsoljekontrakter sett i forhold til in-sample-perioden, mens WTI-kontraktene gir svakere effektivitet. Resultatene fra hedgingstrategiene over, tilsier at ved hedging i en kontrakt, gir hedgingrate estimatene fra tremånederskontrakten på fyringsolje optimal eksponering mot jetfuelpriserisiko. Sett alle hedgingstrategiene under ett, viser resultatene i denne analysen at en kombinasjon av front- og seksmånederskontrakten i fyringsolje er den optimale eksponeringen for endringer i jetfuelprisen.

## 7 Optimal hedging med feilkorrigeringsmodell

I dette kapittelet skal klassisk regresjonsanalyse utvides til en dynamisk modell som tar hensyn til langtidssammenhengen mellom jetfuel og futureskontrakter. I likhet med kapittel 6 skal det estimeres hedgingrater med hensyn på henholdsvis en, og kombinasjoner av to futureskontrakter<sup>59</sup>. Estimaten vil så testes i en out-of-sample-analyse. Formålet med analysen er å undersøke om hedgingstrategiene gir større reduksjon i risiko når hedgingratene estimeres med en feilkorrigeringsmodell.

### 7.1 Langtidssammenhenger mellom jetfuel- og futurespris

Kapittel 5 argumenterer for hvorfor det kan være hensiktsmessig å utvikle en modell som tar hensyn til hvordan feilleddet til langtidslikevekten av tidsserienevariablene forklarer endringene i avhengig variabel. Dette kalles for feilkorrigeringsmodeller. I følgende avsnittet skal jeg teste for stasjonæritet i tidsseriene, og hvorvidt to serier er kointegrerte. En «Error Correction Model (ECM)» benyttes så for å beregne justeringshastigheten som angir hvor raskt seriene går tilbake til langtidslikevekten.

#### 7.1.1 Test for stasjonæritet, enhetsrøtttest

En ADF-test benyttes for å teste om prisseriene til jetfuel, WTI og fyringsolje har enhetsrøtter. Antall etterslep i testen tas med for å rydde opp i autokorrelasjon med endringen i variabelen, og bestemmes av kriteriene i «Akaike Information Criterion (AIC)», hvor maksimalt antall etterslep er satt til 6. Etterslepet som oppgir lavest AIC-verdi vil bli den foretrukne etterslepsverdien (Sollis 2012). ADF-testen gjøres med og uten trendelementet. Gitt argumentasjonen for stasjonæritet, kointegrasjon og langtidslikevekt i kapittel 5, og Hendry og Juselius (2000)<sup>60</sup> analyse av kointegrerte serier, velger jeg å benytte meg av logaritmiske priser i stasjonæritet og kointegrasjonsanalysen.

Samtlige tidsserieprosesser i jetfuel, WTI og fyringsolje har enhetsrot, og er da ikke-stasjonære prosesser både for analysen med og uten trendelementet. Sammendrag fra ADF-

---

<sup>59</sup> Det blir ikke undersøkt hedgingstrategier med hensyn på basis, vinter eller volatilitet i jetfuelprisen under dette rammeverket.

<sup>60</sup> Argumenterte for at hvis verdiene i en tidsserie er kointegrerte, vil også de logaritmiske verdiene være kointegrerte.

testen er gjengitt i Appendiks 8. For å undersøke om variablene er integrert av første orden, tester jeg videre for om tidsseriene er stasjonære ved å førstedifferensiere.

Resultatene fra testen viser stasjonæritet for alle prisseriene ved førstedifferensiering, med og uten trendelement, og tidsseriene er integrerte av første orden (I(1)). Sammendrag fra testen gjengis i Appendiks 9. Det vil videre være interessant å se om det er kointegrasjon mellom jetfuel og kontraktene på WTI og fyringsolje.

### 7.1.2 Test for kointegrasjon

En ADF-test vil også benyttes for å teste kointegrasjon. Her samles først residualene fra en regresjon av I(1) prosessene, for så å foreta en enhetsrottest. Testresultatene<sup>61</sup> viser stasjonæritet for alle prosesser på 1 prosent signifikansnivå<sup>62</sup>. Resultatet fra testene gjør at jeg kan konkludere med at jetfuel er kointegrert med både WTI og fyringsolje for kontrakter på 1, 3, 6 og 12 måneder. Sammendrag fra kointegrasjonstesten gjengis i Appendiks 10.

Kointegrasjon i tidsseriene gjør det mulig å utarbeide feilkorrigeringsmodeller der endringen i jetfuelprisen også justerer for eksisterende langtidslikevekten mellom jetfuel- og futuresprisene.

### 7.1.3 Estimering av justeringshastigheten i ECM

En ECM vil kunne si noe om den justeringshastighet tilbake til langtidslikevekten mellom jetfuel og futures gjennom koeffisienten<sup>63</sup> til «Error Correction Term (ECT)» i modellen. For å gi en indikasjon på hvordan differansen mellom logaritmiske jetfuel- og futurespriser i en periode vil gjenopprette likevekten i neste periode, gjengis estimerte ECT-koeffisienter fra en ECM<sup>64</sup>:

---

<sup>61</sup> ADF testen for kointegrasjon tar ikke med konstantleddet, da vi tester for residualer som har forventning lik null. Videre benyttes samme metodikk når det gjelder antall etterslep og bruk av AIC som ved ADF testen i avsnitt 7.1.1.

<sup>62</sup> Kritiske verdier er hentet fra «Forecasting and testing in co-integrated systems» (Engle & Yoo 1987).

<sup>63</sup>  $\delta$  fra formel 5.21.

<sup>64</sup> Jeg har valgt å inkludere etterslep av  $\Delta y_t$  og  $\Delta x_t$  på høyere side av likningen istedenfor  $\Delta x_t$  i ECM som vist i 5.21. Dette er ifølge Sollis (2012) generell praksis når ECM benyttes. Ovennevnte praksis ligger også til grunn for beregningene i VECM som skal benyttes senere i analysen. To etterslep i modellen fjernet autokorrelasjon i restleddet for alle ECM-regresjonene.

	$\delta$
LWTI1	-0.44
LWTI3	-0.49
LWTI6	-0.45
LWTI12	-0.36
LHO1	-0.39
LHO3	-0.66
LHO6	-0.41
LHO12	-0.35

Tabell 7.1: ECT-koeffisientverdier mellom jetfuel og futureskontrakter

Tabell 7.1. viser at  $\delta$  er signifikant negativ for alle kontraktene. Negativt fortegn indikerer en tilbaketrekning mot likevektspunktet. Koeffisientverdier nær null indikerer treg justering mot langtidsliekevekt, mens høyere verdier indikerer raskere justering mot likevekt.

En ECM kan benyttes til å estimere optimale hedgingrater. I kapittel 5 argumenteres det også for en utvidelse av modellen. En videreutvikling av ECM til en VECM vil kunne ta hensyn til flere kointegrerte vektorer, og er hensiktsmessig når flere forklarende futureskontrakter skal medtas i modellen.

## 7.2 Optimale hedgingrater med VECM

Jeg vil benytte VECM-rammeverket til å undersøke flere av strategiene fra kapittel 6. Først skal jeg estimere hedgingrater med en forklarende futureskontrakt som i avsnitt 6.1.1. Videre skal jeg teste kombinasjoner av futureskontrakter som i avsnitt 6.1.3. Grunnet analyseresultatet av de resterende strategiene i kapittel 6, antar jeg at de to ovennevnte strategiene er passende til formålet med denne analysen.

### 7.2.1 Johansens VAR-metode

Engel og Grangers (1987) to-stegsmetode som er benyttet i ECM over, vil ikke være like informativ når man skal teste kointegrasjon med mer enn to variabler. Årsaken er at det her kan være mer enn en kointegrert vektor. For å undersøke om det er en eller flere kointegrerte vektorer, kan man benytte Johansens VAR-metode (Brooks 2008). I min test har jeg tatt utgangspunkt i to etterslep for alle variabler. Jeg sjekker så tallene for autokorrelasjon. Hvis ikke AR-testen forkastes benytter jeg to etterslep. Hvis det er autokorrelasjon, økes antall etterslep. Siden man estimerer et system med flere variabler tester Oxmetrics autokorrelasjon

for både hver individuelle likning og for hele modellen. Sammendrag fra AR-vektortestene er gjengitt i Appendiks 11 og Appendiks 12. Johansens test for kointegrasjon med en forklarende futureskontrakt er vist i Tabell 7.2

	Trace test		Rank
	Rank 0	Rank 1	
Jetfuel - WTI1	0.001	0.224	1
Jetfuel - WTI3	0.003	0.213	1
Jetfuel - WTI6	0.018	0.286	1
Jetfuel - WTI12	0.047	0.364	1
Jetfuel- HO1	0	0.238	1
Jetfuel- HO3	0	0.182	1
Jetfuel- HO6	0.001	0.209	1
Jetfuel- HO12	0.014	0.383	1

Tabell 7.2: Johansens kointegrasjonstest med en forklarende futureskontrakt

Testresultatene over i Tabell 7.2 forkaster rank lik 0 for alle kontrakter, mens rank lik 1 ikke forkastes for noen kontrakter. Følgelig er det en kointegrert vektor, og en vektormodell kan benyttes.

Johansens test for kointegrerte vektorer benyttes videre ved testing med to forklarende futureskontrakter:

	Trace test			Rank
	Rank 0	Rank 1	Rank 2	
Jetfuel - WTI1 - HO1	0	0.001	0.172	2
Jetfuel - WTI3 - HO3	0	0.006	0.233	2
Jetfuel - WTI6 - HO6	0	0.081	0.371	1
Jetfuel - WTI1 - HO3	0	0.002	0.172	2
Jetfuel- WTI3 - HO1	0	0.009	0.214	2
Jetfuel- WTI1 - HO6	0	0.032	0.206	2
Jetfuel- WTI6 - HO1	0	0.063	0.273	1
Jetfuel- WTI3 - HO6	0	0.004	0.212	2
Jetfuel- WTI6 - HO3	0	0.043	0.339	2
Jetfuel - WTI1 - WTI3	0	0.005	0.263	2
Jetfuel- HO1 - HO3	0	0.001	0.183	2
Jetfuel- HO1 - HO6	0	0.011	0.269	2
Jetfuel- HO3 - HO6	0	0.002	0.243	2

Tabell 7.3: Johansens kointegrasjonstest med to forklarende futureskontrakter

Resultatene fra testen vist i Tabell 7.3 angir at rank = 0 forkastes for alle kontraktskombinasjoner, rank = 1 forkastes for alle kontraktskombinasjoner utenom

«WTI6&HO6» og «WTI6&HO1». Resterende kombinasjoner kan ikke forkastes under rank = 2. Dette indikerer at det er to kointegrerte vektorer. Ingen av kontraktskombinasjonene kan forkastes ved rank = 2, og følgelig kan et VECM-rammeverk benyttes.

### 7.2.2 VECM med en futureskontrakt

I dette avsnittet vil jeg teste sammenhengen mellom jetfuel og ulike futureskontrakter, hvor hastigheten til kortsiktige avvik fra langtidslikevekten mellom jetfuel- og futurespris tas med i modellen. Rank er lik 1, og modellen kan skrives som i formel 5.23<sup>65</sup>. De optimale hedgingratene beregnes som  $h = \frac{\sigma_{sf}}{\sigma_f}$ , hvor  $Var(\varepsilon_{Jetfuel}) = \sigma_s$ ,  $Var(\varepsilon_{Futures}) = \sigma_f$  og  $Cov(\varepsilon_{Jetfuel}, \varepsilon_{Futures}) = \sigma_{sf}$ . Estimaten fra analysen er gjengitt i Tabell 7.4 under.

	<b>WTI1</b>	<b>WTI3</b>	<b>WTI6</b>	<b>WTI12</b>
<b>h</b>	0.92	1.01	1.09	1.18
<b>R2</b>	0.723	0.730	0.691	0.600
	<b>HO1</b>	<b>HO3</b>	<b>HO6</b>	<b>HO12</b>
<b>h</b>	0.98	1.07	1.11	1.23
<b>R2</b>	0.804	0.821	0.754	0.606

Tabell 7.4: Hedgingrate med en forklarende futureskontrakt VECM

Estimerte hedgingrater for WTI-kontraktene er beregnet til noe lavere, og HO1 noe høyere, i modellen over enn hva estimatene fra tilsvarende hedgingstrategier under CLRM tilsier. Endringene i ratene har dog kun marginal effekt på hedgingeffektiviteten. Diagnostest fra estimatene er gjengitt i Appendiks 13. ARCH-testen kan her ikke forkastes for noen hedgingstrategier. Normalitets-testen er også bedret fra beregningene under CLRM.

### 7.2.3 VECM med kombinasjoner av futureskontrakter

Jeg vil her se på kombinasjoner av kontrakter, i likhet med kapittel 6, men med bruk av et VECM-rammeverk. Resultatene fra Johansen kointegrasjonstest viser at majoriteten av kontraktskombinasjonene har to kointegrerte vektorer. For rank = 2 kan modellen skrives som i formel 5.24<sup>66</sup>. Optimale hedgingrater beregnes som over, ved variasjon- og kovariasjonen til

<sup>65</sup> Fremstillingen i formel 5.23 viser ett etterslep. I testen vil etterslepsverdien være lik lag-verdiene gjengitt i Appendiks 11.

<sup>66</sup> Fremstillingen i formel 5.24 viser ett etterslep. I testen vil etterslepsverdien være lik lag-verdiene gjengitt i Appendiks 12.

feilleddene, hvor h1 representerer den førstnevnte kontrakten, mens h2 representerer den sistnevnte.

Kombinasjoner med en WTI og en fyringsoljekontrakt under VECM-rammeverket er gjengitt under:

	<b>WTI1 &amp; HO1</b>	<b>WTI3 &amp; HO3</b>	<b>WTI6 &amp; HO6</b>	<b>WTI1 &amp; HO3</b>	<b>WTI3 &amp; HO1</b>
<b>h 1</b>	0.27	0.07	-0.24	0.11	0.28
<b>h 2</b>	0.75	1.01	1.38	0.96	0.77
<b>R2</b>	0.846	0.822	0.746	0.824	0.841
	<b>WTI3 &amp; HO6</b>	<b>WTI6 &amp; HO3</b>	<b>WTI1 &amp; HO6</b>	<b>WTI6 &amp; HO1</b>	
<b>h 1</b>	0.32	-0.05	0.44	0.23	
<b>h 2</b>	0.78	1.13	0.63	0.84	
<b>R2</b>	0.766	0.819	0.774	0.830	

Tabell 7.5: Hedgingrater med kombinasjoner av WTI- og fyringsoljekontrakter VECM

Resultatene i Tabell 7.5 skiller seg fra beregningene under CLRM, ved at estimerte hedgingrater er lavere for WTI-kontraktene og høyere for fyringsoljekontraktene. Dette gjelder alle kombinasjoner utenom «WTI1 & HO6». Endringen i estimatene har dog ikke gitt markante utslag i estimert hedgingeffektivitet. Diagnosetesten fra resultatene er presentert i Appendiks 14.

Kombinasjon med kontrakter på samme underliggende råvare under VECM vises i tabellen under:

	<b>WTI1 &amp; WTI3</b>	<b>HO1 &amp; HO3</b>	<b>HO1 &amp; HO6</b>	<b>HO3 &amp; HO6</b>
<b>h 1</b>	0.56	0.50	0.71	1.09
<b>h 2</b>	0.41	0.55	0.35	-0.01
<b>R2</b>	0.734	0.846	0.847	0.820

Tabell 7.6: Kombinasjoner av kontrakter på samme underliggende råvare VECM

Resultatene fra Tabell 7.6 viser også kun marginal endring i hedgingeffektivitet sett i forhold til samme strategier under CLRM. Estimerte hedgingrater har dog endret seg noe. WTI1 har økt noe i forhold til WTI3, HO1 har økt i forhold til HO3 og HO6, og HO3 har økt i forhold til HO6. Diagnosetesten er gjengitt i Appendiks 14. ARCH-testen kan ikke forkastes for noen av kontraktkombinasjonsstrategiene. Normalitetstesten er viser også bedre resultater sett i forhold til under CLRM.

#### 7.2.4 Out-of-sample - VECM med en futureskontrakt

Out-of-sample-analysene<sup>67</sup> er utført på samme måte som i regresjonsanalysen i kapittel 6.2, og er testet i samme tidsintervall<sup>68</sup>. Avkastning og standardavvik er beregnet på samme måte som tidligere. Tabell 7.7 viser avkastning og standardavvik for hedging med en futureskontrakt, hvor VECM er benyttet.

	Jetfuel	WTI1	WTI3	WTI6	WTI12
<b>Gjennomsnitt</b>	-0.4%	-0.4%	-0.5%	-0.6%	-0.7%
<b>Avkastning 2011</b>	-6.2%	0.2%	-2.7%	-4.7%	-8.5%
<b>Avkastning 2012</b>	-2.3%	-9.0%	-9.1%	-8.7%	-7.9%
<b>Total avkastning</b>	-8.5%	-8.8%	-11.8%	-13.4%	-16.4%
<b>Std.avvik</b>	0.065	0.039	0.042	0.045	0.042
<b>Årlig Std.avvik</b>	0.226	0.135	0.147	0.154	0.145
<b>R2</b>		0.640	0.578	0.534	0.588
	HO1	HO3	HO6	HO12	
<b>Gjennomsnitt</b>	0.1%	0.1%	0.1%	-0.1%	
<b>Avkastning 2011</b>	0.3%	0.3%	-2.1%	-4.4%	
<b>Avkastning 2012</b>	1.3%	1.7%	3.8%	2.5%	
<b>Total avkastning</b>	1.7%	2.1%	1.7%	-2.0%	
<b>Std.avvik</b>	0.016	0.016	0.018	0.027	
<b>Årlig Std.avvik</b>	0.055	0.054	0.063	0.095	
<b>R2</b>	0.940	0.943	0.923	0.824	

Tabell 7.7: Out-of-sample - hedgingrate med en forklarende futureskontrakt VECM

In-sample-analysen av VECM estimerte hedgingeffektivitet tilnærmet likt som under CLRM. Resultatene fra Tabell 7.7 viser at hedgingeffektiviteten er bedre for samtlige kontrakter i out-of-sample-analysen sett i forhold til samme strategier under CLRM. Høyest effektivitet finnes i HO3.

#### 7.2.5 Out-of-sample - VECM med kombinasjoner av futureskontrakter

Resultatene fra out-of-sample-analysen med kombinasjoner av WTI- og fyringsoljekontrakter er vist i Tabell 7.8:

<sup>67</sup> Se kapittel 6.2.1 for beskrivende statistikk for out-of-sample-perioden.

<sup>68</sup> Januar 2011 – desember 2012.



	Jetfuel	WTI1 & HO1	WTI3 & HO3	WTI6 & HO6	WTI1 & HO3
<b>Gjennomsnitt</b>	-0.4%	0.0%	0.1%	0.2%	0.0%
<b>Avkastning 2011</b>	-6.2%	0.7%	0.4%	-1.4%	0.5%
<b>Avkastning 2012</b>	-2.3%	-1.5%	1.5%	6.8%	0.5%
<b>Total avkastning</b>	-8.5%	-0.8%	1.9%	5.3%	1.0%
<b>Std.avvik</b>	0.065	0.019	0.016	0.021	0.017
<b>Årlig Std.avvik</b>	0.226	0.064	0.056	0.071	0.057
<b>R2</b>		0.919	0.938	0.900	0.936
	WTI3 & HO1	WTI3 & HO6	WTI6 & HO3	WTI1 & HO6	WTI6 & HO1
<b>Gjennomsnitt</b>	-0.1%	-0.1%	0.1%	-0.1%	0.0%
<b>Avkastning 2011</b>	-0.1%	-2.2%	0.7%	-0.8%	-1.5%
<b>Avkastning 2012</b>	-1.3%	-0.1%	2.3%	-2.0%	0.7%
<b>Total avkastning</b>	-1.5%	-2.3%	3.0%	-2.9%	-0.8%
<b>Std.avvik</b>	0.019	0.022	0.016	0.025	0.020
<b>Årlig Std.avvik</b>	0.066	0.077	0.055	0.086	0.068
<b>R2</b>	0.916	0.883	0.941	0.857	0.909

Tabell 7.8: Out-of-sample - hedgingrater med kombinasjoner av WTI- og fyringsoljekontrakter VECM

Resultatene fra out-of-sample-analysen bekrefter også her at hedgingeffektiviteten er bedre ved bruk av et VECM-rammeverk. Kun «WTI6&HO6» og «WTI1&HO6» strategiene gir bedre effektivitet ved bruk av CLRM. Lavest variasjon finner man i en kombinasjon mellom «WTI6&HO3», med årlig standardavvik på 0,055 og hedgingeffektivitet på 0,941.

Out-of-sample-resultatene med kontraktskombinasjoner på samme underliggende aktivum er gjengitt i tabellen under:

	WTI1 & WTI3	HO1 & HO3	HO1 & HO6	HO3 & HO6
<b>Gjennomsnitt</b>	-0.4%	0.1%	0.1%	0.1%
<b>Avkastning 2011</b>	-0.9%	0.5%	-0.2%	0.4%
<b>Avkastning 2012</b>	-9.2%	1.6%	2.3%	1.7%
<b>Total avkastning</b>	-10.0%	2.1%	2.1%	2.2%
<b>Std.avvik</b>	0.041	0.015	0.014	0.016
<b>Årlig Std.avvik</b>	0.142	0.051	0.048	0.055
<b>R2</b>	0.606	0.949	0.956	0.941

Tabell 7.9: Out-of-sample - kombinasjoner av kontrakter på samme underliggende råvare VECM

Hedgingeffektiviteten i Tabell 7.9 viser at «HO1&HO3» gir like resultater av samme kombinasjon med bruk av CLRM. Beste observerte kombinasjon, «HO1&HO6», er dog

marginalt bedre under VECM. Kombinasjonen «HO1&HO6», med estimerte hedgingrater fra et VECM-rammeverk, viser seg å være hedgingstrategien som gir størst risikoreduksjon av utvalget i denne analysen, og gir følgelig høyest hedgingeffektivitet.

### 7.3 Optimale hedgingstrategier under VECM

Resultatet av hedgingratene som ble testet under det klassiske lineære regresjonsrammeverket, indikerer at ved hedging i en futureskontrakt, vil fyringsoljekontrakten med tre måneder til forfall være optimal. Funnene fra samme analyse viser at en optimal hedge for flyselskapene er en strategi som kombinerer front- og seksmånederskontrakten på fyringsolje.

I dette kapitlet er logaritmen av prisserier på jetfuel-, WTI- og fyringsoljekontrakter testet for stasjonæritet og kointegrasjon. Resultatene tilsier at jetfuel og samtlige kontrakter er kointegrerte av første orden. En «Error Correction Model» ble benyttet for å vise koeffisienten til ECT mellom jetfuel og futureskontrakter. Det viste seg at justeringskoeffisienten tilbake til likevekt var negativ for alle kontraktene. En «Vector Error Correction Model (VECM)» ble så benyttet som rammeverk for å estimere optimale hedgingrater. Ratene ble estimert med en futureskontrakt som avhengig variabel, og deretter kombinasjoner av futureskontrakter. Sammenligninger mellom rammeverkene CLRM og VECM ble så gjennomført. Hedgingeffektivitetsresultatene fra out-of-sample-perioden antyder at VECM er en mulig foretrukken modell for estimering av optimale hedgingrater med bruk av futureskontrakter for flyselskaper. Estimaten fra in-sample og resultatene fra out-of-sample-analysen under VECM-rammeverket tilsier, i likhet med under CLRM, at ved hedging med en kontrakt gir HO3 best hedgingeffektivitet. Sett alle strategiene under ett gir kombinasjonen «HO1&HO6» størst reduksjon i jetfuelprisrisiko. Resultatene fra overnevnte strategier under VECM avviker fra CLRM ved marginalt bedre hedgingeffektivitet for førstnevnte modell. Avkastingsserier av jetfuelprisen, og hedging med både «HO3» og «HO1&HO6» under CLRM og VECM er gjengitt i figurform i Appendiks 15 og Appendiks 16.

En kombinasjon av front- og seksmånederskontrakten på fyringsolje, estimert fra en «Vector Error Correction Model», er den optimale hedgingstrategien og gir følgelig best hedgingeffektivitet av alle strategier som er testet i denne avhandlingen.

## 8 Avslutning

Denne oppgaven undersøker risikostyring av jetfuelprisen gjennom hedgingstrategier med WTI- og fyringsoljefutures som sikringsinstrument. Analysen tar sikte på å estimere minimum varians hedgingrater for ulike hedgingstrategier. Formålet er å finne hedgingstrategier som gir høyest hedgingeffektivitet, og dermed gir størst reduksjon i jetfuelprisrisiko. Hedgingrate estimatene beregnes fra januar 2000 til desember 2010, for så testes i en out-of-sample-analyse de to etterfølgende årene. Oppgaven estimerer først hedgingrater med en og kombinasjoner av to underliggende futureskontrakter. Videre estimeres alternative sikringsstrategier hvor det ikke er en konstant hedgingrate gjennom hedgingperioden. Her tar analysene hensyn til basis i underliggende futureskontrakt, vintersesong i fyringsoljemarkedet, eller trender i historisk prisvolatilitet for jetfuel. Alle hedgingstrategiene over testes med statistisk regresjons som analyseverktøy. Kointegrasjonsanalyser blir så gjennomført, og en «Vektor Error Correction Model (VECM)» blir etablert for å teste flere av hedgingstrategiene med et rammeverk som tar hensyn til langtidslikevekten mellom jetfuel- og futuresprisene. Hensikten er å teste om dette er et bedre rammeverk for estimering av hedgingrater ved sikring av jetfuelprisen.

Hovedfunnene fra empiriske analysen tilsier at fyringsoljekontrakter er bedre egnet til sikring av jetfuelprisen enn WTI-kontrakter. Kombinasjoner av fyringsoljekontrakter gir større reduksjon i risiko, enn hva sikring i kun en fyringsoljekontrakt gjør. VECM-rammeverket estimerer hedgingrater som gir bedre hedgingeffektivitet for majoriteten av sikringsalternativene i denne oppgaven, sett i forhold til under CLRM.

Hovedfunnene vil sammen med flere funn fra analysekapitlene bli diskutert ytterligere under. Videre vil det følge et avsnitt om mulige forbedringer og videre studier.

Første del av analysen tester for hedgingrater med en underliggende futureskontrakt. Første- og tredjekontrakten til henholdsvis WTI og fyringsolje, samt HO12 viser seg å ikke skille seg signifikant fra 1. Tilsvarende analysemetode ble testet under en noe kortere tidsperiode, for å korrigere for finansiell uro på slutten av 2000-tallet. Resultatene ga uttrykk for en mindre forklarende modell, og jeg konkluderte med at hele tiårsperioden var et bedre egnet intervall for videre estimeringer. En rekke hedgingkombinasjoner av WTI- og fyringsoljekontrakter ble så estimert. Flere av kombinasjonene viste seg å gi bedre hedgingeffektivitet enn tidligere analyser, hvor en kombinasjon av «HO1&HO6» ga høyest effektivitet. Karakteristikk og

historiske volatilitetsendringer i futures- og jetfuelprisen var så utgangspunkt for videre analyse. Analyse med hensyn på basis i underliggende futureskontrakt viste seg å ikke gi noen signifikante forskjeller fra tidligere, hvor en konstant hedgingrate ble benyttet. Estimaten fra analysen med hensyn på vintersesong, viste seg å skille seg ut for frontkontrakten på fyringsolje. Høyere volatilitet i kontrakten i vintersesongen resulterte i en signifikant lavere estimert hedgingrate for HO1 i vinterperioden. Den siste analysen under CLRM så på trender i historisk prisvolatilitet for jetfuel. Undersøkelsen viste at volatilitetsendringene i jetfuelprisen er høyere på høsten og frem mot årsskifte. Flere kontrakter viste seg å ha signifikant høyere hedgingrate i ovennevnte tidsperiode. Risikoreduksjonen viste seg også å være større for samtlige kontrakter under denne analysemetoden, og kontraktene hadde følgelig bedre hedgingeffektivitet enn estimatene med konstant hedgingrate.

Årene 2011 og 2012 ble benyttet til en out-of-sample-analyse. Resultatene fra analysen med en underliggende futures viste seg, i likhet med in-sample estimatene, å gi best hedgingeffektivitet for henholdsvis HO3, HO1 og HO6. En kombinasjon av «HO1&HO6» ble estimert til det beste hedgingalternativet fra in-sample-regresjonene. Out-of-sample-analysen tilsier også at denne kombinasjonen gir best hedgingeffektivitet. Resultatene fra analysen med hensyn på basis viser seg å gi bedre hedgingeffektivitet for begge en- og tremånederskontrakten sett i forhold til konstant hedgingrate. Hedgingeffektiviteten med hensyn på vintersesongen viser seg å være marginalt bedre for den signifikante frontkontrakten på fyringsolje, enn ved konstant hedgingrate. Hedgingstrategier med hensyn på volatilitetsendringer i jetfuelprisen viser seg å være dårligere for tilnærmet alle kontraktene, enn hva resultatene med en konstant hedgingrate tilsier. En videre analyse av volatiliteten i out-of-sample-perioden viser til at den observerte volatilitetstrenden fra in-sample, ikke lenger eksisterer.

Andre del av analysen starter med å teste om det er noen langtidssammenheng mellom jetfuel og henholdsvis WTI- og fyringsoljekontrakter. Analyseresultatene tilsier at jetfuelprisen er kointegrert med alle futureskontraktene. Johansens VAR-metode benyttes så for å teste for kointegrerte vektorer. Resultatene fra testen anvendes så til å undersøke flere av strategiene fra CLRM, under en «Vektor Error Correction Model (VECM)». Estimaten fra in-sample-analysen under VECM viser tendenser til en lavere hedgingrate for WTI-kontraktene, og en høyere rate for fyringsoljekontraktene, enn hva som ble estimert under CLRM. Estimert hedgingeffektivitet avviker dog ikke mye fra resultatene under CLRM. Out-of-sample-analysen fra VECM med en underliggende futureskontrakt viser at alle kontraktene gir bedre

hedgingeffektivitet, sammenlignet med CLRM. Dette gjenspeiles for analysen med kombinasjoner av futureskontrakter, hvor majoriteten av kombinasjonsalternativer gir lik eller bedre hedgingeffektivitet under VECM. Beste hedgingeffektivitet er også under dette rammeverket kombinasjonen «HO1&HO6», både in-sample og out-of-sample.

Analyseresultatene fra hedgingstrategiene i denne undersøkelsen tilsier at en kombinasjon med front- og seksmånederskontrakten på fyringsolje, fra en «Vector Error Correction Model», estimerer hedgingrater som gir best hedgingeffektiviteten og er følgelig den mest egnede hedgingstrategien til reduksjon av jetfuelprisisiko.

Resultatene i denne oppgaven tar ikke hensyn til transaksjonskostnader som oppstår ved kjøp og salg av futures. Det er naturlig å anta at disse kostnadene vil øke noe ettersom antall futureskontrakter som hedges øker. Denne oppgaven ser også kun på hedgingrater med formål om å redusere risiko til et minimum. Ved en videreføring av denne oppgaven kunne det være interessant å se på transaksjonskostnadenes påvirkning på optimalt valg av hedgingstrategi. En noe mer spekulativ tilnærming kunne også vært spennende å undersøke, der hedger er villig til å ta noe mer risiko når forventningen om avkastning øker. Korrelasjon mellom råvarer og valuta er også en faktor som kunne vært interessant å ta hensyn til i videre undersøkelser av hedgingstrategier for flyselskaper.

## Referanseliste

- Abbey, D. R. (2011). Use Of Derivatives In The Airline Industry. *Journal of Business & Economics Research (JBER)*, 5 (7).
- Adams, Z. & Gerner, M. (2012). Cross hedging jet-fuel price exposure. *Energy Economics*, 34 (5): 1301-1309.
- Andrews, D. W. (1991). Heteroskedasticity and autocorrelation consistent covariance matrix estimation. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*: 817-858.
- Asche, F., Gjølborg, O. & Völker, T. (2003). Price relationships in the petroleum market: an analysis of crude oil and refined product prices. *Energy Economics*, 25 (3): 289-301.
- Bertus, M., Godbey, J. & Hilliard, J. E. (2009). Minimum variance cross hedging under mean-reverting spreads, stochastic convenience yields, and jumps: Application to the airline industry. *Journal of Futures Markets*, 29 (8): 736-756.
- Brooks, C. (2008). *Introductory Econometrics for Finance*, 2. utgave: Cambridge University Press.
- Carter, D. A., Rogers, D. A. & Simkins, B. J. (2006). Does Hedging Affect Firm Value? Evidence from the US Airline Industry. *Financial Management*, 35 (1): 53-86.
- Carter, C. A. (2007). *Futures and Options Markets: An Introduction*, : Waveland Press Inc.
- Dickey, D. A. & Fuller, W. A. (1979). Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American statistical association*, 74 (366a): 427-431.
- Engle, R. F. & Granger, C. W. (1987). Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing. *Econometrica: journal of the Econometric Society*: 251-276.
- Engle, R. F. & Yoo, B. S. (1987). Forecasting and testing in co-integrated systems. *Journal of Econometrics*, 35 (1): 143-159.
- Ghosh, A. (1993). Hedging with stock index futures: Estimation and forecasting with error correction model. *Journal of Futures Markets*, 13 (7): 743-752.
- Girma, P. B. & Paulson, A. S. (1999). Risk arbitrage opportunities in petroleum futures spreads. *Journal of Futures Markets*, 19 (8): 931-955.

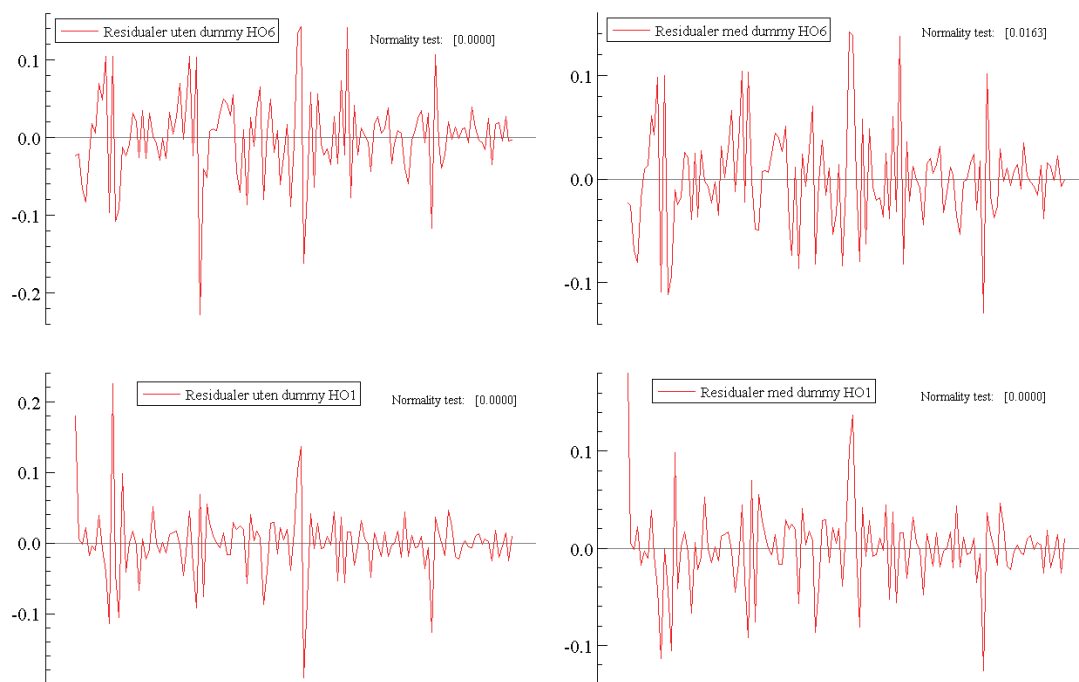
- Granger, C. W. J. & Newbold, P. (1974). Spurious regressions in econometrics. *Journal of econometrics*, 2 (2): 111-120.
- Grisse, C. (2010). What Drives the Oil-Dollar Correlation? *Unpublished manuscript*.
- Hull, J. (2011). *Options, futures, and other derivatives*. 8. utgave Boston: Pearson.
- IATA. (2013). *Airlines Financial Monitor*. I: iata.org (red.). Tilgjengelig fra: <http://www.iata.org/publications/economics/Pages/fharchives.aspx>.
- Kavussanos, M. & Nomikos, N. (2003). Price Discovery, Causality and Forecasting in the Freight Futures Market. *Review of Derivatives Research*, 6 (3): 203-230.
- Kumar, B., Singh, P. & Pandey, A. (2008). Hedging Effectiveness of Constant and Time Varying Hedge Ratio in Indian Stock and Commodity Futures Markets.
- Leland, L. J. (1960). The Theory of Hedging and Speculation in Commodity Futures. *The Review of Economic Studies*, 27 (3): 139-151.
- Li, D. X. (1999). Value at Risk based on the volatility, skewness and kurtosis. *RiskMetrics Group*.
- Lien, D.-H. D. (1996). The effect of the cointegration relationship on futures hedging: A note. *Journal of Futures Markets*, 16 (7): 773-780.
- Lien, D. & Luo, X. (1994). Multiperiod hedging in the presence of conditional heteroskedasticity. *Journal of Futures Markets*, 14 (8): 927-955.
- mcxindia.com. (2008). Tilgjengelig fra: [http://www.mcxindia.com/Uploads/Products/240/English\\_atf.pdf](http://www.mcxindia.com/Uploads/Products/240/English_atf.pdf).
- mcxindia.com. (2010). Tilgjengelig fra: <http://www.mcxindia.com/SitePages/ContractSpecification.aspx?ProductCode=ATF>.
- Modigliani, F. & Miller, M. H. (1958). The cost of capital, corporation finance and the theory of investment. *The American economic review*, 48 (3): 261-297.
- Moosa, I. (2003). The sensitivity of the optimal hedge ratio to model specification. *Finance Letters*, 1 (1): 15-20.
- Morrell, P. & Swan, W. (2006). Airline Jet Fuel Hedging: Theory and Practice. *Transport Reviews*, 26 (6): 713-730.

- Nascimento, J. M. & Powell, W. B. (2008). An Optimal Solution to a General Dynamic Jet Fuel Hedging Problem: Working Paper Princeton University.
- O'Connell, J. F. & Williams, G. (2011). *Air Transport in the 21st Century: Key Strategic Developments*: Ashgate Publishing.
- OsloBørs. (2010). *Alt du trenger å vite om opsjoner, forwards & futures*. I: Oslo Børs. Tilgjengelig fra: <http://www.oslobors.no/Oslo-Boers/Produkter-og-tjenester/Publikasjoner/Derivater-opsjoner-forwards-og-futures>.
- Saltvedt, T. (2012). *Forelesning BUS323 "Varemarkedsanalyse"* : Universitetet for miljø- og biovitenskap.
- Sollis, R. (2012). *Empirical Finance for Finance and Banking*: Wiley.
- Taleb, N. (2007). *The black swan : the impact of the highly improbable*. London: Allen Lane.
- tocom. (2013). *Tokyo Commodity Exchange*. Tilgjengelig fra: tocom.com.
- Vasigh, B., Fleming, K. & Mackay, L. (2010). *Foundations of airline finance: methodology and practice*: Ashgate Publishing.
- Westgaard, S., Estenstad, M., Seim, M. & Frydenberg, S. (2011). Co-integration of ICE Gas oil and Crude oil futures. *Energy Economics*, 33 (2): 311-320.
- Wooldridge, J. M. (2009). *Introductory Econometrics: A Modern Approach*, 4. utgave: South Western, Cengage Learning.
- Working, H. (1949). The theory of price of storage. *The American Economic Review*, 39 (6): 1254-1262.
- Yang, W. & Allen, D. E. (2005). Multivariate GARCH hedge ratios and hedging effectiveness in Australian futures markets. *Accounting & Finance*, 45 (2): 301-321.



## Appendiks

### Appendiks 1: Test av normalfordeling i residualer ved bruk av dummy-variabler



### Appendiks 2: Diagnostest - regresjon med en futureskontrakt

	WTI1	WTI3	WTI6	WTI12
AR(1-7)	0.0052	0.0048	0.0098	0.0262
ARCH(1-7)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0018
Normalitet	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	HO1	HO3	HO6	HO12
AR(1-7)	0.0053	0.0004	0.0130	0.0257
ARCH(1-7)	0.0203	0.3119	0.0517	0.0659
Normalitet	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Appendiks 3: Diagnosetest - regresjon med kombinasjoner av kontrakter

	WTI1 & HO1	WTI3 & HO3	WTI6 & HO6	WTI1 & HO3	WTI3 & HO1
AR(1-7)	0.001	0.000	0.019	0.000	0.000
ARCH(1-7)	0.000	0.038	0.033	0.036	0.000
Normalitet	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	WTI3 & HO6	WTI6 & HO3	WTI1 & HO6	WTI6 & HO1	
AR(1-7)	0.022	0.000	0.011	0.000	
ARCH(1-7)	0.001	0.186	0.003	0.000	
Normalitet	0.000	0.000	0.000	0.000	
	WTI1 & WTI3	HO1 & HO3	HO1 & HO6	HO3 & HO6	
AR(1-7)	0.005	0.000	0.000	0.000	
ARCH(1-7)	0.000	0.243	0.000	0.157	
Normalitet	0.000	0.000	0.000	0.000	

Appendiks 4: Diagnosetest - regresjon med hensyn på basis

	WTI1	WTI3	WTI6	WTI12
AR(1-7)	0.0042	0.0045	0.0115	0.0512
ARCH(1-7)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0020
Normalitet	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	HO1	HO3	HO6	HO12
AR(1-7)	0.0054	0.0006	0.0138	0.0480
ARCH(1-7)	0.0191	0.2755	0.0531	0.0670
Normalitet	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Appendiks 5: Diagnosetest - regresjon med hensyn på vintersesong

	HO1	HO3	HO6	HO12
AR(1-7)	0.0002	0.0006	0.1506	0.0068
ARCH(1-7)	0.0000	0.0337	0.0003	0.0006
Normalitet	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Appendiks 6: Diagnosetest - regresjon med hensyn på volatilitet i jetfuelprisen

	WTI1	WTI3	WTI6	WTI12
AR(1-7)	0.0161	0.0150	0.0378	0.0323
ARCH(1-7)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0020
Normalitet	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	HO1	HO3	HO6	HO12
AR(1-7)	0.0004	0.0042	0.1486	0.0185
ARCH(1-7)	0.0006	0.2826	0.0038	0.0014
Normalitet	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Appendiks 7: Basis i out-of-sample-perioden for fyringsolje- og WTI kontrakter



Appendiks 8: Test for stasjonærhet

	<b>Constant; 5%=-2.88 1%=-3.48</b> <b>t-ADF</b>	<b>Constant+Trend; 5%=-3.45 1%=-4.03</b> <b>t-ADF</b>
Ljetfuel	-1.2	-2.2
LWT11	-1.3	-3.2
LWT13	-1.2	-2.6
LWT16	-1.1	-2.5
LWT112	-0.9	-2.3
LHO1	-1.1	-2.3
LHO3	-1.2	-2.4
LHO6	-1.1	-2.7
LHO12	-0.9	-2.0

Appendiks 9: Tester for stasjonærhet ved førstedifferensiering

	<b>Constant; 5%=-2.88 1%=-3.48</b> <b>t-ADF</b>	<b>Constant+Trend; 5%=-3.45 1%=-4.03</b> <b>t-ADF</b>
Ljetfuel	-10.2	-10.2
LWT11	-9.3	-9.3
LWT13	-9.1	-9.1
LWT16	-8.6	-8.5
LWT112	-8.3	-8.2
LHO1	-10.6	-10.6
LHO3	-9.4	-9.4
LHO6	-8.6	-8.6
LHO12	-8.7	-8.7

Appendiks 10: Kointegrasjonstest

	<b>5%=-3,17 1%=-3,73</b> <b>t-ADF</b>
LWT11	-5.2
LWT13	-5.2
LWT16	-4.7
LWT112	-4.1
LHO1	-4.6
LHO3	-6.7
LHO6	-4.8
LHO12	-4.2

Appendiks 11: Vektor AR-test med en futureskontrakt

Vector AR 1-7 test	Lag	p-prob
Jetfuel - WTI1	2	0.7005
Jetfuel - WTI3	2	0.6208
Jetfuel - WTI6	2	0.7024
Jetfuel - WTI12	2	0.8027
Jetfuel- HO1	2	0.9264
Jetfuel- HO3	2	0.9007
Jetfuel- HO6	3	0.2198
Jetfuel- HO12	2	0.7295

Appendiks 12: Vektor AR-test med kombinasjoner av futureskontrakter

Vector AR 1-7 test	Lag	p-prob
Jetfuel - WTI1 - HO1	2	0.5648
Jetfuel - WTI3 - HO3	2	0.7221
Jetfuel - WTI6 - HO6	3	0.1212
Jetfuel - WTI1 - HO3	2	0.4168
Jetfuel- WTI3 - HO1	2	0.6809
Jetfuel- WTI1 - HO6	4	0.1813
Jetfuel- WTI6 - HO1	2	0.7866
Jetfuel- WTI3 - HO6	3	0.1217
Jetfuel- WTI6 - HO3	3	0.9484
Jetfuel - WTI1 - WTI3	2	0.1481
Jetfuel- HO1 - HO3	2	0.3283
Jetfuel- HO1 - HO6	2	0.0861
Jetfuel- HO3 - HO6	2	0.1662

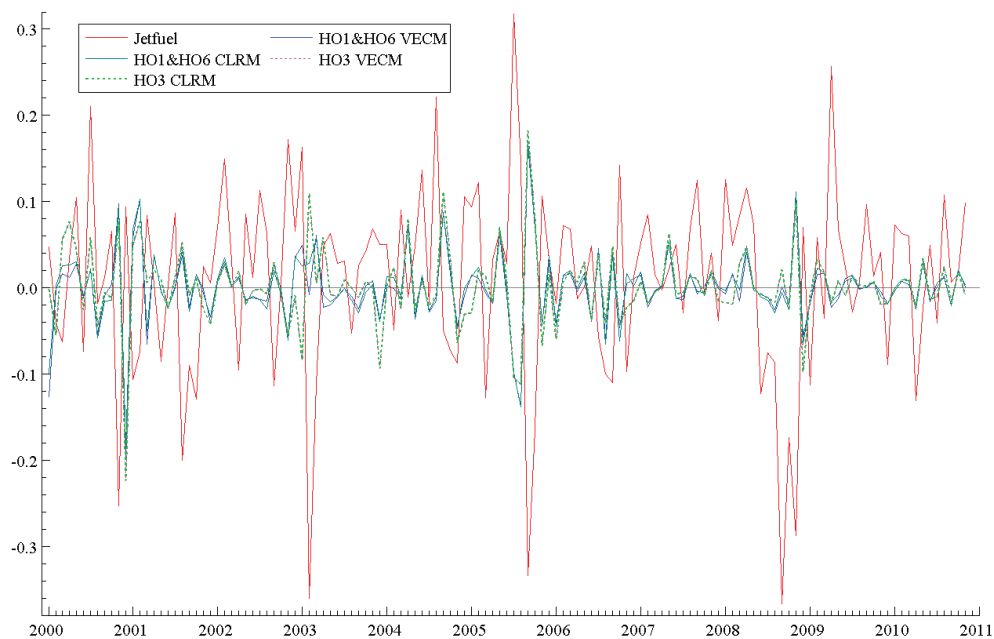
Appendiks 13: Diagnosetest med en futureskontrakt VECM

	WTI1	WTI3	WTI6	WTI12
ARCH(1-7) Jetfuel	0.8875	0.8965	0.6673	0.4835
ARCH(1-7) WTI	0.4826	0.7147	0.5906	0.1422
Normalitet Jetfuel	<b>0.0360</b>	<b>0.0235</b>	<b>0.0206</b>	0.5111
Normalitet WTI	<b>0.0193</b>	0.8965	0.6673	<b>0.0014</b>
	HO1	HO3	HO6	HO12
ARCH(1-7) Jetfuel	0.8883	0.4778	0.3490	0.0927
ARCH(1-7) Fyringsolje	0.7387	0.8971	0.3414	0.0734
Normalitet Jetfuel	<b>0.0003</b>	<b>0.0427</b>	0.3300	0.1516
Normalitet Fyringsolje	<b>0.0001</b>	0.1042	0.2221	<b>0.0040</b>

Appendiks 14: Diagnostest med kombinasjoner av futureskontrakter VECM

	WT1 & HO1	WT13 & HO3	WT16 & HO6	WT11 & HO3	WT13 & HO1
ARCH(1-7) Jetfuel	0.8839	0.9157	0.8017	0.9146	0.8965
ARCH(1-7) WTI	0.4953	0.6871	0.3046	0.5166	0.7262
ARCH(1-7) Fyringsolje	0.3900	0.9987	0.4815	0.9997	0.5942
Normalitet Jetfuel	<b>0.0381</b>	0.4086	<b>0.1647</b>	0.0962	0.3897
Normalitet WTI	<b>0.019</b>	0.0343	0.006	<b>0.0223</b>	<b>0.0257</b>
Normalitet Fyringsolje	<b>0.0027</b>	0.258	0.217	<b>0.0429</b>	0.056
	WT13 & HO6	WT16 & HO3	WT11 & HO6	WT16 & HO1	
ARCH(1-7) Jetfuel	0.9746	0.9371	0.9148	0.8030	
ARCH(1-7) WTI	0.6048	0.4953	0.5309	0.6291	
ARCH(1-7) Fyringsolje	0.5678	0.8803	0.5122	0.3762	
Normalitet Jetfuel	0.4671	0.7835	<b>0.0346</b>	0.5001	
Normalitet WTI	<b>0.0218</b>	<b>0.0221</b>	<b>0.0091</b>	0.4172	
Normalitet Fyringsolje	0.2098	0.6856	<b>0.0205</b>	0.1739	
	WT11 & WT13	HO1 & HO3	HO1 & HO6	HO3 & HO6	
ARCH(1-7) Jetfuel	0.8868	0.4188	0.4845	0.6237	
ARCH(1-7) 1	0.7667	0.5455	0.3011	0.7807	
ARCH(1-7) 2	0.7340	0.8395	0.7275	0.5677	
Normalitet Jetfuel	0.4962	0.0742	0.1617	0.3096	
Normalitet 1	0.166	<b>0.0181</b>	<b>0.0137</b>	0.365	
Normalitet 2	0.0543	0.1712	0.2095	0.2157	

Appendiks 15: Avkastingsserier fra hedgingstrategiene «HO3» og «HO1&HO6» in-sample under CLRM og VECM



Appendiks 16: Avkastingsserier fra hedgingstrategiene «HO3» og «HO1&HO6» out-of-sample under CLRM og VECM

