



***Studie av ulike Mother Wavelets
til bruk innen kantdeteksjon
av blodårer i ultralydbilder***

av

**Kenneth Bolstad
Øyvind Vedå**

**Hovedoppgave til mastergraden i
informasjons- og kommunikasjonsteknologi**

**Høgskolen i Agder
Grimstad, Mai 2003**

1 Sammendrag

Kantdeteksjon er en viktig forutsetning for at operasjoner skal kunne gjennomføres på en tryggest mulig måte. Kirurgene må vite hvor blodårene er for å unngå og gjøre skade på pasienten. Metodene som blir brukt til kantdeteksjon i dag er i mange tilfeller ikke gode nok. Arbeidet med å forbedre og automatisere metodene for kantdeteksjon i medisinske bilder er en kontinuerlig prosess.

Vi har bygget en java-applikasjon som bruker wavelets for å prøve og finne kanter i ultralydbilder og syntetiske bilder. Applikasjonen har vi brukt til å teste ulike Mother Wavelets. Testingen ble gjort for å finne ut hvilke wavelets som egner seg til kantdeteksjon. Waveletene har svært forskjellige egenskaper og som forventet klarte enkelte av dem seg bedre enn andre.

I ultralydbilder finner vi ofte kanten, men bildene er så dårlige at det er usikkert om vi treffer starten-, slutten- eller inne i kanten. I testene har vi prøvd og finne et mønster. Vi så derfor på om de forskjellige treffpunktene treffer samme kanten med samme wavelet på flere bilder. På skarpe lyse kanter var dette tilfellet.

2 Forord

Denne rapporten markerer avslutningen på sivilingeniørutdanningen ved Høgskolen i Agder Grimstad. Oppgaven teller 10 vekttall og er skrevet vårsemesteret 2003.

Oppgaven har tittelen: *Studie av ulike Mother Wavelets til bruk innen kantdeteksjon av blodårer i ultralydbilder*. Oppdragsgiver for oppgaven var SINTEF Unimed Ultralyd i Trondheim. Kontaktpersonen vår var Thomas Langø. Lokal veileder ved HiA var Per Henrik Hogstad. Han var en av grunnene til at vi valgte oppgaven. Vi viste på forhånd at vi ville få god oppfølging og en engasjert veileder som var veldig interessert i fagfeltet. Våre forventninger ble i så måte ikke gjort til skamme. Veileder satte opp forelesninger i begynnelsen av perioden for at vi skulle bli fortere kjent med stoffet. Dette gjorde at vi fikk en god start på oppgaven.

Oppgaven ble for det meste skrevet på hjemmekontoret hos en av gruppemedlemmene i Kristiansand. Vi har dermed hatt stor nytte av Høgskolens tilbud av bærbare PCer. Laben i Grimstad ble benyttet i forbindelse med besøk hos veileder.

Vedlagt ligger en CD med programkode, bilder og MathCad-dokumenter.

Grimstad 26.05.2003

Kenneth Bolstad

Øyvind Vedå

3 Innholdsfortegnelse

1	SAMMENDRAG	2
2	FORORD	3
3	INNHOLDSFORTEGNELSE	4
4	FIGURLISTE	8
5	INNLEDNING	9
5.1	OPPGAVEDEFINISJON	9
5.2	FORUTSETNINGER.....	9
5.3	AVGRENSNING.....	9
5.4	ARBEIDSGANGEN.....	10
5.5	BAKGRUNN, TEMA OG PROBLEMSTILLING, FORMÅL MED ARBEIDET.	11
5.6	BESØK HOS SINTEF UNIMED ULTRALYD I TRONDHEIM	12
5.7	HVORDAN RESTEN AV RAPPORTEN ER BYGD OPP	12
6	METODER	13
6.1	FOURIER	13
6.2	WAVELETS	14
6.2.1	<i>CWT</i>	15
6.2.2	<i>DWT</i>	17
6.2.3	<i>Diskretisering av CWT</i>	17
6.2.4	<i>Energien i et signal</i>	18
6.3	DE UTVALGTE MOTHER WAVELETS	19
6.3.1	<i>Haar</i>	19
6.3.2	<i>Mexican Hat</i>	20
6.3.3	<i>Morlet</i>	20
6.3.4	<i>Daubechies D4</i>	21
6.3.5	<i>Kubisk Spline</i>	21
6.3.6	<i>Kvadratisk Spline</i>	22
6.3.7	<i>Stykkevis lineær Spline</i>	22
7	MATHCAD	23
8	JAVA APPLIKASJONEN	27
8.1	BRUKERVEILEDNING.....	28
8.1.1	<i>Skalogrammene</i>	29
8.1.2	<i>Innstillinger</i>	30
8.1.3	<i>Punkter</i>	31
8.2	ULIKE TEKNIKKER	32
8.3	TEKNISKE DETALJER.....	32
8.3.1	<i>CWT</i>	33
8.3.2	<i>Control</i>	34
8.4	SVAKHETER VED APPLIKASJONEN.....	35
8.5	METODER FOR Å FINNE KANTER	36
8.5.1	<i>Waveletkoeffisienter dividert med kvadratet av skaleringen</i>	36
8.5.2	<i>Energi</i>	36
8.5.3	<i>Waveletkoeffisienter</i>	37
8.6	TYKKELSE PÅ STRÅLEN.....	37
8.7	FLYTTING AV DAUBECHIES OG SPLINES	37
9	RESULTATER	41
9.1	BILDE NR. 1	43
9.1.1	<i>Haar</i>	44
9.1.2	<i>Mexican Hat</i>	45
9.1.3	<i>Morlet</i>	46
9.1.4	<i>Daubechies D4</i>	47

9.1.5	<i>Kubisk Spline</i>	48
9.1.6	<i>Kvadratisk Spline</i>	49
9.1.7	<i>Stykkevis lineær Spline</i>	50
9.2	BILDE NR. 2	51
9.2.1	<i>Haar</i>	52
9.2.2	<i>Haar</i>	53
9.2.3	<i>Mexican hat</i>	54
9.2.4	<i>Mexican hat</i>	55
9.2.5	<i>Morlet</i>	56
9.2.6	<i>Morlet</i>	57
9.2.7	<i>Daubechies D4</i>	58
9.2.8	<i>Daubechies D4</i>	59
9.2.9	<i>Kubisk spline</i>	60
9.2.10	<i>Kubisk spline</i>	61
9.2.11	<i>Kvadratisk spline</i>	62
9.2.12	<i>Kvadratisk spline</i>	63
9.2.13	<i>Stykkevis lineær spline</i>	64
9.2.14	<i>Stykkevis lineær spline</i>	65
9.3	BILDE NR. 3	66
9.3.1	<i>Haar</i>	67
9.3.2	<i>Haar</i>	68
9.3.3	<i>Haar</i>	69
9.3.4	<i>Mexican Hat</i>	70
9.3.5	<i>Mexican Hat</i>	71
9.3.6	<i>Mexican Hat</i>	72
9.3.7	<i>Morlet</i>	73
9.3.8	<i>Morlet</i>	74
9.3.9	<i>Morlet</i>	75
9.3.10	<i>Daubechies D4</i>	76
9.3.11	<i>Daubechies D4</i>	77
9.3.12	<i>Daubechies D4</i>	78
9.3.13	<i>Kubisk Spline</i>	79
9.3.14	<i>Kubisk Spline</i>	80
9.3.15	<i>Kubisk Spline</i>	81
9.3.16	<i>Kvadratisk Spline</i>	82
9.3.17	<i>Kvadratisk Spline</i>	83
9.3.18	<i>Kvadratisk Spline</i>	84
9.3.19	<i>Stykkevis lineær Spline</i>	85
9.3.20	<i>Stykkevis lineær Spline</i>	86
9.3.21	<i>Stykkevis lineær Spline</i>	87
9.4	BILDE NR. 4	88
9.4.1	<i>Haar</i>	89
9.4.2	<i>Mexican hat</i>	90
9.4.3	<i>Morlet</i>	91
9.4.4	<i>Daubechies D4</i>	92
9.4.5	<i>Kubisk spline</i>	93
9.4.6	<i>Kvadratisk spline</i>	94
9.4.7	<i>Stykkevis lineær spline</i>	95
9.5	BILDE NR. 5	96
9.5.1	<i>Haar</i>	97
9.5.2	<i>Mexican Hat</i>	98
9.5.3	<i>Mexican Hat</i>	99
9.5.4	<i>Mexican Hat</i>	100
9.5.5	<i>Morlet</i>	101
9.5.6	<i>Morlet</i>	102
9.5.7	<i>Daubechies D4</i>	103
9.5.8	<i>Daubechies D4</i>	104
9.5.9	<i>Kubisk Spline</i>	105
9.5.10	<i>Kubisk Spline</i>	106
9.5.11	<i>Kvadratisk Spline</i>	107

9.5.12	<i>Kvadratisk Spline</i>	108
9.5.13	<i>Stykkevis lineær Spline</i>	109
9.5.14	<i>Stykkevis lineær Spline</i>	110
9.6	BILDE NR. 6	111
9.6.1	<i>Haar</i>	112
9.6.2	<i>Mexican Hat</i>	113
9.6.3	<i>Morlet</i>	114
9.6.4	<i>Daubechies D4</i>	115
9.6.5	<i>Kubisk Spline</i>	116
9.6.6	<i>Kvadratisk Spline</i>	117
9.6.7	<i>Stykkevis lineær Spline</i>	118
9.7	BILDE NR. 7	119
9.7.1	<i>Haar</i>	120
9.7.2	<i>Haar</i>	121
9.7.3	<i>Haar</i>	122
9.7.4	<i>Mexican Hat</i>	123
9.7.5	<i>Mexican Hat</i>	124
9.7.6	<i>Mexican Hat</i>	125
9.7.7	<i>Morlet</i>	126
9.7.8	<i>Morlet</i>	127
9.7.9	<i>Morlet</i>	128
9.7.10	<i>Daubechies D4</i>	129
9.7.11	<i>Daubechies D4</i>	130
9.7.12	<i>Daubechies D4</i>	131
9.7.13	<i>Kubisk Spline</i>	132
9.7.14	<i>Kubisk Spline</i>	133
9.7.15	<i>Kubisk Spline</i>	134
9.7.16	<i>Kvadratisk Spline</i>	135
9.7.17	<i>Kvadratisk Spline</i>	136
9.7.18	<i>Kvadratisk Spline</i>	137
9.7.19	<i>Stykkevis lineær Spline</i>	138
9.7.20	<i>Stykkevis lineær Spline</i>	139
9.7.21	<i>Stykkevis lineær Spline</i>	140
9.8	BILDE NR. 8	141
9.8.1	<i>Haar</i>	142
9.8.2	<i>Haar</i>	143
9.8.3	<i>Haar</i>	144
9.8.4	<i>Mexican Hat</i>	145
9.8.5	<i>Mexican Hat</i>	146
9.8.6	<i>Mexican Hat</i>	147
9.8.7	<i>Morlet</i>	148
9.8.8	<i>Morlet</i>	149
9.8.9	<i>Morlet</i>	150
9.8.10	<i>Daubechies D4</i>	151
9.8.11	<i>Daubechies D4</i>	152
9.8.12	<i>Daubechies D4</i>	153
9.8.13	<i>Kubisk Spline</i>	154
9.8.14	<i>Kubisk Spline</i>	155
9.8.15	<i>Kubisk Spline</i>	156
9.8.16	<i>Kvadratisk Spline</i>	157
9.8.17	<i>Kvadratisk Spline</i>	158
9.8.18	<i>Kvadratisk Spline</i>	159
9.8.19	<i>Stykkevis lineær Spline</i>	160
9.8.20	<i>Stykkevis lineær Spline</i>	161
9.8.21	<i>Stykkevis lineær Spline</i>	162
9.9	ULTRALYDBILDE NR. 1	163
9.9.1	<i>Haar</i>	164
9.9.2	<i>Haar</i>	165
9.9.3	<i>Mexican Hat</i>	166
9.9.4	<i>Mexican Hat</i>	167

9.9.5	<i>Mexican Hat</i>	168
9.9.6	<i>Morlet</i>	169
9.9.7	<i>Morlet</i>	170
9.9.8	<i>Daubechies D4</i>	171
9.9.9	<i>Daubechies D4</i>	172
9.9.10	<i>Kubisk Spline</i>	173
9.9.11	<i>Kubisk Spline</i>	174
9.9.12	<i>Kvadratisk Spline</i>	175
9.9.13	<i>Kvadratisk Spline</i>	176
9.9.14	<i>Stykkevis lineær Spline</i>	177
9.9.15	<i>Stykkevis lineær Spline</i>	178
9.10	ULTRALYDBILDE NR. 2.....	179
9.10.1	<i>Haar</i>	180
9.10.2	<i>Haar</i>	181
9.10.3	<i>Mexican Hat</i>	182
9.10.4	<i>Mexican Hat</i>	183
9.10.5	<i>Mexican Hat</i>	184
9.10.6	<i>Moret</i>	185
9.10.7	<i>Morlet</i>	186
9.10.8	<i>Daubechies D4</i>	187
9.10.9	<i>Daubechies D4</i>	188
9.10.10	<i>Kubisk Spline</i>	189
9.10.11	<i>Kubisk Spline</i>	190
9.10.12	<i>Kvadratisk Spline</i>	191
9.10.13	<i>Kvadratisk Spline</i>	192
9.10.14	<i>Stykkevis lineær Spline</i>	193
9.10.15	<i>Stykkevis lineær Spline</i>	194
10	DRØFTING AV RESULTATER	195
10.1	SYNTETISK BILDER.....	195
10.1.1	<i>Kanter med bredde på en pixel</i>	195
10.1.2	<i>Skarpe kanter med bredde</i>	196
10.1.3	<i>Diffus kant med bredde</i>	197
10.2	KONKLUSJON PÅ SYNTETISKE BILDER.....	198
10.3	ULTRALYDBILDER.....	198
11	KONKLUSJON	200
12	LITTERATURLISTE	201
12.1	BØKER.....	201
12.2	INTERNETTSIDER.....	201
13	VEDLEGG	202
13.1	SAMMENLIKNING AV RESULTATER.....	202
13.1.1	<i>Bilde nr. 1</i>	202
13.1.2	<i>Bilde nr. 2 og bilde nr. 3</i>	202
13.1.3	<i>Bilde nr. 4</i>	203
13.1.4	<i>Bilde nr. 5 og bilde nr. 6</i>	203
13.1.5	<i>Bilde nr. 7 og bilde nr. 8</i>	204
13.1.6	<i>Ultralydbildene</i>	206

4 Figurliste

FIGUR 1 – SIGNAL OG DEN FOURIERTRANSFORMERTE AV SIGNALET	13
FIGUR 2 – SIGNAL OG DEN FOURIERTRANSFORMERTE AV SIGNALET	13
FIGUR 3 – MORLET WAVELET	14
FIGUR 4 – MORLET MED FORSKJELLIGE A- OG B VERDIER. FØRSTE: A=1 OG B=0, ANDRE: A=1 OG B=1 OG TREDJE: A=2 OG B=1.....	15
FIGUR 5 – SIGNAL MED DEN WAVELETTRANSFORMERTE.....	16
FIGUR 6 - SIGNAL MED DEN WAVELETTRANSFORMERTE	16
FIGUR 7 – WAVELET TRANSFORMERT FØRST VED SUMMERING OG DERETTER VED INTEGRERING.....	18
FIGUR 8 – HAAR WAVELET FUNKSJON OG GRAF.....	19
FIGUR 9 – MEXICAN HAT WAVELET FUNKSJON OG GRAF.....	20
FIGUR 10 – MORLET WAVELET FUNKSJON OG GRAF.....	20
FIGUR 11 – DAUBECHIES D4 WAVELET FUNKSJON OG GRAF.....	21
FIGUR 12 – KUBISK SPLINE WAVELET FUNKSJON OG GRAF	21
FIGUR 13- KVADRATISK SPLINE WAVELET FUNKSJON OG GRAF.....	22
FIGUR 14 – STYKKEVIS LINEÆR SPLINE WAVELET FUNKSJON OG GRAF	22
FIGUR 15 – FØRSTE SIDE I MATHCAD DOKUMENT(ER)	24
FIGUR 16 – ANDRE SIDE I MATHCAD DOKUMENT(ER)	25
FIGUR 17 – TREDJE SIDE I MATHCAD DOKUMENT(ER).....	26
FIGUR 18 – JAVA APPLIKASJONEN ETTER AT EN WAVELET TRANSFORMASJON ER KJØRT OVER EN STRÅLE	27
FIGUR 20 – SKALOGRAMMENE I PROGRAMMET. LIGGER I TO FORSKJELLIGE SKILLEARK.	29
FIGUR 21 – WAVELET KOEFFISIENTENE VIST TREDIMENSJONALT	30
FIGUR 23 – DAUBECHIES D4 WAVELET VIST MED FORSKJELLIGE <i>SMOOTHING</i> VERDIER. FØRST MED VERDIEN 2, DERETTER MED 3 OG TIL SIST MED VERDIEN 4.	31
FIGUR 25 - MAINFRAME	32
FIGUR 26 - PROPERTIESPANEL	33
FIGUR 27 - OPERATIONSADJUSTMENTSPANEL.....	33
FIGUR 28 – REFERANSE OBJEKTER I CONTROL-KLASSEN	34
FIGUR 31 – DAUBECHIES D4.....	38
FIGUR 32 – SKALOGRAM FØR OG ETTER ”FLYTTING” AV DAUBECHIES.....	38
FIGUR 33 – HAAR WAVELET SOM IKKE ER SYMMETRISK OM B (I): A=1 OG B=0. WAVELETEN ER DERETTER SKALERT (II): A=2 OG B=0, OG I SISTE BILDE ER DEN SKALERT OG TRANSELERT (III): A=2 OG B=1	39
FIGUR 34 – HAAR WAVELET SOM ER SYMMETRISK OM B (I): A=1 OG B=0. WAVELETEN ER DERETTER SKALERT (II): A=2 OG B=0, FOR SÅ Å VÆRE SKALERT OG TRANSELERT (III): A=2 OG B=1.	39
FIGUR 35 – SORT BILDE MED EN LYS STREK MED BREDDE PÅ 1 PIXEL	43
FIGUR 50 – BILDE MED 1 PIXEL BRED STREK MED LITT STØY	51
FIGUR 79 - BILDE MED 1 PIXEL BRED STREK MED MYE STØY.....	66
FIGUR 122 – BILDE MED LYS STREK MED BREDDE PÅ 20.....	88
FIGUR 137 – BILDE MED LYS STREK MED BREDDE PÅ 20 OG MYE STØY.....	96
FIGUR 166 – BILDE MED MØRK STREK MED BREDDE PÅ 20 OG MYE STØY	111
FIGUR 181 – SYNTETISK BLODÅRE.....	119
FIGUR 224 – SYNTETISK BLODÅRE.....	141
FIGUR 267 - ULTRALYDBILDE.....	163
FIGUR 298 - ULTRALYDBILDE.....	179

5 Innledning

5.1 Oppgavedefinisjon

Innen deler av medisinen er det behov for å erstatte bruk av røntgen med ultralyd. Ultralydbilder inneholder støy og uklare kantoverganger. Oppgaven vil vha. egenutviklet(e) applikasjon(er) omfatte en grunnleggende, systematisk test av ulike Mother Wavelets innen kantdeteksjon, innledningsvis på syntetiske bilder, deretter på reelle ultralydbilder for kantdeteksjon av blodårer. Utviklede metoder vil bli forsøkt utformet så generelle at de kan benyttes innen andre 3D ultralyd anvendelser i kirurgi (svulster i lever og hjerne, halspulsåre, etc.).

5.2 Forutsetninger

Vi har begge gått treårig ingeniør i datateknikk ved Høgskolen i Agder Grimstad. Deretter gikk vi videre på sivilingeniør ved samme skole. Oppgaven krever forkunnskaper i matematikk, statistikk og objektorientert programmering. Wavelets var et tema ingen av oss var kjent med på forhånd. Dette var ikke en del av pensum i utdanningen. Det var derfor til stor hjelp med noen forelesninger i begynnelsen for å få en innføring i temaet. Fourier transformasjoner var imidlertid noe vi var kjent med. Dette gjorde det enklere for oss å sette oss inn i wavelets. Vi skal senere se at Wavelets- og Fourier transformasjoner har visse likhetstrekk.

5.3 Avgrensning

Vi var tidlig nødt til å lage et begrenset utvalg av Mother Wavelets (MW). Opprinnelig hadde vi tenkt fem ulike MW. Dette ble raskt utvidet til syv. Sent i prosjektperioden var det en annen gruppe som hadde et gjennombrudd med en tredimensjonal versjon av en MW. Veileder hadde dermed ønske om at vi også skulle prøve denne MW. Dermed ble utvalget til slutt:

- Haar
- Mexican Hat
- Mexican Hat 3D
- Morlet
- Daubechies D4

- Kubisk Spline
- Kvadratisk Spline
- Stykkevis lineær Spline

Det har vært kjørt Waveletprosjekter ved HiA tidligere. Mye av grunnarbeidet med hensyn på teori om Wavelets og Fourier er allerede skrevet. Ønsket fra veileder var at vi skulle ta Waveletprosjektet et steg videre. Ressursene er ikke brukt på å forklare Wavelets teori i detalj. Det er Java applikasjonen og testing av ulike MW på ulike bilder som er prioritert. Vi har kun forklart slik at en leser skal kunne forstå oppgaven med våre forkunnskaper i matematikk.

5.4 Arbeidsgangen

I begynnelsen av semesteret ble vi tilbudt forelesninger i Wavelets av veileder. Dette for at oppgaveprosessen skulle gå så smertefritt som mulig. Wavelets er et tungt matematisk område som ingen av oss hadde noen erfaring med. Derfor var vi takknemlige for innføringen vi fikk av veileder.

Etter at matematikken bak Wavelets ”sank inn” begynte vi på de mer praktiske oppgavene. Helt i starten måtte vi foreta et valg av hvilke Wavelets vi ville teste i oppgaven. Vi kontaktet Thomas Langø hos SINTEF for å høre om de hadde noen preferanser angående utvalget av Wavelets. Han ga beskjed om at han gjerne ville ha med Daubechies og Mexican Hat, men hadde ikke noen ønsker utover dette, og at vi stod fritt til og velge på egenhånd. Vi ble dermed enige med veileder om de resterende.

Vi begynte raskt å implementere waveletene i MathCad. Vi fikk et tips fra Byrge Birkeland, førstelektor ved HiA i Kristiansand, om en funksjon som gjorde det mulig å lese inn bilder i MathCad. Dette gjorde oss i stand til å teste alle waveletene på bilder i MathCad. Vi forklarer dette i detalj i kapittel 7.

En stor del av prosjektperioden ble brukt til å utvikle en Java applikasjon for å teste ulike wavelets på bilder. Denne skulle utformes slik at det enkelt lot seg gjøre å implementere flere wavelets om ønskelig. Utviklingen av applikasjonen brukte vi store deler av prosjektiden på.

Etter at testprogrammet var ferdig utviklet, gikk vi igang med testing på bilder. Vi begynte å teste alle waveletene på enkle syntetiske bilder med en skarp kant og uten støy. Deretter gjorde vi bildene gradvis mer komplekse. Vi la inn tykkere streker og mer støy. Dermed hadde vi mulighet til å sjekke hvilke Wavelets som egnet seg til ulike oppgaver. Til slutt testet vi på ultralydbilder. Alle testene er dokumentert i kapittel 9.

Mot slutten av prosjektperioden oppdaget vi at vi hadde brukt feil funksjon for Mexican Hat. Funksjonen hadde vi hentet fra veileders forelesningsnotater. Etter kontroll av alle Mother Waveletene fant vi ut at den funksjonen vi hadde brukt så langt ikke oppfylte alle krav til å være en wavelet (integralet over alle tider ble ikke null). Dette satte oss litt tilbake siden vi måtte kjøre alle testene med Mexican Hat om igjen.

5.5 Bakgrunn, tema og problemstilling, formål med arbeidet.

Wavelets er matematiske funksjoner som deler opp data i frekvenskomponenter. De har fordeler fremfor tradisjonelle Fourier metoder når det kommer til analyse av fysiske situasjoner hvor signalet ikke er kontinuerlig og inneholder skarpe topper.

Røntgen blir i dag brukt for å lokalisere blodårer. Langvarig røntgenstråling er ikke heldig for hverken pasienten eller sykehuspersonellet. Det er derfor ønskelig å erstatte noe av røntgenbruken med ultralyd. Dagens ultralydbilder inneholder mye støy, noe som gjør det vanskelig å lokalisere detaljer i bildet, slik som blodårer/blodårekanter. Dette er et av målene ved avdelingen for Ultralyd ved SINTEF Unimed.

Wavelet transformasjoner er et relativt nytt matematisk område, som er mer generelt enn Fourier analyse og som i motsetning til Fourier analyse gir muligheter til å tid- eller stedfeste enkeltkomponenter i et signal.

SINTEF har allerede kjørt et prosjekt med Wavelets. Dette var en enkel studie for å teste om det var mulig å finne kanter i et bilde ved bruk av Wavelets. Resultatet så oppløftende ut, og var absolutt verd og jobbe videre med. I dette prosjektet ble det kun brukt en type Wavelet (Mexican Hat). SINTEF ønsket å få utført en grunnstudie av ulike Wavelets og deres egenskaper på forskjellige bilder. Formålet med vår oppgave er å lage en systematisk oversikt over et utvalg wavelets. Vi skal begynne å teste disse på svært enkle bilder. Bildene vil bli

gjort mer og mer komplekse for å finne hvilke wavelets som egner seg til å gjenkjenne ulike kanter/overganger i et bilde.

5.6 Besøk hos SINTEF Unimed Ultralyd i Trondheim

I forbindelse med prosjektet var det ønskelig fra både veilederens og vår side å besøke SINTEF for å få en innføring i hva som gjøres der oppe. Det skulle være en tur både for å motivere oss i arbeidet videre og for å se hva som var blitt gjort i forbindelse med wavelets og kantdeteksjon. Vi avtalte et møte med Thomas Langø, som var vår kontaktperson ved SINTEF. 11. mars dro vi til Trondheim med noe støtte fra HiA.

Møtet forløp som en presentasjon av hva det arbeides med der oppe og hvilke problemer de sto overfor. Vi fikk inntrykk av at wavelets var et relativt nytt område for dem også, men at de helt klart så et potensial i bruk av wavelets til kantdeteksjon. Per i dag brukes gradient metoder i stor grad for kantdeteksjon i bilder. Deres erfaring med disse metodene viste at disse på mange områder ikke er gode nok. De ser seg derfor om etter alternative metoder og har jobbet med og skrevet et paper for kantdeteksjon i ultralydbilder ved bruk av Mexican hat.

Vi la frem arbeidet vårt så langt og fikk positive tilbakemeldinger på det.

5.7 Hvordan resten av rapporten er bygd opp

Vi kommer først til å gi en kort innføring i Wavelets. Vi vil også ta opp hvilke fordeler Wavelets har fremfor Fourier transformasjoner. Videre vil vi forklare hvordan Java applikasjonen er bygd opp og hvordan man bruker denne. MathCad er også et tema som vil omtales.

Den største delen av rapporten vil inneholde tester og resultater av disse testene. Testing av ulike Mother Wavelets er så essensielt i oppgaven at dette kapittelet er veldig omfattende. Vi tar med alle resultatene slik at leseren kan gjøre seg opp en mening om de ulike Mother Wavelets på egenhånd. Dette har vært ett ønske fra veileder.

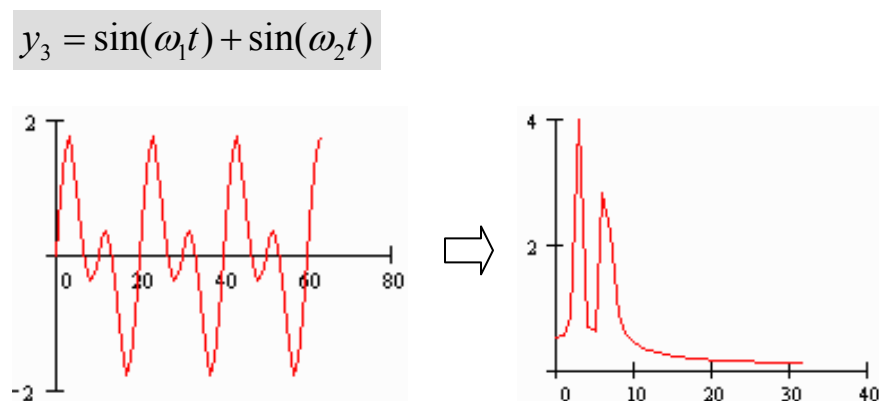
Drøfting av resultatene er også et naturlig kapittel. Her trekker vi konklusjoner på bakgrunn av testene av syv ulike Mother Wavelets brukt på forskjellige bilder.

6 Metoder

6.1 Fourier

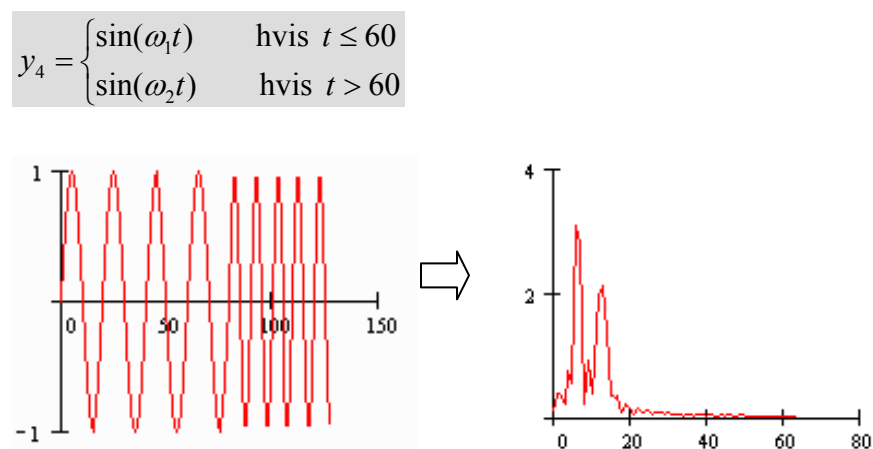
I 1822 viste den franske matematikeren Joseph Fourier at alle periodiske funksjoner kan uttrykkes ved hjelp av en uendelig sum av periodiske eksponensialfunksjoner [9]. Fourier brukes til å finne de ulike frekvenskomponentene i et signal. Dette er fortsatt det desidert viktigste signalanalyseverktøyet.

Problemet med Fourieranalyser er at frekvenskomponentene ikke kan tidsfestes.



Figur 1 – Signal og den Fouriertransformerte av signalet

Signalet y_3 Fourier transformeres. Vi ser at signalet har to frekvenskomponenter.



Figur 2 – Signal og den Fouriertransformerte av signalet

Signalet y_4 Fourier transformeres. Vi ser at signalet har to frekvenskomponenter.

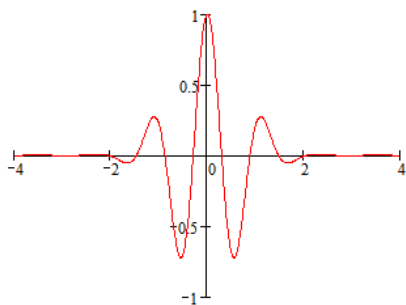
Begge signalene, y_3 og y_4 , har de samme frekvenskomponentene, men den Fourier transformerte viser ikke hvor frekvensene opptrer, kun at de er der. Vi ser at i y_3 finnes begge frekvensene i hele signalet, mens de opptrer i intervaller i y_4 .

6.2 Wavelets

Wavelets brukes i dag innen flere fagfelt, blant annet [12]:

- Signalbehandling
- Billedbehandling: (Kant deteksjon, komprimering og støyfjerning)
- Oljeleting (analyse av seismiske data)
- Forutsigelse av jordskjelv
- Komprimering av video.
- Medisin
- Lyd (komprimering talegjenkjenning).

Wavelets betyr ”små bølger”. De er uendelig i utstrekning, men har energien konsentrert rundt et punkt, som vi kan se på bildet under. Dette er en stor fordel fremfor Fourier som består av sinus og cosinus. Disse har som kjent energien fordelt over hele signalet.



Figur 3 – Morlet Wavelet

To kriterier må være oppfylt for at disse små bølgene skal kvalifisere til å være wavelets [12].

- Arealet over funksjonen må være 0: $\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) \cdot dt = 0$
- Funksjoner må ha endelig energi: $\int_{-\infty}^{\infty} |\psi(t)|^2 \cdot dt < \infty$

For at det skal være mulig å inverstransformere waveleten må et siste kriterium være oppfylt.

$$C_{\psi} = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\Psi(\omega)|^2}{|\omega|} \cdot d\omega \quad 0 < C_{\psi} < \infty$$

Det finnes to typer Wavelet transformasjoner – Kontinuerlig Wavelet Transformasjon (CWT) og Diskret Wavelet Transformasjon (DWT). Ut i fra tidligere oppgaver omkring temaet, så det ut til at CWT egnet seg best til vårt formål. Tidligere forsøk med DWT har ikke vært vellykkede. Veileder ba oss derfor om å konsentrere oss om CWT til å finne igjen kanter i bilder.

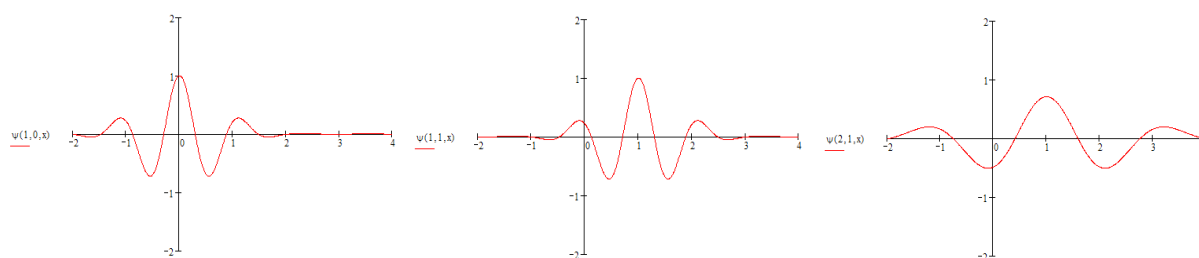
6.2.1 CWT

Ved kontinuerlig wavelet transformasjon integreres signalet multiplisert med waveleten over alle tider for forskjellige skalerings- og translasjonsverdier. Dette resulterer i en tabell med waveletskoeffisienter.

Ved å uttrykke Mother Waveleten på følgende måte, hvor $\Psi(x)$ angir MW[12],

$$\psi_{a,b}(x) = |a|^{-1/2} \Psi\left(\frac{x-b}{a}\right)$$

åpner vi for muligheten for å gjøre skaleringer og translasjoner ved å forandre på verdien for a og b.



Figur 4 – Morlet med forskjellige a- og b verdier. Første: a=1 og b=0, andre: a=1 og b=1 og tredje: a=2 og b=1.

Vi ser at når vi øker verdien av a får waveleten større utstrekning, lavere frekvens. Ved å øke verdien for b flytter waveleten seg oppover x-aksen. Faktoren $|a|^{-1/2}$ er der for å normalisere energinivåene, slik at energien for de ulike skaleringene skal være lik.

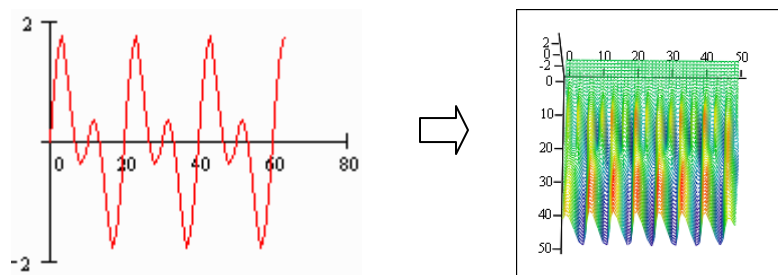
Wavelet koeffisientene regnes ut med følgende funksjon [1].

$$W(a,b) = \int_{-\infty}^{\infty} \overline{\psi_{a,b}(x)} \cdot f(x) \cdot dx$$

Wavelet koeffisientene for de forskjellige a og b verdiene regnes ut ved å multiplisere waveleten (translert og skalert) med signalet for så å integrere over alle tider.

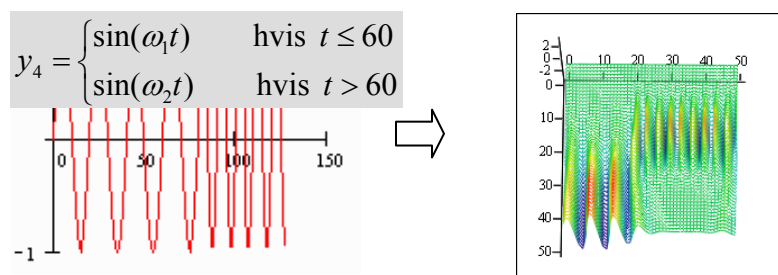
Bruk av wavelet transformasjon åpner opp for å stedfeste de ulike frekvenskomponentene i et signal. I motsetning til Fourier transformasjoner som kun angir frekvenskomponentene, men ikke hvor de opptrer.

$$y_3 = \sin(\omega_1 t) + \sin(\omega_2 t)$$



Figur 5 – Signal med den Wavelettransformerte

Signalet y_3 Wavelet transformeres. Vi ser at signalet har ulike frekvenskomponenter over hele signalet.



Figur 6 - Signal med den Wavelettransformerte

Signalet y_4 Wavelet transformeres. Vi ser at signalet har ulike frekvenserkomponenter, og at disse opptrer ved forskjellige tider.

Når man ser på de to ulike transformasjonene som er gjort over, ser man at wavelettransformasjonene skiller seg fra Fourier transformasjonene. Begge typene viser at to frekvenser opptrer i signalet. Det som gjør bruk av wavelettransformasjon fordelaktig er at man kan se hvor i signalet de forskjellige frekvensene opptrer. I motsetning til Fourier som kun forteller oss at det opptrer to frekvenser, men ikke hvor de finnes.

6.2.2 DWT

Hovedideen bak DWT er den samme som CWT. Ved bruk av digitale filtreringsteknikker får vi en tidsskala representasjon av et digitalt signal. Som nevnt tidligere regnes CWT ut ved og forandre skalering og translasjon, multiplisere med signalet og integrere over alle tider. I det diskrete tilfellet blir filtre av forskjellige frekvenser brukt til å analysere signalet ved de forskjellige skalaene. Signalet blir sendt gjennom en serie av høye filtre for å analysere de høye frekvensene, og gjennom en serie av lave filtre for å analysere de lave frekvensene [9].

6.2.3 Diskretisering av CWT

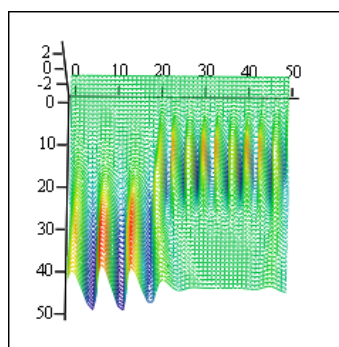
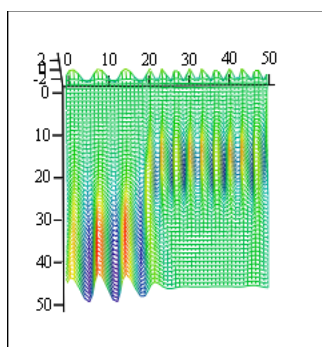
For at det skulle være mulig og kontinuerlig wavelet transformere et signal som bestod av pixelverdier, måtte vi diskretisere integralet. Integralet ble erstattet av summering. Vi tar dermed en sample av signalet og en sample av waveleten og multipliserer og summerer disse over alle verdier vi vil undersøke i signalet. Dette måtte gjøres fordi signalet ikke var kontinuerlig.

Under viser vi at vi får tilnærmet samme resultat ved integrering og summering.

$$f(x) \equiv \begin{cases} \sin\left(\frac{\pi}{10} \cdot x\right) & \text{if } x < 60 \\ \sin\left(\frac{\pi}{5} \cdot x\right) & \text{if } x \geq 60 \end{cases}$$

$$W(a,b) = \sum_0^{150} \psi_{a,b}(x) \cdot f(x)$$

$$W(a,b) = \int_0^{150} \psi_{a,b}(x) \cdot f(x) \cdot dx$$



Figur 7 – Wavelet transformert først ved summering og deretter ved integrering

Her ser vi at ved summering får vi noe mer støy helt øverst i grafen. Denne støyen vil gjøre seg mindre gjeldene hvis vi går med lavere steg en 1 (flere samplinger per pixel).

Denne metoden ble brukt både i MathCad og Java. I begge programmene la vi inn mulighet for flere samplinger per pixel.

6.2.4 Energien i et signal

Funksjonen $S_f(a)$ gir energien til waveletkoeffisientene ved en viss skalering [12].

$$S_f(a) = \int_{-\infty}^{\infty} |W_f(a,b)|^2 db$$

Energien over alle skaleringer a får man ved å integrere med hensyn på a og dividere på a kvadrert.

$$E_f = \int |f(x)|^2 dx = \int \int |W_f(a,b)|^2 \frac{dadb}{a^2} = \int \left[\int_{-\infty}^{\infty} |W_f(a,b)|^2 db \right] \frac{da}{a^2} = \int \frac{S_f(a)}{a^2} da$$

Energibidraget ved en skalering som en funksjon av skaleringen.

$$\frac{S_f(a)}{a^2}$$

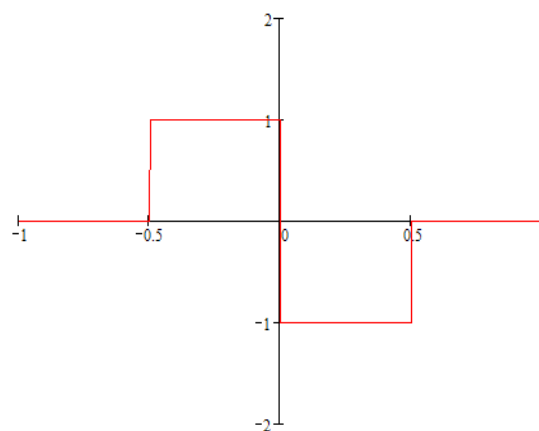
6.3 De utvalgte Mother Wavelets

De Mother Waveletene vi har valgt oss er: Haar, Morlet, Mexican Hat, Daubechies D4, Kubisk Spline, Kvadratisk Spline og Stykkevis lineær Spline. Haar, Morlet og Mexican Hat er presentert under med funksjon og graf. For å se funksjonene til Daubechies D4 og Splines henviser vi til tilhørende MathCad dokumenter på vedlagt CD. For disse MW tar vi kun med koeffisientene og grafene. Det er kun koeffisientene som skiller dem fra hverandre.

I tillegg til nevnte MW har vi også gjort noen tester på Mexican Hat 3D. Denne kom sent med i prosjektet, og derfor har vi ikke gjort like grundige tester med denne. For implementering av denne viser vi også til tilhørende MathCad dokumenter.

6.3.1 Haar

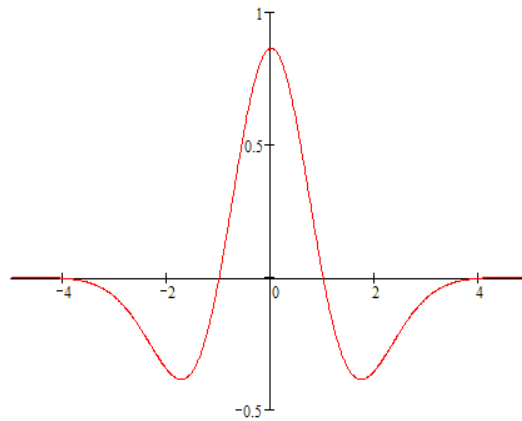
$$\Psi(x) = \begin{cases} 1 & \text{hvis } -\frac{1}{2} < x \leq 0 \\ -1 & \text{hvis } 0 < x \leq \frac{1}{2} \\ 0 & \text{ellers} \end{cases}$$



Figur 8 – Haar wavelet funksjon og graf

6.3.2 Mexican Hat

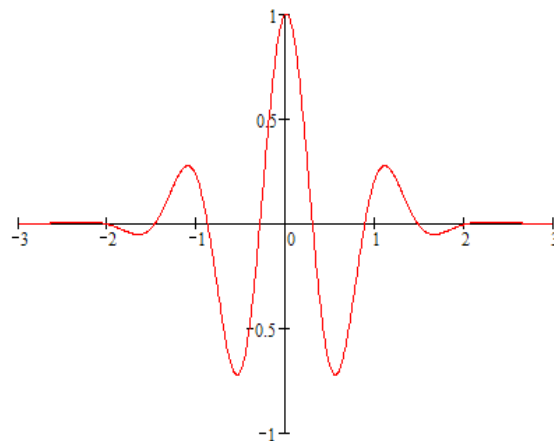
$$\Psi(x) = \frac{2}{\sqrt{3}} \pi^{-\frac{1}{4}} (1-x^2) e^{-\frac{1}{2}x^2}$$



Figur 9 – Mexican Hat wavelet funksjon og graf

6.3.3 Morlet

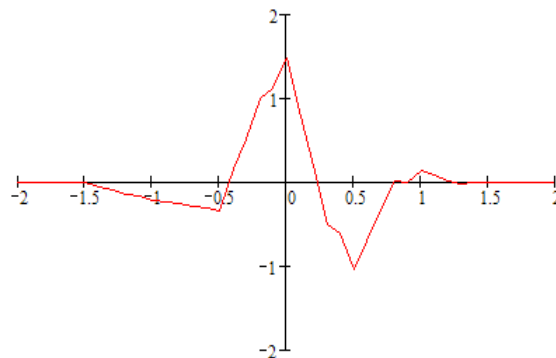
$$\Psi(x) = e^{-x^2} \cos\left(\pi \sqrt{\frac{2}{\ln 2}} x\right)$$



Figur 10 – Morlet wavelet funksjon og graf

6.3.4 Daubechies D4

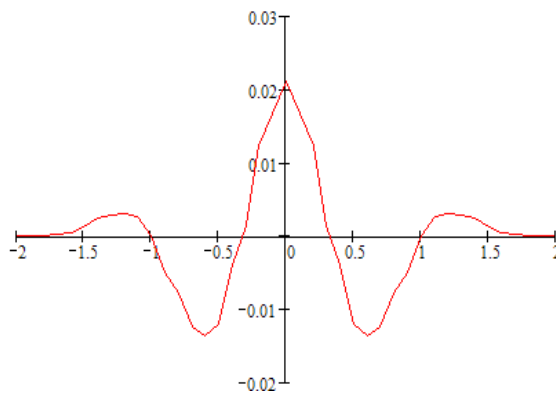
$$h = \begin{bmatrix} \frac{1 + \sqrt{3}}{4\sqrt{2}} \\ \frac{3 + \sqrt{3}}{4\sqrt{2}} \\ \frac{3 - \sqrt{3}}{4\sqrt{2}} \\ \frac{1 - \sqrt{3}}{4\sqrt{2}} \end{bmatrix}$$



Figur 11 – Daubechies D4 wavelet funksjon og graf

6.3.5 Kubisk Spline

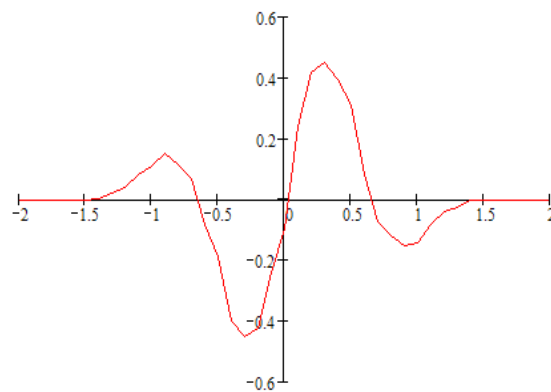
$$h = \begin{bmatrix} \frac{1}{16\sqrt{2}} \\ \frac{1}{4\sqrt{2}} \\ \frac{3}{8\sqrt{2}} \\ \frac{1}{4\sqrt{2}} \\ \frac{1}{16\sqrt{2}} \end{bmatrix}$$



Figur 12 – Kubisk Spline wavelet funksjon og graf

6.3.6 Kvadratisk Spline

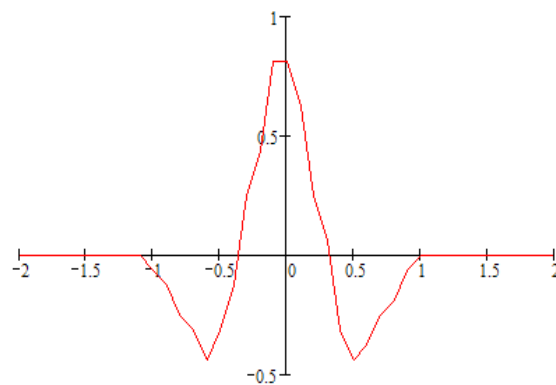
$$h = \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{4\sqrt{2}}{3} \\ \frac{4\sqrt{2}}{3} \\ \frac{4\sqrt{2}}{3} \\ 1 \\ \frac{4\sqrt{2}}{3} \end{bmatrix}$$



Figur 13- Kvadratisk Spline wavelet funksjon og graf

6.3.7 Stykkevis lineær Spline

$$h = \begin{bmatrix} 1 \\ 2\sqrt{2} \\ 1 \\ \sqrt{2} \\ 1 \\ 2\sqrt{2} \\ 0 \end{bmatrix}$$



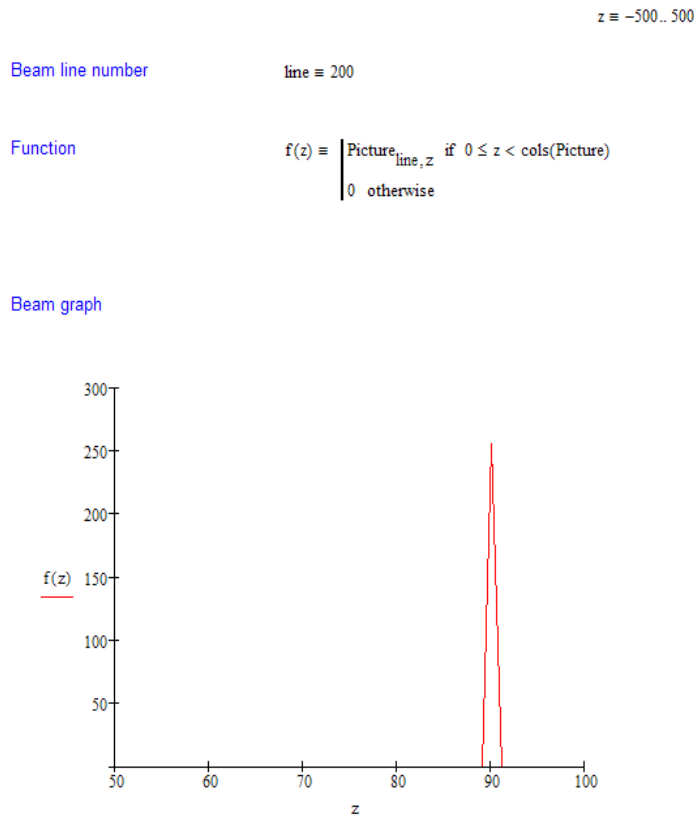
Figur 14 – Stykkevis lineær Spline wavelet funksjon og graf

7 MathCad

I starten av prosjektet ble MathCad ikke tenkt brukt veldig mye, ettersom det ville bli tungvint og simulere syntetiske bilder ved og lage egne funksjoner. Da vi oppdaget at MathCad hadde mulighet for å laste inn pixelverdiene i et bilde inn i en matrise, endret denne oppfatningen seg litt. Vi hadde nå muligheten til å bruke MathCad til å skyte horisontale stråler i et bilde. MathCad viser en fin graf over waveletkoeffisientene tredimensjonalt som gjør det lett og se kantene ved og følge ”ryggene” i grafen. Vi brukte imidlertid ikke MathCad da vi gjorde de endelige testene på bildene. Her hadde vi behov for et program som markerte treffpunkter visuelt og i tallverdier. Dermed ble det Java som her ble valgt. MathCad ble imidlertid flittig brukt under utviklingen av Java applikasjonen for og teste implementasjonen av de forskjellige waveletene. Vi har også brukt MathCad som en slags referanse i forhold til Javakoden. For å forstå rutinene i Java lettere er det en fordel og ha tilsvarende MathCad dokument, da disse dokumentene har samme navngiving og implementasjon.

I MathCad har vi laget et dokument for hver Mother Wavelet. Dokumentene er helt like bortsett fra forskjellige wavelets.

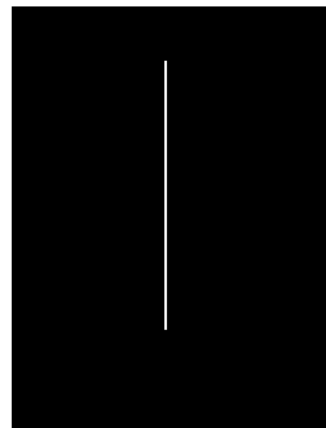
Morlet wavelet used on a picture



Function for reading picture file

```
Picture ≡ READ_IMAGE("strekTynnSterk.tif")
```

Picture



Picture

Picture Matrix

	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94
160	0	0	0	0	0	255	0	0	0	0
161	0	0	0	0	0	255	0	0	0	0
162	0	0	0	0	0	255	0	0	0	0
163	0	0	0	0	0	255	0	0	0	0
164	0	0	0	0	0	255	0	0	0	0
165	0	0	0	0	0	255	0	0	0	0
166	0	0	0	0	0	255	0	0	0	0
167	0	0	0	0	0	255	0	0	0	0
168	0	0	0	0	0	255	0	0	0	0
169	0	0	0	0	0	255	0	0	0	0
170	0	0	0	0	0	255	0	0	0	0
171	0	0	0	0	0	255	0	0	0	0
172	0	0	0	0	0	255	0	0	0	0
173	0	0	0	0	0	255	0	0	0	0
174	0	0	0	0	0	255	0	0	0	0
175	0	0	0	0	0	255	0	0	0	0

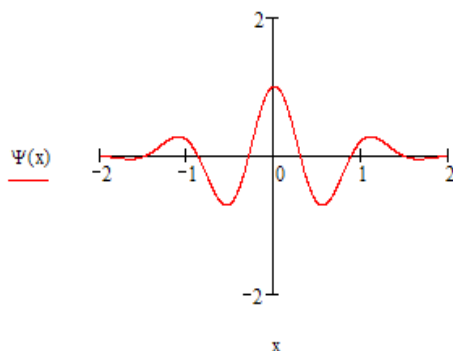
Figur 15 – Første side i MathCad dokument(er)

Her tar vi først inn et bilde. f(z) er en pixelrad i bildet, "line" bestemmer hvilken pixelrad. I grafen under vises funksjonen f(z). Matrisen med pixelverdiene i bildet vises også.

Wavelet function

$$\Psi(x) \equiv e^{-x^2} \cos\left(\pi \sqrt{\frac{2}{\ln(2)}} x\right)$$

Wavelet graph



Translated / Dilated Wavelet

$$\psi(a, b, x) \equiv (|a|)^{\frac{-1}{2}} \Psi\left[\frac{x-b}{a}\right]$$

x-Values

$$\min X \equiv 60 \quad \max X \equiv 120 \quad xStep \equiv 0.1 \quad xSamples \equiv \frac{\max X - \min X}{xStep}$$

Wavelet Transform

$$W(a, b) \equiv \sum_{x=0}^{xSamples} \psi[a, b, (\min X + x \cdot xStep)] \cdot f[\text{round}[(\min X + x \cdot xStep), 0]]$$

Figur 16 – Andre side i MathCad dokument(er)

Mother Wavelet funksjonen vises øverst på siden. Under denne er en grafisk fremstilling av tilhørende MW.

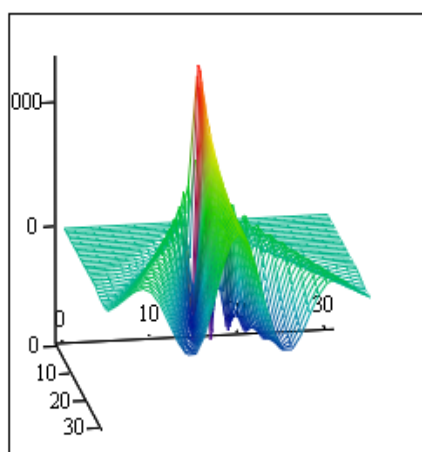
”Translatet/Dilated Wavelet” angir Mother Wavelet funksjonen skalert og translert. ”Wavelet Transform” regner så ut waveletkoeffisientene på grunnlag av dette. Dette er forklart i kapittel 6.

”x-Values” feltene sier over hvilket område det skal summeres. Området går fra ”minX” til ”maxX”. Det er viktig at kanten befinner seg innefor dette området. Som vi kan se av dette eksempelet vil vår kant befinne seg på pixelkolonne 90. ”xStep” verdien sier hvor mye x skal øke med for hver sampling. I vårt eksempel vil vi sample 10 ganger per pixel. ”xSamples” sier hvor mange summeringer vi skal ha fra start til stopp.

Matrix for 3dim Wavelet graph

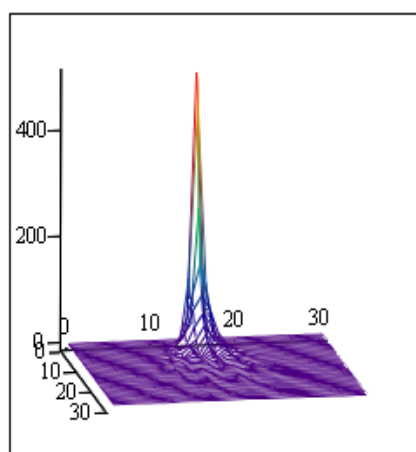
Scaling	$\min A \equiv 1$ $\max A \equiv 20$ $\text{calculationsA} \equiv 30$ $hA \equiv \frac{(\max A - \min A)}{\text{calculationsA}}$ $a \equiv 0 \dots \text{calculationsA}$ $x_{a_a} \equiv \min A + a \cdot hA$
Translation	$\min B \equiv 60$ $\max B \equiv 120$ $\text{calculationsB} \equiv 30$ $hB \equiv \frac{(\max B - \min B)}{\text{calculationsB}}$ $b \equiv 0 \dots \text{calculationsB}$ $y_{b_b} \equiv \min B + b \cdot hB$
Matrix	$M_{a,b} \equiv W(x_{a_a}, y_{b_b})$ $MA_{a,b} \equiv \left \frac{1}{(x_{a_a})^2} \cdot M_{a,b} \right $

Wavelet Transform W(a,b)



M

Scalogram W(a,b)/a^2



MA

Figur 17 – Tredje side i MathCad dokument(er)

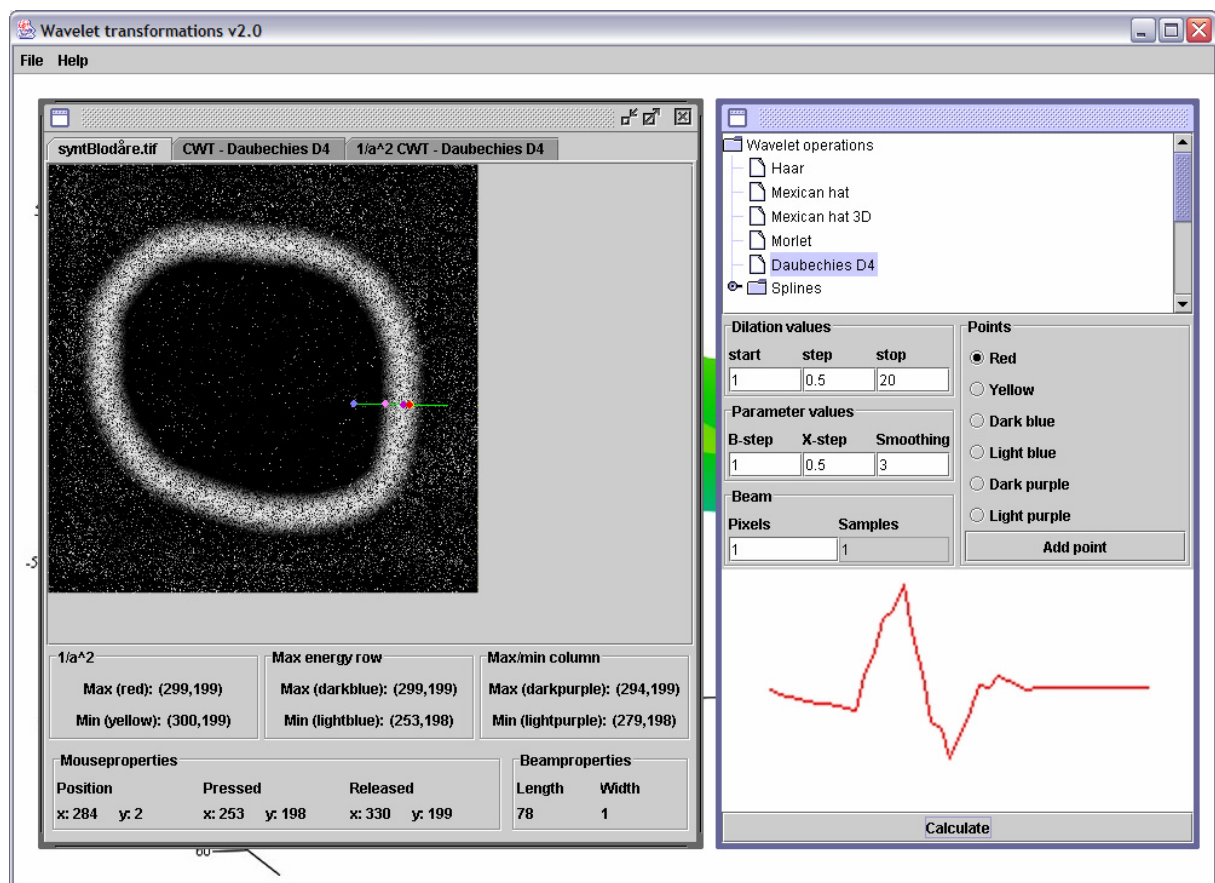
Siste del av dokumentet viser en grafisk presentasjon av waveletkoeffisientene. ”Matrix for 3dim Wavelet graph” lager en matrise av koeffisientene W(a,b). Dette gjør blant annet at de enkelt kan vises som tredimensjonale grafer. Vi angir også her grenseverdier for a og b. a-verdiene gies i ”minA” og ”maxA”. ”calculationsA” angir hvor mange utregninger det skal gjøres fra ”minA” til ”maxA”. Dette er tilsvarende for b- verdiene. a- og b-verdier blir forklart i kapittel 6.

Dokumentet viser to grafer. Den første grafen viser waveletkoeffisientene. Den andre viser absoluttverdien av de samme verdiene dividert på kvadratet av a. Dette gjør at enkle kanter blir uthevet (lave a-verdier blir uthevet).

8 Java applikasjonen

Helt fra starten av prosjektet har Java applikasjonen vært tillagt stor vekt. Det har vært et ønske fra veileder at vi skal lage en applikasjon som er et godt utgangspunkt for videre prosjekter også i fremtiden. Dette prosjektet er ikke mulig å ferdigstille i løpet av et halvt år, derfor har grundig forarbeid vært en prioritert sak.

Java applikasjonen er skrevet for å få et greit grensesnitt for testing av ulike Mother Wavelets på bilder. Vi skyter stråler over bildet. Pixlene strålen dekker blir plukket ut som et signal. Dette signalet Wavelet transformeres. Brukeren har mulighet til å velge ulike wavelets. Viktige parametere for disse kan justeres. Etter at wavelet transformasjonen er ferdig, får brukeren muligheten til å se ulike skalogrammer over resultatet (2D og 3D). Programmet markerer hvilke kanter waveleten har funnet som prikker i originalbildet.



Figur 18 – Java applikasjonen etter at en Wavelet transformasjon er kjørt over en stråle

8.1 Brukerveiledning

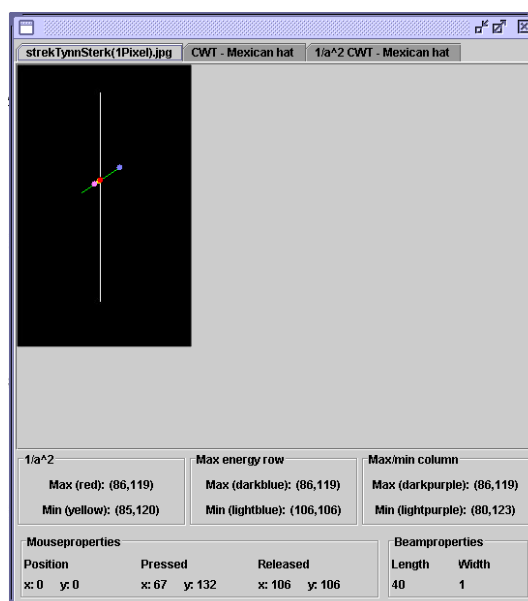
Når programmet starter, må brukeren åpne et bilde han vil gjøre tester på. Programmet kan lese ulike bildeformater. Etter at bildet er valgt og åpnet vises bildet til venstre og de forskjellige waveletene med ulike innstillinger til høyre, som vist over. Det brukeren må gjøre for å få kjørt en wavelet transformasjon er først å ”skyte” en stråle i bildet over det området han tror kanten befinner seg. Strålen ”skytes” ved å trykke og dra musen over området. Det vises da en strek der stålen ”skytes”. Neste steg er å velge den waveleten han vil bruke til transformasjonen. Et bilde vises av Mother Waveleten brukeren velger. Ulike innstillinger kan foretaes før utregningen av den wavelet transformerte settes i gang. Etter at utregningen er ferdig kommer to nye skilleark til syne over bildet. Her ligger de ulike skalogrammene.

Programmet muliggjør effektiv sammenlikning av de ulike waveletene. En ny kalkulering med en annen wavelet kan raskt settes i gang over akkurat det samme området etter at koeffisientene til en wavelet er beregnet. Det er ikke nødvendig å skyte en ny stråle for hver transformasjon. De ulike waveletene gir forskjellige treffpunkter. Ved å bruke denne metoden for sammenlikning av treffpunkter, kan man finne ut hvilke waveleter som egner seg i ulike typer bilder.

Det er mulig å åpne flere bilder, men det er kun det siste bildet som blir åpnet det er mulig å jobbe med. Når brukeren åpner et nytt bilde, blir det forrige bildet lukket sammen med alt av skalogrammer som måtte være regnet ut.

Når en transformasjon blir kjørt, er det flere ”treffpunkter” som blir regnet ut. Disse blir markert med forskjellige farger på bildet. Treffpunktene er posisjonen til:

- Høyeste og laveste verdi i skalogrammet hvor waveletkoeffisientene er delt på kvadratet av skaleringen. Representert som rød prikk for høyeste verdi og gul prikk for den laveste verdien.
- Høyeste og laveste verdi i



Figur 19 – Resultater av en transformasjon

waveletkoeffisientene ved den skaleringen som gir den høyeste energien. Mørkeblå for høyeste og lyseblå for laveste verdi. Matematikken som ligger i bunnen for dette er forklart i kapittel 6.2.4.

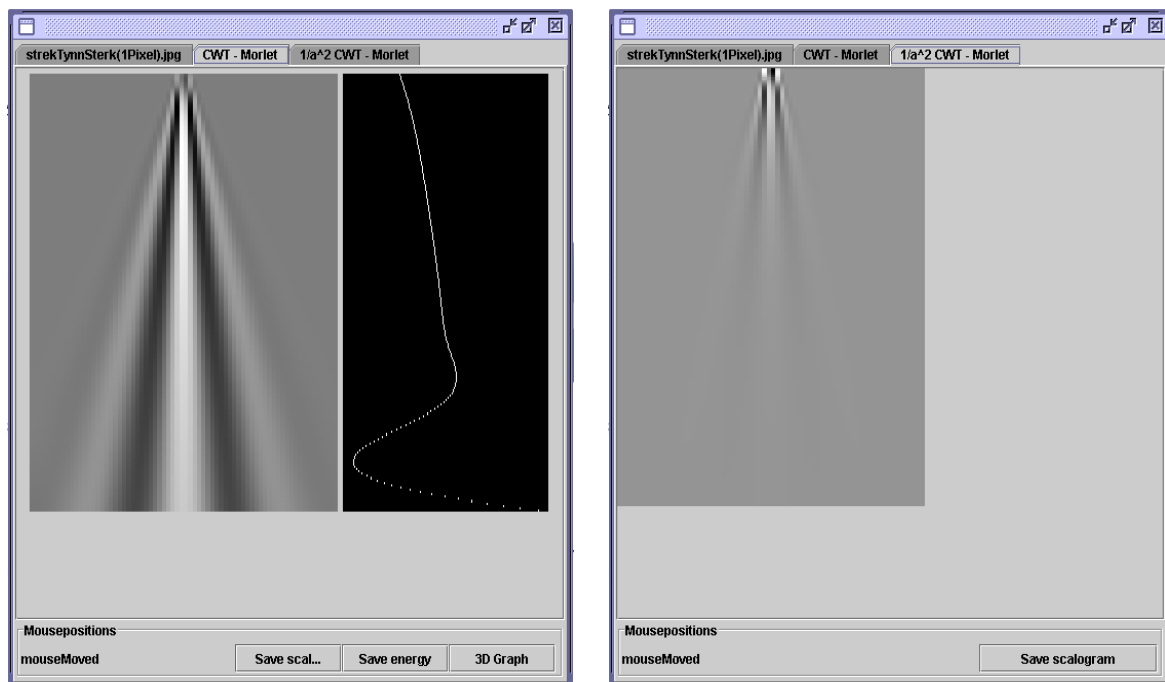
- De kolonnene som summert har høyest og lavest verdi i waveletkoeffisientene. Mørk lilla for høyeste og lys lilla for laveste verdi.

Treffpunktene blir presentert like under bildet som vist i figuren.

8.1.1 Skalogrammene

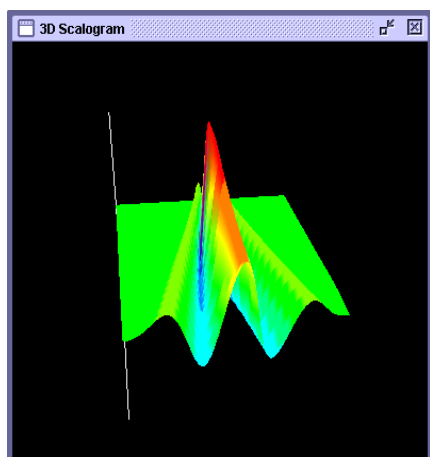
Skalogrammene viser et grafisk bilde av wavelets koeffisientene. Lyse deler i bildet angir høye waveletskoeffisienter, mens de mørke områdene angir lave waveletskoeffisienter. Alle skalogrammene vil ha verdier fra helt svart til helt hvitt. *Mousepositions* nederst på panelet viser to verdier x og y. X-verdien forteller hvor vi er i strålen, mens y-verdien angir skaleringsverdien som et heltall. Den siste verdien kan brukes til å zoome inn i områder hvor man ser at energien har topper og bunner.

I det første skalogramskillearket viser vi også et bildet over energinivåene i skalogrammet. Energinivåene blir brukt for og finne igjen kanter i bildet. Dette er forklart kapittel 6.2.4.



Figur 20 – Skalogrammene i programmet. Ligger i to forskjellige skilleark.

Vi har også implementert mulighet for å lagre de forskjellige skalogrammene og energinivåbildet. I det første skalogramskillearket har vi laget en knapp for å vise en 3D presentasjon av waveletskoeffisientene. 3D grafen gjør det enda enklere og se rygger og kanter, da denne kan roteres og dermed sees fra alle vinkler.



Figur 21 – Wavelet koeffisientene vist tredimensjonalt

8.1.2 Innstillinger

De innstillingene som er mulig å gjøre for de enkelte Mother Wavelets er forandring av *dilation values*, *parameter values* og *beam* verdier.

Dilation values angir skaleringen til waveleten. Det er mulig å velge en startverdi, hvor mye skaleringsverdien skal øke for hver utregning av en ny skalering og en stoppverdi. Forsøkene ble kjørt med startverdi 1 og stoppverdi 20.

Dilation values		
start	step	stop
1	0.5	20
Parameter values		
B-step	X-step	Smoothing
1	0.5	3
Beam		
Pixels	Samples	
1	1	

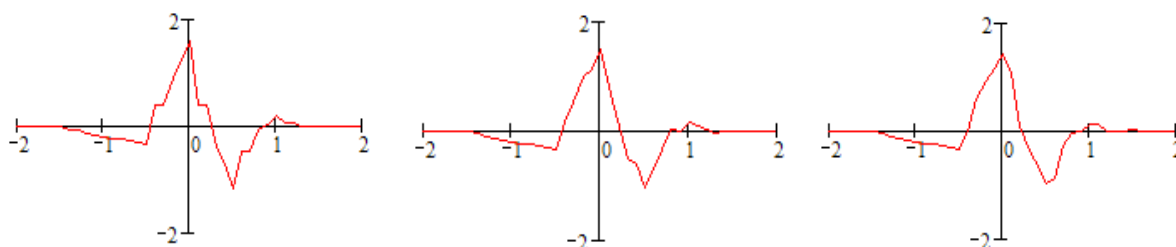
Figur 22 – Panelet hvor man kan gjøre innstillinger før en transformasjon

I boksen for *Parameter values* er det mulig å angi med hvor store steg waveleten skal flytte seg over signalet. Dette gjøres i *B-step*. Et steg på 1 vil si at waveleten flytter seg en bredde på 1 pixel for hver utregning av b. Vi har brukt 1 på *B-step* i alle våre forsøk.

X-step forteller oss hvor mange samplinger som skal gjøres over hver pixel. Steg på 0,5 gir to summeringer (samplinger) over hver pixel, mens et steg på 0,1 gir ti summeringer per pixel. Tidlige forsøk viste at steg lavere enn 1 ga en bedre tilnærming mot et reelt integral. I

forsøkene med å finne kanter har vi brukt 0,1 for de kontinuerlige Mother Wavelet funksjonene og 0,5 for de Daubechies D4 og splines. I siste del av prosjektperioden la vi også til en tredimensjonal wavelet, Mexican Hat 3D, denne kjørte vi med steg på 1. Dette ble gjort fordi denne var veldig tidkrevende å regne ut, slik at vi måtte begrense antall summeringer.

Den siste verdien i *Parameter values* endrer seg etter hvilken Mother Wavelet som er valgt. For Daubechies og de ulike splines er det mulig å sette en *Smoothing* verdi som forteller hvor fint waveleten skal regnes ut. Jo lavere smoothing jo mer hakkete blir waveleten. *Smoothing* lavere enn 3 gir en veldig hakkete wavelet. Vi la oss på 3. Da så waveleten fin ut og verdier høyere enn dette gjorde at utregningen tok veldig lang tid.



Figur 23 – Daubechies D4 wavelet vist med forskjellige *smoothing* verdier. Først med verdien 2, deretter med 3 og til sist med verdien 4.

Ved valg av de Mother Wavelets som ikke har denne muligheten i applikasjonen, vil feltet bli låst.

Bredden til strålen er også mulig å sette. Dette gjøres i *Pixel* feltet. Tallet angir tykkelsen på strålen. *Samples* angir hvor mange samplinger som skal gjøres over tykkelsen av streken. Det er kun Mexican Hat 3D som bruker dette feltet. For de andre MW er feltet låst.

8.1.3 Punkter

Panelet for punkter gir brukeren mulighet til å velge hvilket av punktene (om noen) som er det beste treffet på kanten man leter etter og legge dette til i en *Vector*. Kontrollpunktene i denne vektoren blir brukt til å tegne en spline på originalbildet.



Figur 24

8.2 Ulike teknikker

Prosjektet er utviklet i Borland JBuilder 8 [13]. Denne kan hentes i en gratisversjon på Borland sine nettsider. JBuilder 8 benytter seg av Java 1.4.

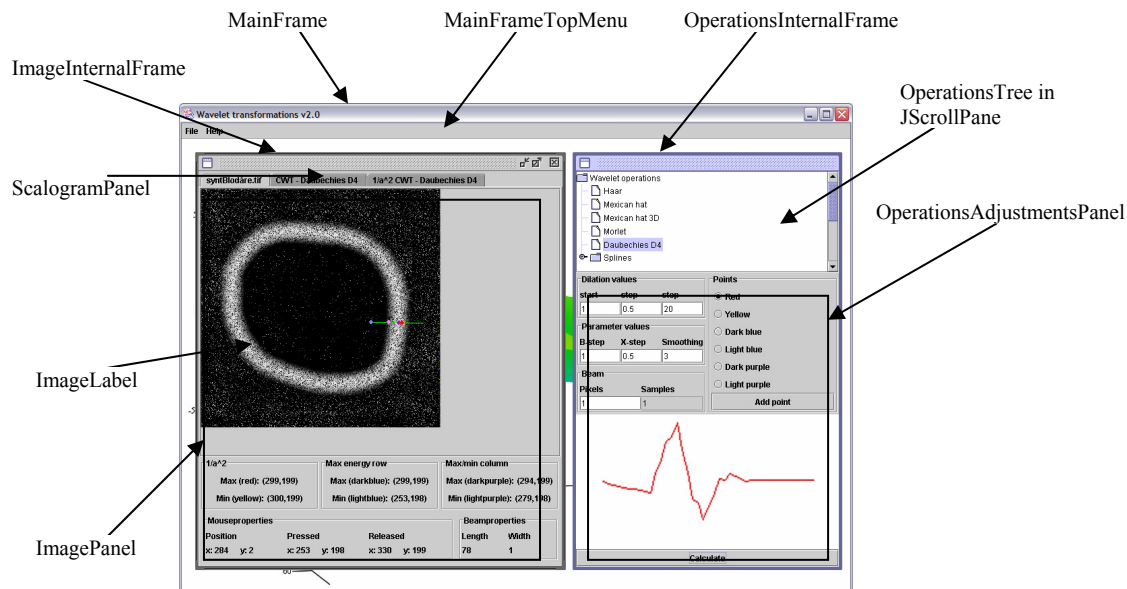
For å muliggjøre lesing av forskjellige bildeformater måtte vi installere og ta i bruk Java Advanced Imaging (JAI) [10]. Dette krever Java 1.3 eller nyere. JAI gav oss mulighet til å lese filer av typen JPEG, GIF, BMP, FPX, PNG, PNM, PBM, PGM, PPM, TIFF.

Et lite tillegg i programmet er muligheten til å vise wavelet koeffisientene i en tredimensjonal graf. Til dette brukte vi Java3D [11]. Java3D krever Java 1.3 eller nyere.

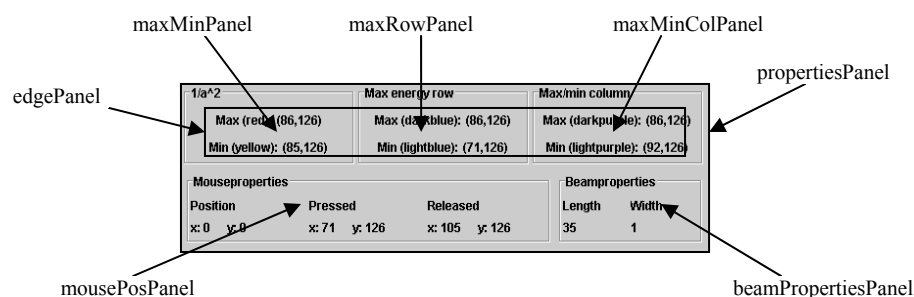
Både JAI og Java3D er gratis og kan lastes ned fra Sun sine hjemmesider. Begge disse pakkene må være installert for at programmet skal kjøre.

8.3 Tekniske detaljer

Programmet inneholder en del klasser som det kan være greit å vite noe om hvis man skal videreutvikle applikasjonen. Det grafiske grensesnittet er bygd opp slik tegningen under viser. De viktigste klassene er Control og CWT. Disse vil bli forklart i detalj senere i kapittelet.

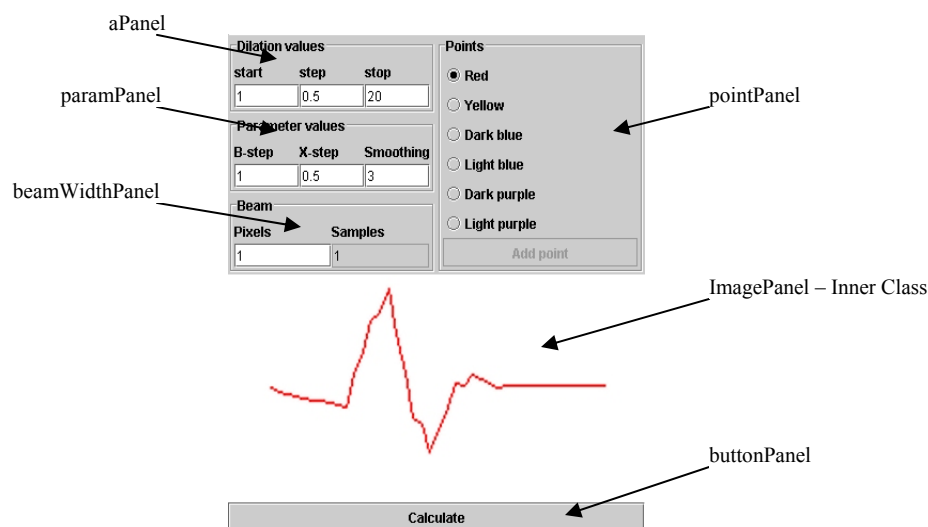


Figur 25 - MainFrame



Figur 26 - PropertiesPanel

Panelene i figur 26 viser treffpunktene, museposisjoner, strålelengde og stråletykkelse. Museposisjonene angir hvor strålen er skutt fra og til.



Figur 27 - OperationsAdjustmentsPanel

Panelet i figur 27 gir mulighet til å sette de forskjellige parameterne for en MW og starte utregningen ved å trykke på *Calculate*.

8.3.1 CWT

CWT-klassen er hvor waveletstransformasjonene blir regnet ut. Den inneholder statiske typer for alle MW, som gjør det enkelt å legge til nye. Skal en ny MW legges til er det kun nødvendig å gjøre små tillegg i koden. Det er kun tre funksjoner som er public i CWT-klassen. Disse er:

1. transformForward
 - `public double[][] transformForward(int[][] beam, int CWTtype, Values values);`
 - `public double[][] transformForward(int[][] beam, int CWTtype, Values values, int smoothing);`
2. makeCoefDividedByASquared
 - `public double[][] makeCoefDividedByASquared(double[][] coef);`
3. makeCoefSquared
 - `public double[][] makeCoefSquared(double[][] coef);`

transformForward kjører en waveletstransformasjon på grunnlag av strålen, typen og verdiene som blir sendt til funksjonen. Resultatet blir returnert i en todimensjonal tabell av typen *double*. Denne tabellen inneholder waveletskoeffisientene for transformasjonen.

makeCoefDividedByASquared tar waveletskoeffisientene som innargument. Funksjonen returnerer en todimensjonal *double* tabell hvor koeffisientene er delt på skaleringen kvadrert.

$$\frac{W(a,b)}{a^2}$$

makeCoefSquared tar også en todimensjonal *double* tabell som innargument. Funksjonen kvadrerer alle verdiene i tabellen og returnerer disse i en ny tabell.

$$|W(a,b)|^2$$

8.3.2 Control

Vi valgte å implementere en kontroll klasse i applikasjonen. Dette gjorde vi for at det skulle bli enkelt å opprette referanser til objekter. Isteden for å bruke meldinger og hierarkiet, har vi implementert alle klassene med en referanse til denne kontroll klassen. Kontroll klassen inneholder referanser til de viktigste klassene og metoder for å få tak i disse. Noen klasser tar inn et kontroll objekt i konstruktøren, oppretter en referanse til kontroll objektet og setter sin egen referanse i kontroll objektet for at andre objekter skal kunne nå det. Kontrollklassen har mange referanse objekter og metoder for å sette og nå disse.

Noen viktige referanser i kontroll klassen:

```
private CWT cwt;
private BufferedImage image; //the loaded image
private int[][] beam; //the crated signal
private int CWT_TYPE; //the MW selected
private double[][] coef; //the Wavelet coefficients
private Point p1, p2; //the points of the signal
private Point red, dblue,
    lblue, dpurple, //the points found in the latest calculated
    lpurple, yellow; //scalogram
private Values values; //Values entered in the operations adjustments

private JFrame | mainFrame;
private JTabbedPane tabbedPane;
private JLabel imageLabel;
private JPanel imagePanel;
private OperationsAdjustmentsPanel operationsAdjustmentsPanel;
```

Figur 28 – Referanse objekter i Control-klassen

I kontroll klassen finnes metoder for å:

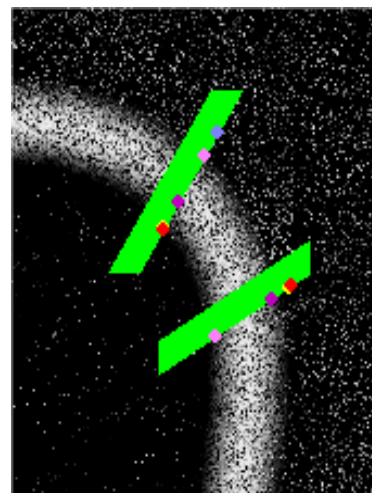
- Summere radene i en todimensjonal tabell og returnerer summen av radene i en enkel tabell:
 - *double[] coefTToEnergyTable (double[][] coef)*
- Opprette bilder utifra koeffisienter:
 - *BufferedImage coefToImage (double[][] coef)*
 - *BufferedImage coefToImage (double[] coef)*
- Funksjoner for å finne maksimum og minimum verdier:
 - *Point findMaxEdge (double[][] coef)*
 - *Point findMinEdge (double[][] coef)*
 - *Point findMaxEdgeMaxEnergyRow (double[][] waveletCoef, double[][] energy)*
 - *Point findMinEdgeMaxEnergyRow (double[][] waveletCoef, double[][] energy)*
 - *Point findMaxColEdge (double[][] coef)*
 - *Point findMinColEdge (double[][] coef)*
- Endel set- og get-funksjoner for de ulike objektene.
- Og til sist en funksjon for å lage et signal. Denne funksjonen trekker ut pixelverdiene mellom to punkter i et bilde og legger dem i en tabell som returneres.

8.4 Svakheter ved applikasjonen

Applikasjonen er ikke ment og være ferdig utviklet. Oppgaven til prototypen er og teste de ulike waveletene på forskjellige bilder. Vi tar her med noen av de viktigste svakhetene ved applikasjonen.

Applikasjonen tar ikke vare på noen av resultatene som blir regnet ut. De blir kun presentert for så å bli kastet. Det er kun den siste strålen som ble skutt og den siste utregingen som er gjeldende. Alt som skjedde før dette er ”glemt”. Med unntak av skalogrammene. Disse ligger presentert på egne tabber. Tanken bak dette var at ved å ta vare på skalogrammene kunne vi enkelt sammenlikne resultatene fra de ulike waveletene. Dette fungerer greit så lenge man ikke kjører for mange transformasjoner. Panelet blir fort overfylt av tabber som gjør at bildet blir skviset ut.

Ved bruk av tykkelse på strålen lager programmet parallelle stråler over og under eller på høyre og venstre side den strålen som er skutt av brukeren avhengig av vinkelen på strålen. Ved å skyte mot kanter som ikke er horisontale eller vertikale kan vi få problemer ved høy stråletykkelse. Dette er fordi vi bare summerer i vertikal retning ved stråler som har en vinkel mellom -45 og 45 grader utifra det horisontalet planet. For stråler mellom 45 og 135 grader vil vi summere i horisontal retning.



Figur 29 – Svakheter ved bredde på strålen

8.5 Metoder for å finne kanter

I Java applikasjonen har vi implementert seks forskjellige algoritmer for å finne kanter i bilder. Fire av disse var etter ønske fra veileder, de to andre har vi implementert utifra observasjoner av skalogrammer ved bruk av enkelte Wavelets. Kantene blir markert med prikker i originalbildet.

8.5.1 Waveletkoeffisienter dividert med kvadratet av skaleringen

Etter at vi har gjort en transformasjon viser vi blant annet waveletkoeffisientene dividert med kvadratet av a (skaleringen). Følgene av å gjøre denne divisjonen er at de høye toppene ved lave skaleringer fremheves. Verdiene ved høye skaleringer blir mindre gjeldende.

To av kantene blir funnet utifra disse verdiene. Vi trekker ut posisjonen til høyeste og laveste verdi. Den høyeste verdien markerer vi med rød prikk i originalbildet, mens den laveste verdien blir markert med gul prikk.

8.5.2 Energi

Energien ved en skalering blir funnet ved å kvadrere waveletkoeffisientene, summere disse og dividere med kvadratet av a for denne skaleringen. Posisjonen til høyeste og laveste waveletkoeffisient ved den skaleringen som gir høyest energi, blir markert som punkter i originalbildet. Høyeste verdi blir markert med mørkeblå prikk, mens laveste verdi blir markert med lyseblå prikk.

8.5.3 Waveletkoeffisienter

Noe som kjennetegner en kant i et skalogram er at kanten også vil gjøre seg gjeldende ved høye skaleringer. Vi ser den ofte som en ”rygg” i skalogrammet. Støy vil ofte bare opptre ved lave skaleringer. Vi ville gjerne prøve å få med denne effekten for å finne kanter. Måten vi gjorde dette på var å summere alle waveletkoeffisientene over alle skaleringer ved en gitt forflytning. Forflytningen med høyest og lavest verdi blir markert i originalbildet med prikker. Den høyeste verdien blir markert med mørk lilla prikk, mens den laveste verdien blir markert med lys lilla prikk.

Dette var noe vi tidlig observerte og tok med i implementasjonen av applikasjonen. Vi hadde ikke noe matematisk grunnlag for dette, men det var raskt og implementere, så derfor tok vi det med for å se om det hadde noen hensikt.

8.6 Tykkelse på strålen

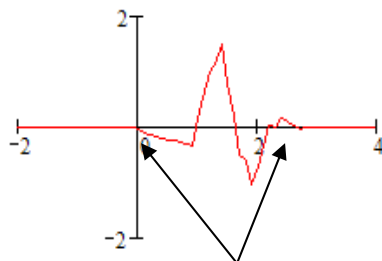
I ultralydbilder er det mye støy, og kantenene er ofte ikke helt kontinuerlige. Man kan derfor risikere og ikke treffe kanten, men mye støy, hvis man kjører en wavelettransformasjon over en stråle som er en pixel tykk. For og kompensere for dette problemet implementerte vi muligheten for og ”skyte” stråler som er tykkere en en pixel.

Måten vi implementerte dette på var at applikasjonen lagde parallelle stråler over og under originalstrålen. Hvis stråletykkelsen var fem, ble det lagd to stråler under og to stråler over originalstrålen. Pixelverdiene over bredden på strålen ble summert. Wavelettransformasjonen ble deretter kjørt over denne summen som om det skulle ha vært en stråle som var en pixel bred. Med dette oppnådde vi en middelvei over strålens tykkelse. Hvis kanten hadde små ”hull” ble sjansen for at disse ble funnet betydelig større. En annen effekt er at støyen blir mindre gjeldende. Den opptrer uregelmessig, mens kanter opptrer ofte over hele strålens tykkelse. Dermed ble disse fremhevet i forhold til støyen.

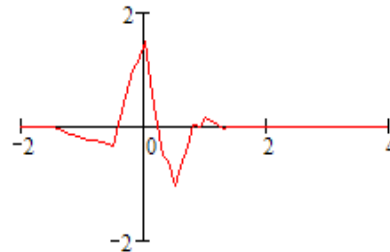
8.7 Flytting av Daubechies og Splines

Daubechies, Splines og Haar hadde vi problemer med i starten. Etter at wavelettransformasjonene var kjørt hadde skalogrammene ”rygger” som kom ”inn fra siden”. Dette gjorde at vi ikke fant kantene slik vi skulle. Etterhvert fant vi ut av grunnen til dette. De andre Waveletene skalerte symmetrisk om y-aksen. Dette gjorde ikke Daubechies, Splines og

Haar (illustrert i figur 33 og 34). For og fikse dette problemet ble vi enige med veileder om at vi skulle plassere det vi anså som senter av Mother Waveleten på $x=0$. For og finne senter av Mother Waveleten fant vi de x -verdiene hvor Mother Waveleten "flatet ut" (illustrert i figur 30 og 31).



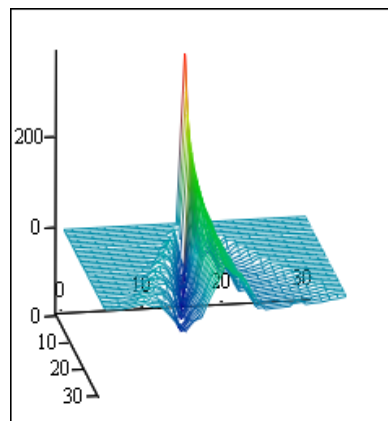
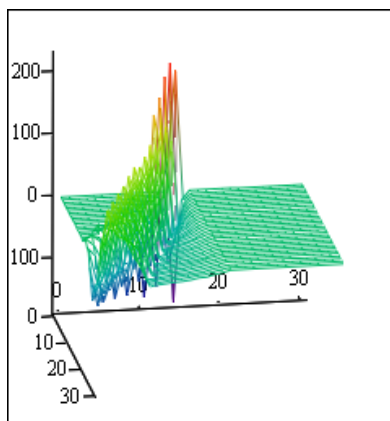
Mellom disse punktene er stort sett hele energien til Waveleten konsentrert ($x=0$ og $x=2.8$ for Daubechies D4)



Figur 30 - Daubechies D4 etter at den er flyttet 1,4.

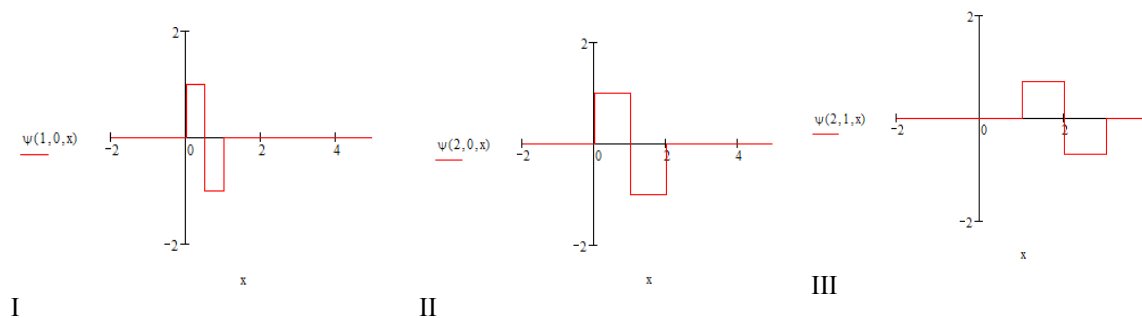
Figur 31 – Daubechies D4

Som vi ser vil dette være en tilnærming.



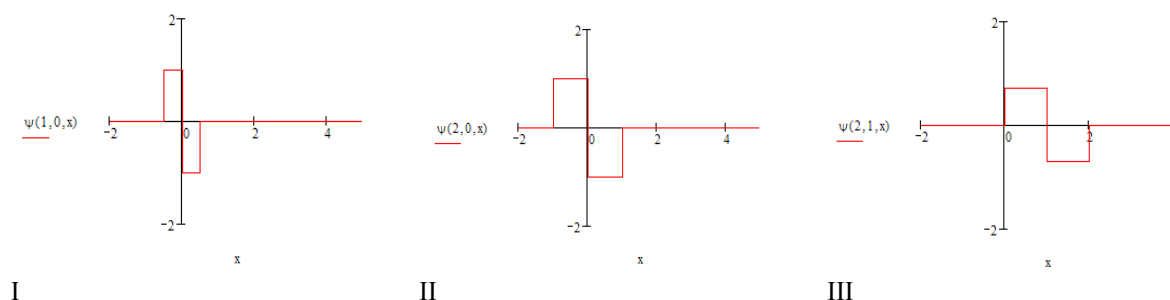
Figur 32 – Skalogram før og etter "flytting" av Daubechies

Grunnen til at vi fikk "ryggene inn fra siden" ved bruk av disse Waveletene, er illustrert i figur 33 og 34.



Figur 33 – Haar Wavelet som ikke er symmetrisk om b (I): $a=1$ og $b=0$. Waveleten er deretter skalert (II): $a=2$ og $b=0$, og i siste bilde er den skalert og translert (III): $a=2$ og $b=1$.

For at en wavelettransformasjon skal gi det skalogrammet vi ønsker må b -verdien (forflytningen) angi midten av waveleten. Skalering må skje om b -verdien, ikke ut fra b -verdien i noen retning. Hvis b -verdien ikke er i midten av waveleten blir skaleringen ikke like stor i begge retninger. På figur 33 ser vi en Haar Wavelet som ikke er symmetrisk om b . Her ser vi at b -verdien ligger på venstre side av energikonsentrasjonen.



Figur 34 – Haar Wavelet som er symmetrisk om b (I): $a=1$ og $b=0$. Waveleten er deretter skalert (II): $a=2$ og $b=0$, for så å være skalert og translert (III): $a=2$ og $b=1$.

På figur 26 ser vi at Haar waveleten er symmetrisk om b . Ved skalering ser vi at waveleten brer seg like mye ut i begge retninger ut fra b . Når vi også forflytter ser vi at sentrum av energikonsentrasjonen er lik b -verdien.

Ved en wavelettransformasjon blir waveleten flyttet bortover signalet. Hvis vi tenker oss et signal med en høy topp, og vi kjører med waveleten på figur 33, vil resultatet bli høye waveletkoeffisientverdier helt til b -verdien passerer posisjonen til toppen i signalet. Etter at b -verdien (altså waveleten i sin helhet) har passert denne toppen, vil den bare skalere bort fra toppen. Dermed vil waveletkoeffisientene bli små etter at b -verdien er passert signalet. Dette ser vi i venstre skalogram i figur 32. Hvis vi bruker waveleten i figur 34 på samme signalet,

vil skaleringen skje i begge retninger om b . Da vil vi få høye waveletkoeffisienter også etter at b -verdien har passert posisjonen til toppen i signalet. Dette fordi waveleten har utstrekning for lavere verdier enn b . Dette er illustrert i høyre skalogram i figur 32.

9 Resultater

Vi har vektlagt utstrakt testing av av de ulike Mother Wavelets. Resultatene presenterer vi i dette kapittelet. Forsøkene er stort sett foretatt på bilder vi selv har komponert. Bildene er enkle. Kantene varierer i tykkelse og har ulik intensitet. Vi tester waveletene ved å legge til mer og mer støy på de ulike bildene. På den måten ser vi ved hvilken grad av støy de ulike waveletene kommer til kort. De bildene som inneholder støy har vi forsøk å kjøre tykkere stråler over kanten.

Bildene er nummerert i den rekkefølgen vi kjørte testene. Innledningsvis for forsøkene til hvert bilde sier vi noe om hvor vi mener kantene i bildet befinner seg i forhold til den strålen som er skutt og fra hvilke punkter strålen er skutt. I tillegg viser vi også bildet det gjelder.

Resultatene er presentert med navnet på waveleten som er brukt og de ulike parameterverdiene for testen. Parameterverdiene er start-, steg- og stoppverdi for a (Skaleringsverdier), steg for b (Forflytning) og steg for x (Summeringsverdier) og til slutt tykkelsen på strålen. De forskjellige parameterene er forklart nærmere i kapittel 8.1.2. Verdiene er bl.a. tatt med for at det enkelt skal la seg gjøre å gjenta forsøkene.

Et bilde viser strålen som er skutt og de ulike treffpunktene. Disse treffpunktene er presentert i en tabell. Vi har kun skutt horisontale stråler i forsøkene på syntetiske bilder. De verdiene som står i treffpunkttabellen forteller avstanden fra venstre kant av bildet. Hvis en stråle er skutt fra punkt (100,100) til punkt (150,100), hvor punkt (0,0) er øvre venstre hjørne i bildet, og treffpunkttabellen angir et treffpunkt 120, ligger dette punktet i punkt (120,100). Det vil si posisjon 21 på strålen som er skutt.

På ultralydbilder har vi tatt med koordinatene til treffpunktet. Dette er gjort fordi det ikke er gunstig og skyte horisontale streker i ultralydbilder. Tykkelsen i en blodåre er ikke lett og se for et utrenet øye. Derfor har vi vurdert om vi treffer på eller rundt kanten, og ikke tykkelsen.

På grunn av en feil i Java applikasjonen ble det lyseblå punktet, posisjonen til den laveste wavelet koeffisienten i den høyeste energiraden, feil i alle testene før testene på ultralydbilder. Derfor har vi utelatt disse treffene i treffpunkttabellen. Man kan derfor se bort ifra de lyseblå

prikkene i bildene før ultralydbildetestene. Dette treffpunktet ble sent implementert, og vi hadde ikke de største forventninger til det.

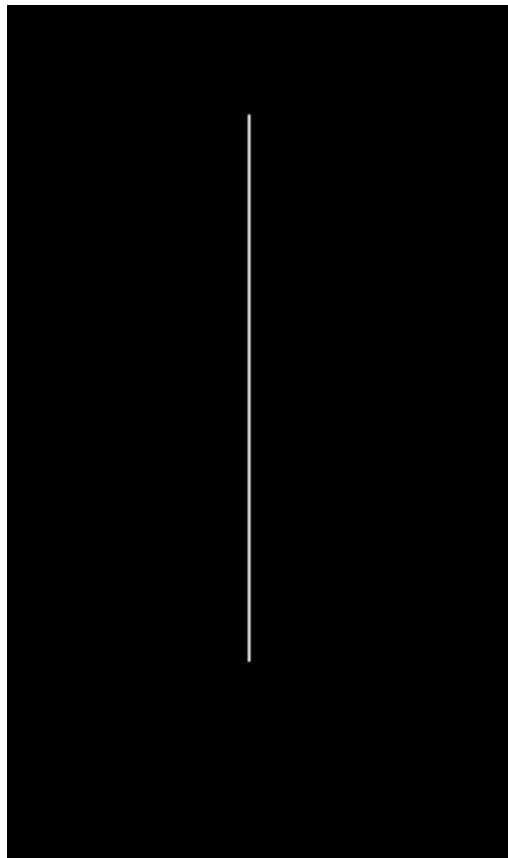
Nederst på resultatsidene er waveletkoeffisentskalogrammet, energien for skaleringene og skalogrammet for waveletkoeffisientene delt på a kvadrert vist. Skalogrammet for waveletkoeffisientene delt på a kvadrert fremhever resultatene ved små skaleringer. Energien for skaleringene angir energinivåene ved hver skaling.

Det er gjort 111 forsøk på syntetiske bilder og 30 forsøk på reelle ultralyd bilder.

Det er ikke alle treffpunktene det er mulig og se i bildene. Alle punkter som treffer på samme posisjon vil ikke vises. Det er kun det øverste. Man må derfor se i tabellen for og få en fullstendig oversikt over hvor treffpunktene befinner seg.

9.1 Bilde nr. 1

Streken befinner seg på pixel 90. Vi ”skyter” stråle fra punkt (60,150) til punkt (120,150).
Treffpunktene 89, 90 og 91 anser vi som gode treff.



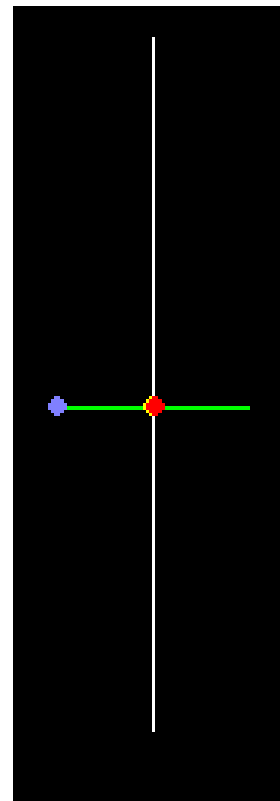
Figur 35 – Sort bilde med en lys strek med bredde på 1 pixel.

9.1.1 Haar

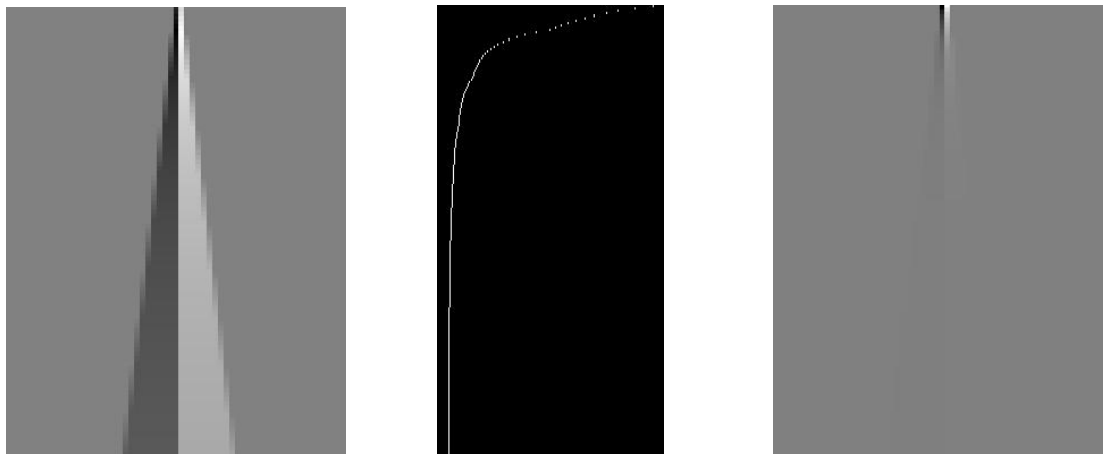
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	91	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	90	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	90	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	91	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	90	Lys lilla



Figur 36 – Wavelet parametre og testresultater



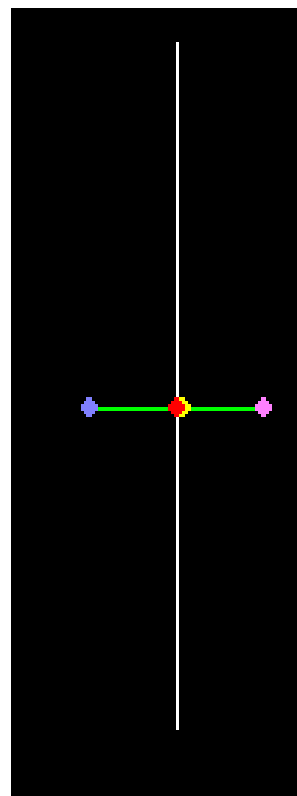
Figur 37 – Skalogramer og energinivå

9.1.2 Mexican Hat

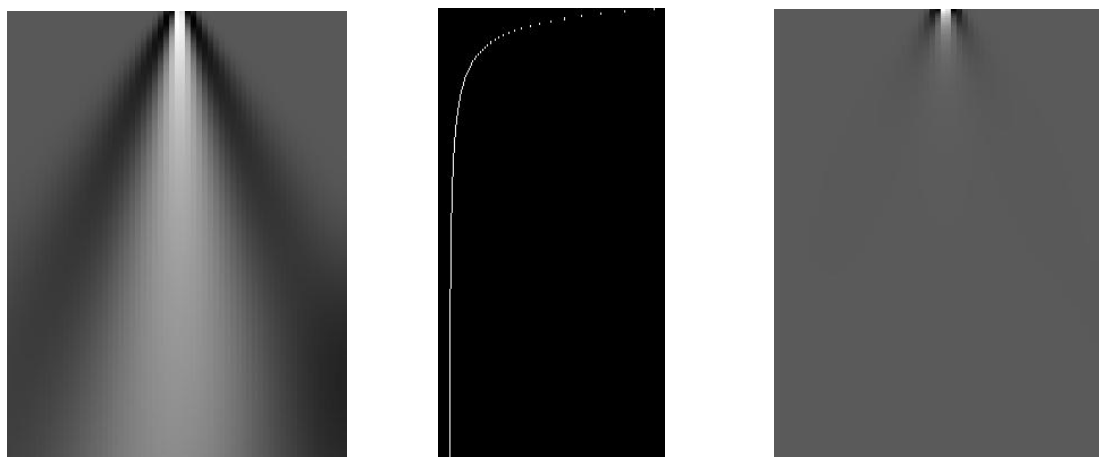
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	90	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	92	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	90	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	90	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	120	Lys lilla



Figur 38 – Wavelet parametre og testresultater



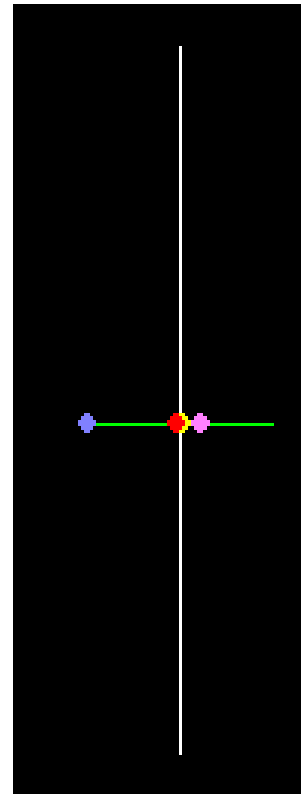
Figur 39 – Skalogramer og energinivå

9.1.3 Morlet

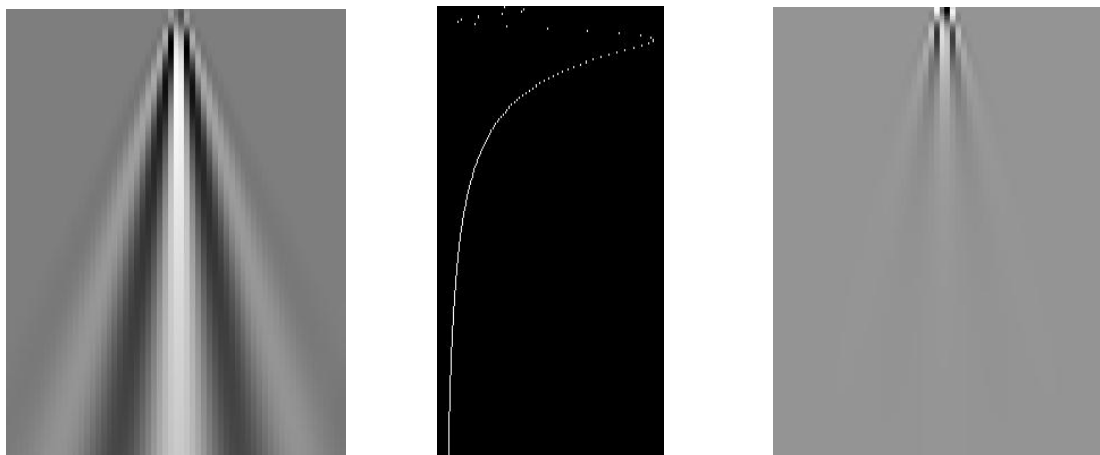
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	89	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	91	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	89	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	90	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	97	Lys lilla



Figur 40 – Wavelet parametre og testresultater



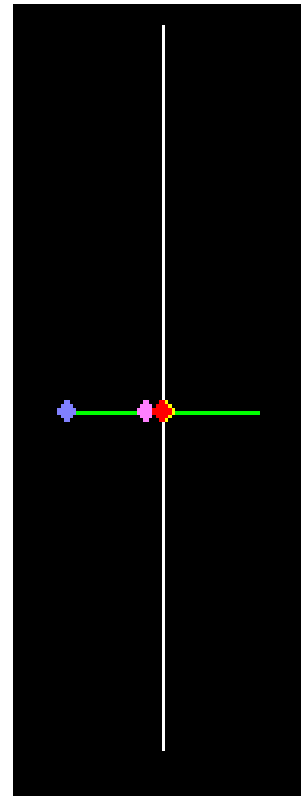
Figur 41 – Skalogramer og energinivå

9.1.4 Daubechies D4

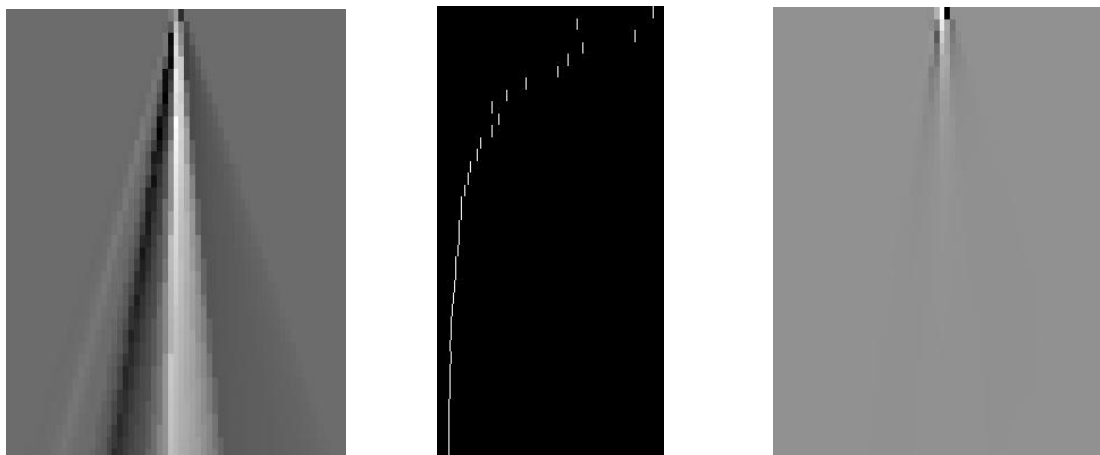
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	90	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	91	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	91	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	90	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	85	Lys lilla



Figur 42 – Wavelet parametre og testresultater



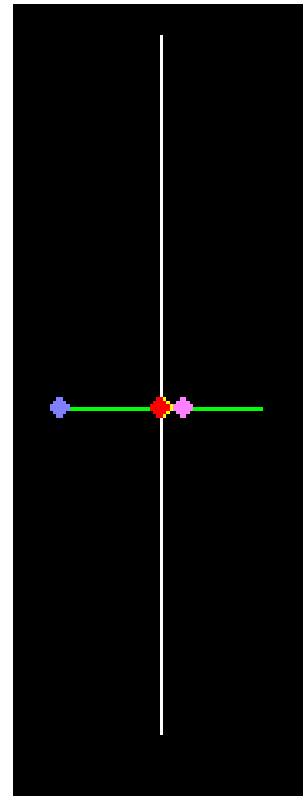
Figur 43 – Skalogramer og energinivå

9.1.5 Kubisk Spline

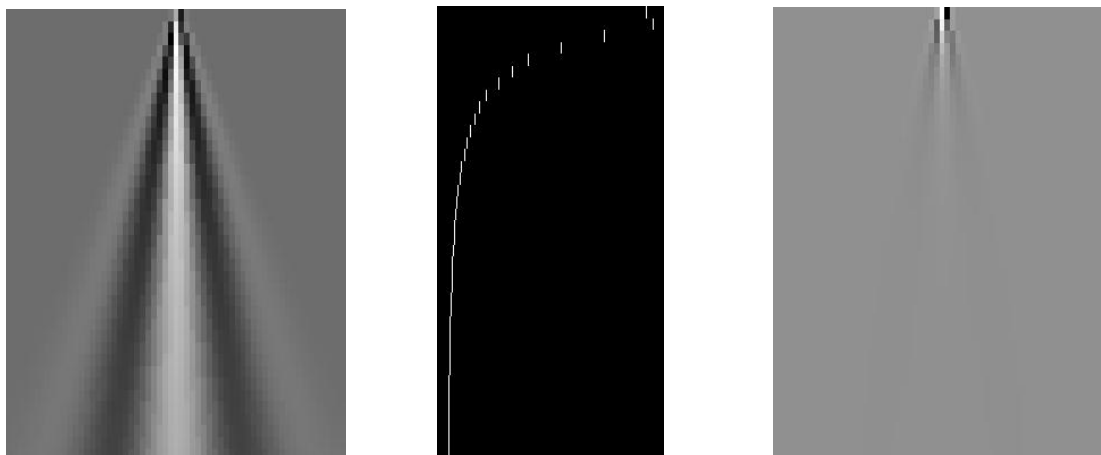
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	90	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	91	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	90	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	90	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	97	Lys lilla



Figur 44 – Wavelet parametre og testresultater



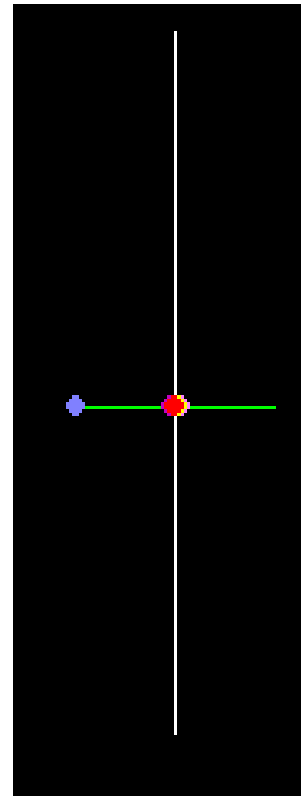
Figur 45 – Skalogramer og energinivå

9.1.6 Kvadratisk Spline

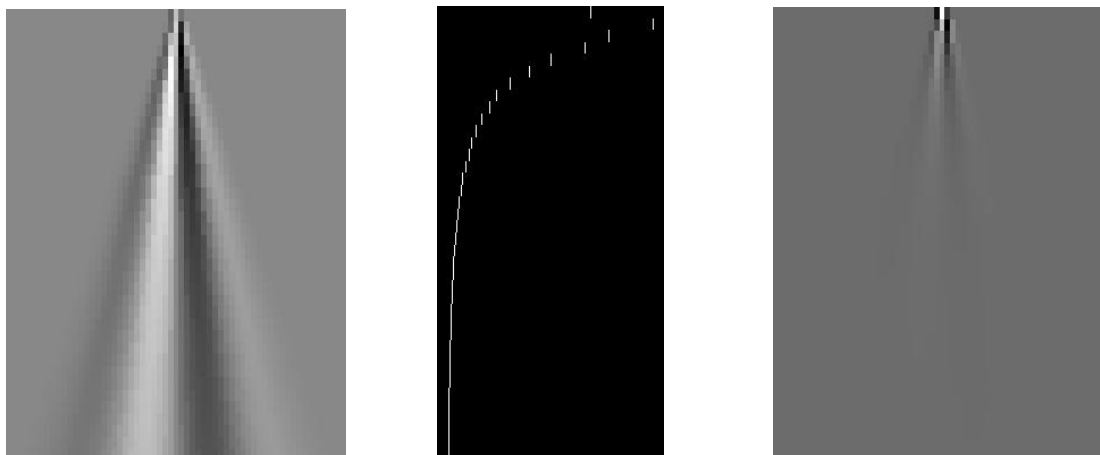
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	90	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	91	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	91	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	89	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	92	Lys lilla



Figur 46 – Wavelet parametre og testresultater



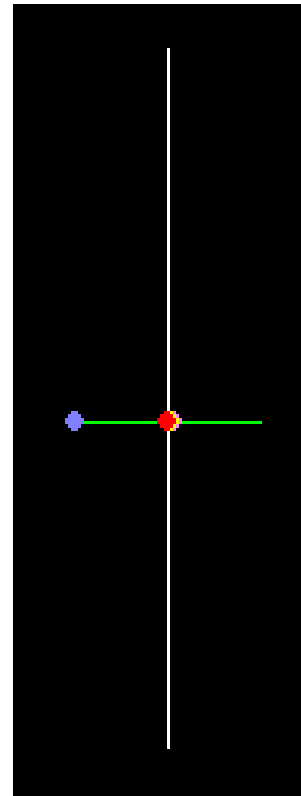
Figur 47 – Skalogramer og energinivå

9.1.7 Stykkevis lineær Spline

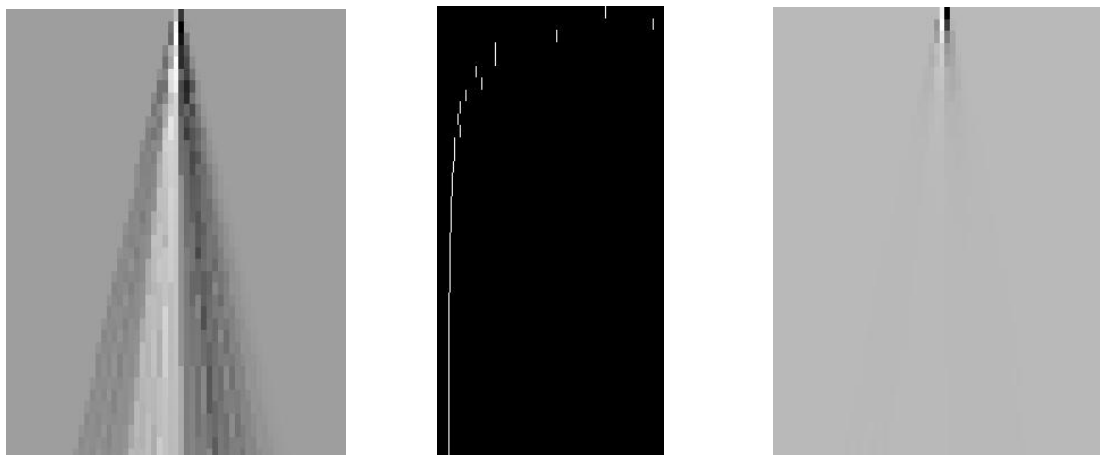
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	90	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	91	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	91	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	90	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	92	Lys lilla



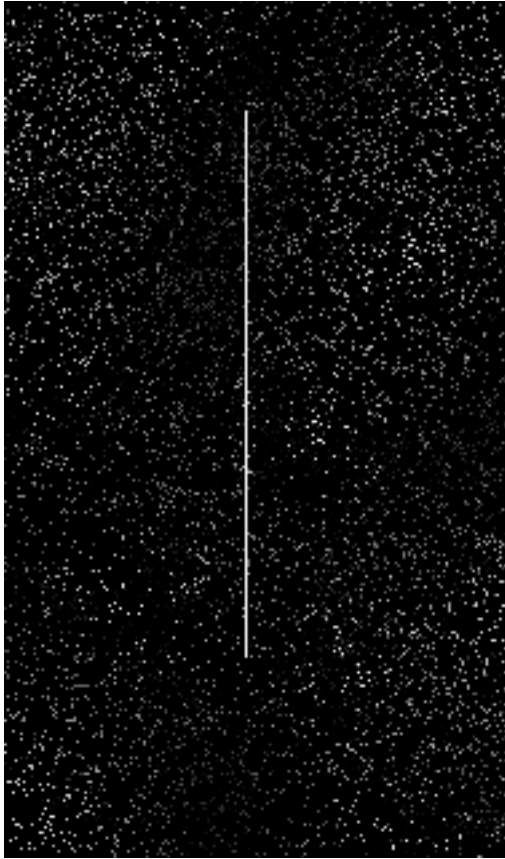
Figur 48 – Wavelet parametre og testresultater



Figur 49 – Skalogramer og energinivå

9.2 Bilde nr. 2

Streken befinner seg på pixel 90. Vi ”skyter” stråle fra punkt (60,150) til punkt (120,150). Treffpunktene 89, 90 og 91 anser vi som gode treff.



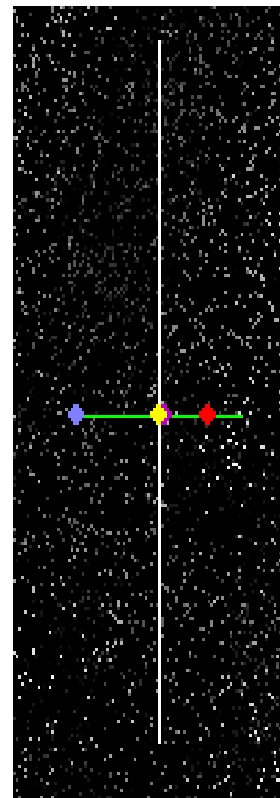
Figur 50 – Bilde med 1 pixel bred strek med litt støy

9.2.1 Haar

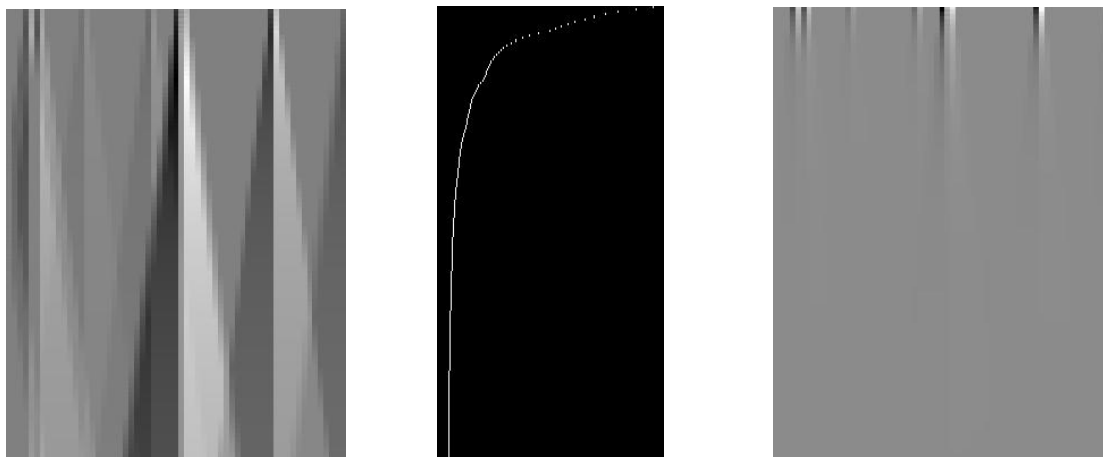
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	108	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	90	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	90	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	92	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	90	Lys lilla



Figur 51 – Wavelet parametre og testresultater



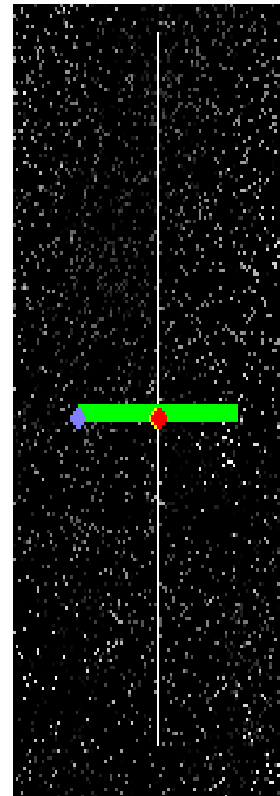
Figur 52 – Skalogramer og energinivå

9.2.2 Haar

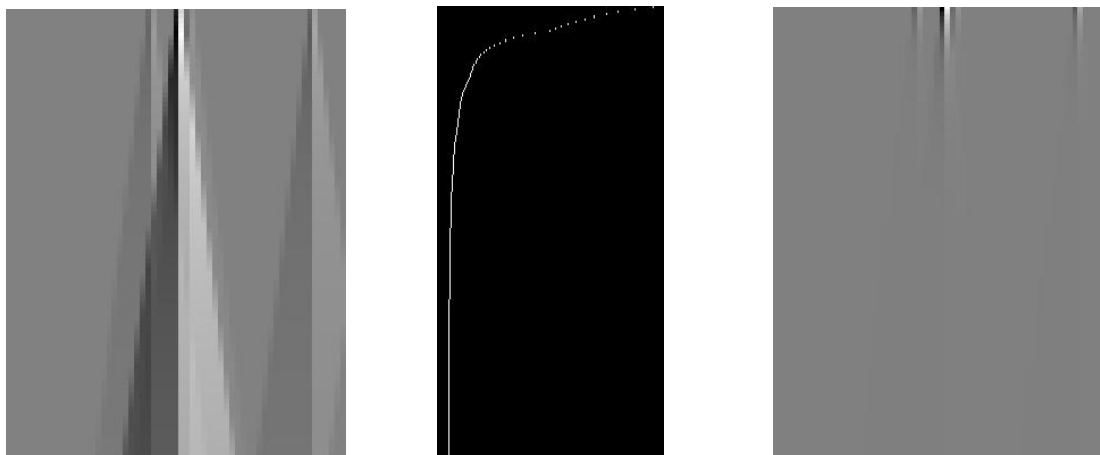
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	5

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	91	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	90	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	90	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	91	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	90	Lys lilla



Figur 53 – Wavelet parametre og testresultater



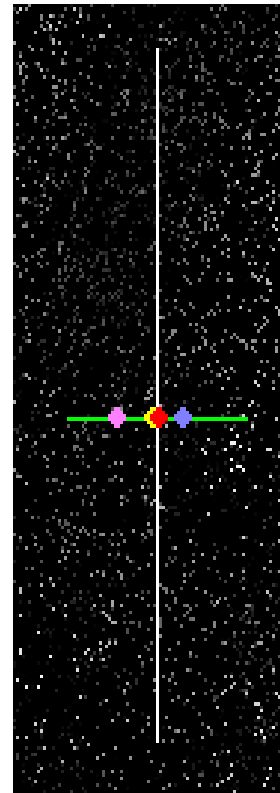
Figur 54 – Skalogramer og energinivå

9.2.3 Mexican hat

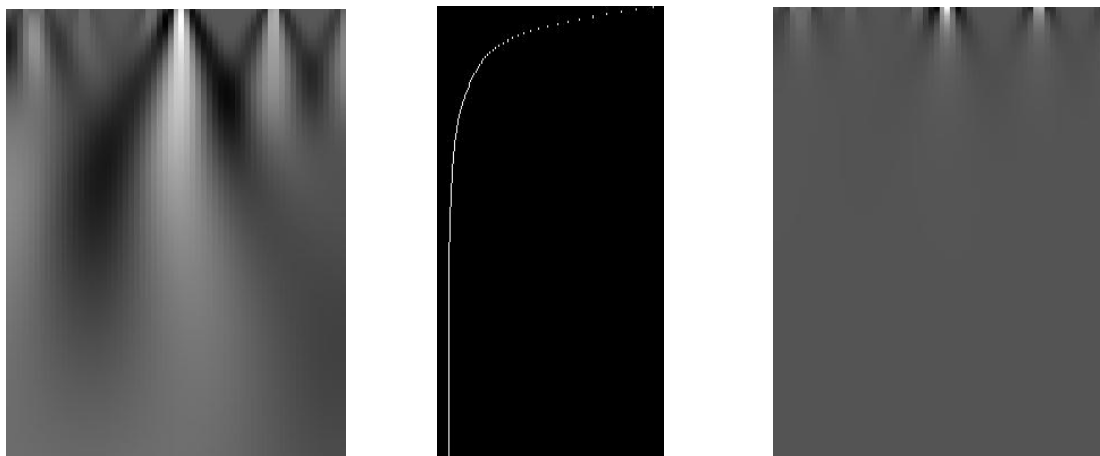
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	91	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	89	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	91	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	91	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	77	Lys lilla



Figur 55 – Wavelet parametre og testresultater



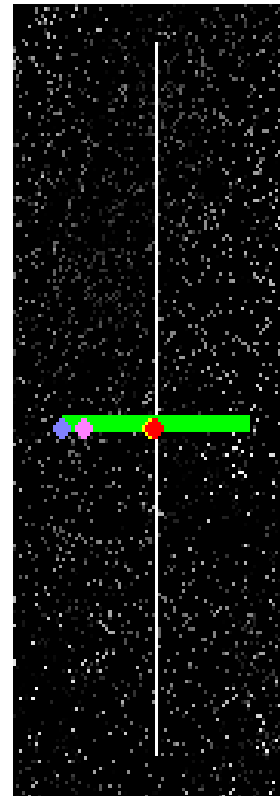
Figur 56 – Skalogramer og energinivå

9.2.4 Mexican hat

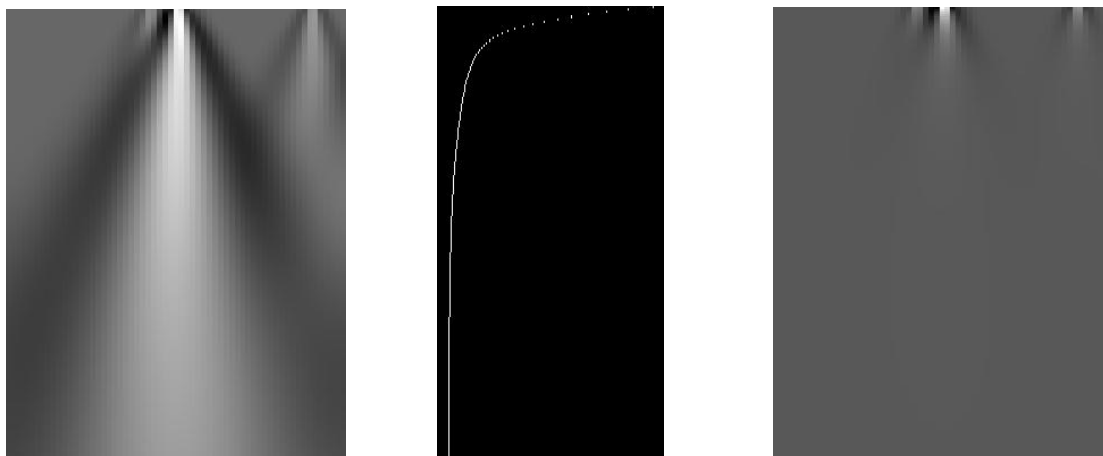
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	5

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	90	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	89	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	90	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	90	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	67	Lys lilla



Figur 57 – Wavelet parametre og testresultater



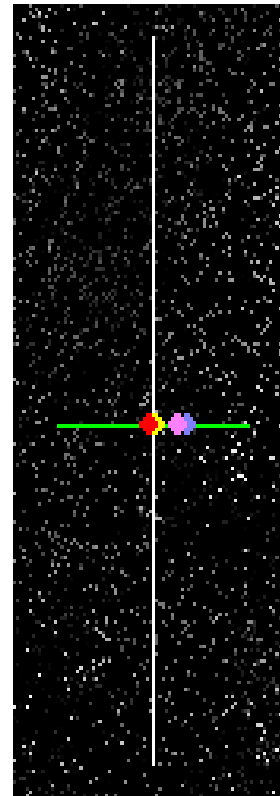
Figur 58 – Skalogramer og energinivå

9.2.5 Morlet

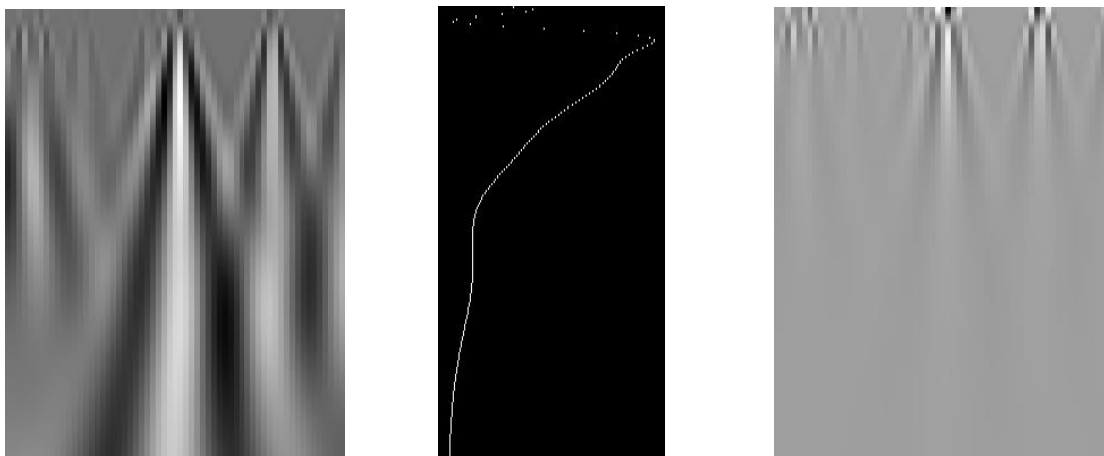
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning	1		
Summeringsverdier	0,1		

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	89	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	91	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	91	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	91	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	98	Lys lilla



Figur 59 – Wavelet parametre og testresultater



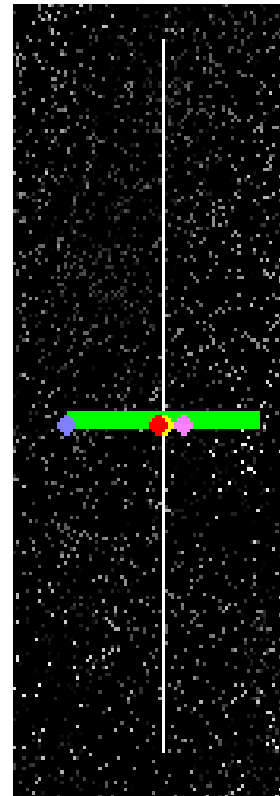
Figur 60 – Skalogramer og energinivå

9.2.6 Morlet

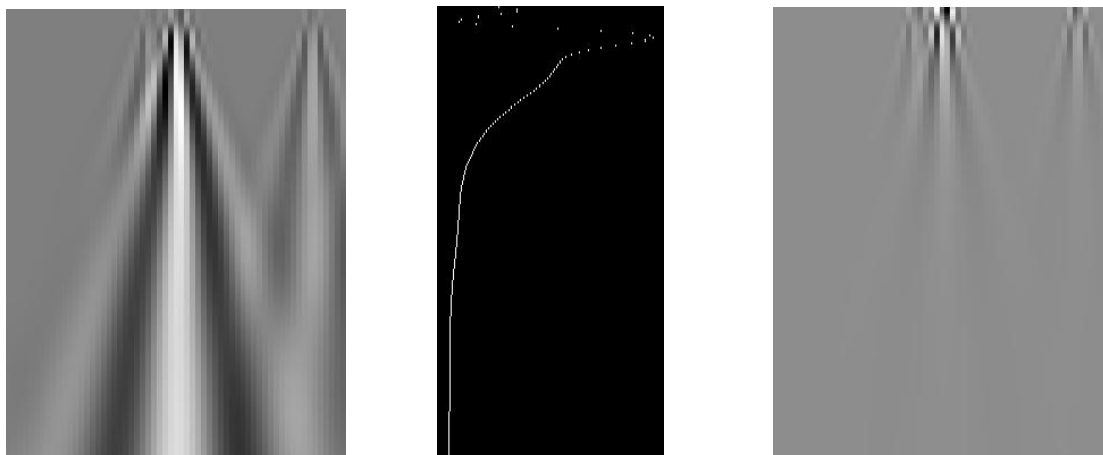
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	5

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	89	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	91	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	89	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	90	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	97	Lys lilla



Figur 61 – Wavelet parametre og testresultater



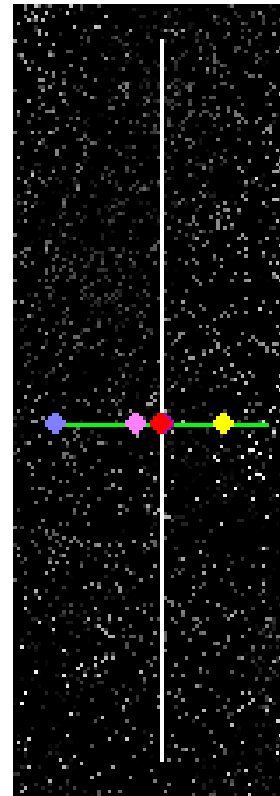
Figur 62 – Skalogramer og energinivå

9.2.7 Daubechies D4

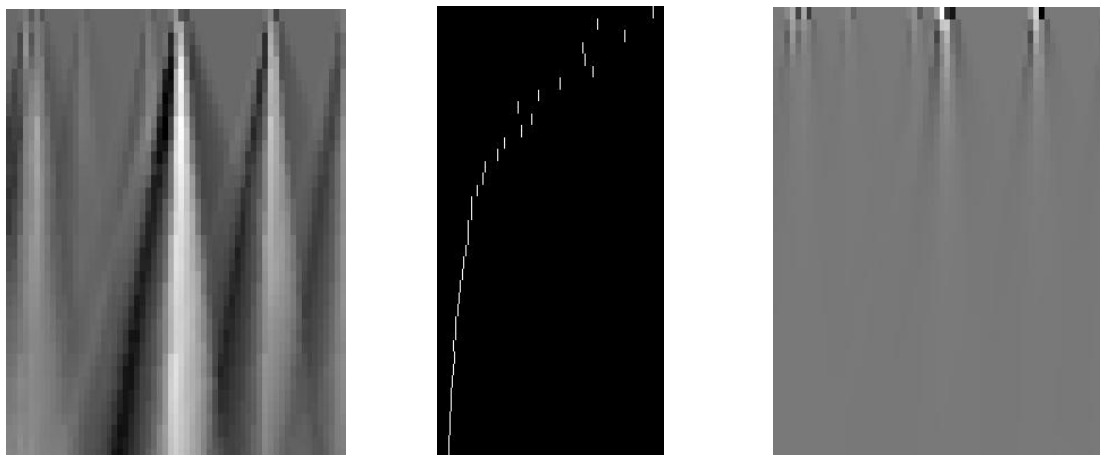
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	90	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	108	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	90	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	91	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	83	Lys lilla



Figur 63 – Wavelet parametre og testresultater



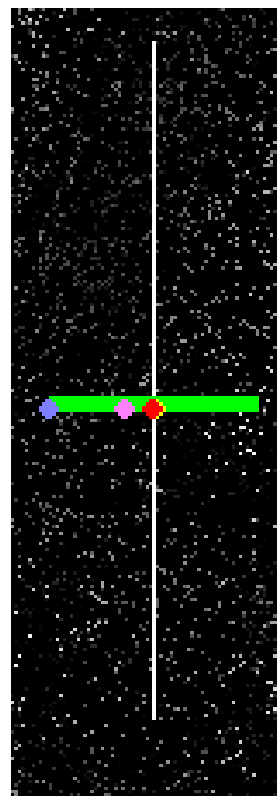
Figur 64 – Skalogramer og energinivå

9.2.8 Daubechies D4

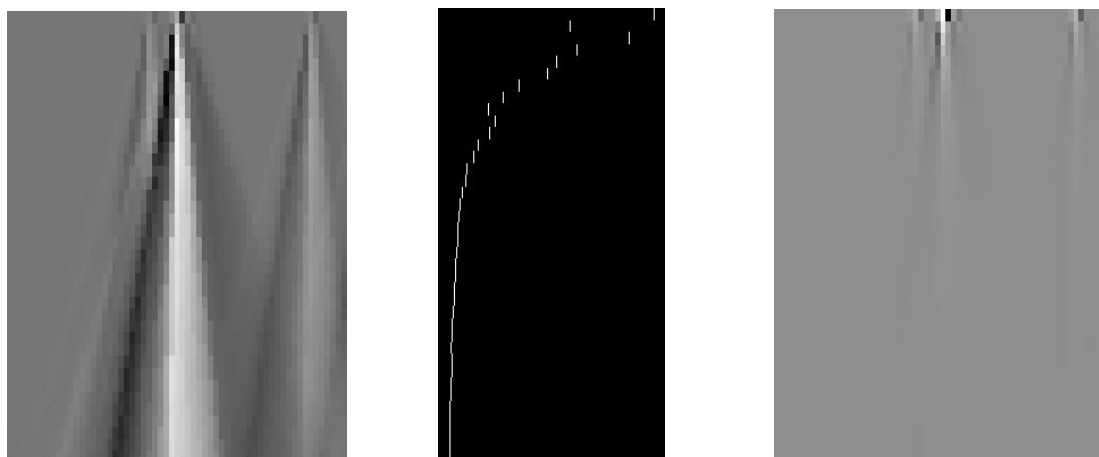
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	5

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	90	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	91	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	91	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	90	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	82	Lys lilla



Figur 65 – Wavelet parametre og testresultater



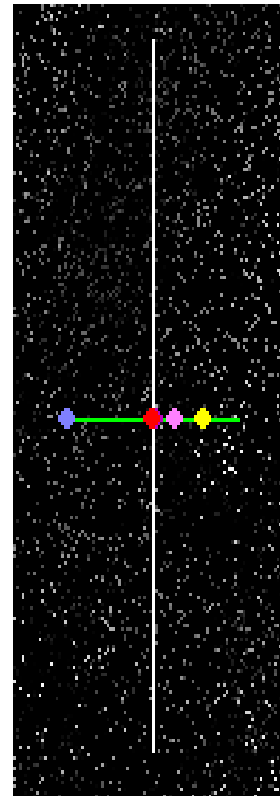
Figur 66 – Skalogramer og energinivå

9.2.9 Kubisk spline

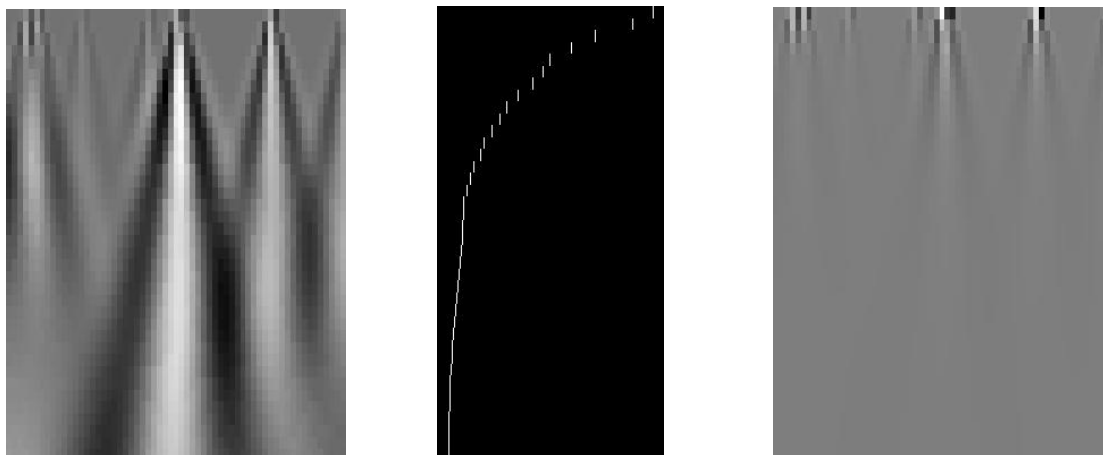
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	90	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	108	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	90	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	91	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	98	Lys lilla



Figur 67 – Wavelet parametre og testresultater



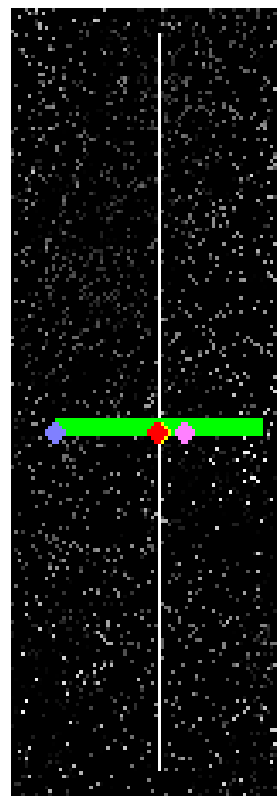
Figur 68 – Skalogramer og energinivå

9.2.10 Kubisk spline

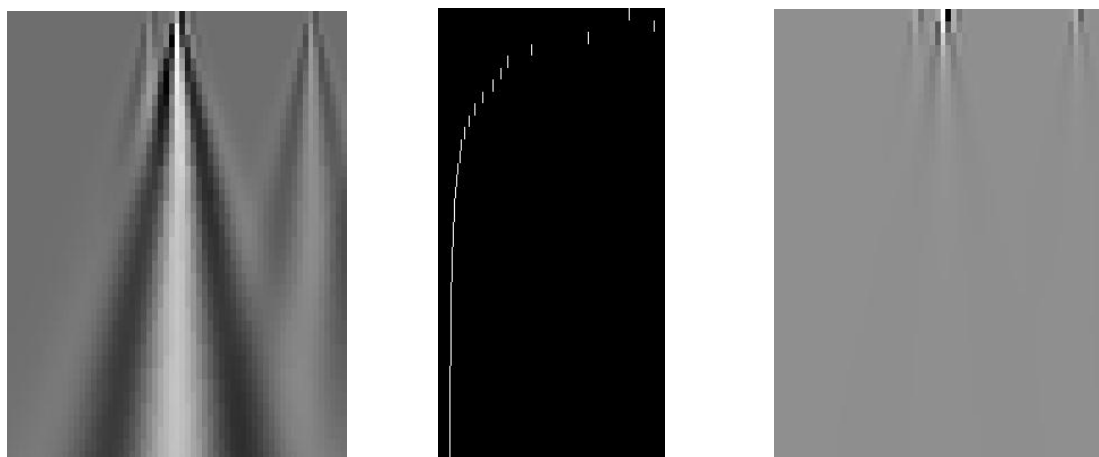
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	5

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	90	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	91	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	90	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	90	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	98	Lys lilla



Figur 69 – Wavelet parametre og testresultater



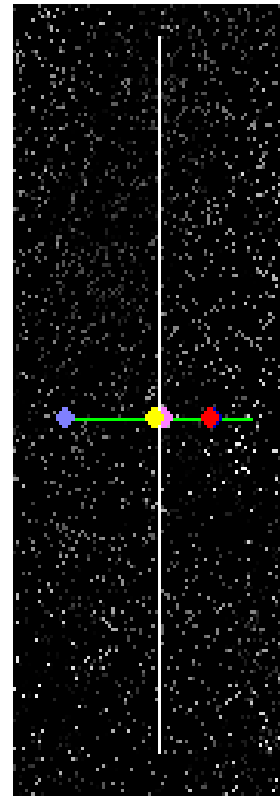
Figur 70 – Skalogramer og energinivå

9.2.11 Kvadratisk spline

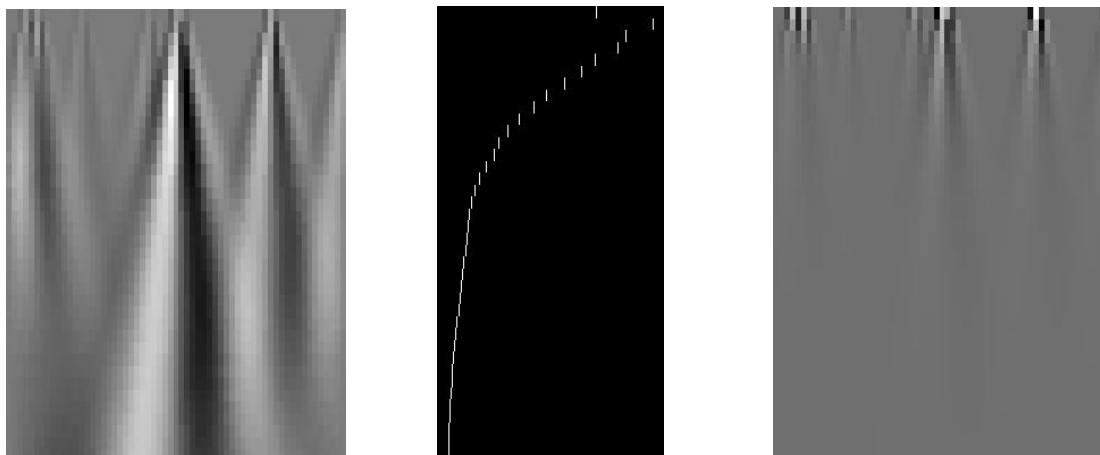
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	107	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	89	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	108	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	89	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	92	Lys lilla



Figur 71 – Wavelet parametre og testresultater



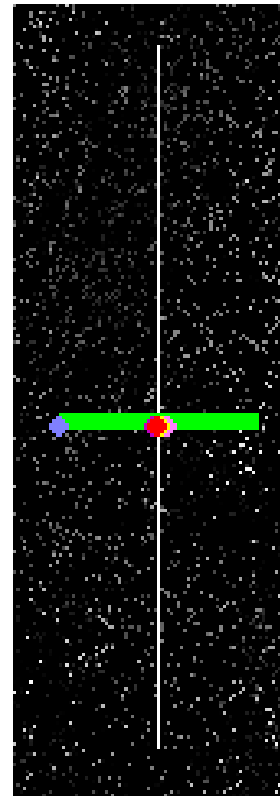
Figur 72 – Skalogramer og energinivå

9.2.12 Kvadratisk spline

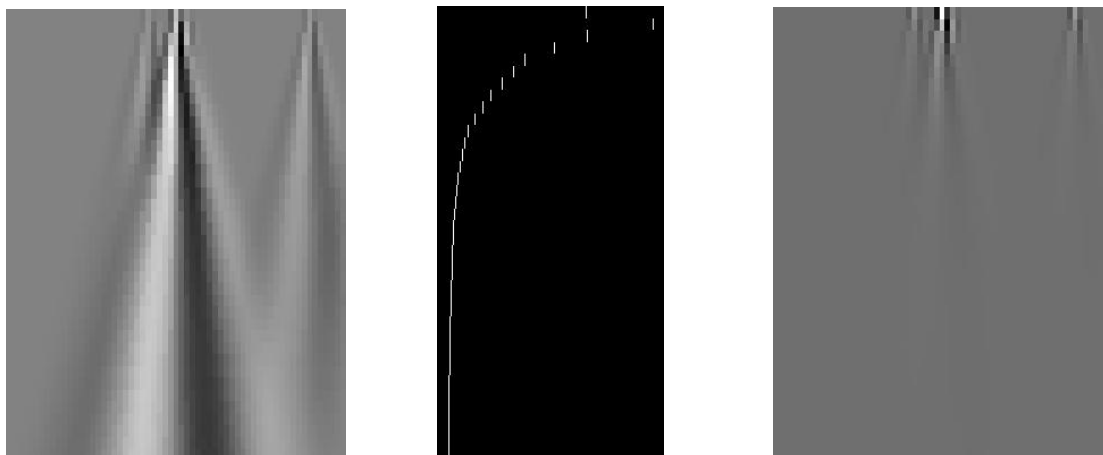
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	5

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	90	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	91	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	91	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	89	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	93	Lys lilla



Figur 73 – Wavelet parametre og testresultater



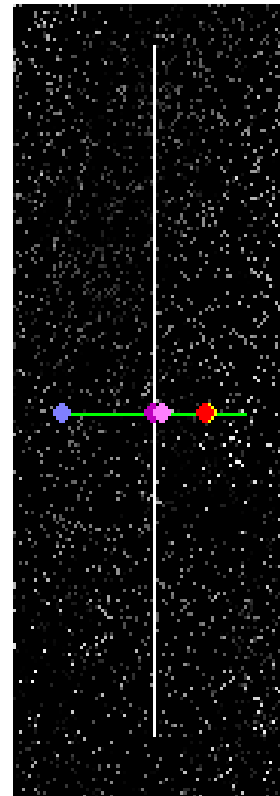
Figur 74 – Skalogramer og energinivå

9.2.13 Stykkevis lineær spline

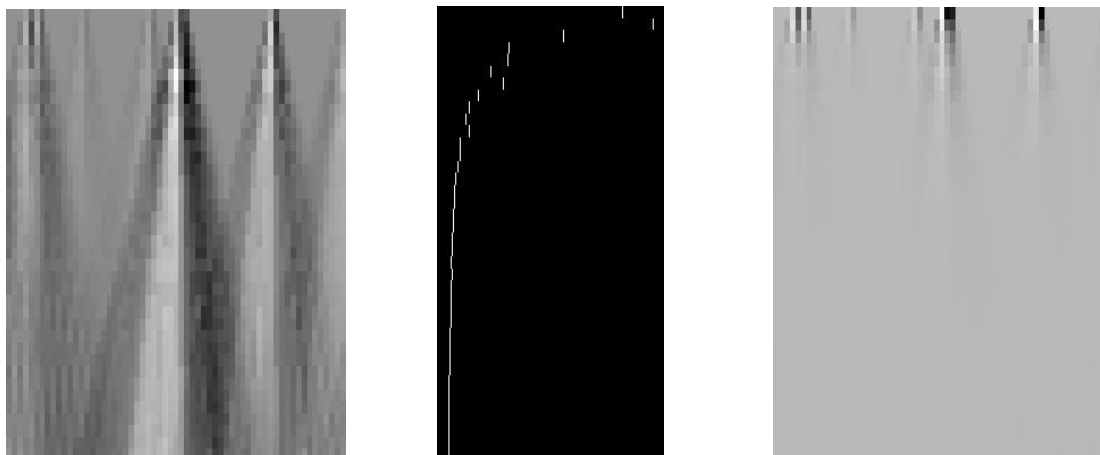
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	107	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	108	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	108	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	90	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	93	Lys lilla



Figur 75 – Wavelet parametre og testresultater



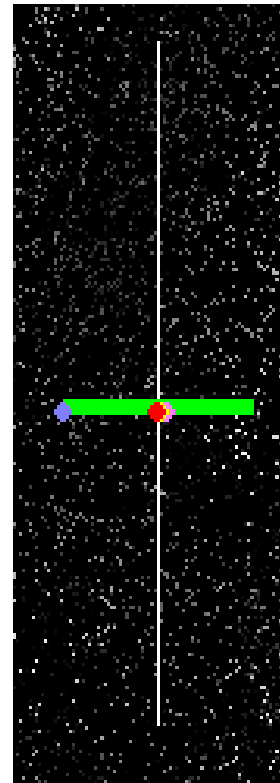
Figur 76 – Skalogramer og energinivå

9.2.14 Stykkevis lineær spline

	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	5

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	90	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	91	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	91	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	90	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	93	Lys lilla



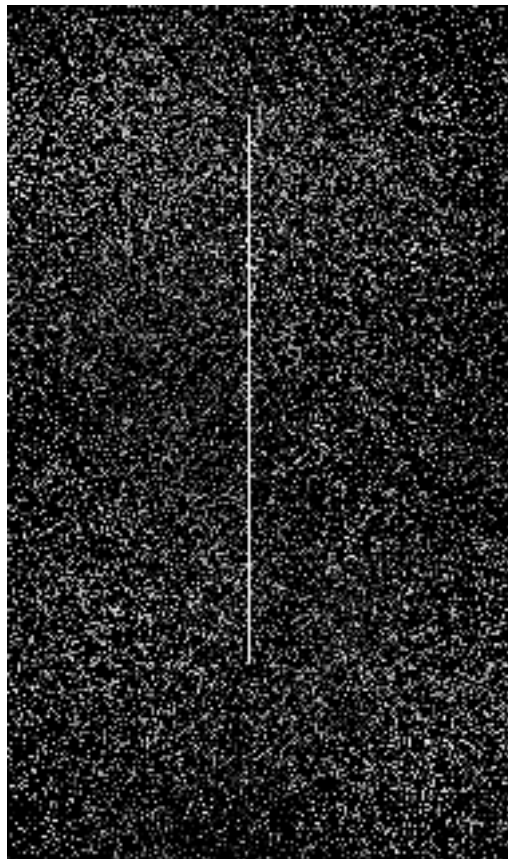
Figur 77 – Wavelet parametre og testresultater



Figur 78 – Skalogramer og energinivå

9.3 Bilde nr. 3

Streken befinner seg på pixel 90. Vi ”skyter” stråle fra punkt (60,60) til punkt (120,60). Treffpunktene 89, 90 og 91 anser vi som gode treff.



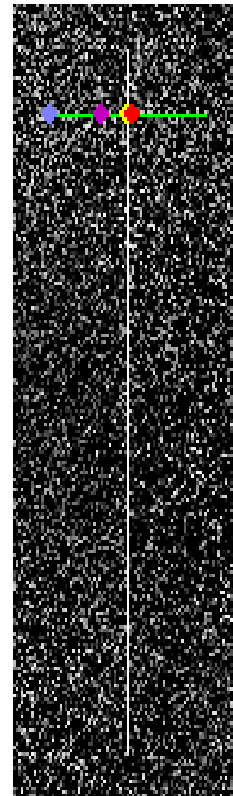
Figur 79 - Bilde med 1 pixel bred strek med mye støy

9.3.1 Haar

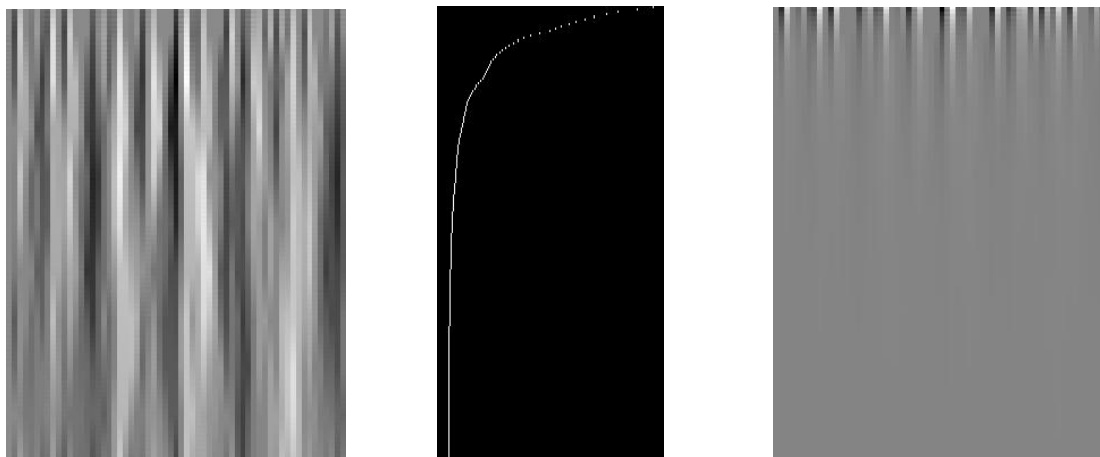
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	92	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	90	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	90	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	80	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	90	Lys lilla



Figur 80 – Wavelet parametre og testresultater



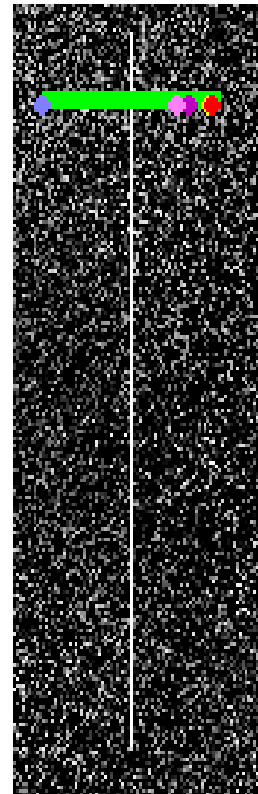
Figur 81 – Skalogramer og energinivå

9.3.2 Haar

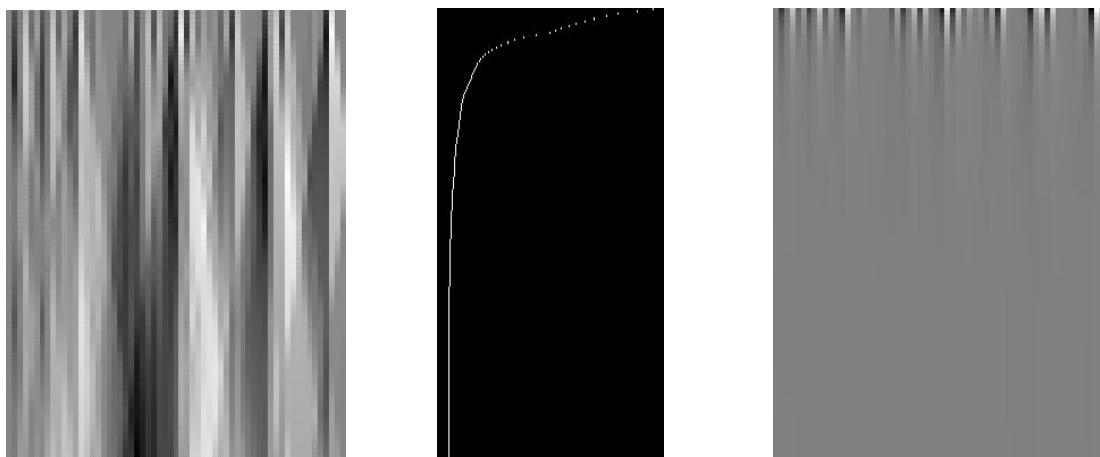
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	5

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	118	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	117	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	117	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	110	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	106	Lys lilla



Figur 82 – Wavelet parametre og testresultater



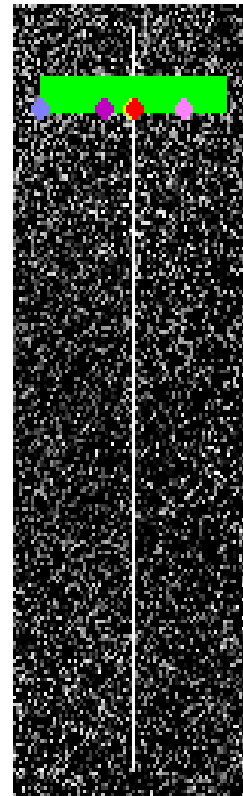
Figur 83 – Skalogramer og energinivå

9.3.3 Haar

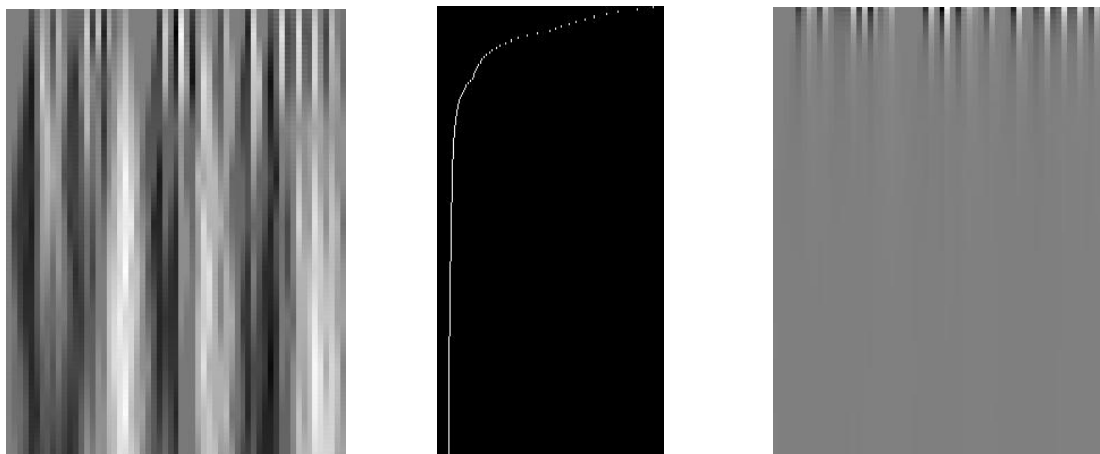
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	10

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	91	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	90	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	90	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	81	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	107	Lys lilla



Figur 84 – Wavelet parametre og testresultater



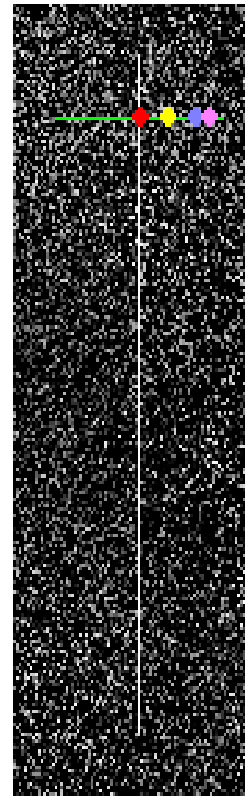
Figur 85 – Skalogramer og energinivå

9.3.4 Mexican Hat

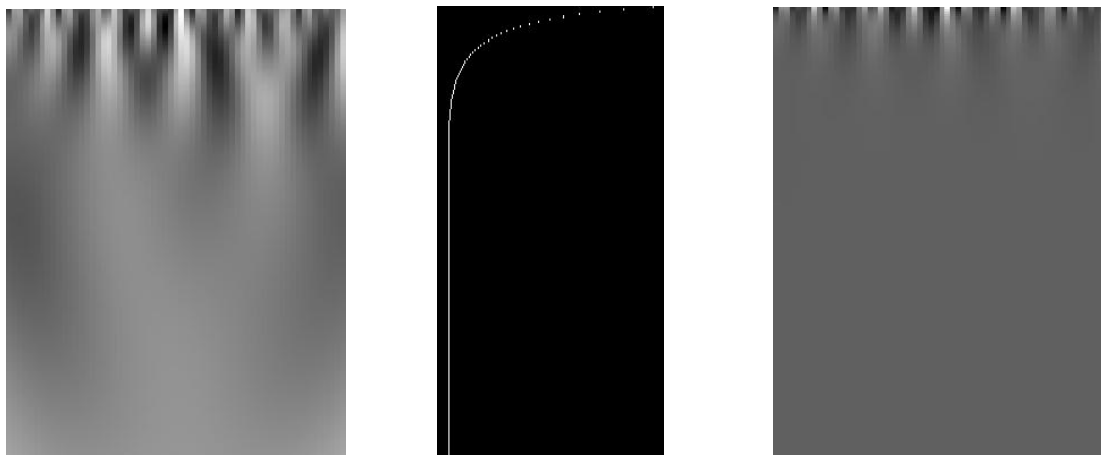
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	91	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	101	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	91	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	91	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	116	Lys lilla



Figur 86 – Wavelet parametre og testresultater



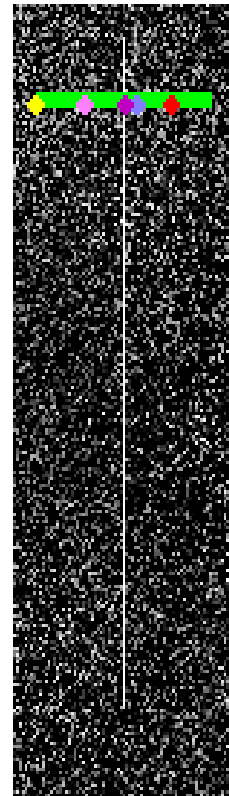
Figur 87 – Skalogramer og energinivå

9.3.5 Mexcian Hat

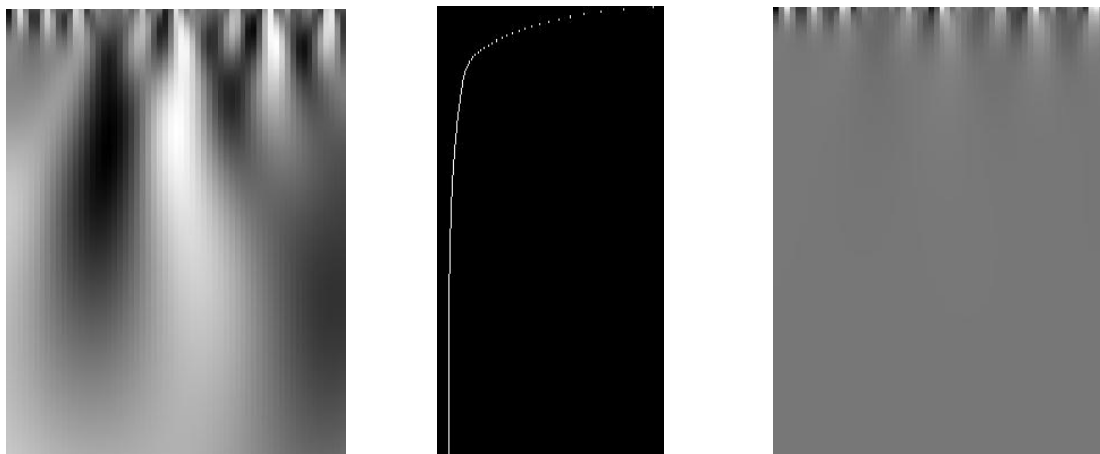
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	5

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	107	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	60	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	107	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	91	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	77	Lys lilla



Figur 88 – Wavelet parametre og testresultater



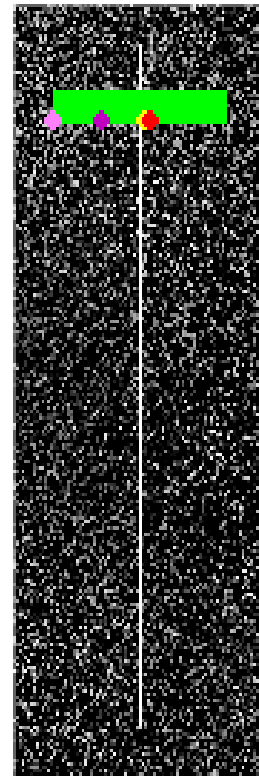
Figur 89 – Skalogramer og energinivå

9.3.6 Mexcian Hat

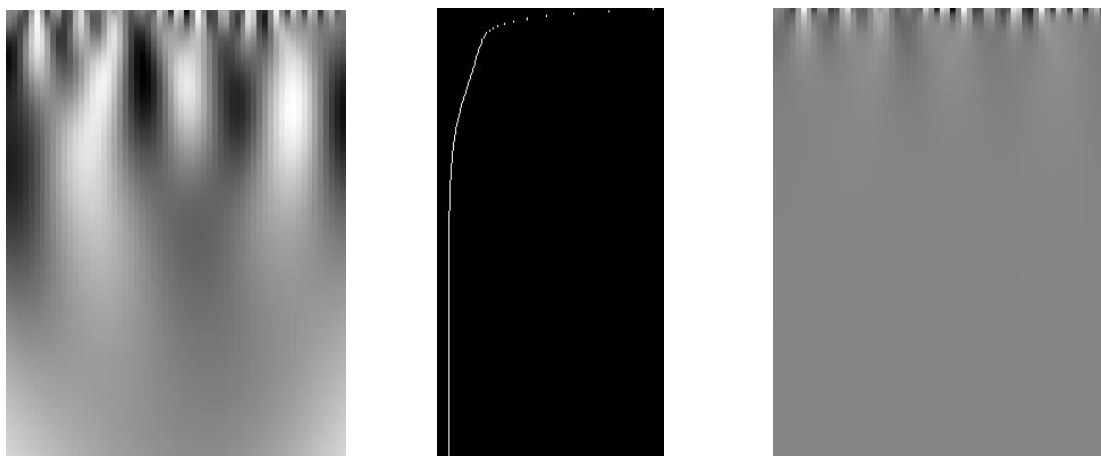
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	10

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	94	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	92	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	94	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	77	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	60	Lys lilla



Figur 90 – Wavelet parametre og testresultater



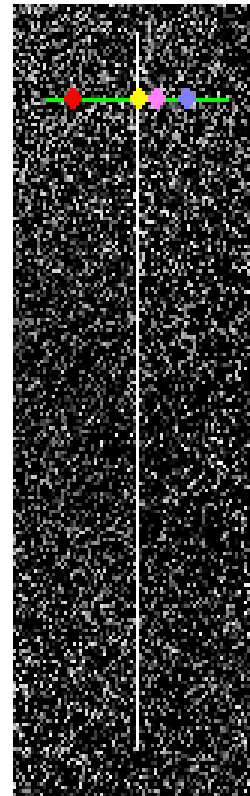
Figur 91 – Skalogramer og energinivå

9.3.7 Morlet

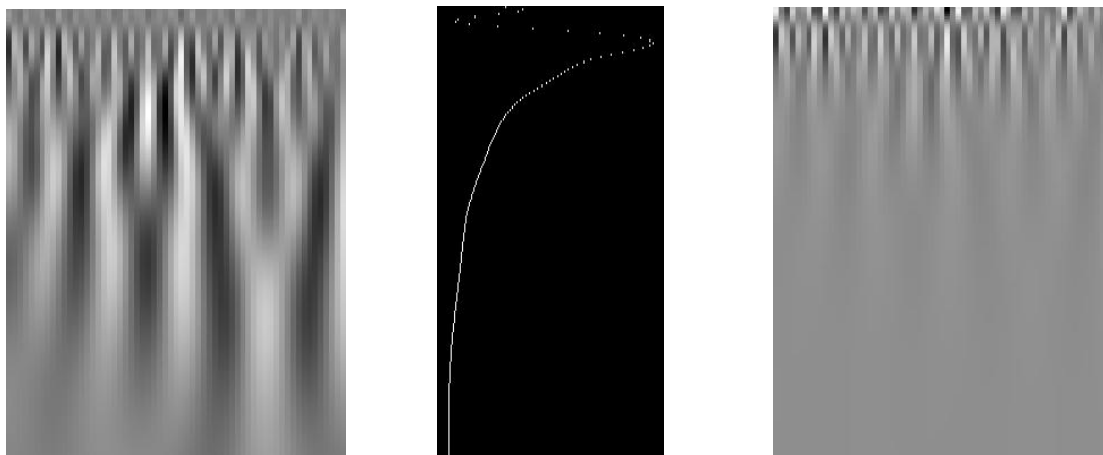
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	69	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	91	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	91	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	91	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	97	Lys lilla



Figur 92 – Wavelet parametre og testresultater



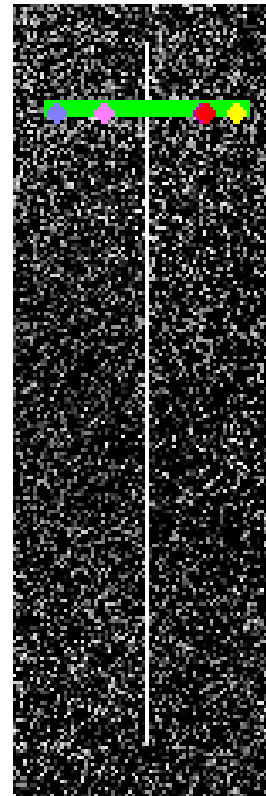
Figur 93 – Skalogramer og energinivå

9.3.8 Morlet

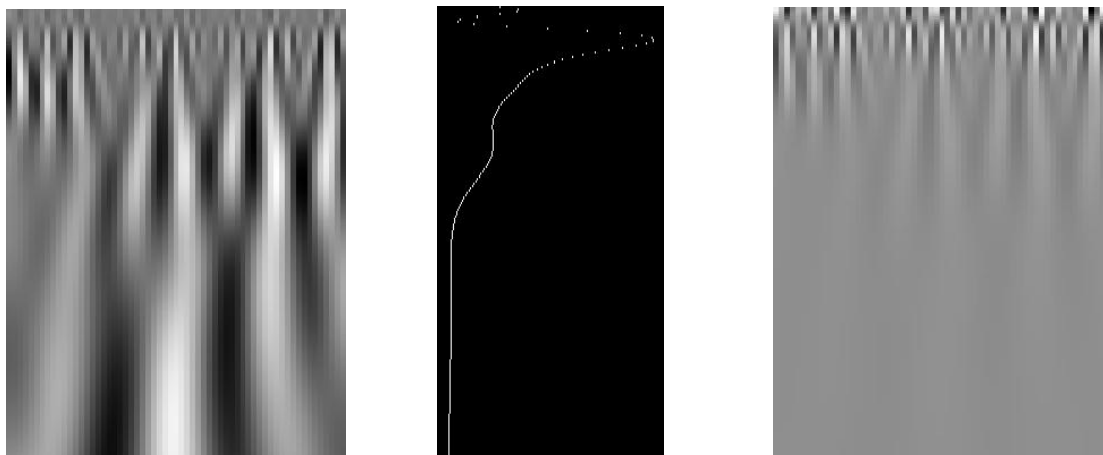
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	5

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	108	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	117	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	108	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	107	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	78	Lys lilla



Figur 94 – Wavelet parametre og testresultater



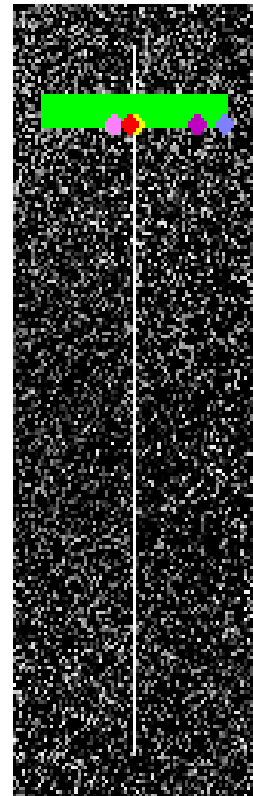
Figur 95 – Skalogramer og energinivå

9.3.9 Morlet

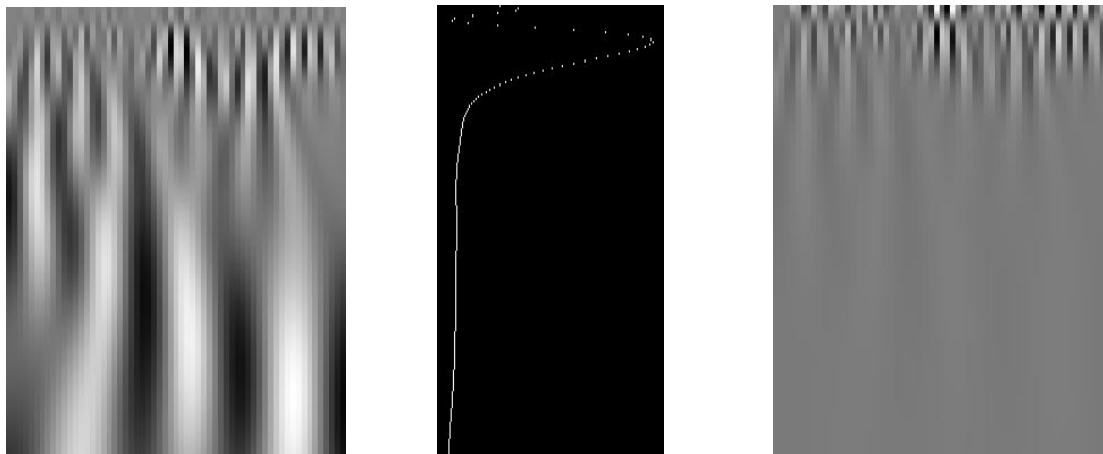
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	10

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	89	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	91	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	89	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	111	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	84	Lys lilla



Figur 96 – Wavelet parametre og testresultater



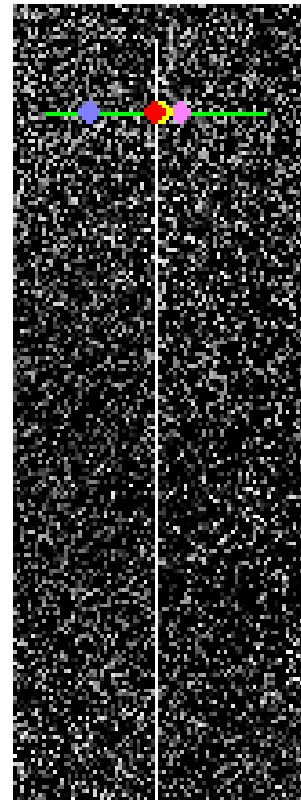
Figur 97 – Skalogramer og energinivå

9.3.10 Daubechies D4

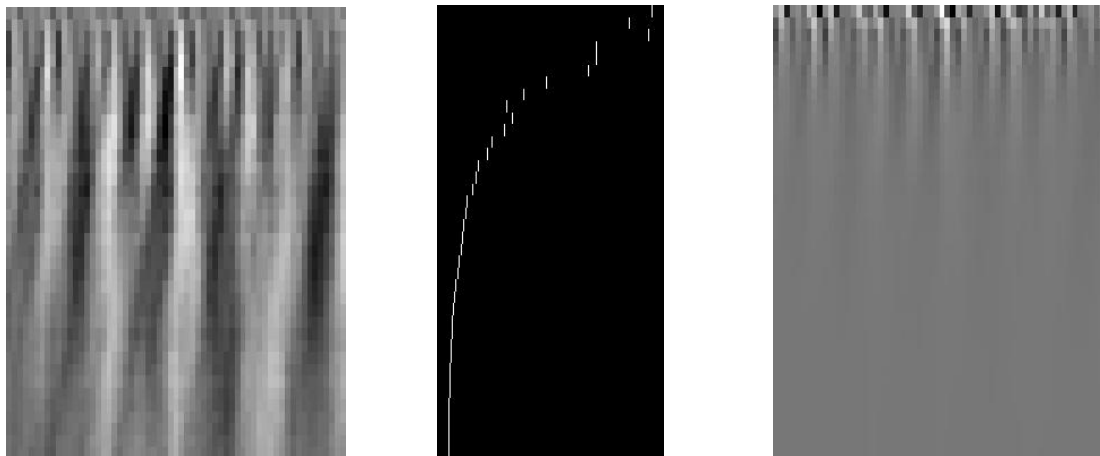
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	90	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	92	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	90	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	91	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	97	Lys lilla



Figur 98 – Wavelet parametre og testresultater



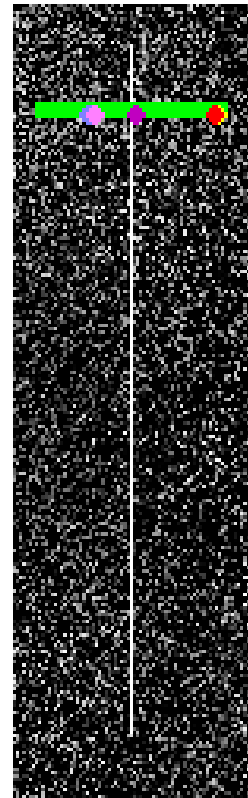
Figur 99 – Skalogramer og energinivå

9.3.11 Daubechies D4

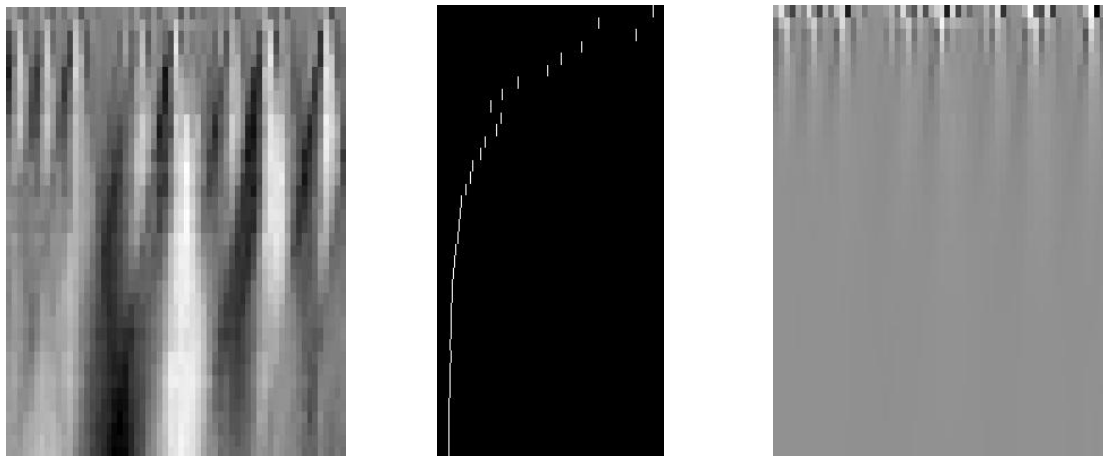
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	5

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	117	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	118	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	118	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	92	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	79	Lys lilla



Figur 100 – Wavelet parametre og testresultater



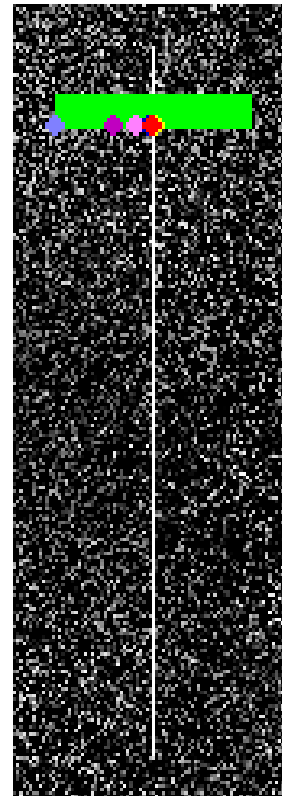
Figur 101 – Skalogramer og energinivå

9.3.12 Daubechies D4

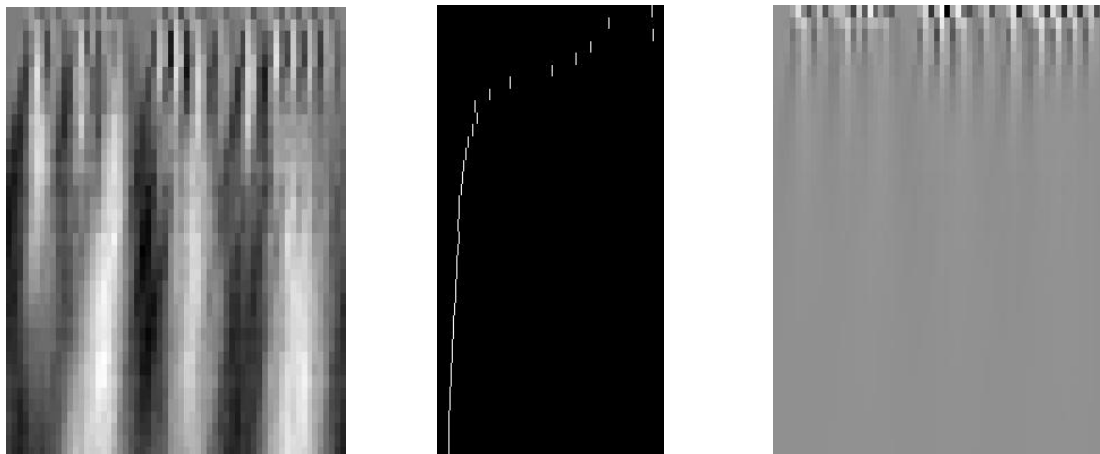
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	10

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	90	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	91	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	89	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	78	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	85	Lys lilla



Figur 102 – Wavelet parametre og testresultater



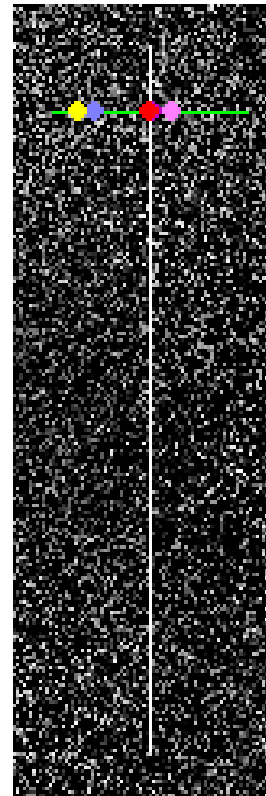
Figur 103 – Skalogramer og energinivå

9.3.13 Kubisk Spline

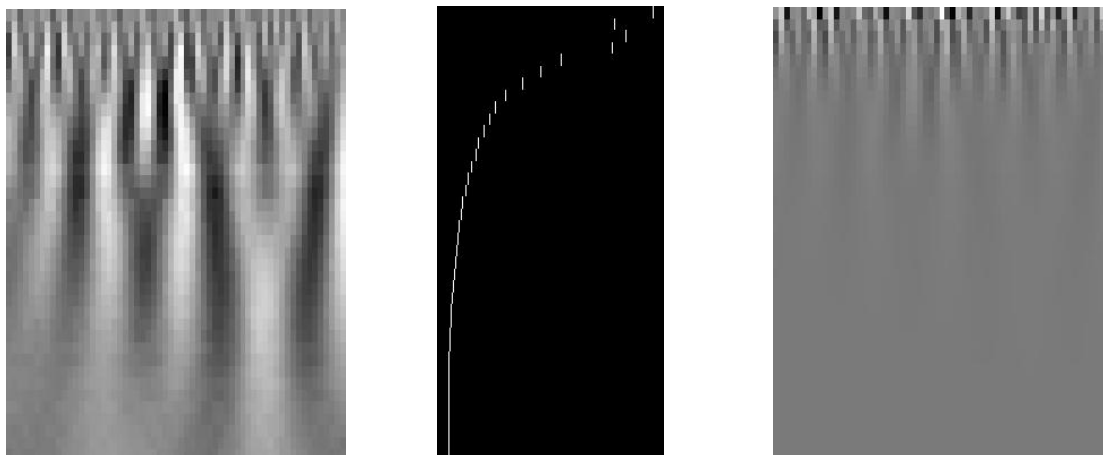
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	90	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	68	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	90	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	91	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	97	Lys lilla



Figur 104 – Wavelet parametre og testresultater



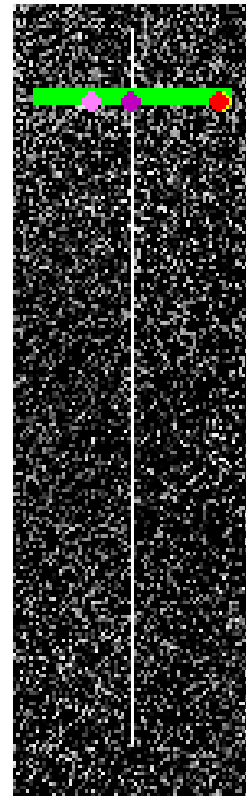
Figur 105 – Skalogramer og energinivå

9.3.14 Kubisk Spline

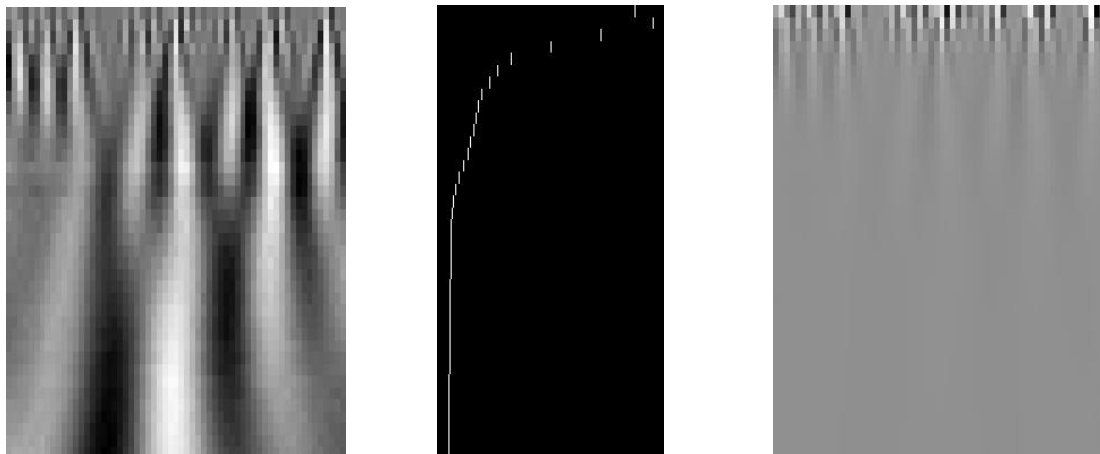
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	5

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	117	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	118	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	117	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	90	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	78	Lys lilla



Figur 106 – Wavelet parametre og testresultater



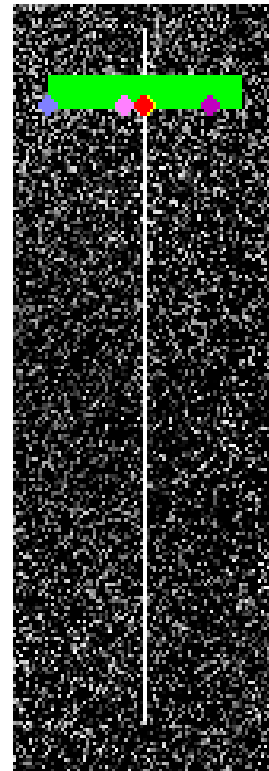
Figur 107 – Skalogramer og energinivå

9.3.15 Kubisk Spline

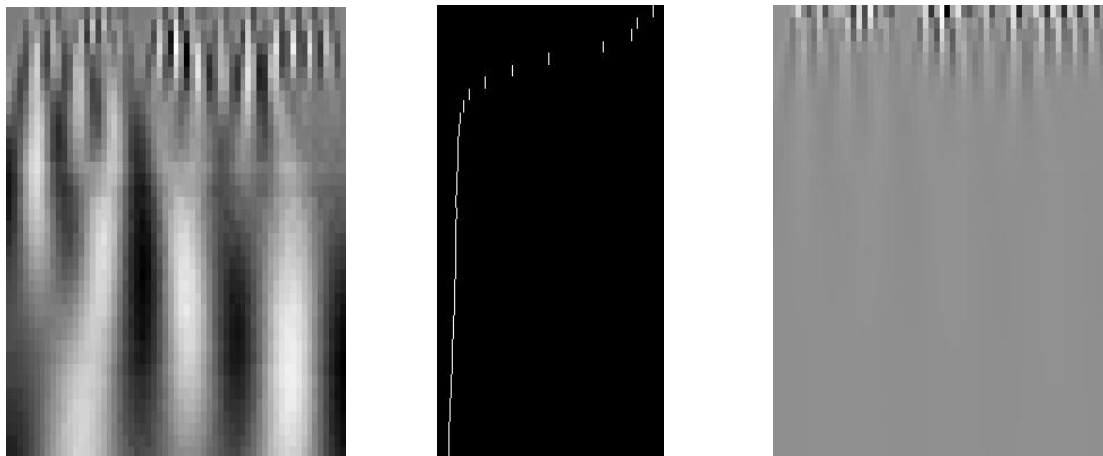
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	10

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	90	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	91	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	91	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	111	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	84	Lys lilla



Figur 108 – Wavelet parametre og testresultater



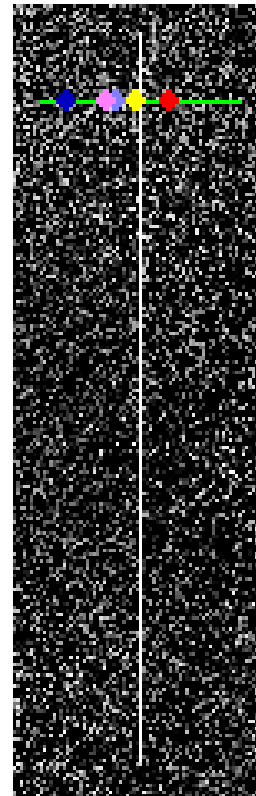
Figur 109 – Skalogramer og energinivå

9.3.16 Kvadratisk Spline

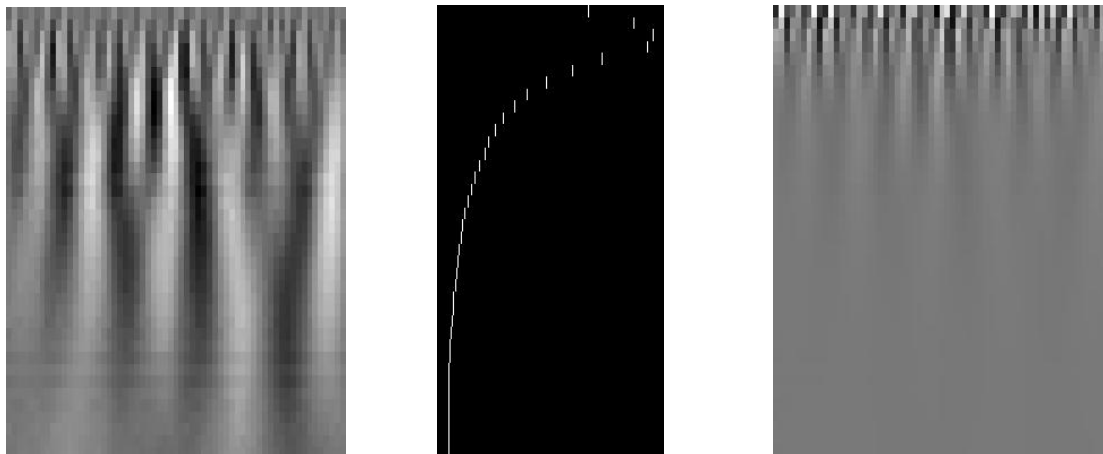
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	99	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	89	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	68	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	89	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	80	Lys lilla



Figur 110 – Wavelet parametre og testresultater



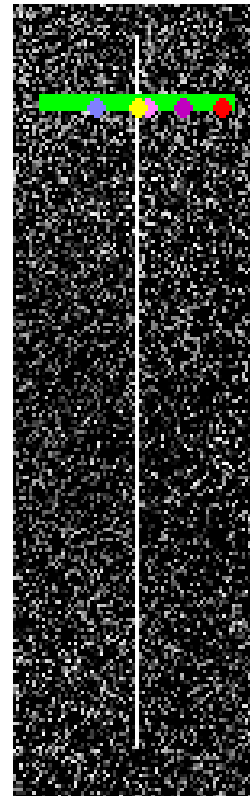
Figur 111 – Skalogramer og energinivå

9.3.17 Kvadratisk Spline

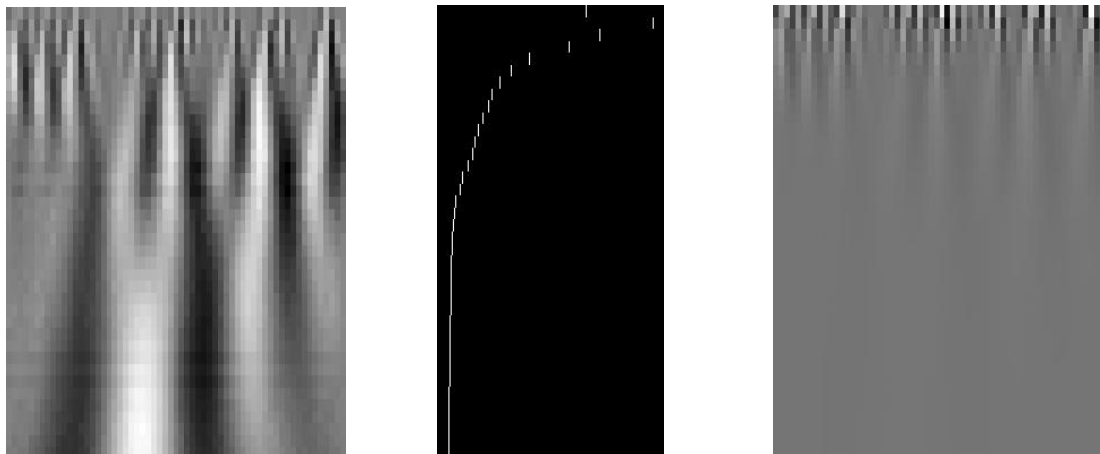
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	5

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	117	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	91	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	89	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	105	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	94	Lys lilla



Figur 112 – Wavelet parametre og testresultater



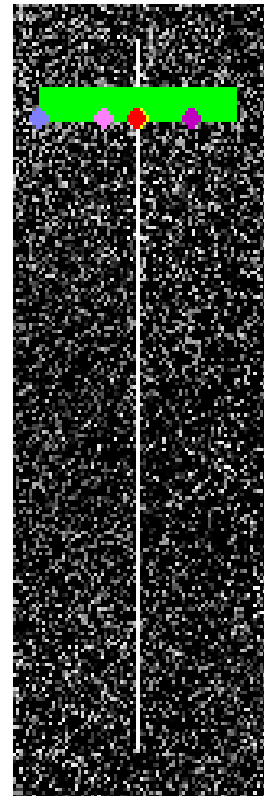
Figur 113 – Skalogramer og energinivå

9.3.18 Kvadratisk Spline

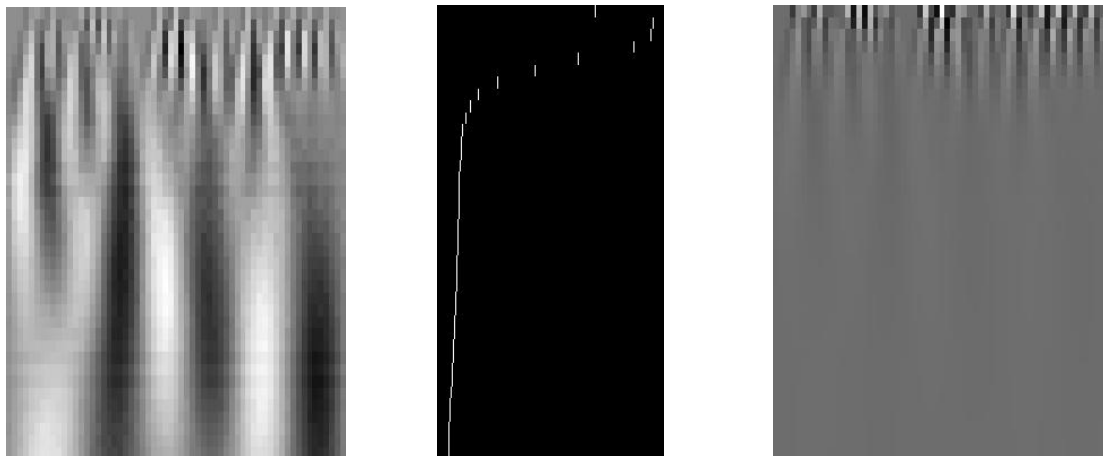
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	10

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	90	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	91	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	91	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	107	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	80	Lys lilla



Figur 114 – Wavelet parametre og testresultater



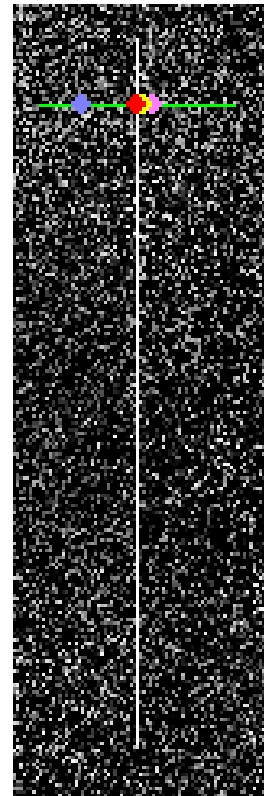
Figur 115 – Skalogramer og energinivå

9.3.19 Stykkevis lineær Spline

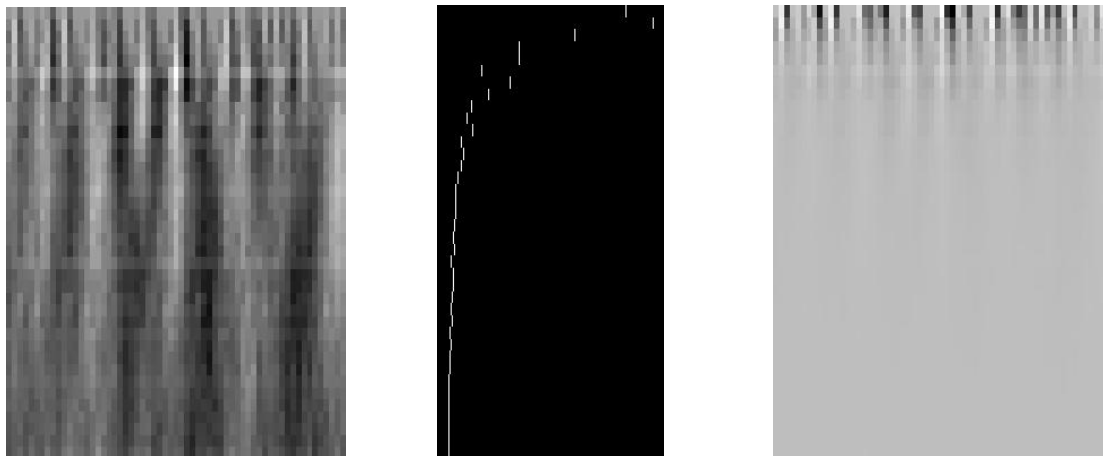
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	90	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	92	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	92	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	90	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	95	Lys lilla



Figur 116 – Wavelet parametre og testresultater



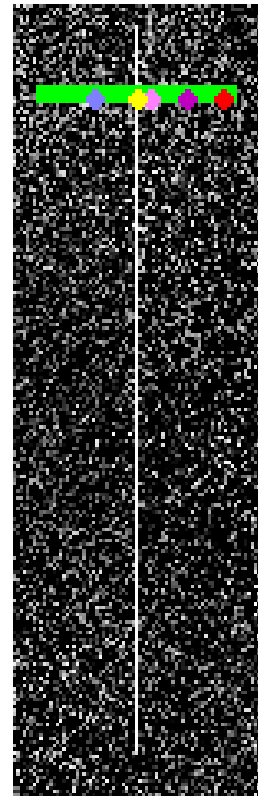
Figur 117 – Skalogramer og energinivå

9.3.20 Stykkevis lineær Spline

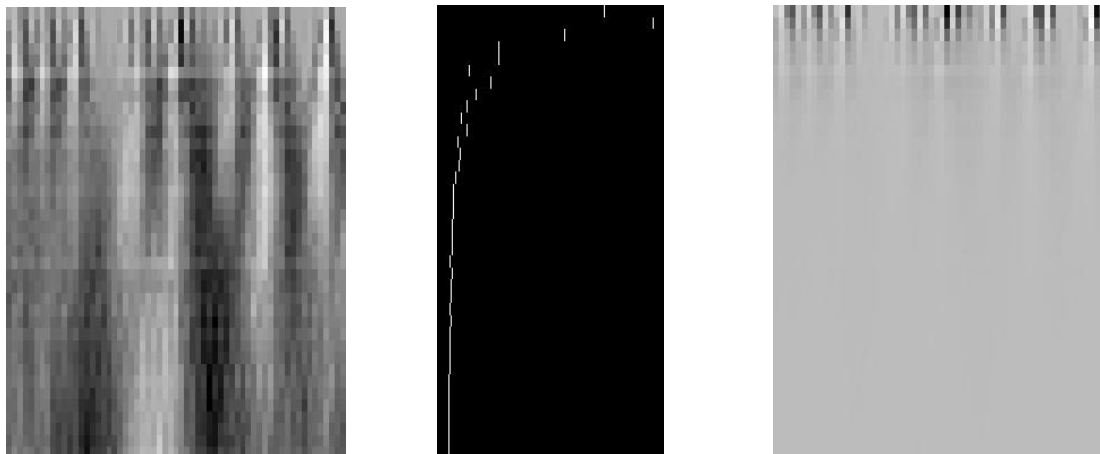
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	5

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	117	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	91	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	91	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	106	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	95	Lys lilla



Figur 118 – Wavelet parametre og testresultater



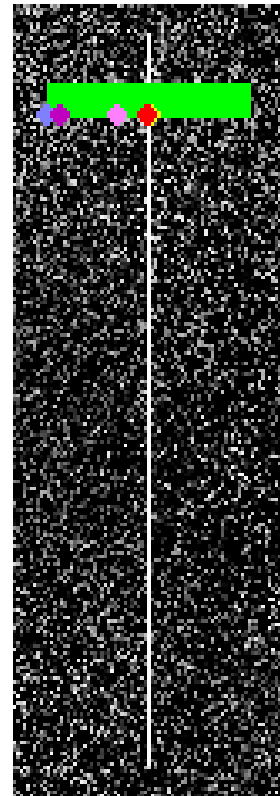
Figur 119 – Skalogramer og energinivå

9.3.21 Stykkevis lineær Spline

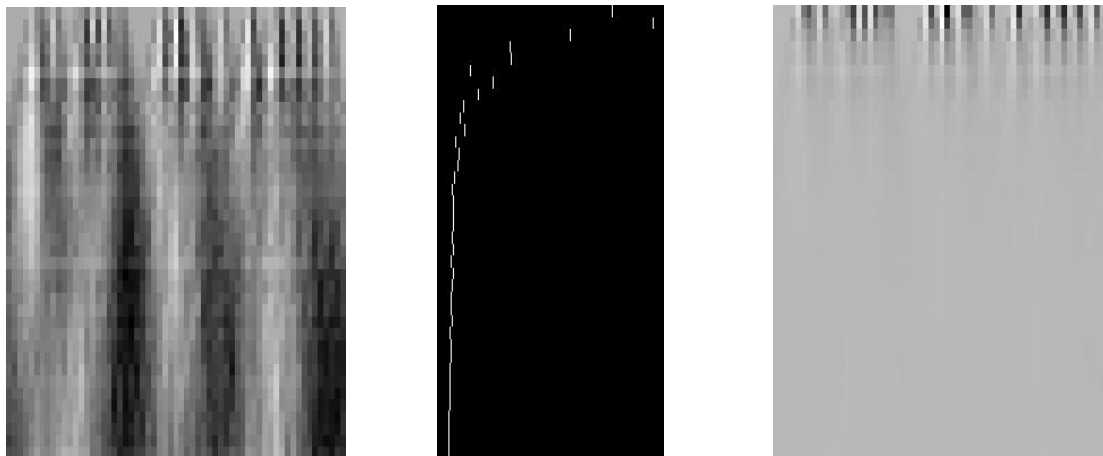
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	10

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	90	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	91	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	91	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	64	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	81	Lys lilla



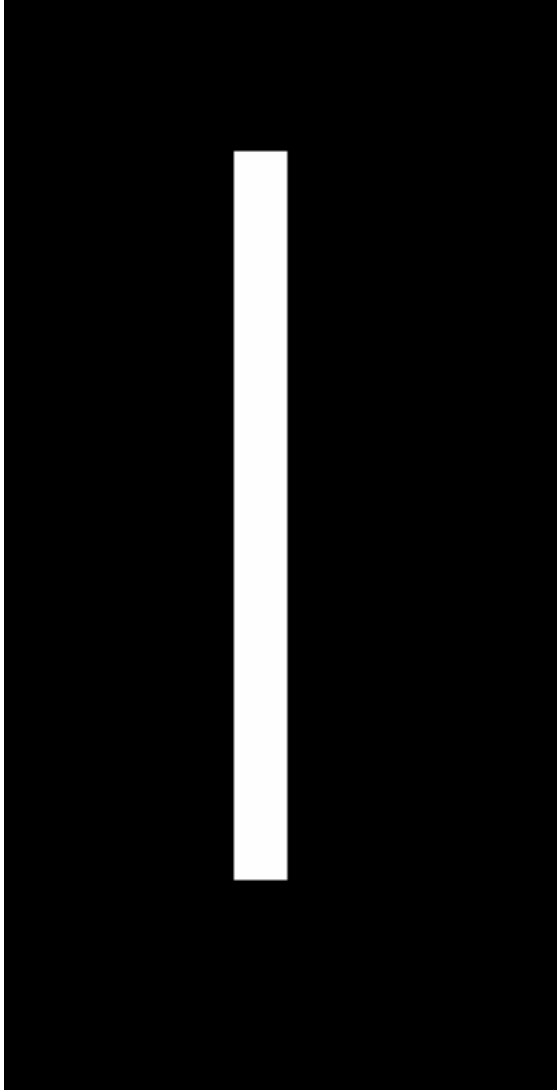
Figur 120 – Wavelet parametre og testresultater



Figur 121 – Skalogramer og energinivå

9.4 Bilde nr. 4

Streken befinner seg på fra pixel 86 - 105. Vi ”skyter” stråle fra punkt (60,150) til punkt (130,150). Treffpunktene 85, 86, 105 og 106 anser vi som gode kanttreff. Punkter mellom disse verdiene vil treffe streken, men ikke kanten.



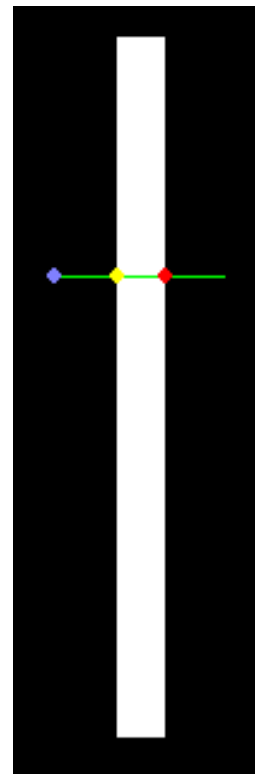
Figur 122 – Bilde med lys strek med bredde på 20

9.4.1 Haar

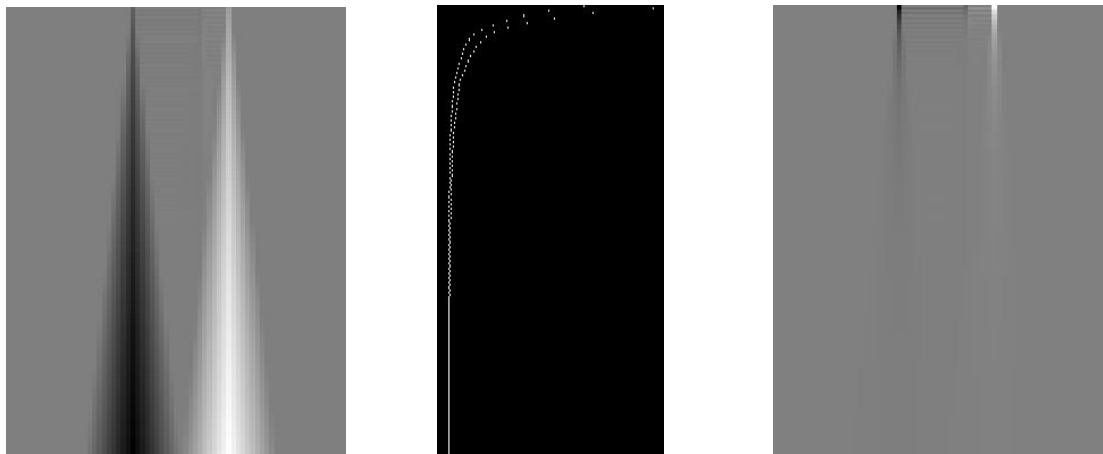
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	106	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	86	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	106	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	106	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	86	Lys lilla



Figur 123 – Wavelet parametre og testresultater



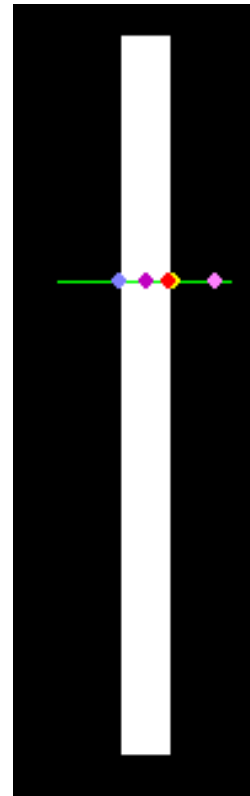
Figur 124 – Skalogramer og energinivå

9.4.2 Mexican hat

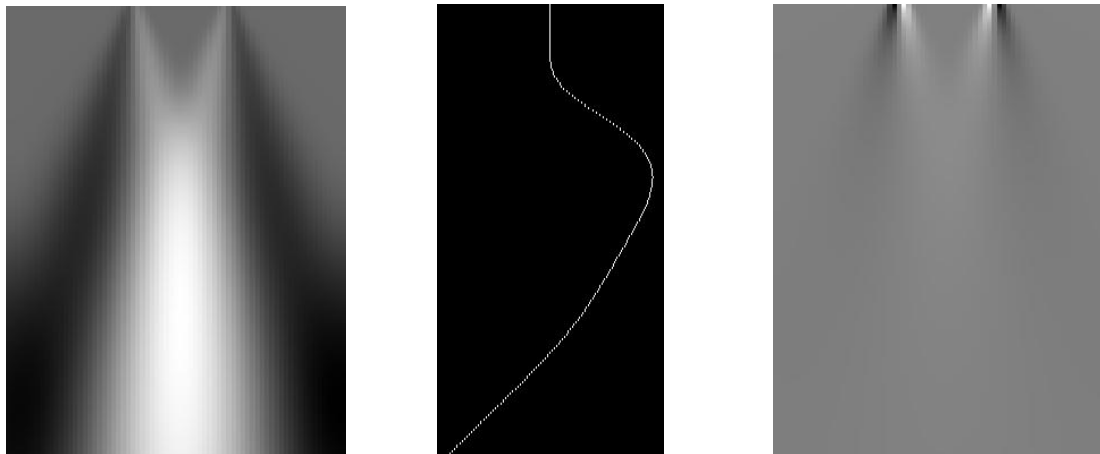
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	105	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	107	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	96	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	96	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	124	Lys lilla



Figur 125 – Wavelet parametre og testresultater



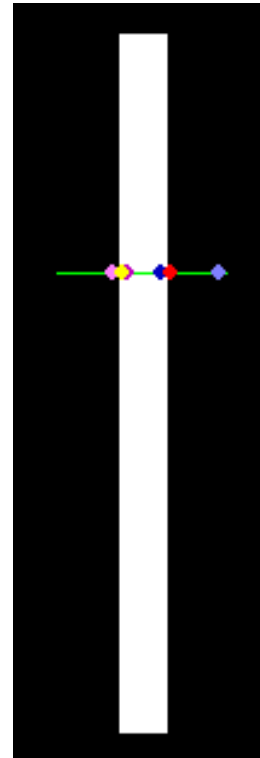
Figur 126 – Skalogramer og energinivå

9.4.3 Morlet

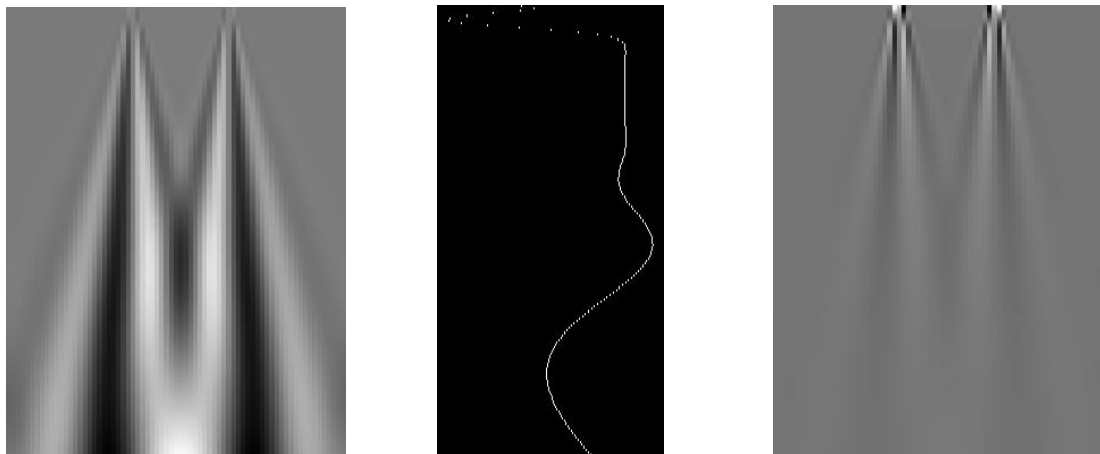
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	107	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	87	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	103	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	89	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	83	Lys lilla



Figur 127 – Wavelet parametre og testresultater



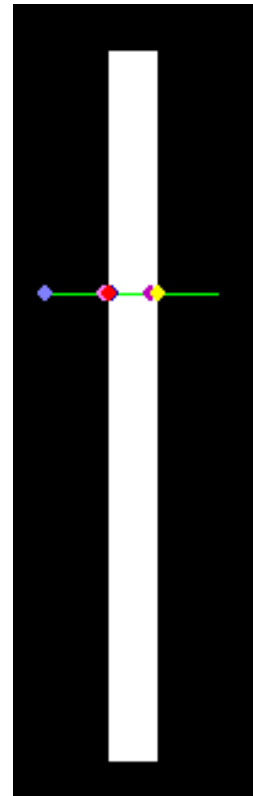
Figur 128 – Skalogramer og energinivå

9.4.4 Daubechies D4

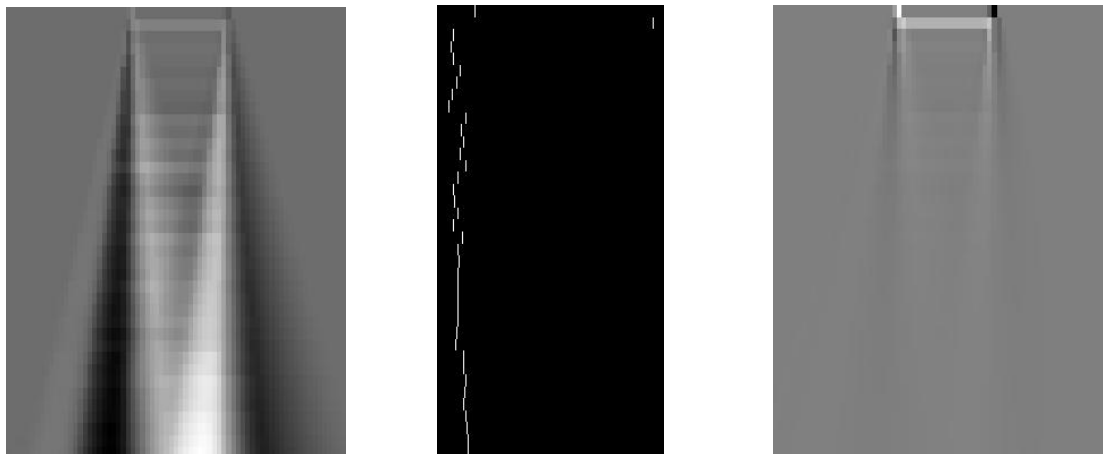
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	86	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	106	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	87	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	103	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	84	Lys lilla



Figur 129 – Wavelet parametre og testresultater



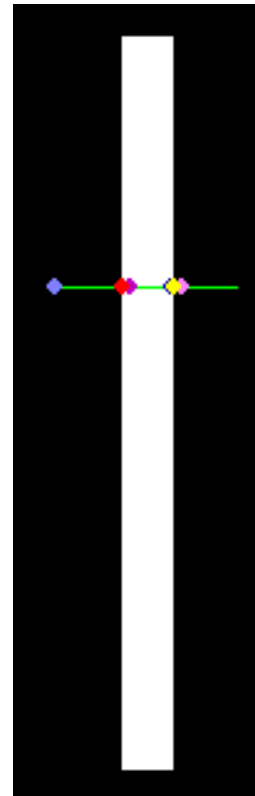
Figur 130 – Skalogramer og energinivå

9.4.5 Kubisk spline

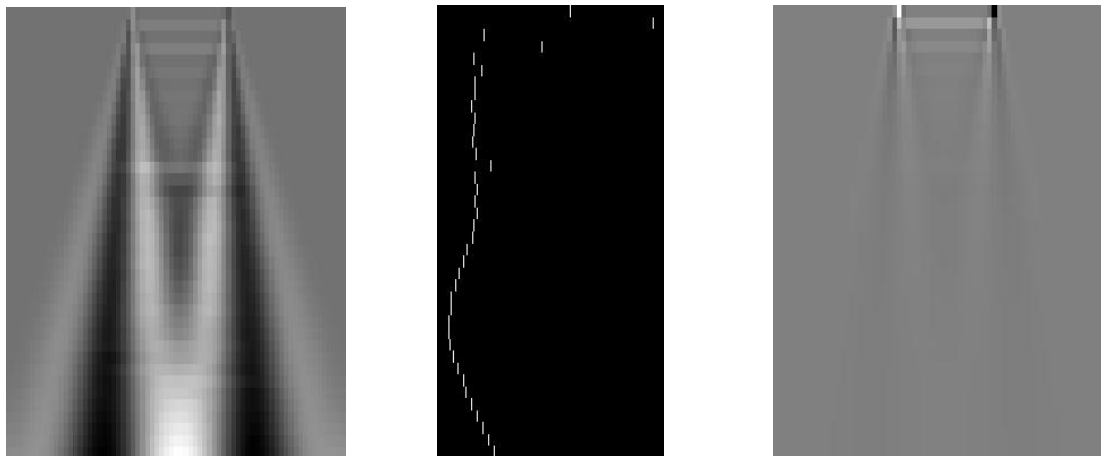
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	86	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	106	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	105	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	89	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	109	Lys lilla



Figur 131 – Wavelet parametre og testresultater



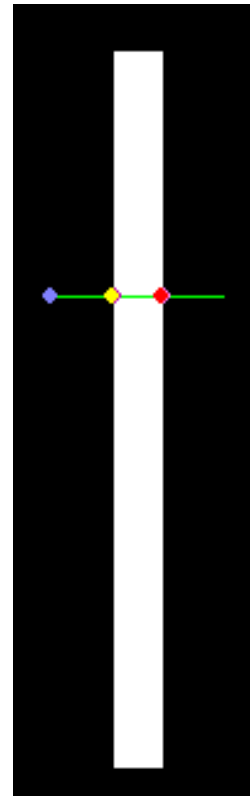
Figur 132 – Skalogramer og energinivå

9.4.6 Kvadratisk spline

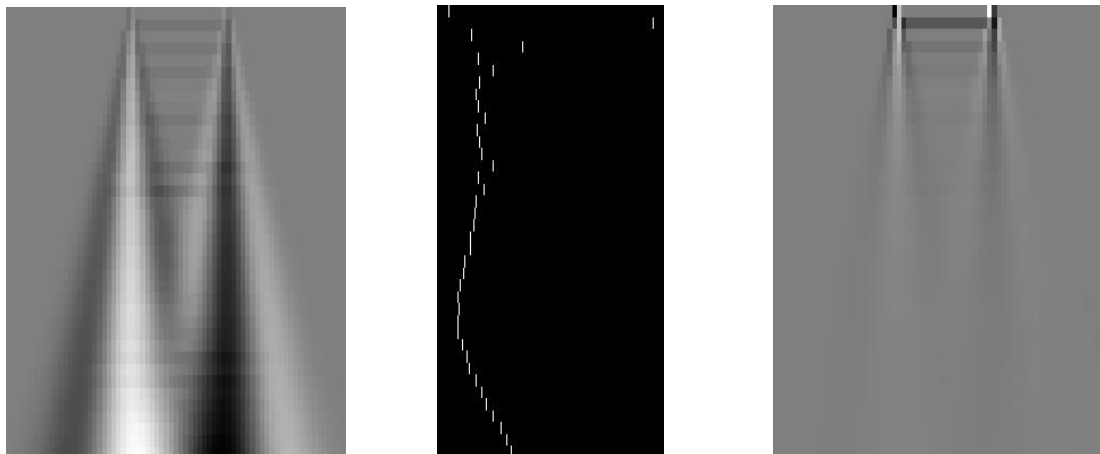
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	105	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	85	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	106	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	86	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	106	Lys lilla



Figur 133 – Wavelet parametre og testresultater



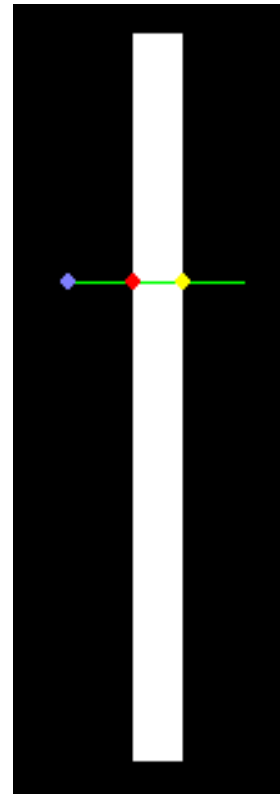
Figur 134 – Skalogramer og energinivå

9.4.7 Stykkevis lineær spline

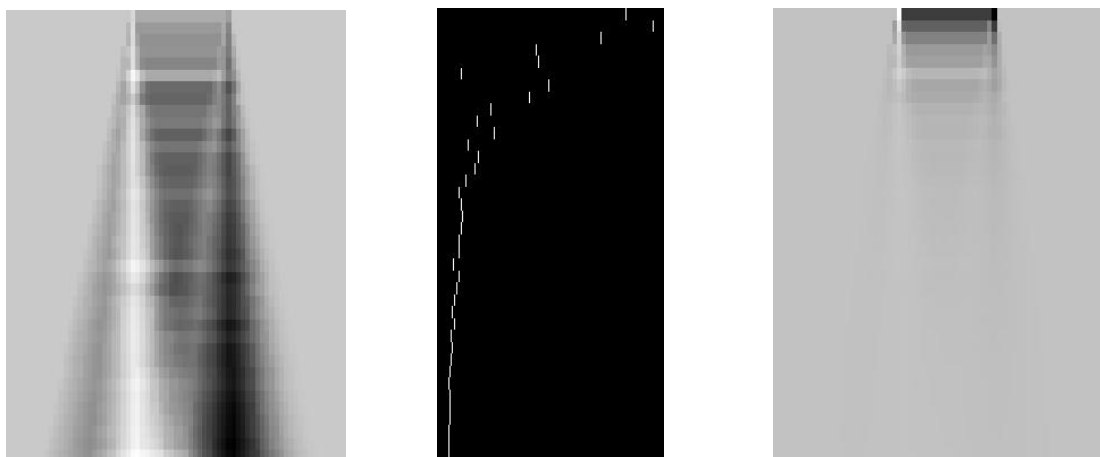
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	86	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	106	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	106	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	86	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	106	Lys lilla



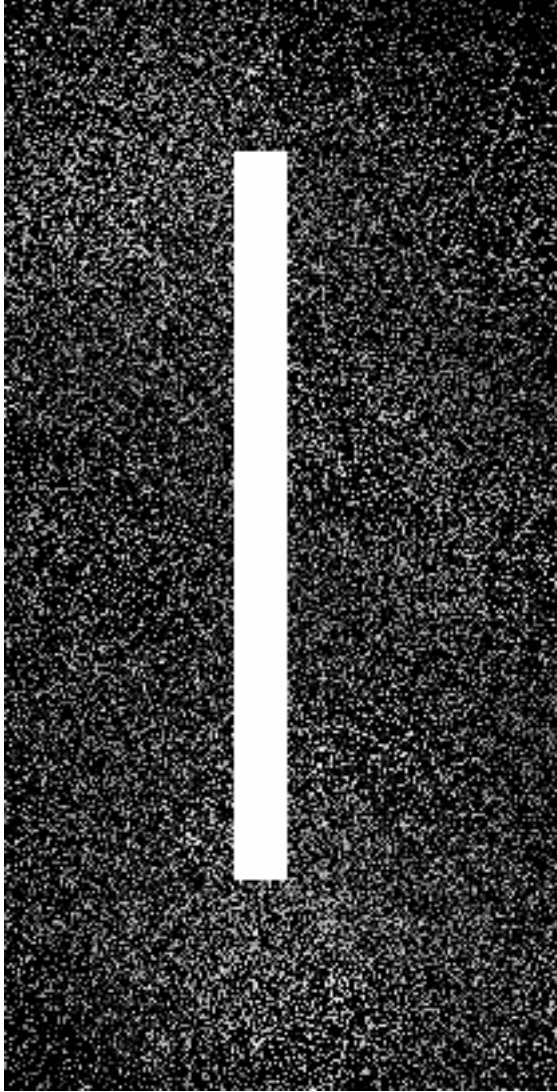
Figur 135 – Wavelet parametre og testresultater



Figur 136 – Skalogramer og energinivå

9.5 Bilde nr. 5

Streken befinner seg fra pixel 86 til pixel 105. Vi ”skyter” stråle fra punkt (60,80) til punkt (130,80). Treffpunktene 85, 86, 105 og 106 anser vi som gode kanttreff. Punkter mellom disse verdiene vil treffe streken, men ikke kanten.



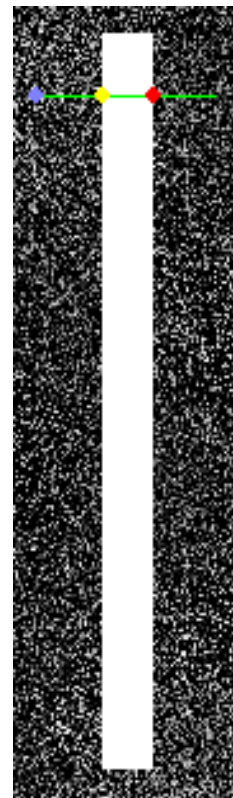
Figur 137 – Bilde med lys strek med bredde på 20 og mye støy

9.5.1 Haar

	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	106	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	86	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	106	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	106	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	86	Lys lilla



Figur 138 – Wavelet parametre og testresultater



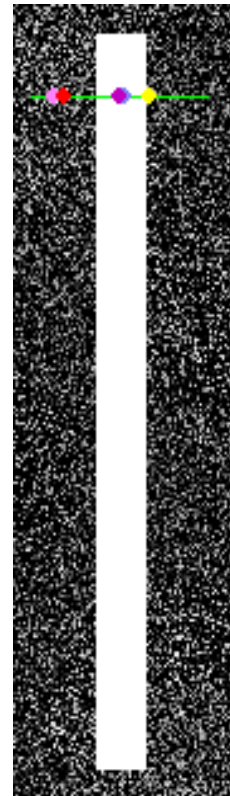
Figur 139 – Skalogramer og energinivå

9.5.2 Mexican Hat

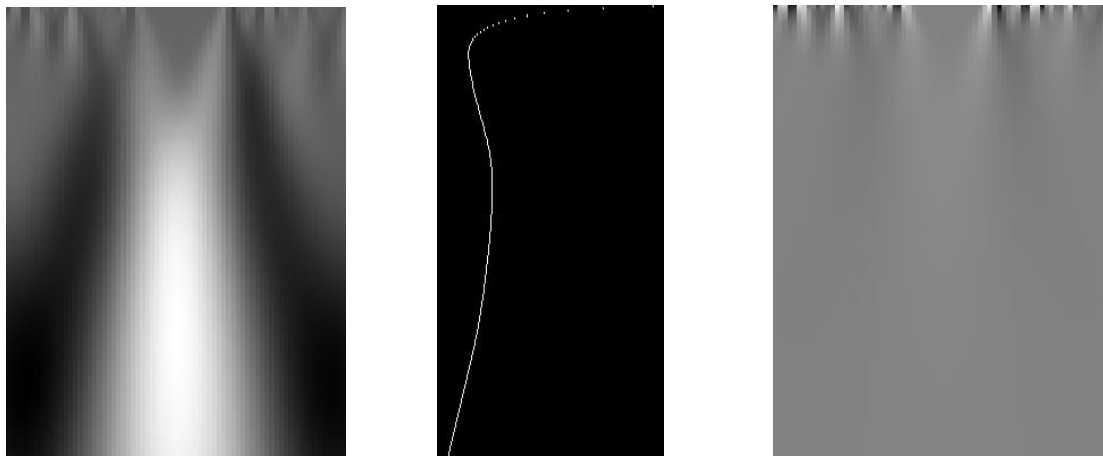
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	73	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	107	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	107	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	95	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	69	Lys lilla



Figur 140 – Wavelet parametre og testresultater



Figur 141 – Skalogramer og energinivå

9.5.3 Mexican Hat

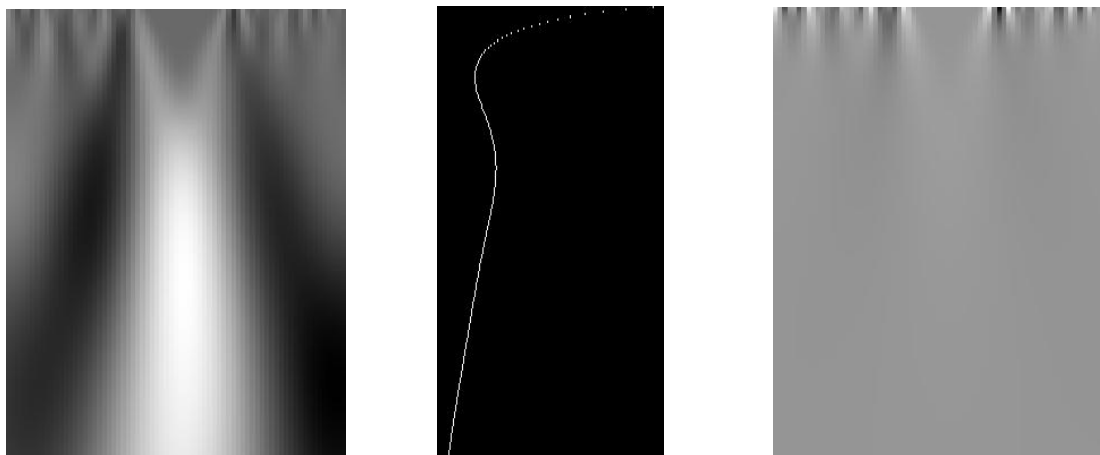
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	5

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	109	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	107	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	107	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	97	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	120	Lys lilla



Figur 142 – Wavelet parametre og testresultater



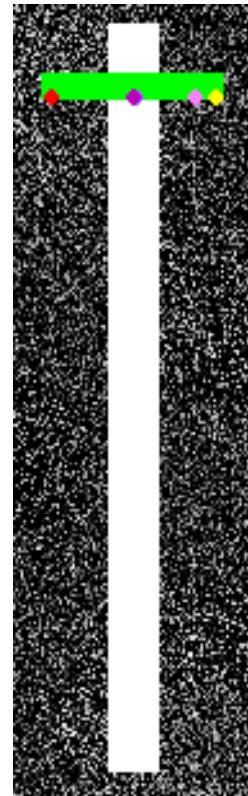
Figur 143 – Skalogramer og energinivå

9.5.4 Mexican Hat

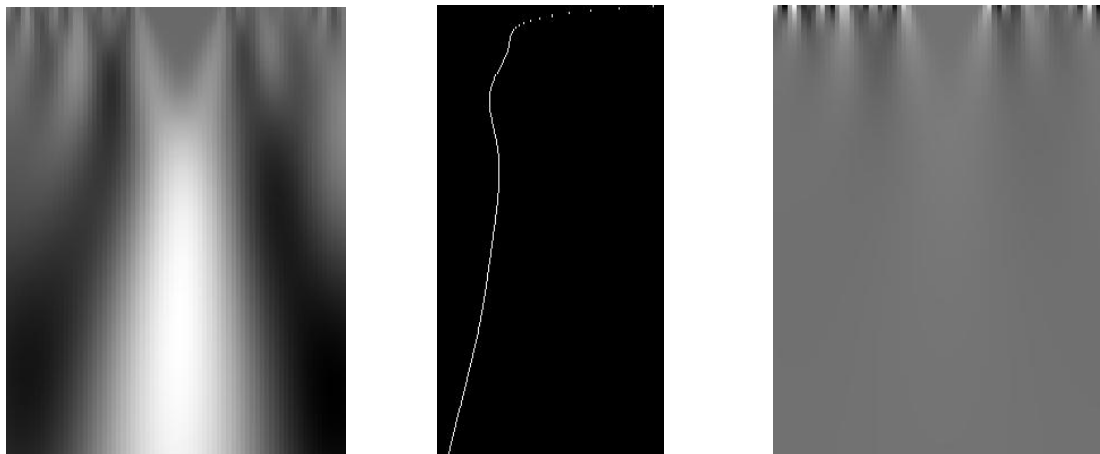
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	10

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	64	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	128	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	64	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	96	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	120	Lys lilla



Figur 144 – Wavelet parametre og testresultater



Figur 145 – Skalogramer og energinivå

9.5.5 Morlet

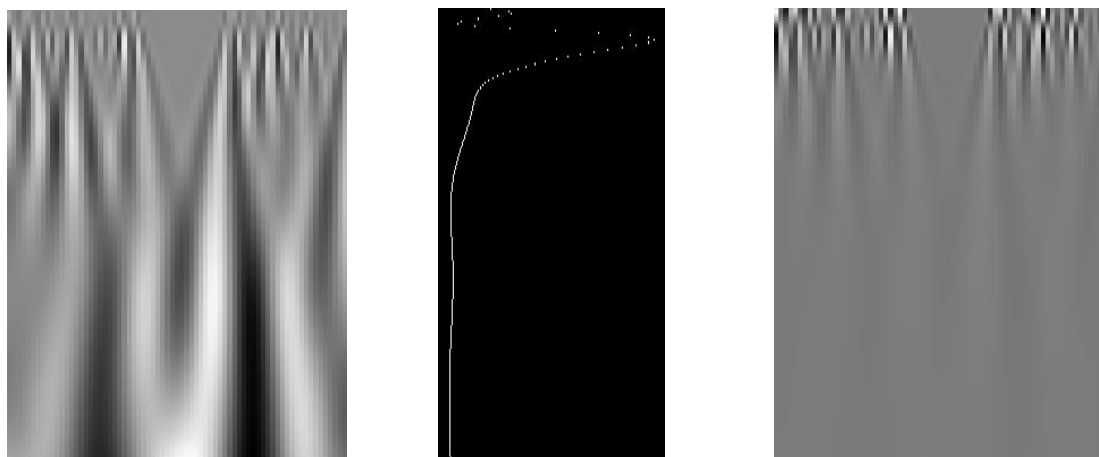
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	116	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	116	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	116	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	103	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	112	Lys lilla



Figur 146 – Wavelet parametre og testresultater



Figur 147 – Skalogramer og energinivå

9.5.6 Morlet

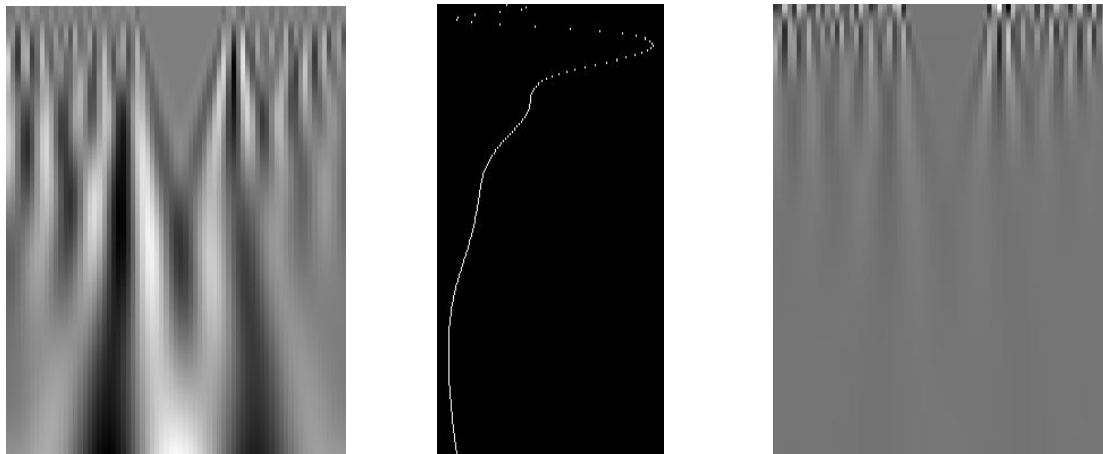
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	5

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	107	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	109	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	107	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	89	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	83	Lys lilla



Figur 148 – Wavelet parametre og testresultater



Figur 149 – Skalogramer og energinivå

9.5.7 Daubechies D4

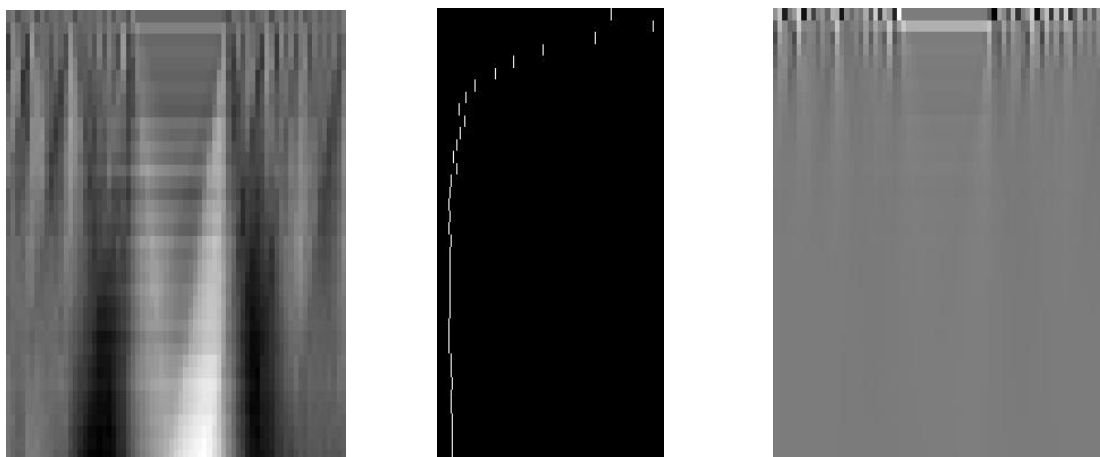
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	86	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	106	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	87	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	103	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	112	Lys lilla



Figur 150 – Wavelet parametre og testresultater



Figur 151 – Skalogramer og energinivå

9.5.8 Daubechies D4

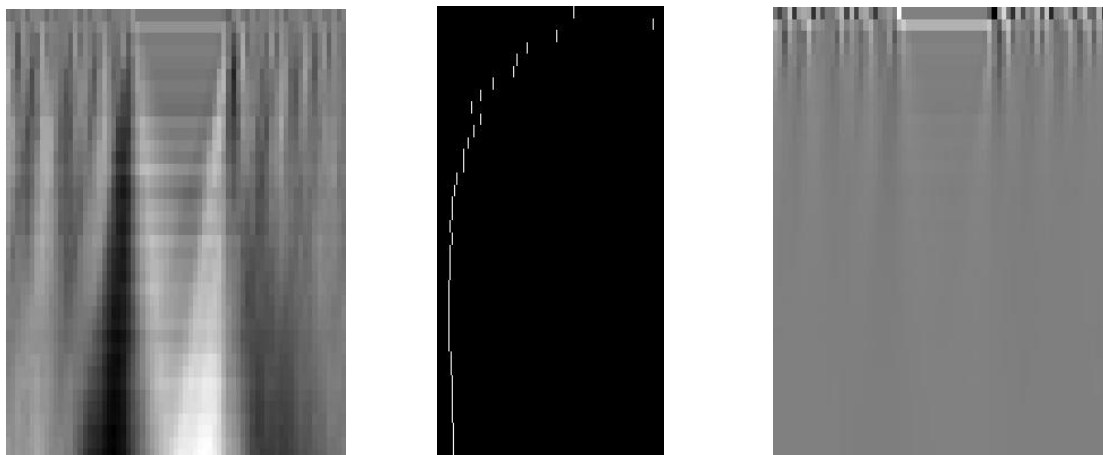
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	5

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	86	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	106	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	87	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	103	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	83	Lys lilla



Figur 152 – Wavelet parametre og testresultater



Figur 153 – Skalogramer og energinivå

9.5.9 Kubisk Spline

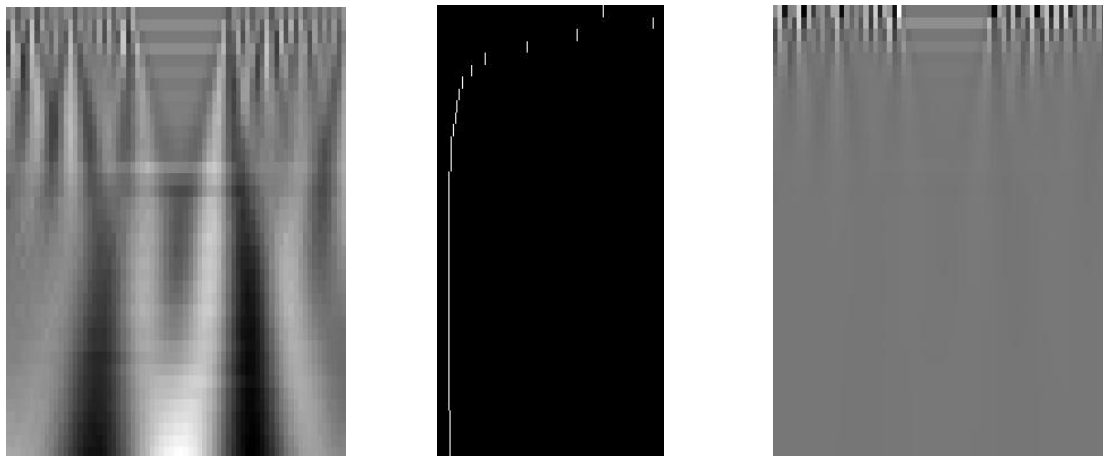
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	86	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	66	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	65	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	102	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	109	Lys lilla



Figur 154 – Wavelet parametre og testresultater



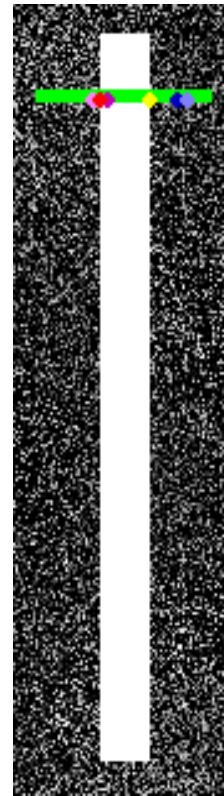
Figur 155 – Skalogramer og energinivå

9.5.10 Kubisk Spline

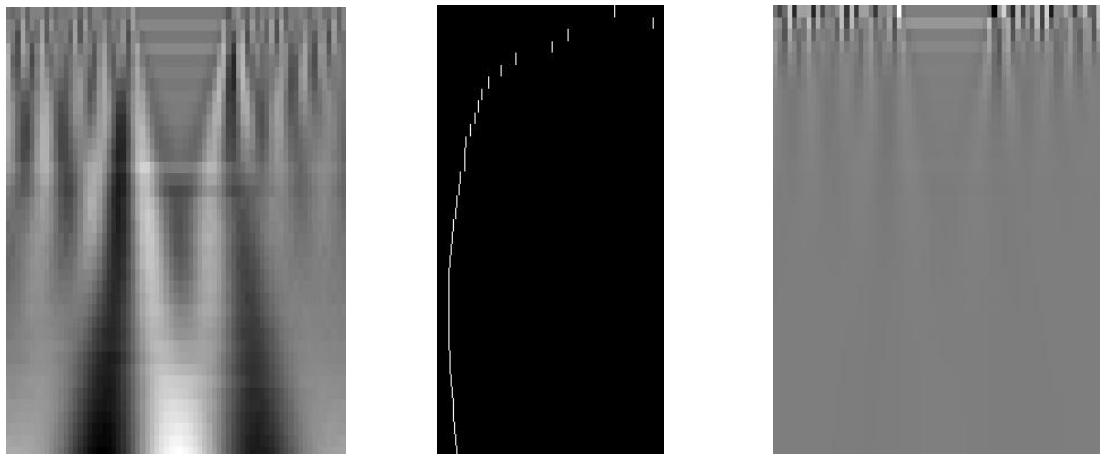
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	5

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	86	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	106	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	117	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	89	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	83	Lys lilla



Figur 156 – Wavelet parametre og testresultater



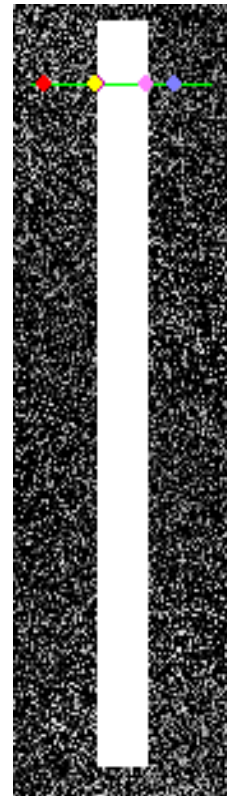
Figur 157 – Skalogramer og energinivå

9.5.11 Kvadratisk Spline

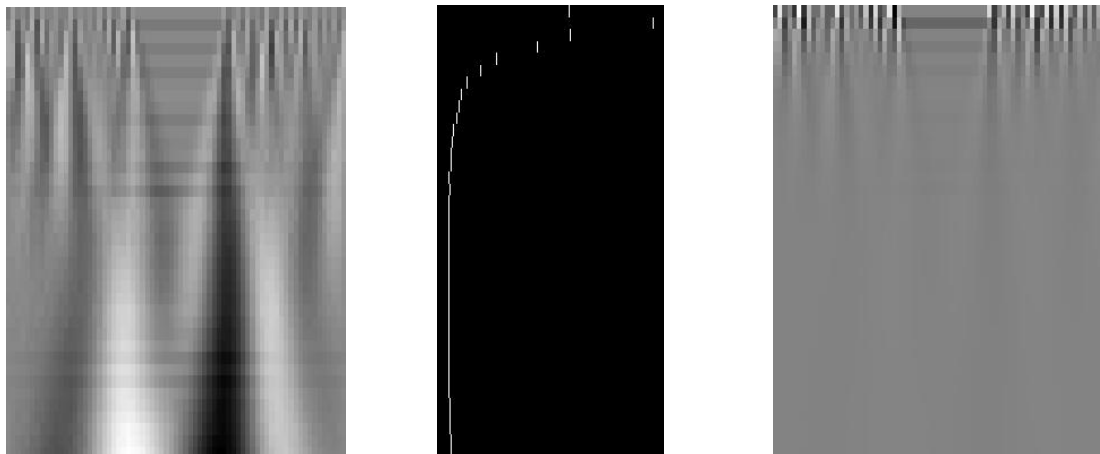
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	65	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	85	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	85	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	86	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	105	Lys lilla



Figur 158 – Wavelet parametre og testresultater



Figur 159 – Skalogramer og energinivå

9.5.12 Kvadratisk Spline

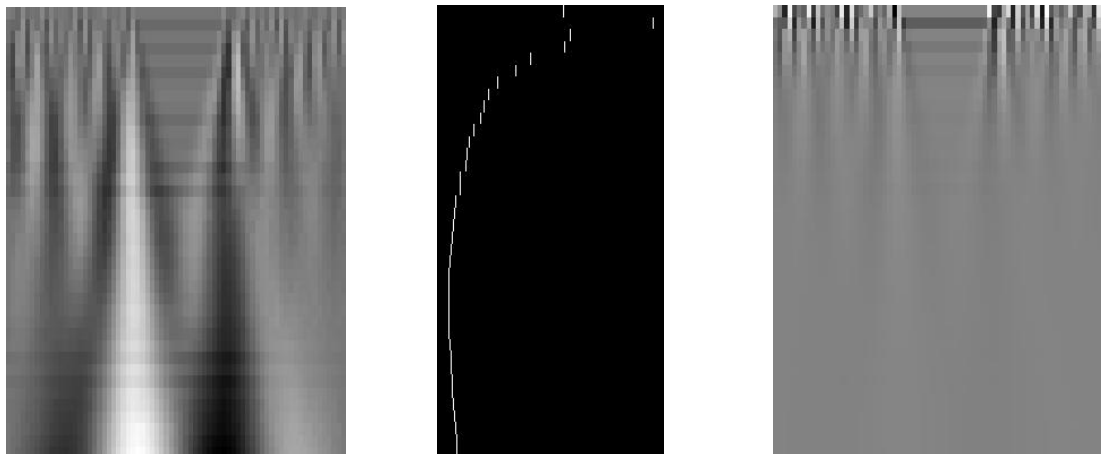
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	5

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	117	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	85	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	68	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	86	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	105	Lys lilla



Figur 160 – Wavelet parametre og testresultater



Figur 161 – Skalogramer og energinivå

9.5.13 Stykkevis lineær Spline

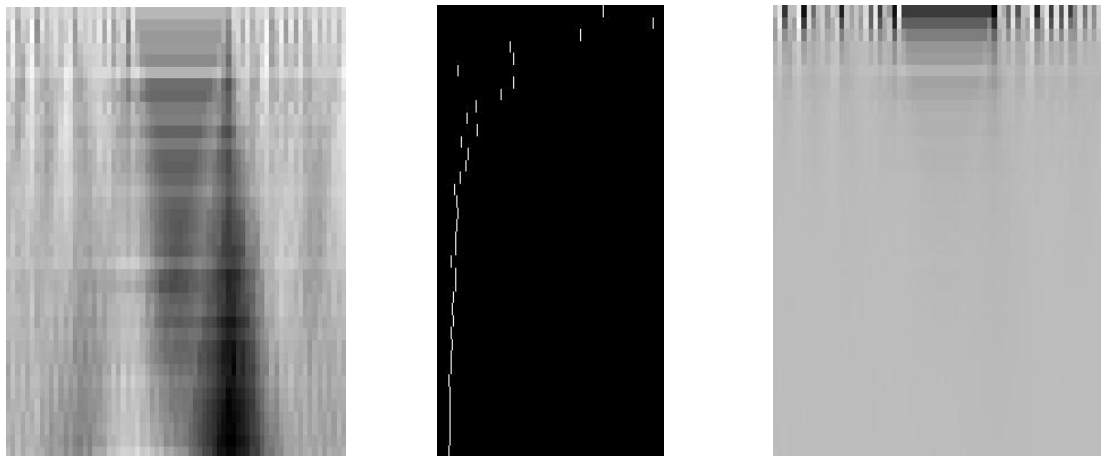
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	65	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	106	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	85	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	60	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	106	Lys lilla



Figur 162 – Wavelet parametre og testresultater



Figur 163 – Skalogramer og energinivå

9.5.14 Stykkevis lineær Spline

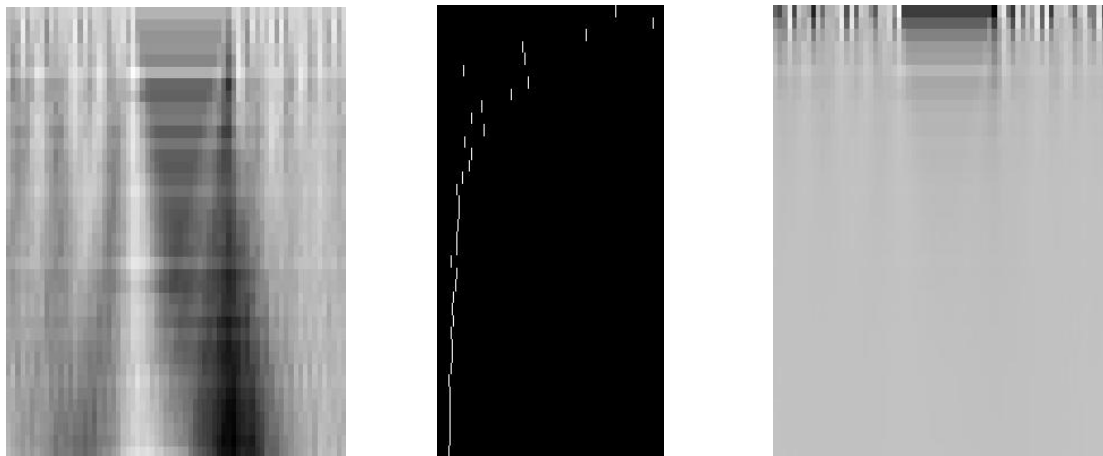
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	5

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	86	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	106	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	106	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	86	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	106	Lys lilla



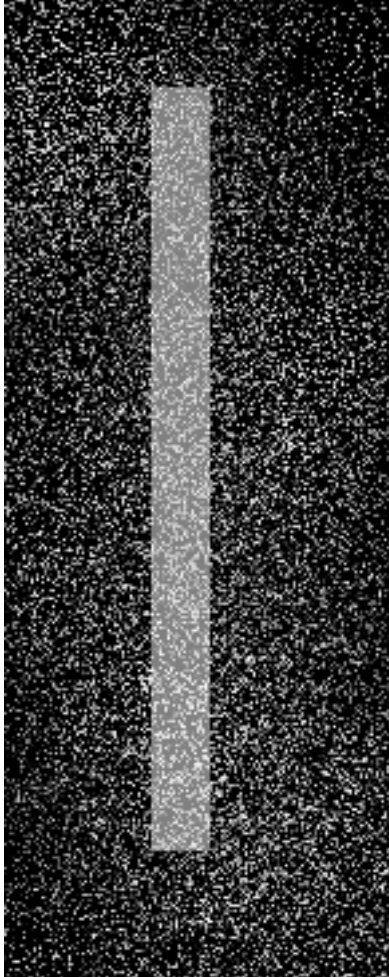
Figur 164 – Wavelet parametre og testresultater



Figur 165 – Skalogramer og energinivå

9.6 Bilde nr. 6

Streken befinner seg fra pixel 55 til pixel 76. Vi ”skyter” stråle fra punkt (30,80) til punkt (100,80). Treffpunktene 54, 55, 76 og 77 anser vi som gode kanttreff. Punkter mellom disse verdiene vil treffe streken, men ikke kanten.



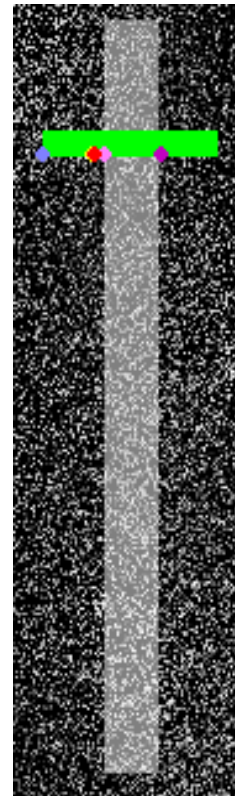
Figur 166 – Bilde med mørk strek med bredde på 20 og mye støy

9.6.1 Haar

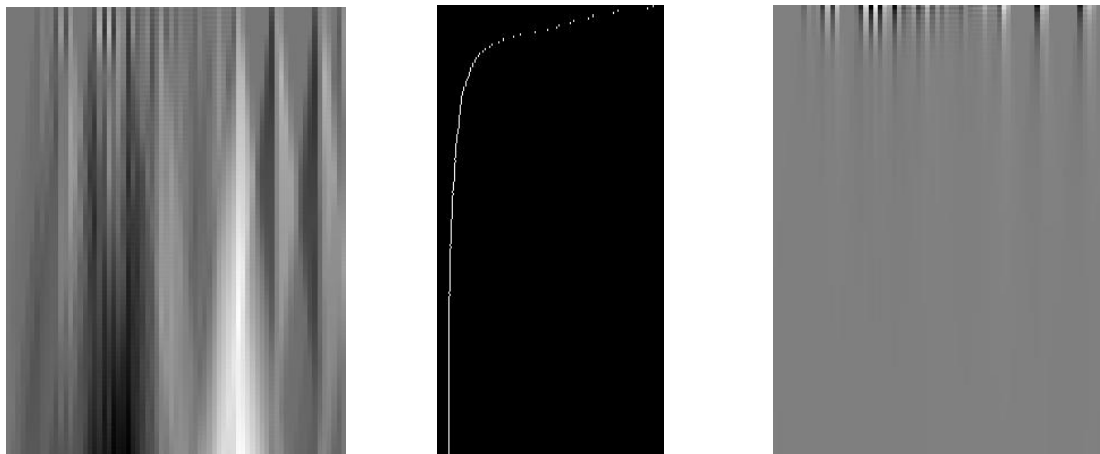
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	10

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	51	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	50	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	50	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	78	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	55	Lys lilla



Figur 167 – Wavelet parametre og testresultater



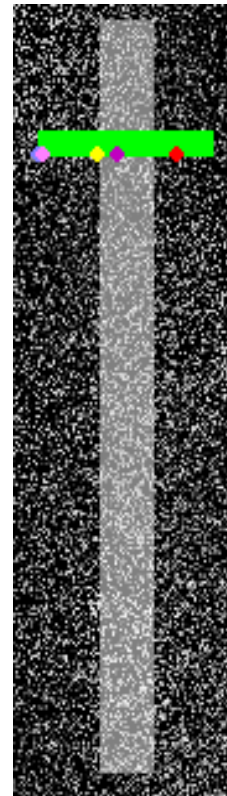
Figur 168 – Skalogramer og energinivå

9.6.2 Mexican Hat

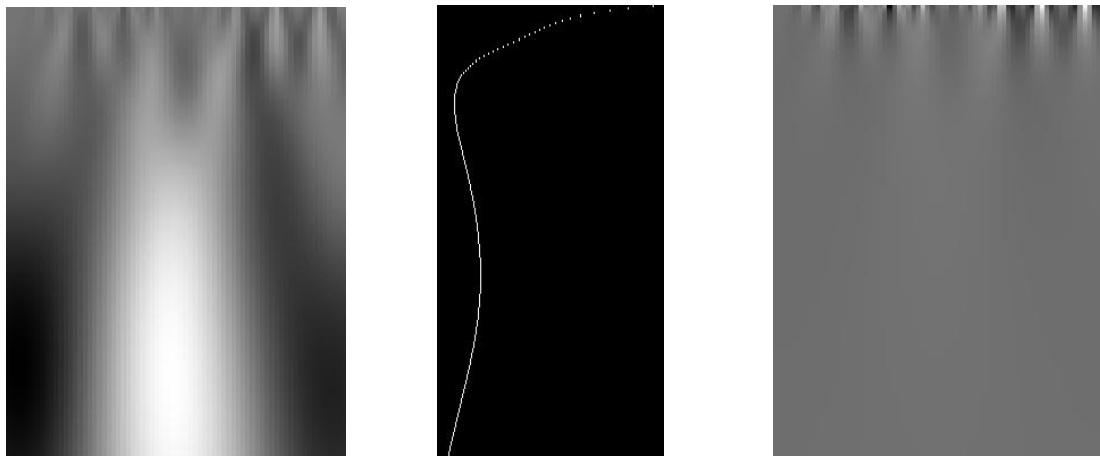
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	10

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	86	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	54	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	86	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	62	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	32	Lys lilla



Figur 169 – Wavelet parametre og testresultater



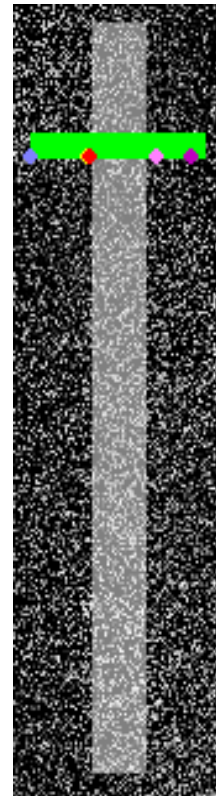
Figur 170 – Skalogramer og energinivå

9.6.3 Morlet

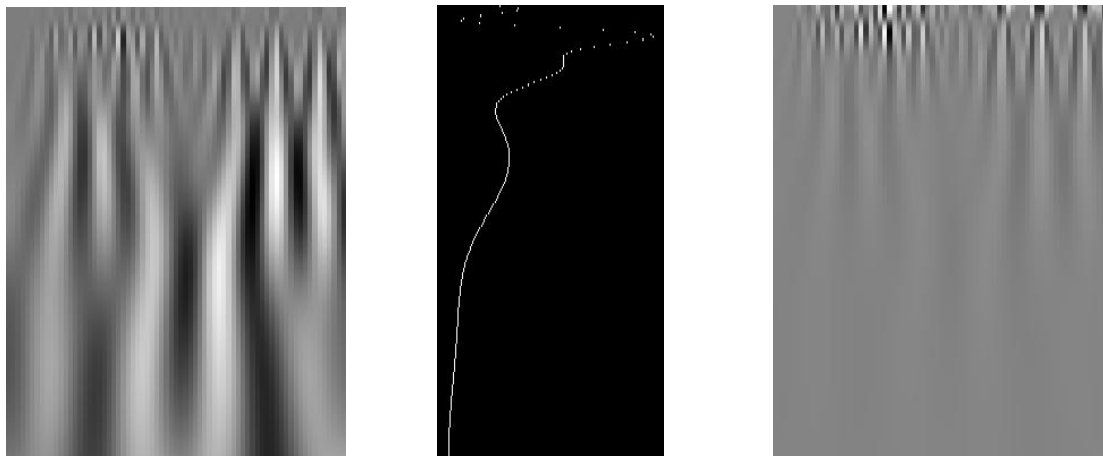
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	10

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	54	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	53	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	54	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	95	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	81	Lys lilla



Figur 171 – Wavelet parametre og testresultater



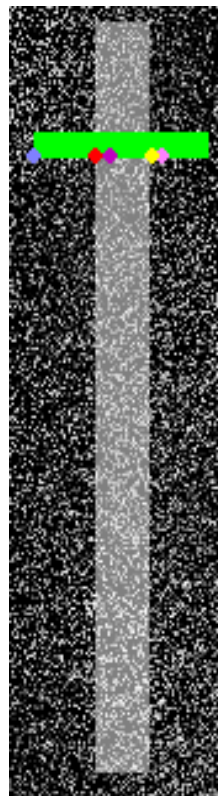
Figur 172 – Skalogramer og energinivå

9.6.4 Daubechies D4

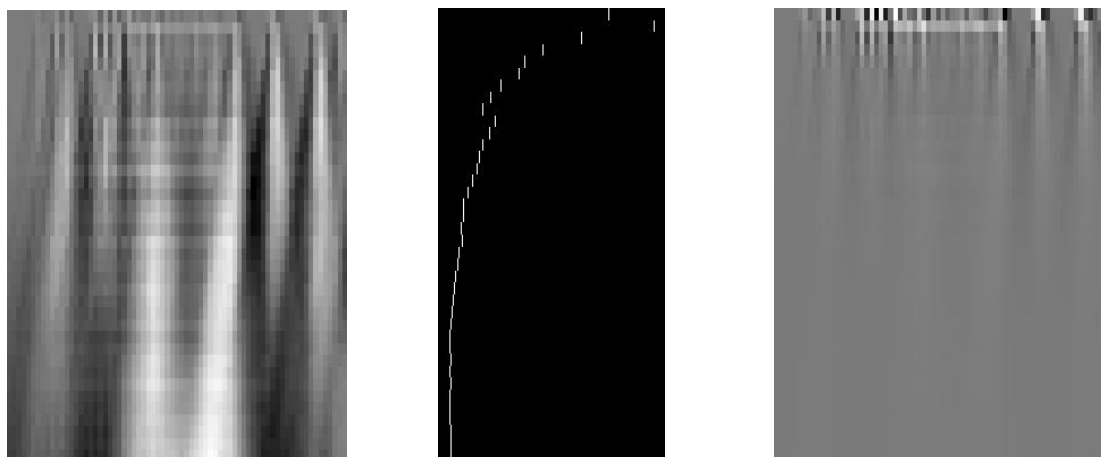
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	10

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	55	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	78	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	61	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	61	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	82	Lys lilla



Figur 173 – Wavelet parametre og testresultater



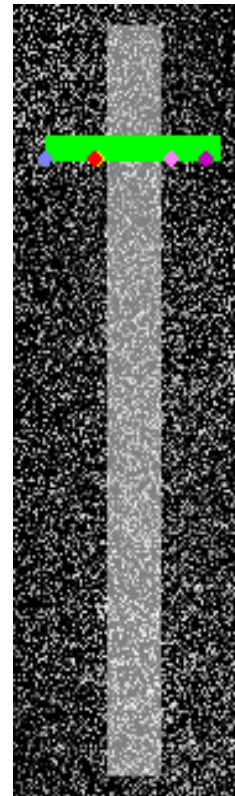
Figur 174 – Skalogramer og energinivå

9.6.5 Kubisk Spline

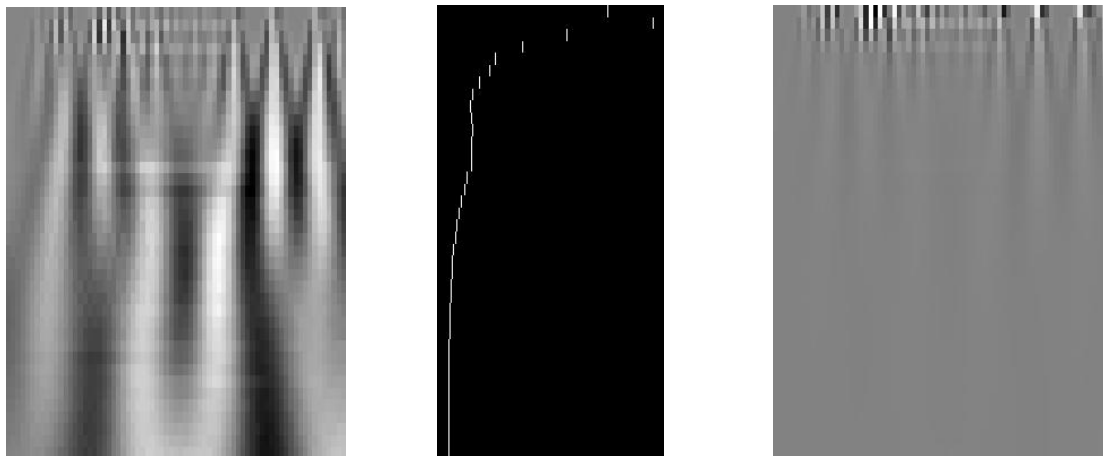
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	10

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	50	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	51	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	50	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	95	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	81	Lys lilla



Figur 175 – Wavelet parametre og testresultater



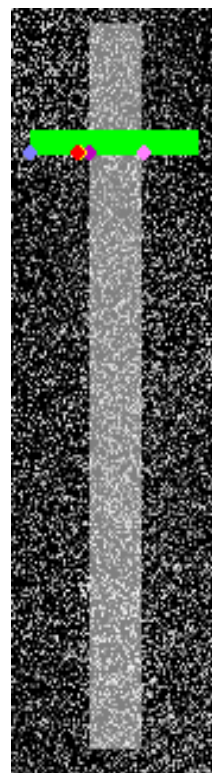
Figur 176 – Skalogramer og energinivå

9.6.6 Kvadratisk Spline

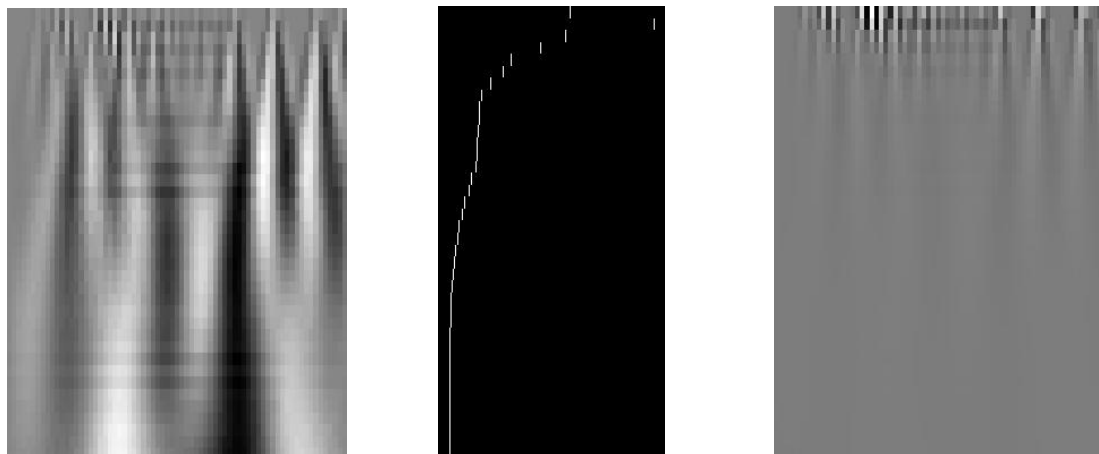
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	10

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	50	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	51	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	51	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	55	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	78	Lys lilla



Figur 177 – Wavelet parametre og testresultater



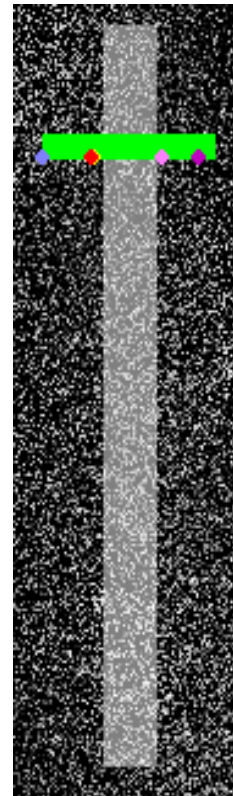
Figur 178 – Skalogramer og energinivå

9.6.7 Stykkevis lineær Spline

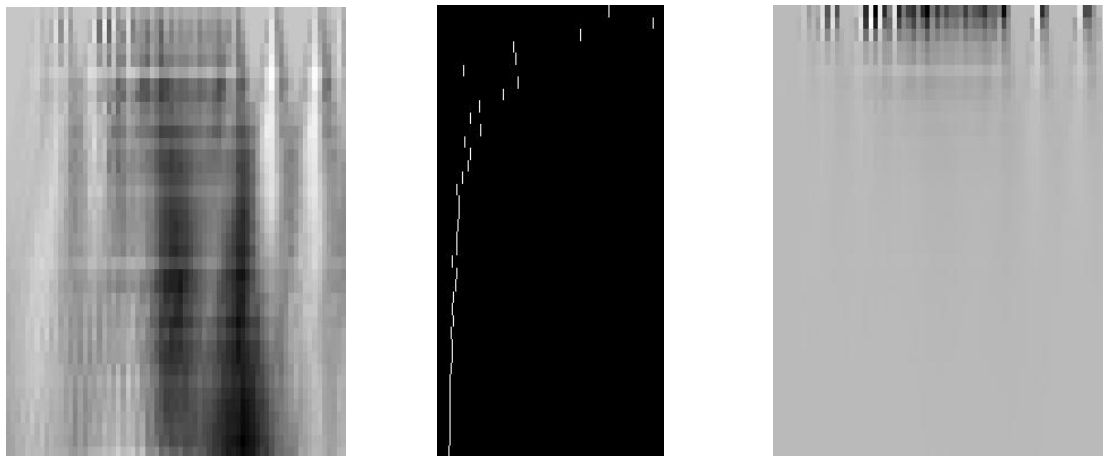
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	10

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	50	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	51	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	51	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	94	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	79	Lys lilla



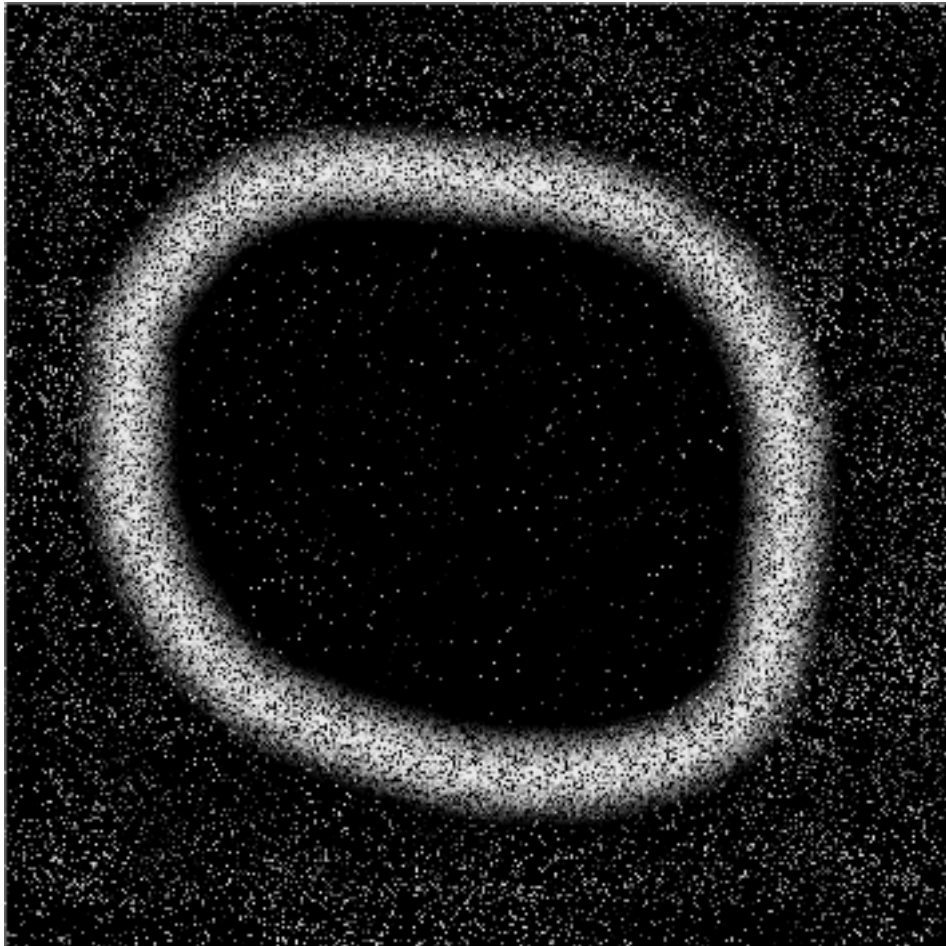
Figur 179 – Wavelet parametre og testresultater



Figur 180 – Skalogramer og energinivå

9.7 Bilde nr. 7

Vi ”skyter” stråle fra punkt (260,155) til punkt (330,155). Treffpunktene 278 til 282 og 303 til 307 anser vi som gode kanttreff. Punkter mellom 283 og 302 anser vi som treff på streken, men ikke kanten.



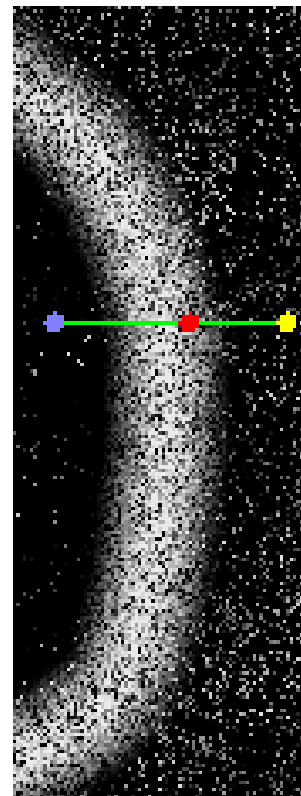
Figur 181 – Syntetisk blodåre

9.7.1 Haar

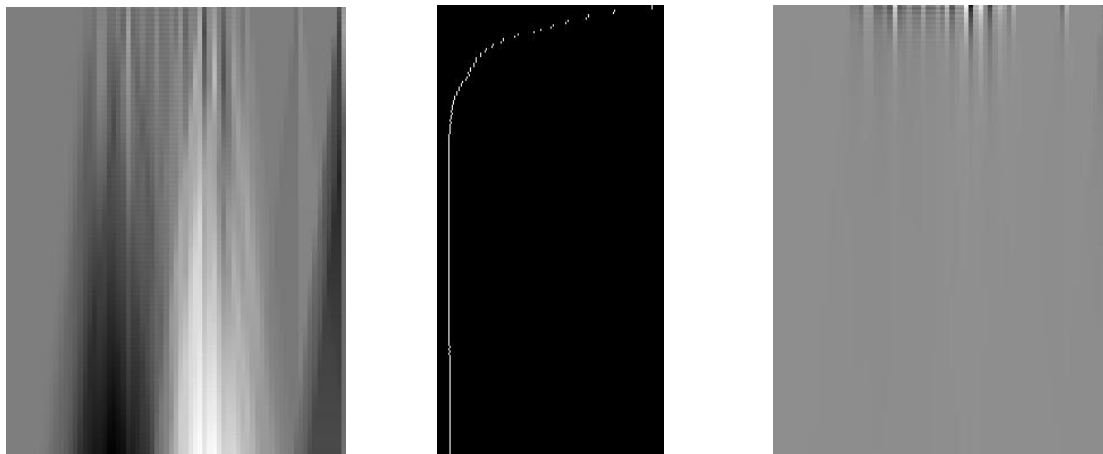
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	300	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	329	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	329	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	300	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	329	Lys lilla



Figur 182 – Wavelet parametre og testresultater



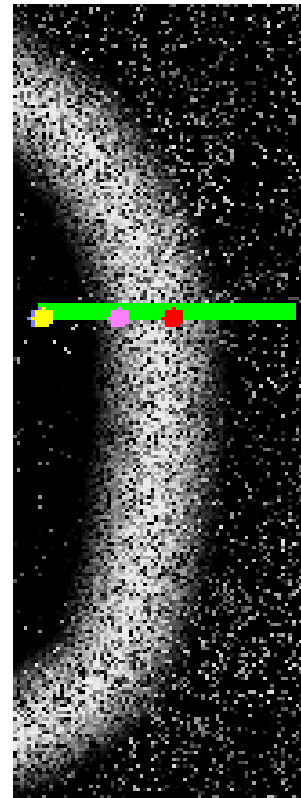
Figur 183 – Skalogramer og energinivå

9.7.2 Haar

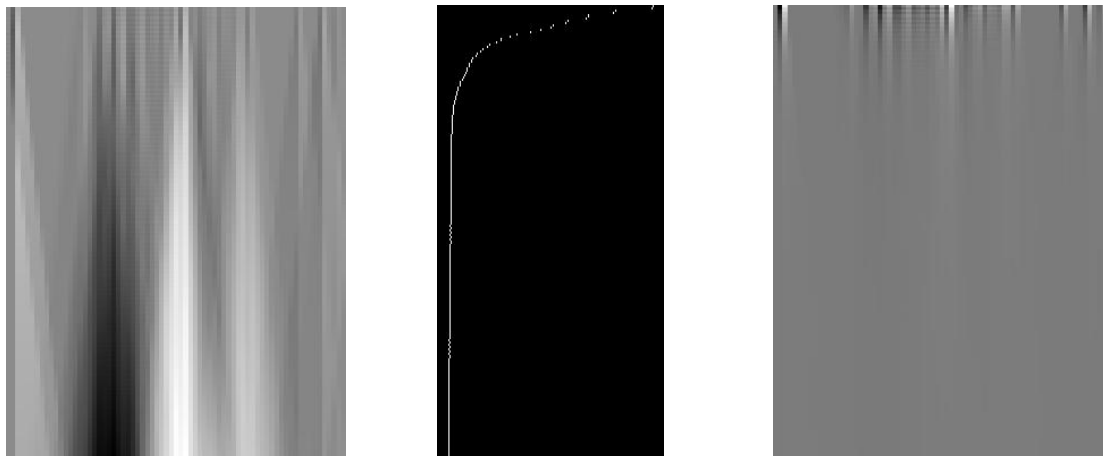
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	5

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	297	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	261	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	297	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	297	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	282	Lys lilla



Figur 184 – Wavelet parametre og testresultater



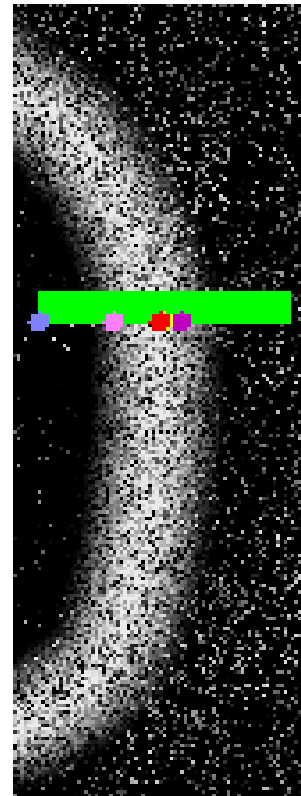
Figur 185 – Skalogramer og energinivå

9.7.3 Haar

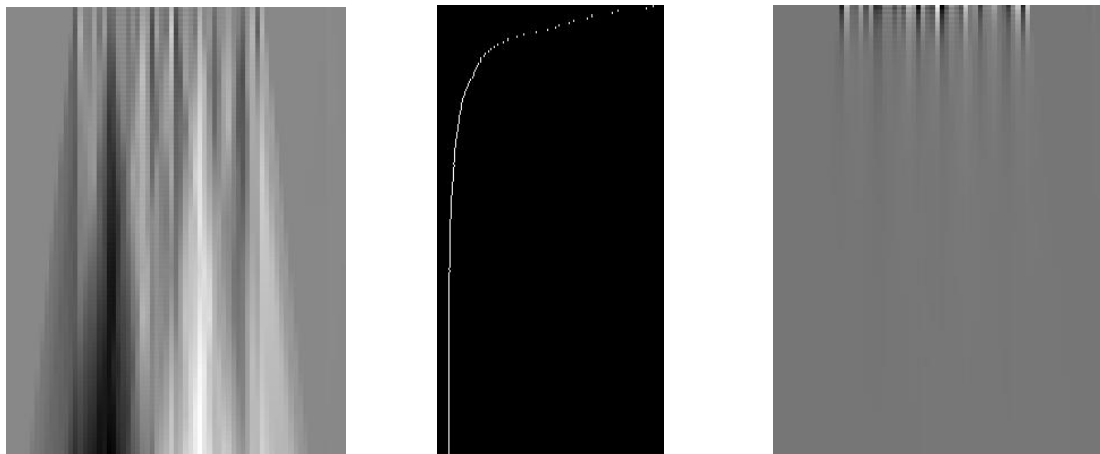
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	10

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	294	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	295	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	294	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	300	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	281	Lys lilla



Figur 186 – Wavelet parametre og testresultater



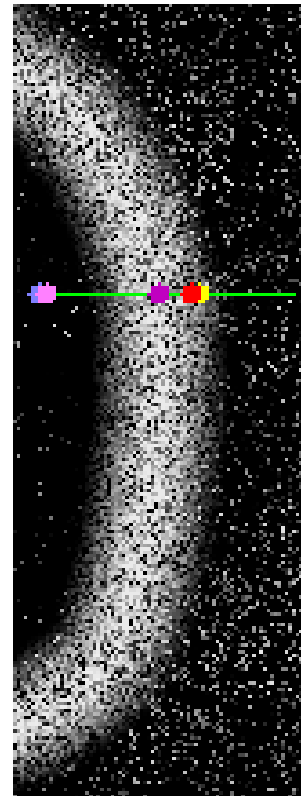
Figur 187 – Skalogramer og energinivå

9.7.4 Mexican Hat

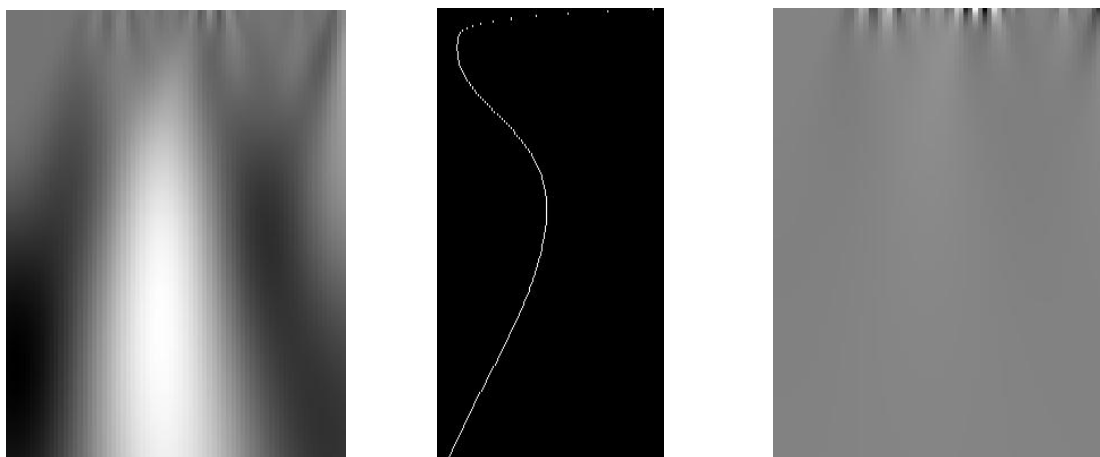
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	302	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	304	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	304	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	293	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	262	Lys lilla



Figur 188 – Wavelet parametre og testresultater



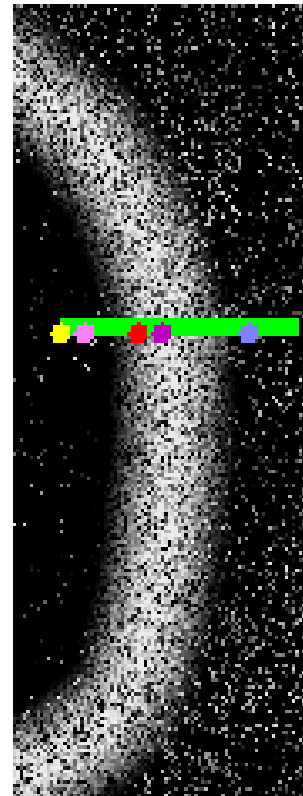
Figur 189 – Skalogramer og energinivå

9.7.5 Mexican Hat

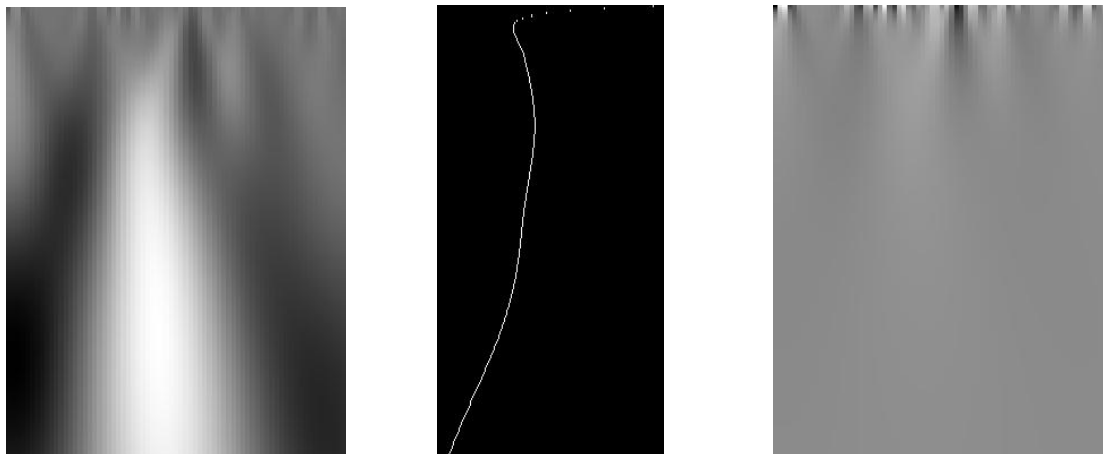
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	5

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	283	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	260	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	260	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	290	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	267	Lys lilla



Figur 190 – Wavelet parametre og testresultater



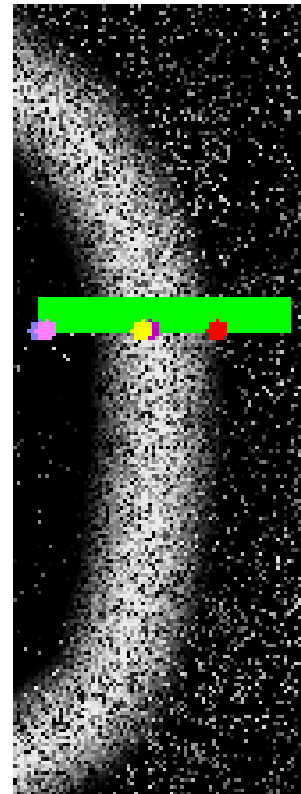
Figur 191 – Skalogramer og energinivå

9.7.6 Mexican Hat

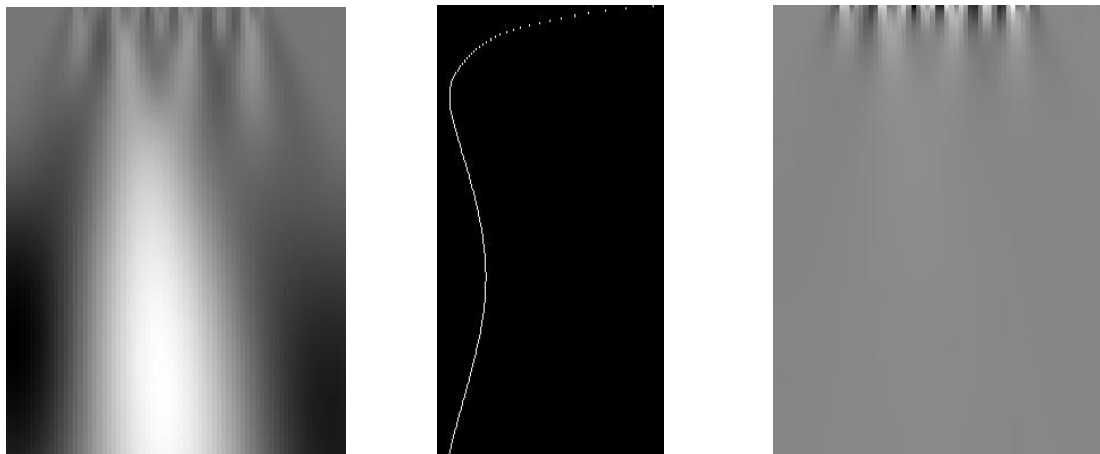
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	10

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	310	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	289	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	289	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	291	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	262	Lys lilla



Figur 192 – Wavelet parametre og testresultater



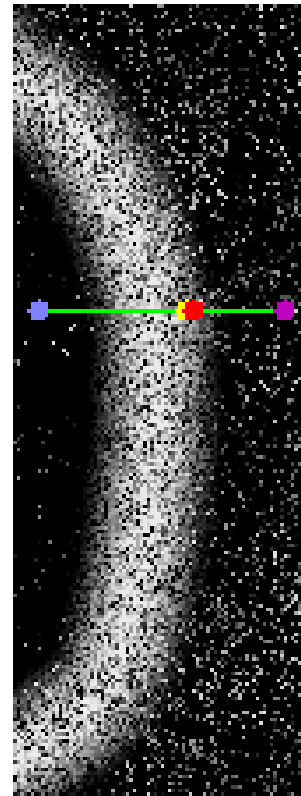
Figur 193 – Skalogramer og energinivå

9.7.7 Morlet

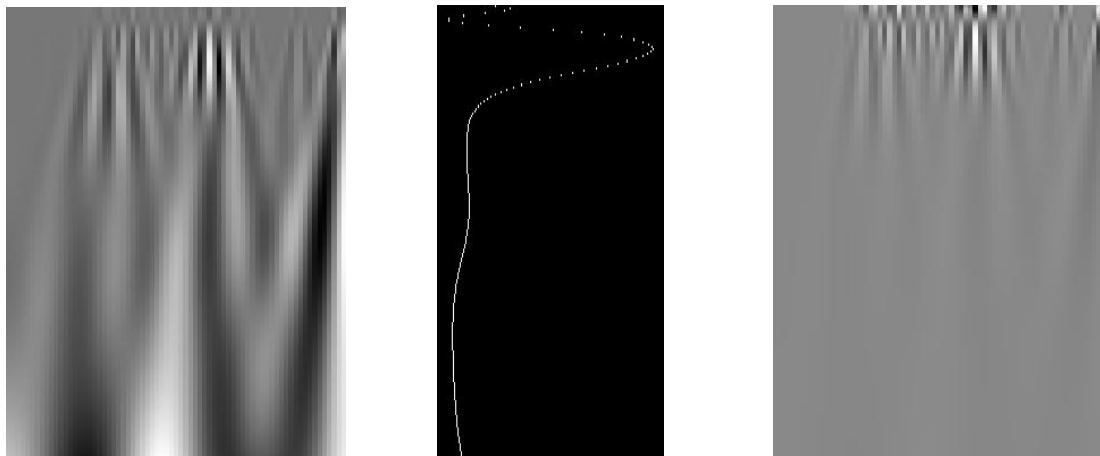
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	304	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	302	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	302	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	330	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	304	Lys lilla



Figur 194 – Wavelet parametre og testresultater



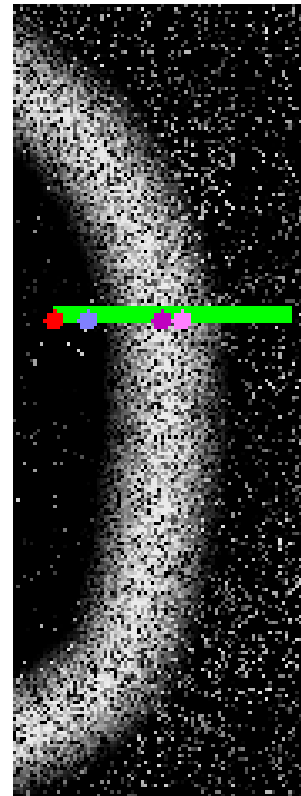
Figur 195 – Skalogramer og energinivå

9.7.8 Morlet

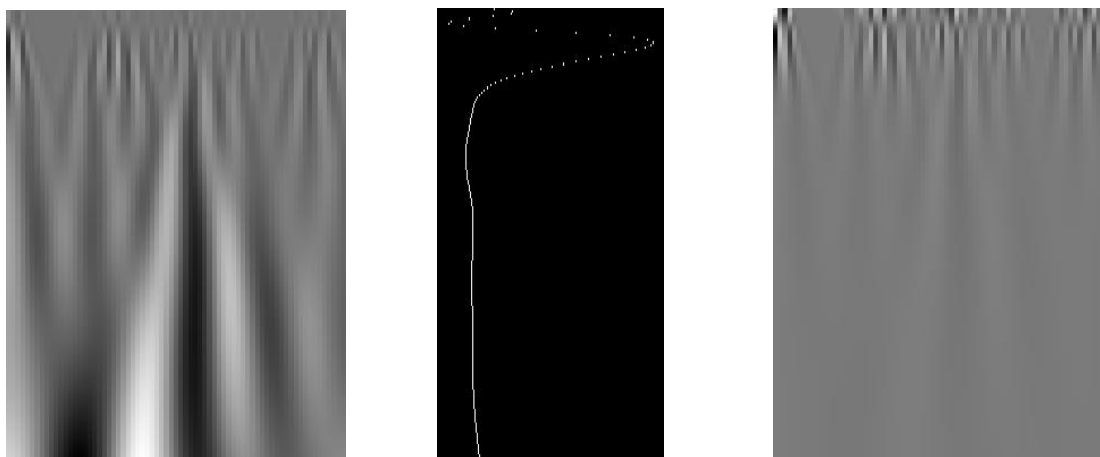
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	5

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	260	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	260	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	260	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	292	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	298	Lys lilla



Figur 196 – Wavelet parametre og testresultater



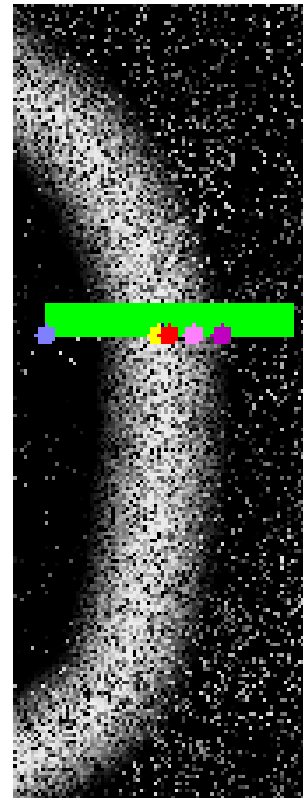
Figur 197 – Skalogramer og energinivå

9.7.9 Morlet

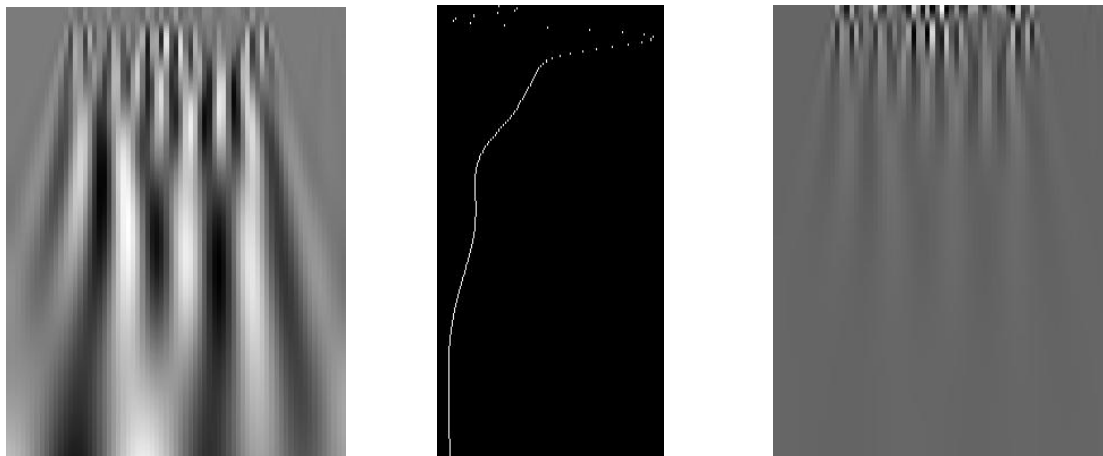
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	10

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	295	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	292	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	293	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	310	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	302	Lys lilla



Figur 198 – Wavelet parametre og testresultater



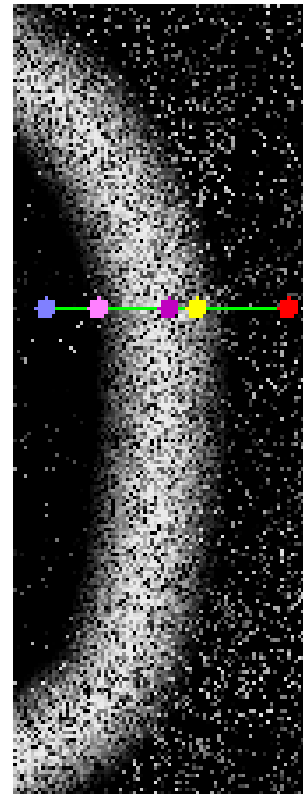
Figur 199 – Skalogramer og energinivå

9.7.10 Daubechies D4

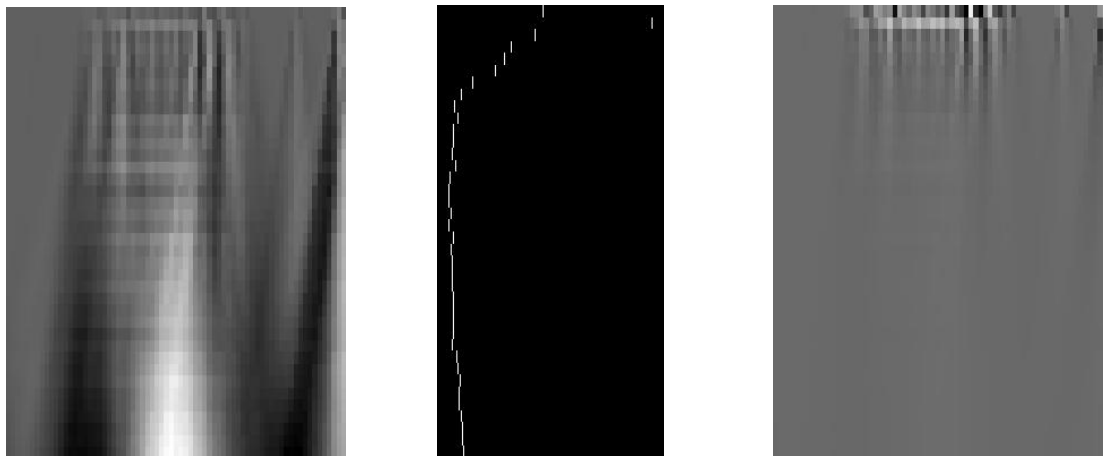
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	329	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	303	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	329	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	295	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	275	Lys lilla



Figur 200 – Wavelet parametre og testresultater



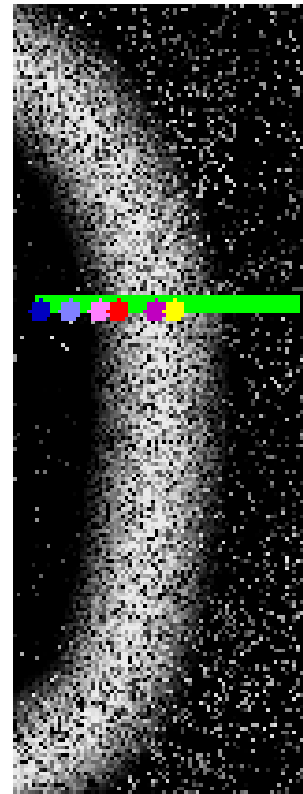
Figur 201 – Skalogramer og energinivå

9.7.11 Daubechies D4

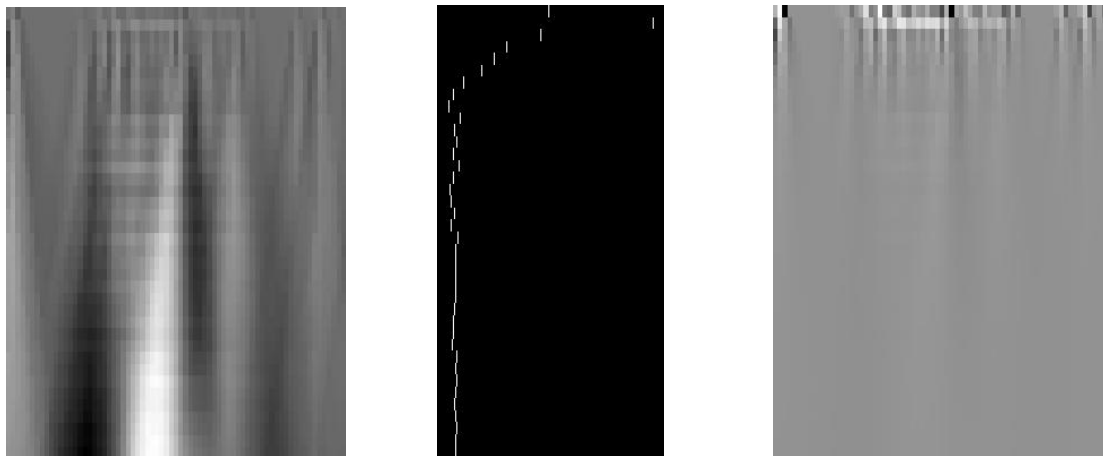
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	5

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	282	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	297	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	261	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	292	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	277	Lys lilla



Figur 202 – Wavelet parametre og testresultater



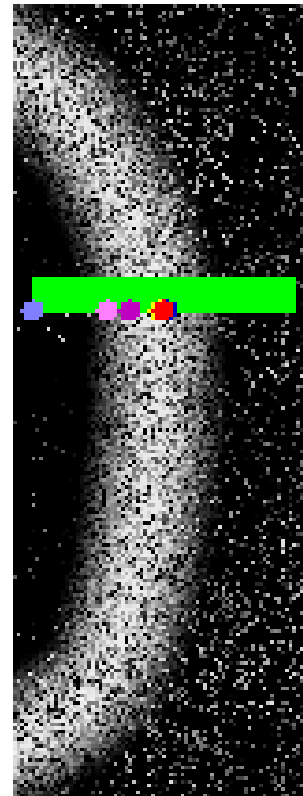
Figur 203 – Skalogramer og energinivå

9.7.12 Daubechies D4

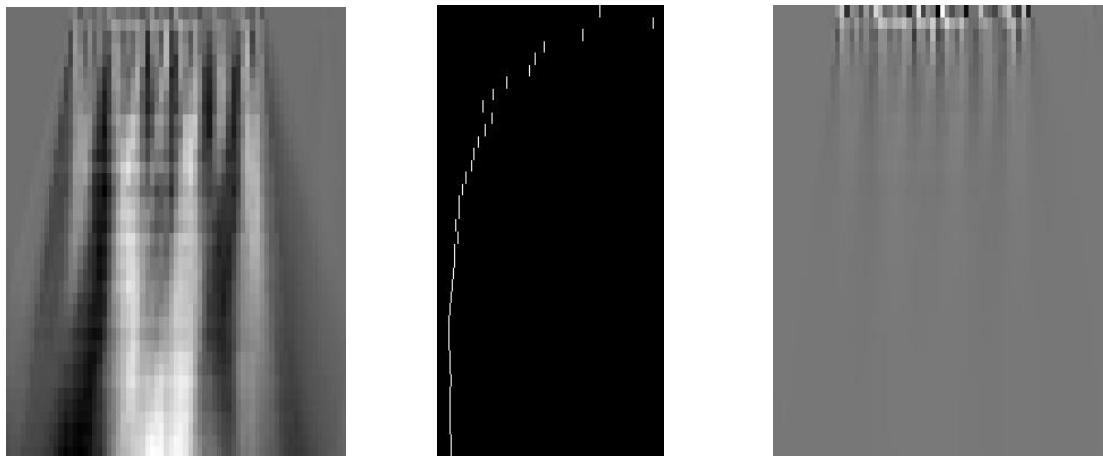
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	10

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	295	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	294	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	296	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	286	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	280	Lys lilla



Figur 204 – Wavelet parametre og testresultater



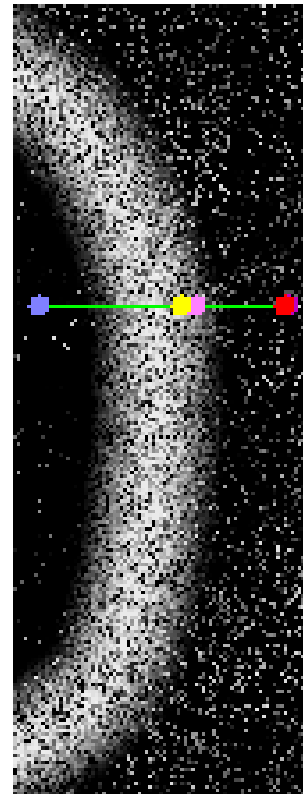
Figur 205 – Skalogramer og energinivå

9.7.13 Kubisk Spline

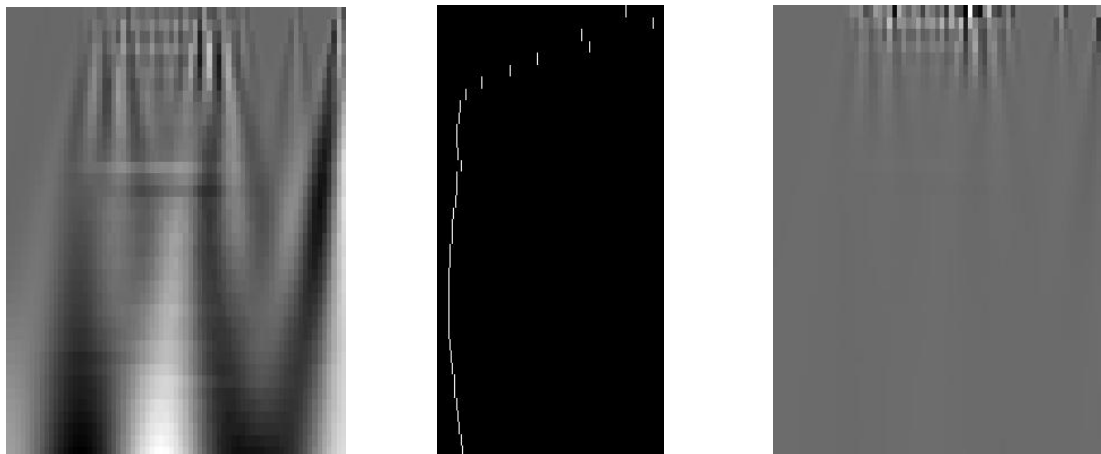
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	329	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	300	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	329	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	330	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	304	Lys lilla



Figur 206 – Wavelet parametre og testresultater



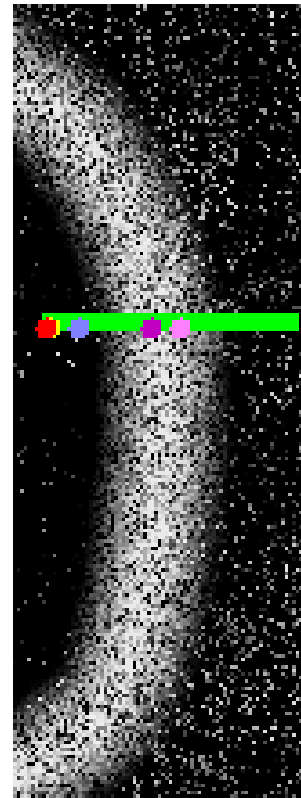
Figur 207 – Skalogramer og energinivå

9.7.14 Kubisk Spline

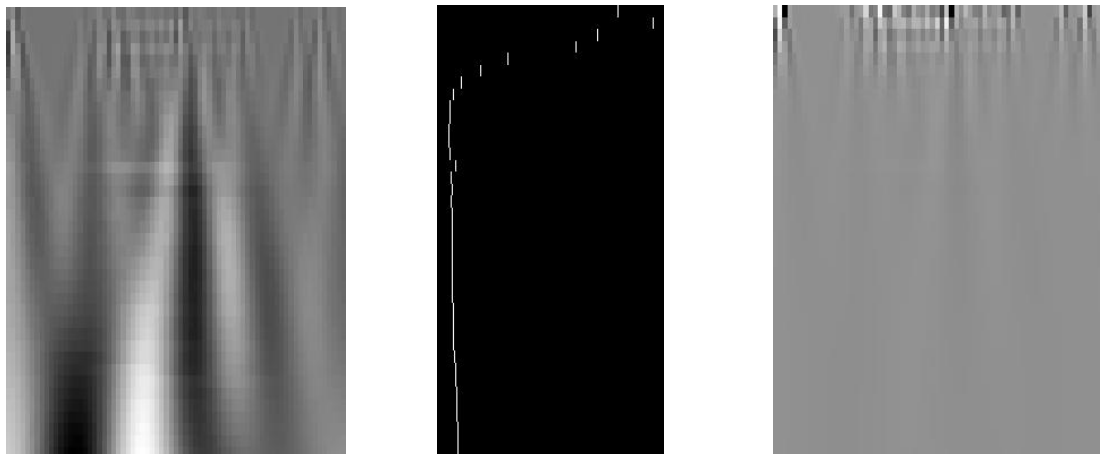
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	5

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	261	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	262	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	261	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	290	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	298	Lys lilla



Figur 208 – Wavelet parametre og testresultater



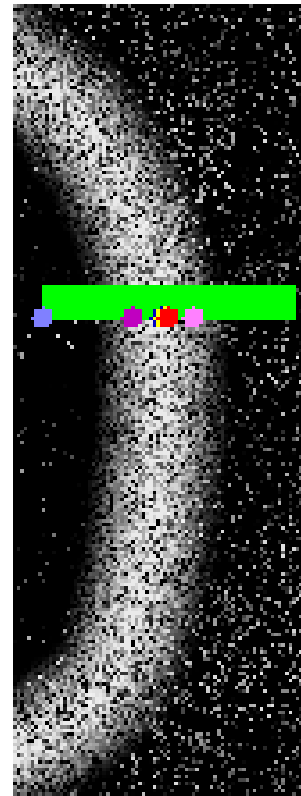
Figur 209 – Skalogramer og energinivå

9.7.15 Kubisk Spline

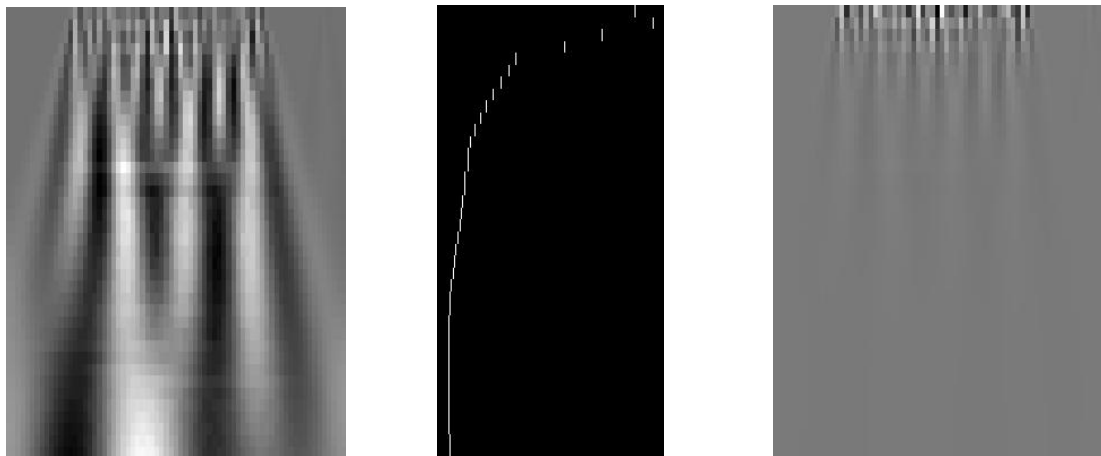
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	10

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	295	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	294	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	293	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	285	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	302	Lys lilla



Figur 210 – Wavelet parametre og testresultater



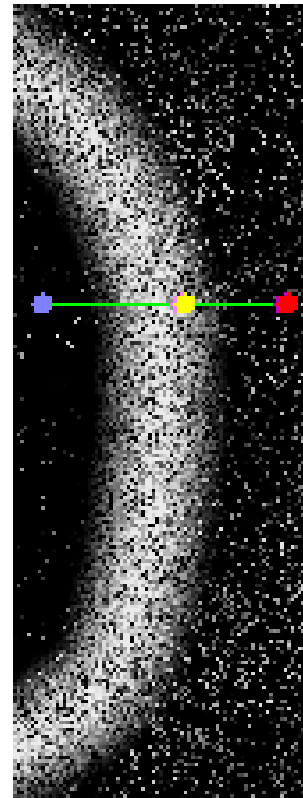
Figur 211 – Skalogramer og energinivå

9.7.16 Kvadratisk Spline

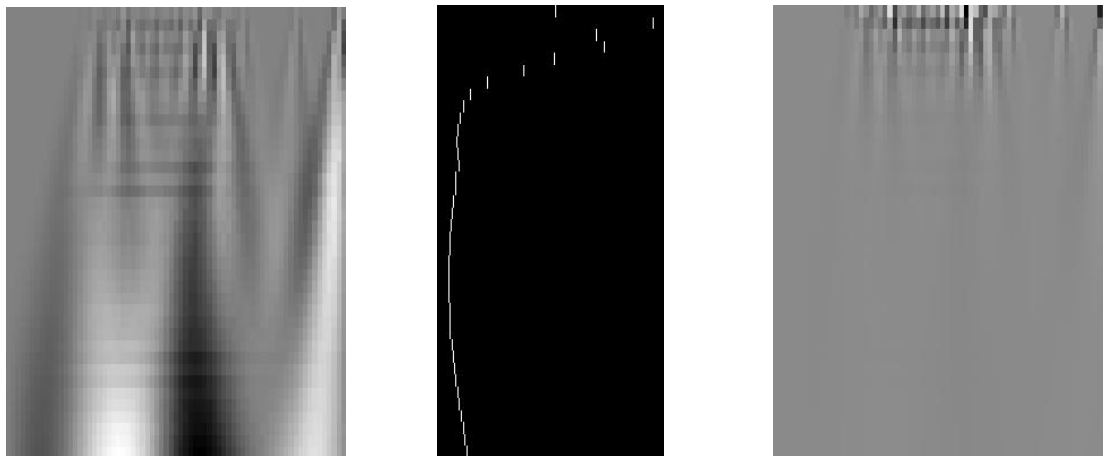
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	329	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	300	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	300	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	328	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	299	Lys lilla



Figur 212 – Wavelet parametre og testresultater



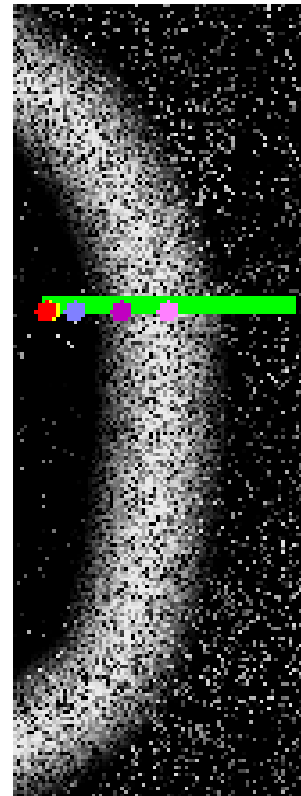
Figur 213 – Skalogramer og energinivå

9.7.17 Kvadratisk Spline

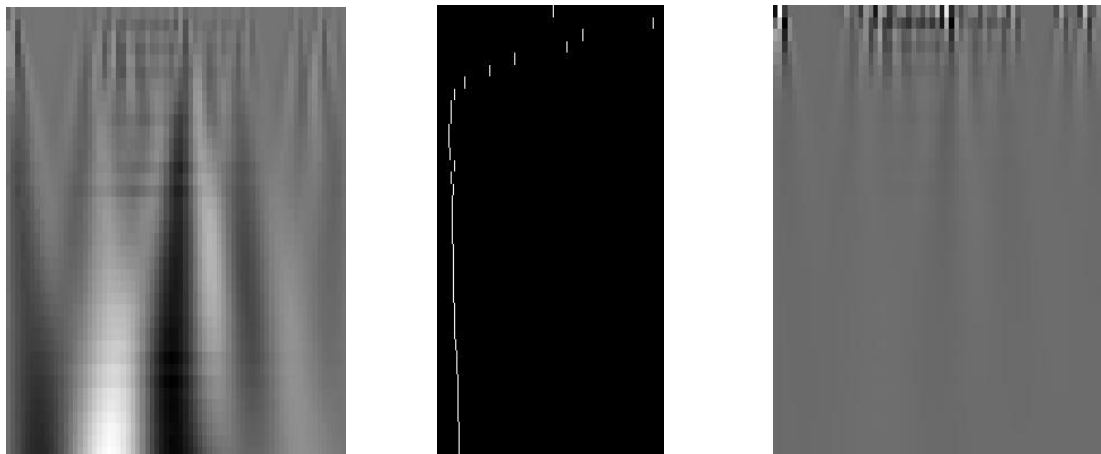
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	5

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	261	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	262	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	262	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	282	
Minimum kolonneverdi	295	



Figur 214 – Wavelet parametre og testresultater



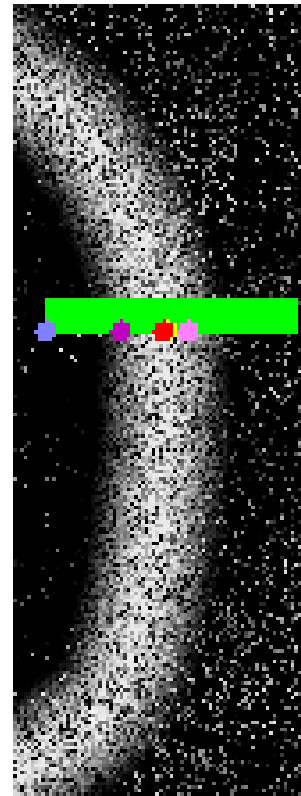
Figur 215 – Skalogramer og energinivå

9.7.18 Kvadratisk Spline

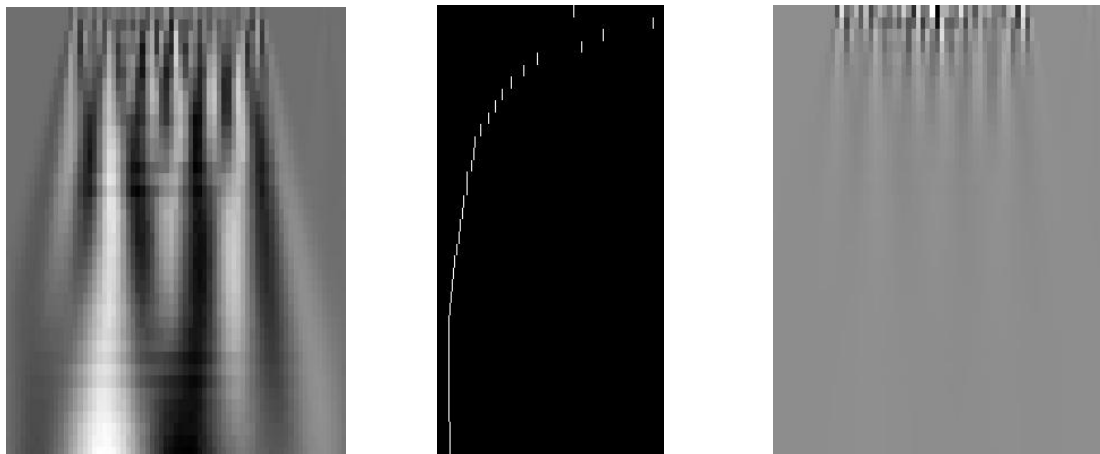
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	10

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	293	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	294	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	294	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	281	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	300	Lys lilla



Figur 216 – Wavelet parametre og testresultater



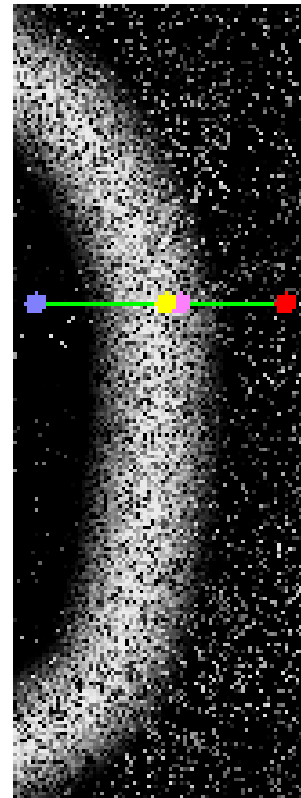
Figur 217 – Skalogramer og energinivå

9.7.19 Stykkevis lineær Spline

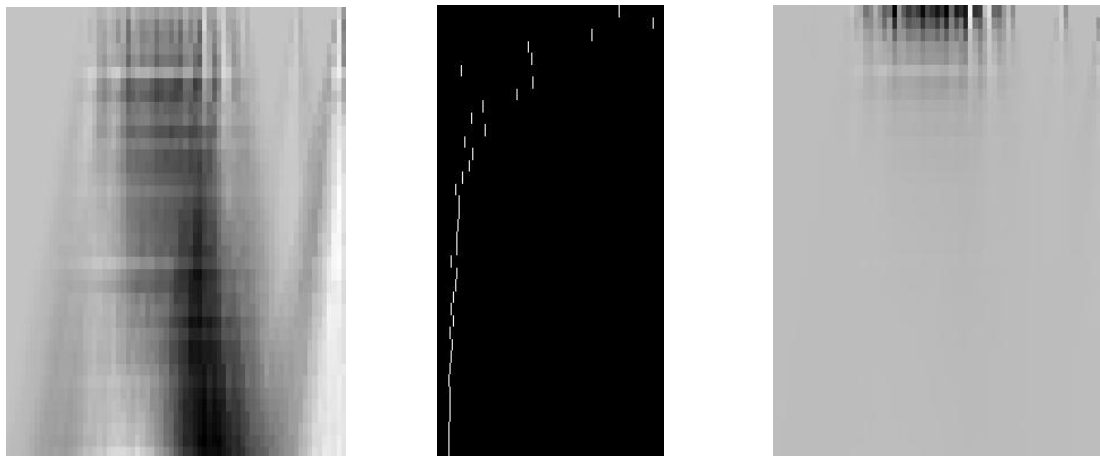
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	329	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	296	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	300	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	329	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	300	Lys lilla



Figur 218 – Wavelet parametre og testresultater



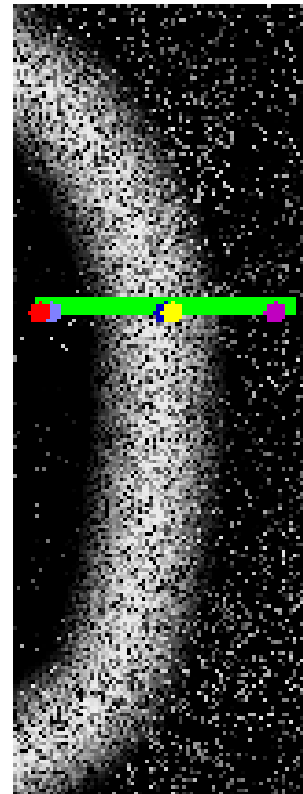
Figur 219 – Skalogramer og energinivå

9.7.20 Stykkevis lineær Spline

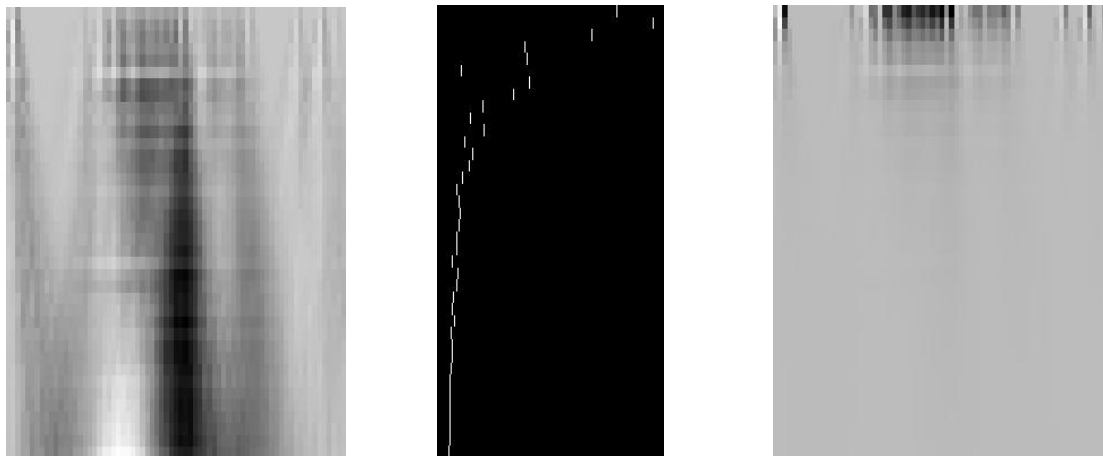
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	5

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	261	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	297	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	295	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	325	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	297	Lys lilla



Figur 220 – Wavelet parametre og testresultater



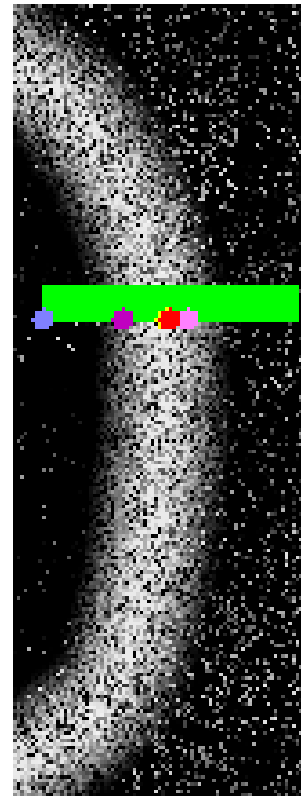
Figur 221 – Skalogramer og energinivå

9.7.21 Stykkevis lineær Spline

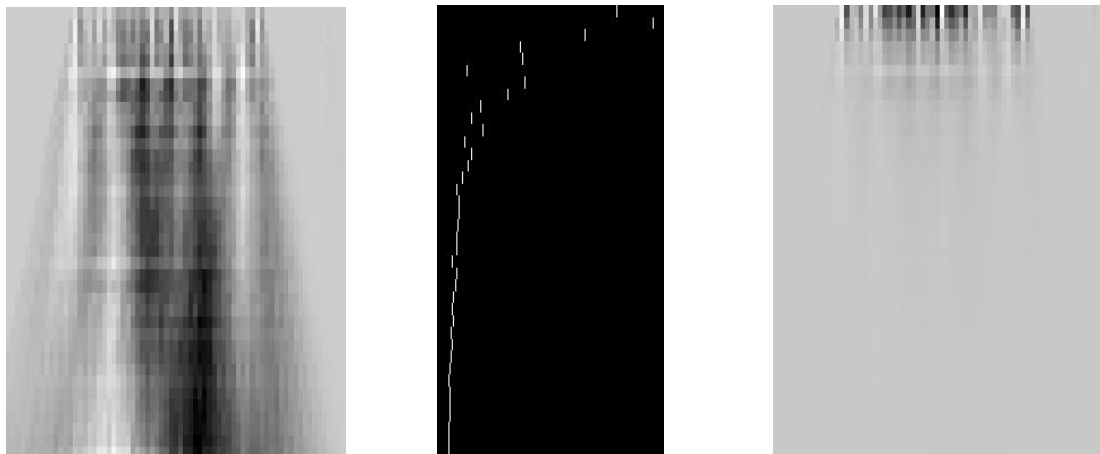
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	10

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	295	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	294	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	294	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	282	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	300	Lys lilla



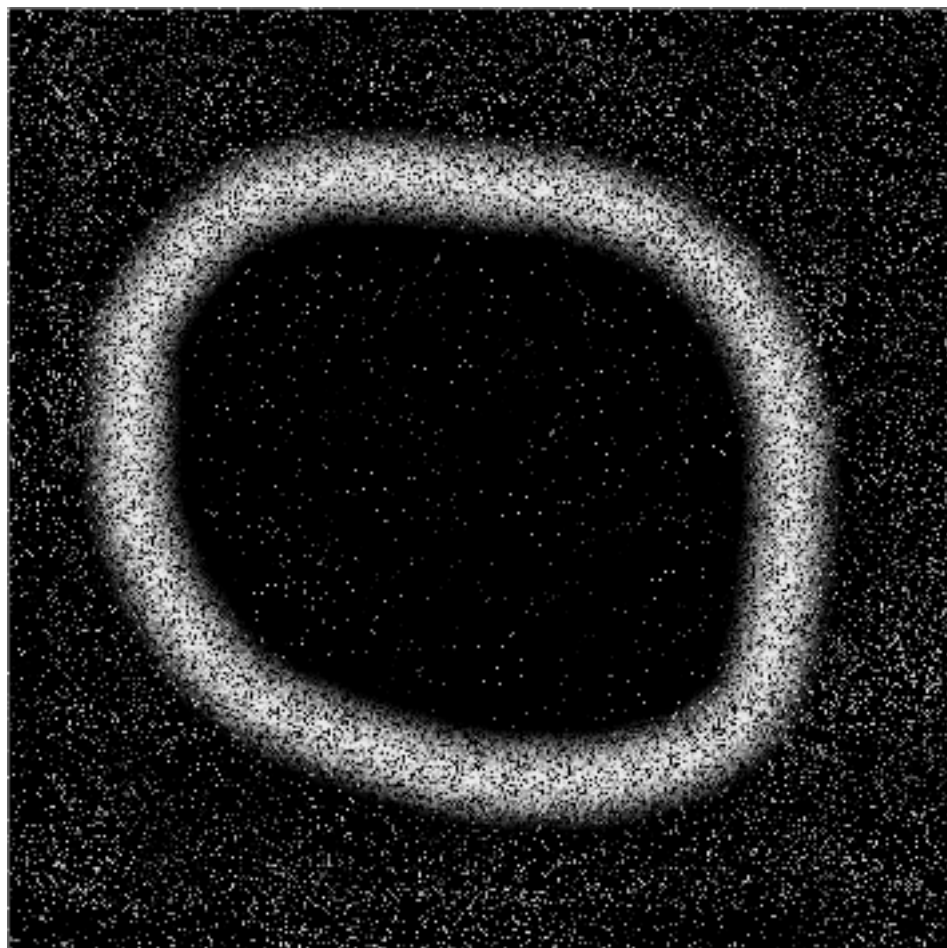
Figur 222 – Wavelet parametre og testresultater



Figur 223 – Skalogramer og energinivå

9.8 Bilde nr. 8

Vi ”skyter” stråle fra punkt (255,200) til punkt (330,200). Treffpunktene 278 til 282 og 303 til 307 anser vi som gode kanttreff. Punkter mellom 283 og 302 anser vi som treff på streken, men ikke kanten.



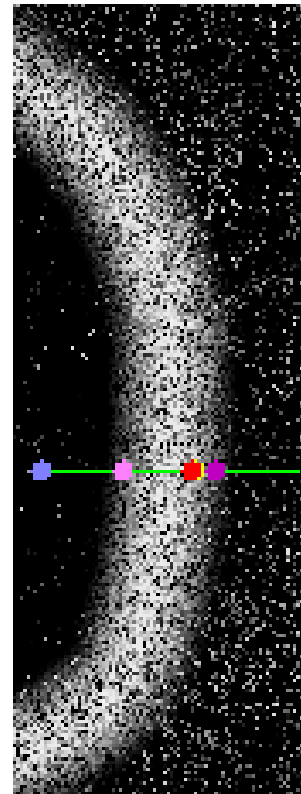
Figur 224 – Syntetisk blodåre

9.8.1 Haar

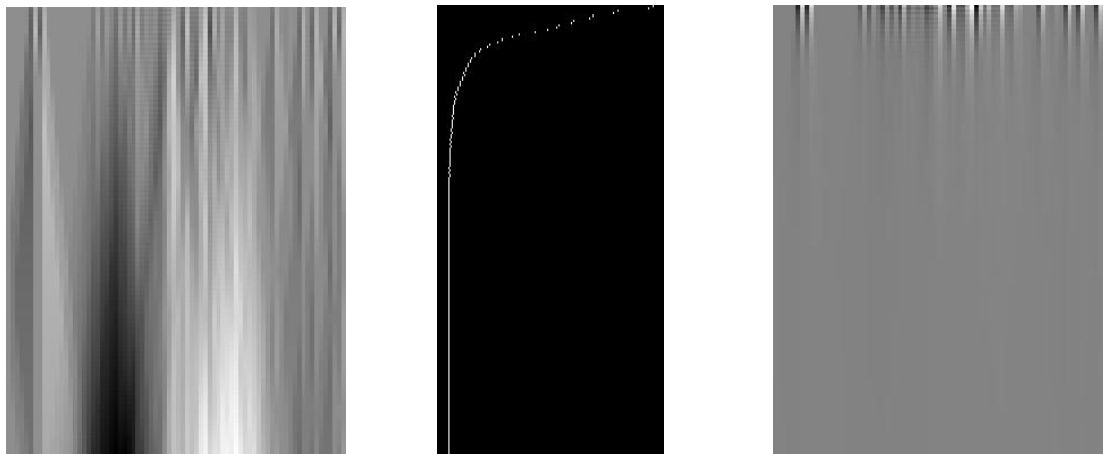
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	299	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	300	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	300	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	306	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	279	Lys lilla



Figur 225 – Wavelet parametre og testresultater



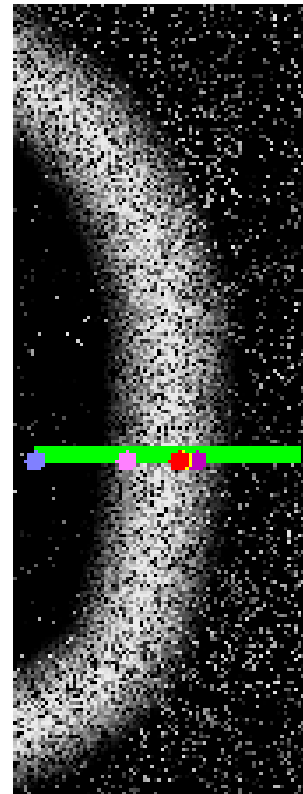
Figur 226 – Skalogramer og energinivå

9.8.2 Haar

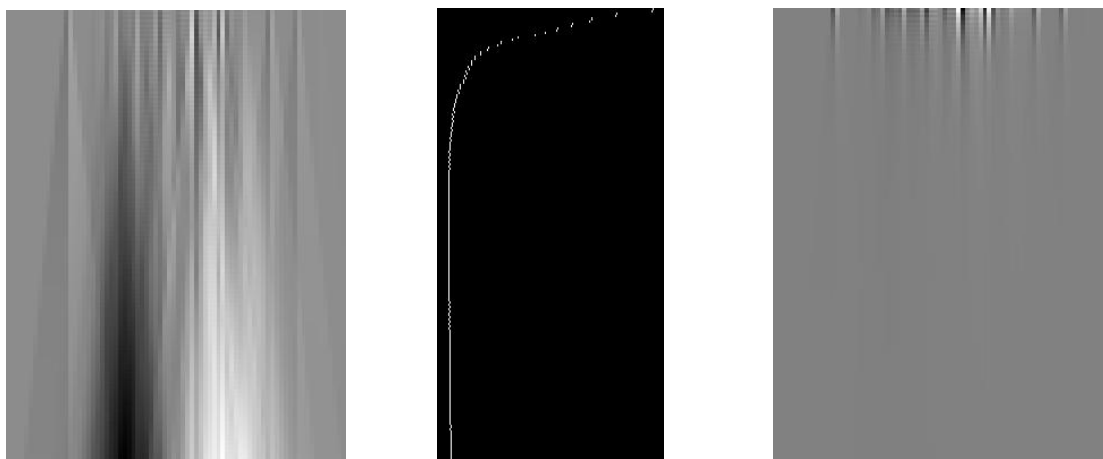
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	5

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	296	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	297	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	297	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	301	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	281	Lys lilla



Figur 227 – Wavelet parametre og testresultater



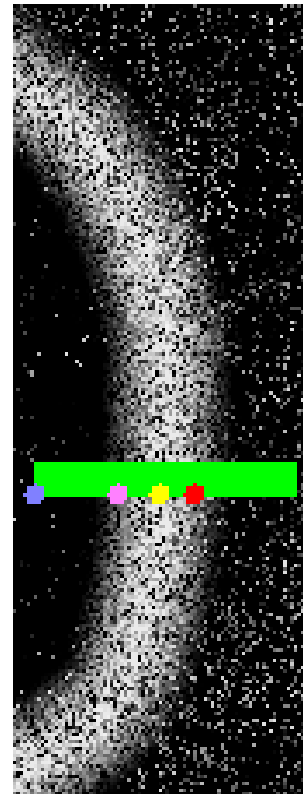
Figur 228 – Skalogramer og energinivå

9.8.3 Haar

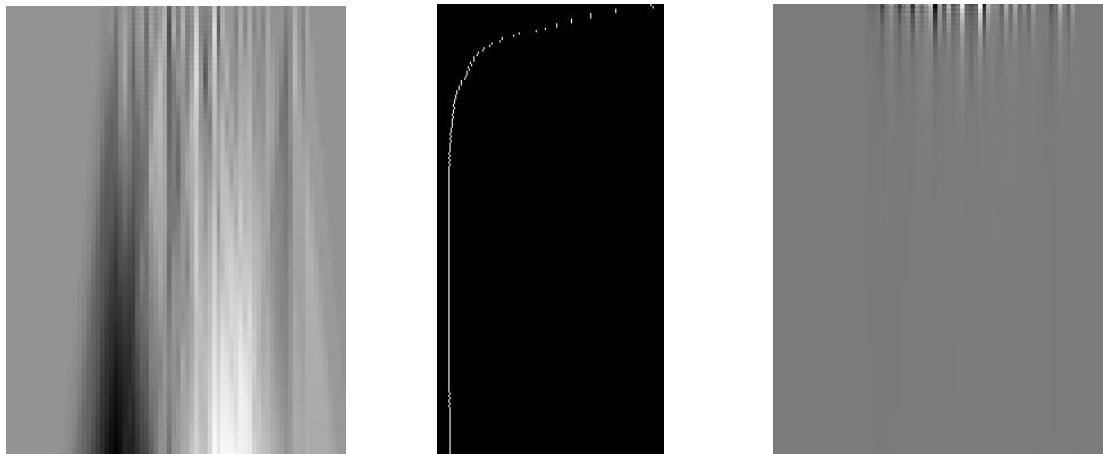
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	10

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	301	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	291	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	301	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	301	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	279	Lys lilla



Figur 229 – Wavelet parametre og testresultater



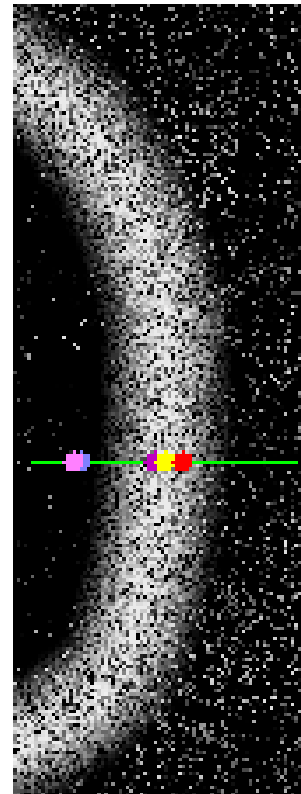
Figur 230 – Skalogramer og energinivå

9.8.4 Mexican Hat

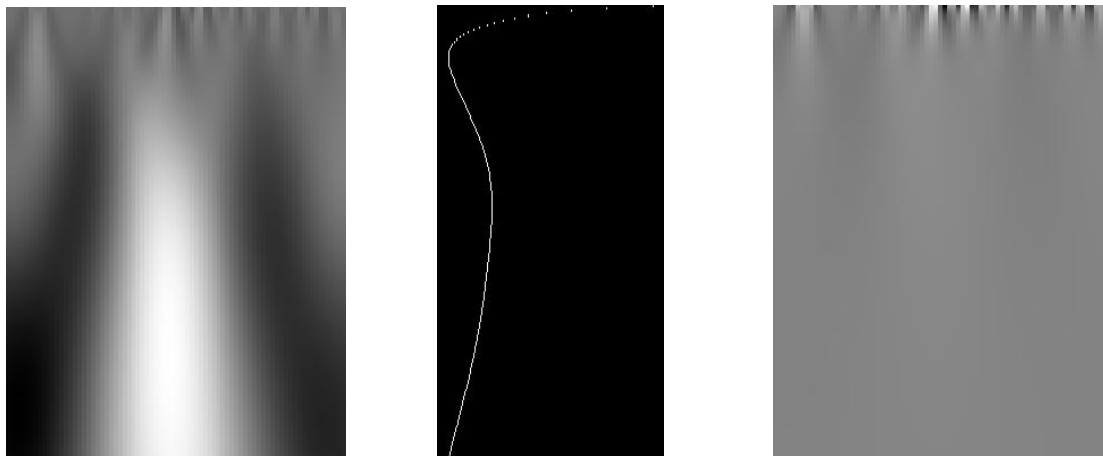
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	298	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	293	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	293	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	290	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	267	Lys lilla



Figur 231 – Wavelet parametre og testresultater



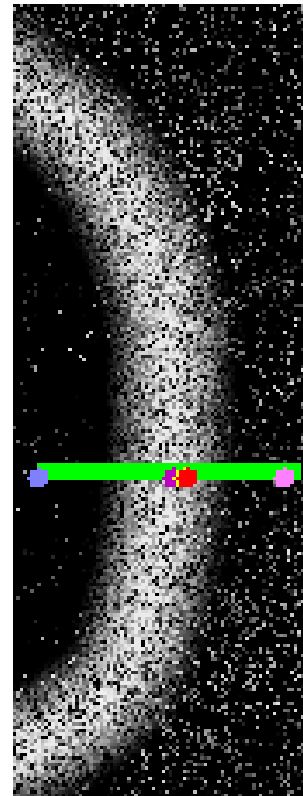
Figur 232 – Skalogramer og energinivå

9.8.5 Mexican Hat

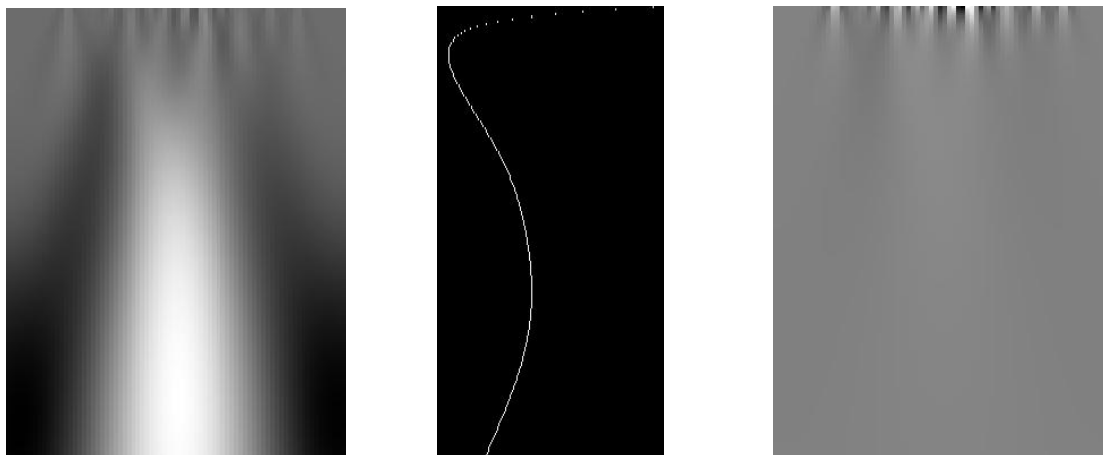
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	5

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	298	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	297	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	297	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	294	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	326	Lys lilla



Figur 233 – Wavelet parametre og testresultater



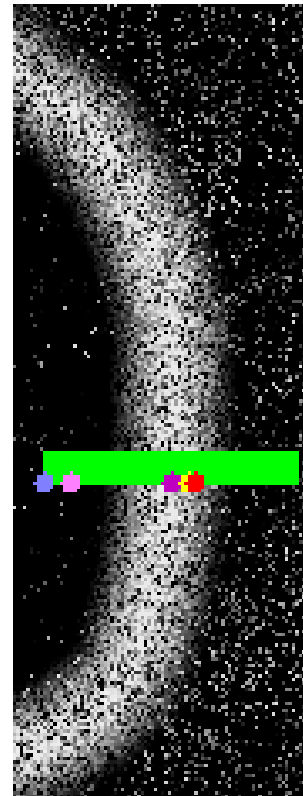
Figur 234 – Skalogramer og energinivå

9.8.6 Mexican Hat

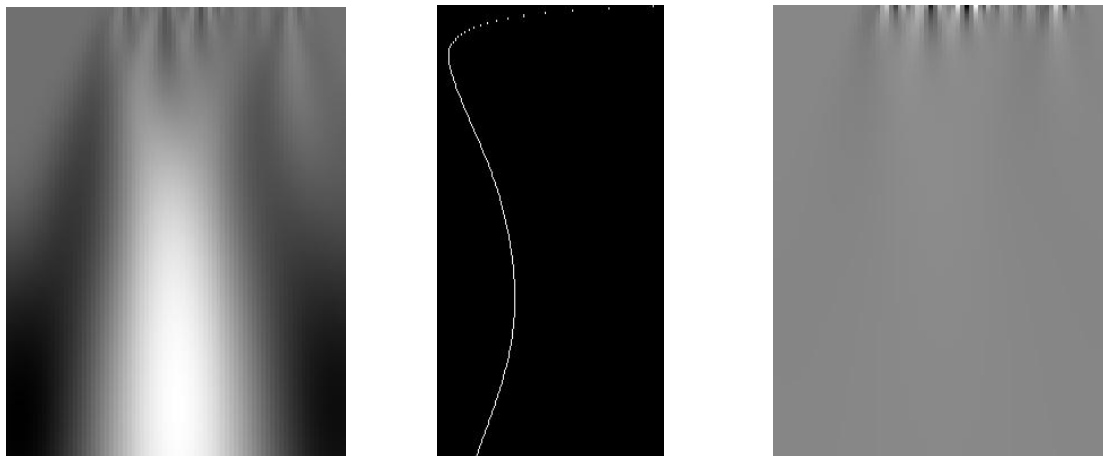
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	10

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	296	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	320	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	287	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	287	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	273	Lys lilla



Figur 235 – Wavelet parametre og testresultater



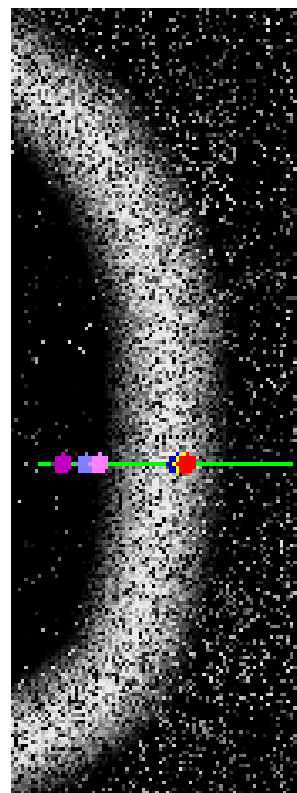
Figur 236 – Skalogramer og energinivå

9.8.7 Morlet

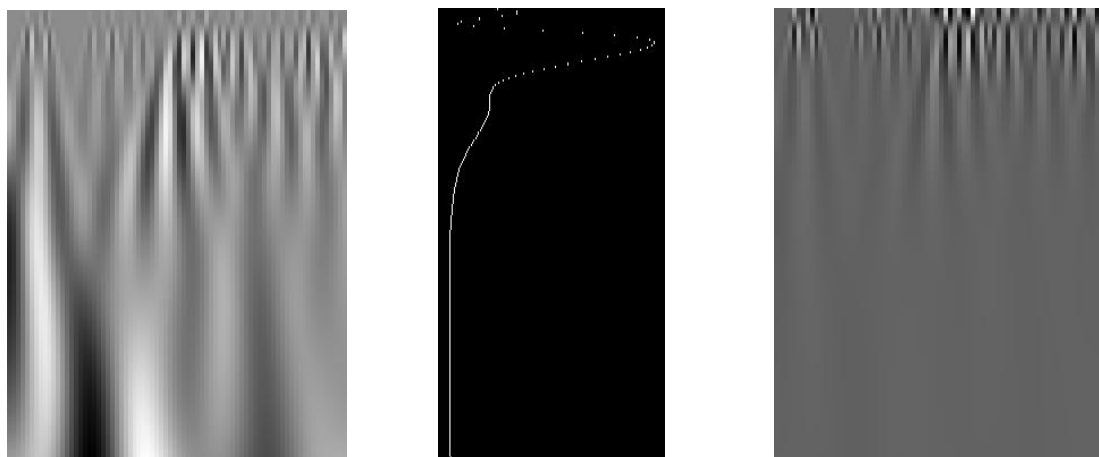
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	299	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	298	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	290	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	262	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	273	Lys lilla



Figur 237 – Wavelet parametre og testresultater



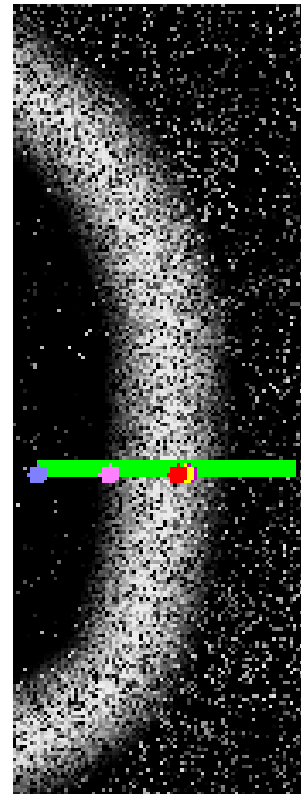
Figur 238 – Skalogramer og energinivå

9.8.8 Morlet

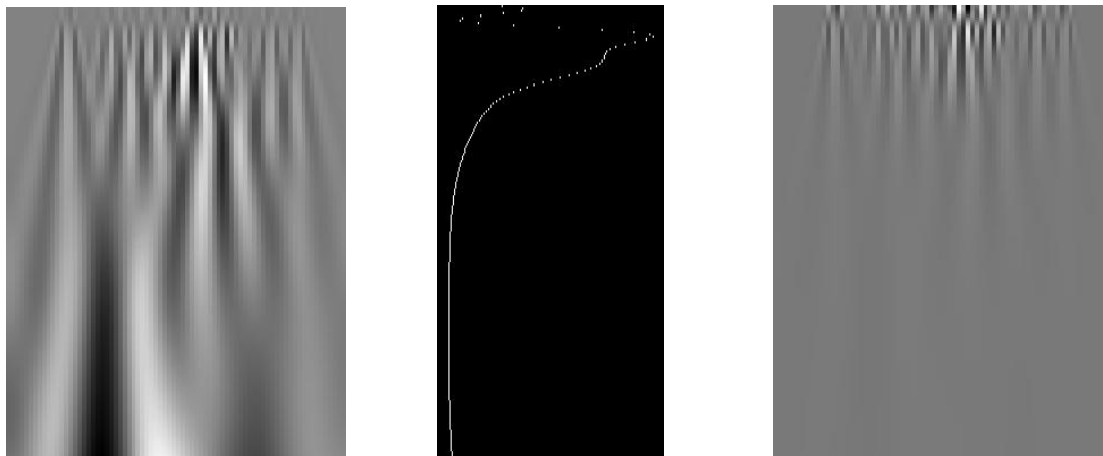
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	5

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	296	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	298	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	298	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	299	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	276	Lys lilla



Figur 239 – Wavelet parametre og testresultater



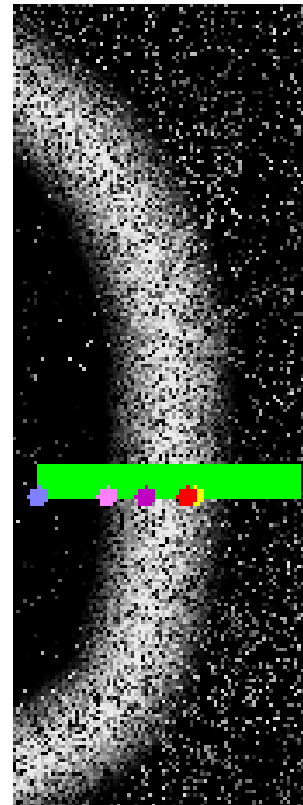
Figur 240 – Skalogramer og energinivå

9.8.9 Morlet

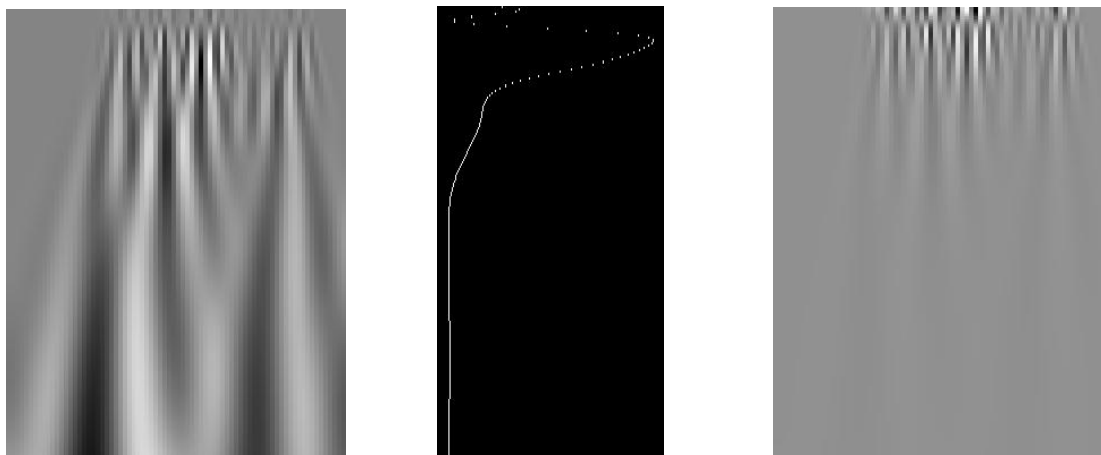
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	10

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	298	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	300	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	300	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	286	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	275	Lys lilla



Figur 241 – Wavelet parametre og testresultater



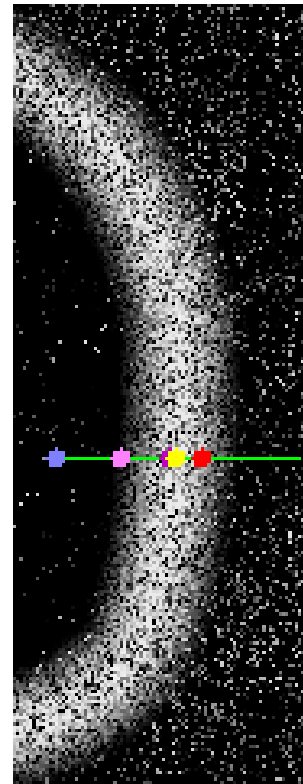
Figur 242 – Skalogramer og energinivå

9.8.10 Daubechies D4

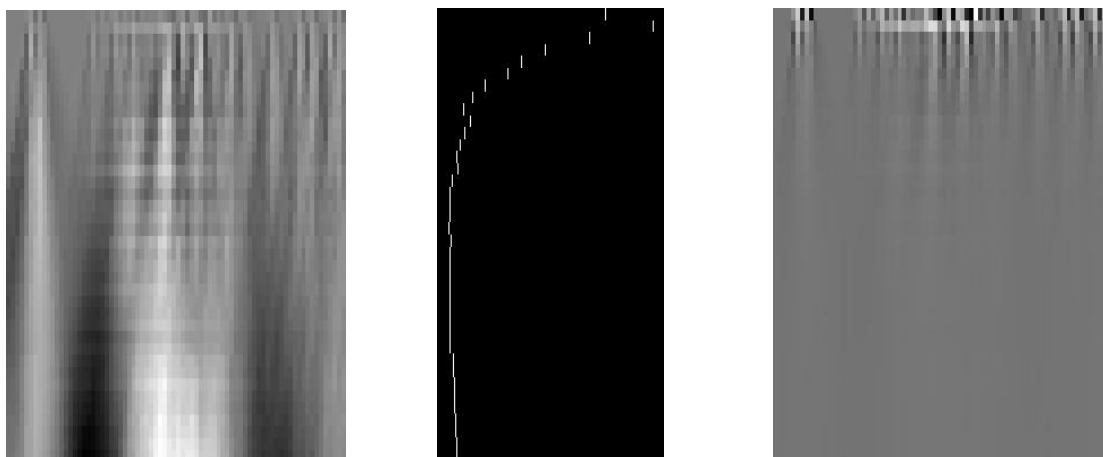
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	300	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	292	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	290	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	290	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	275	Lys lilla



Figur 243 – Wavelet parametre og testresultater



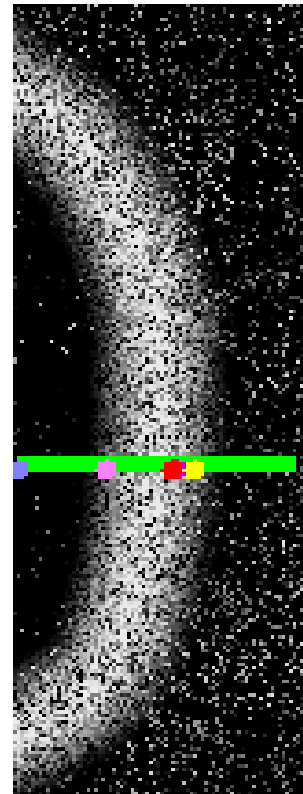
Figur 244 – Skalogramer og energinivå

9.8.11 Daubechies D4

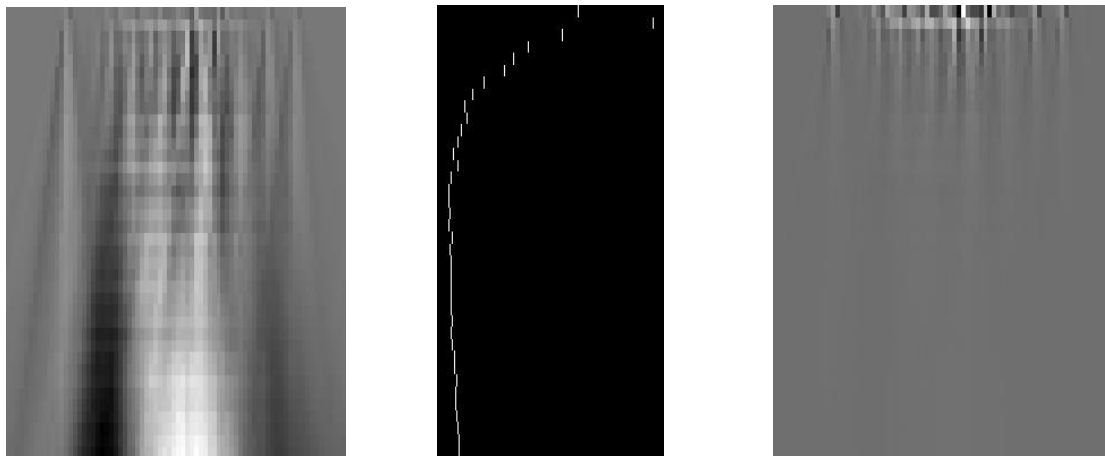
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	5

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	297	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	303	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	298	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	298	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	279	Lys lilla



Figur 245 – Wavelet parametre og testresultater



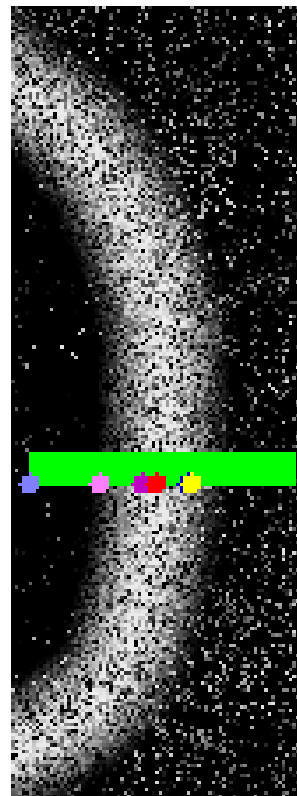
Figur 246 – Skalogramer og energinivå

9.8.12 Daubechies D4

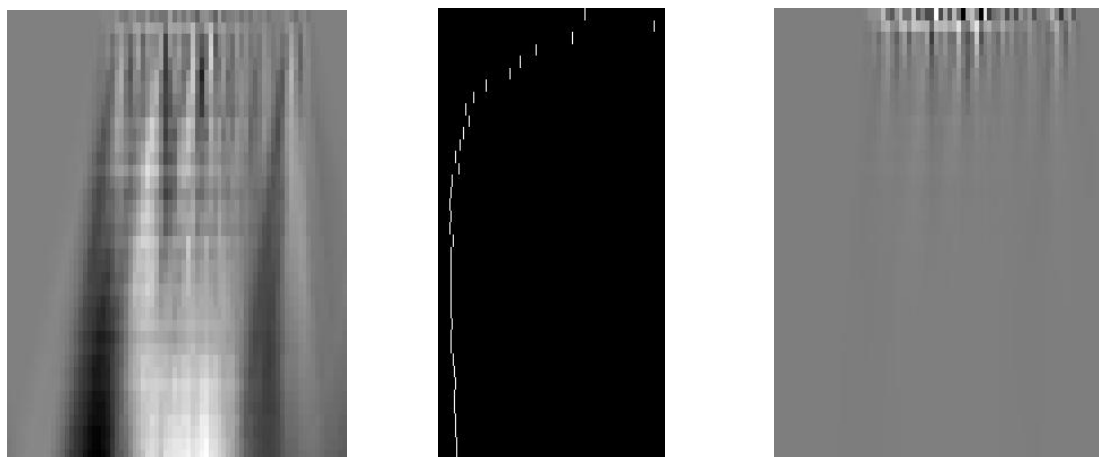
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	10

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	291	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	301	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	300	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	287	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	275	Lys lilla



Figur 247 – Wavelet parametre og testresultater



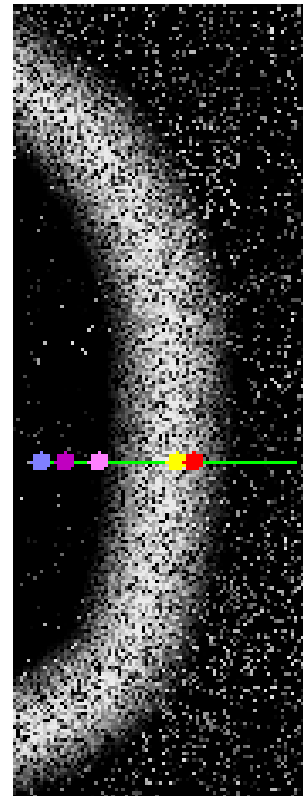
Figur 248 – Skalogramer og energinivå

9.8.13 Kubisk Spline

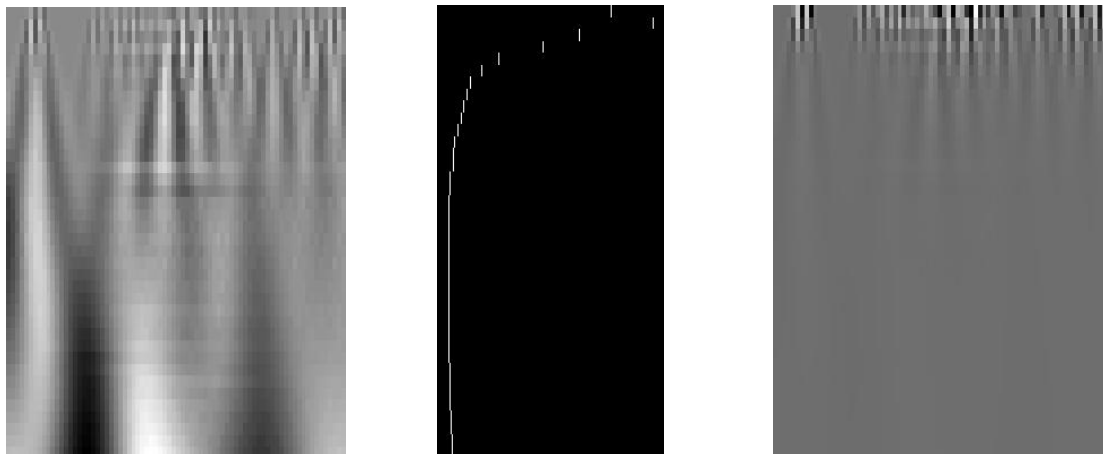
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	300	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	295	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	300	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	262	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	272	Lyse lilla



Figur 249 – Wavelet parametre og testresultater



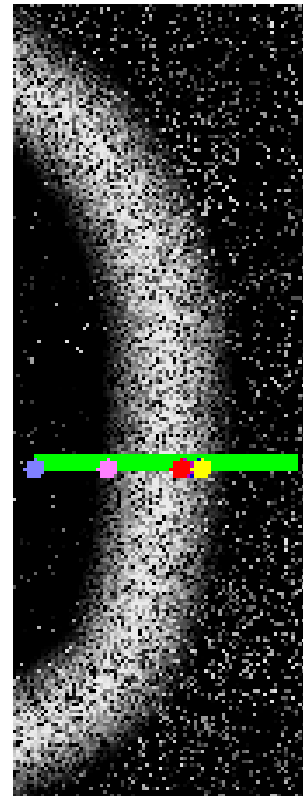
Figur 250 – Skalogramer og energinivå

9.8.14 Kubisk Spline

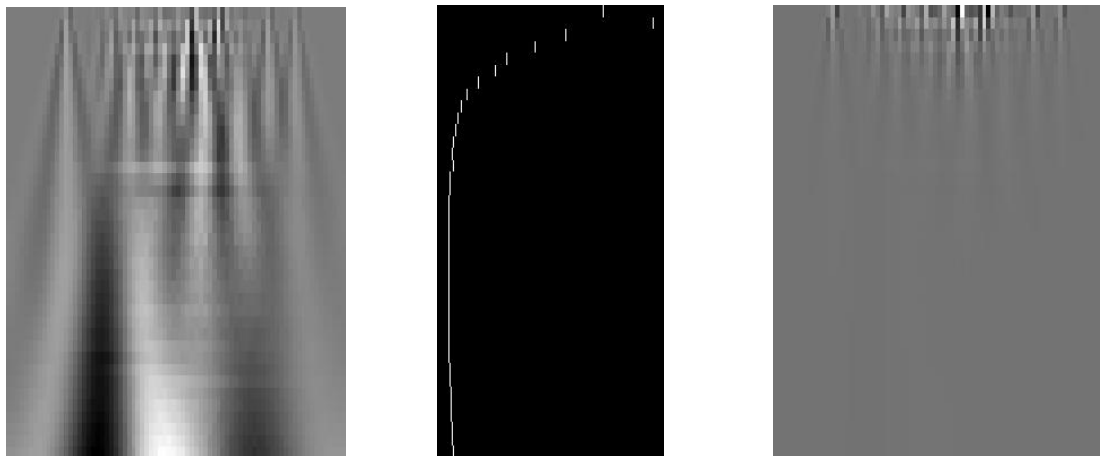
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	5

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	297	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	303	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	302	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	298	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	276	Lys lilla



Figur 251 – Wavelet parametre og testresultater



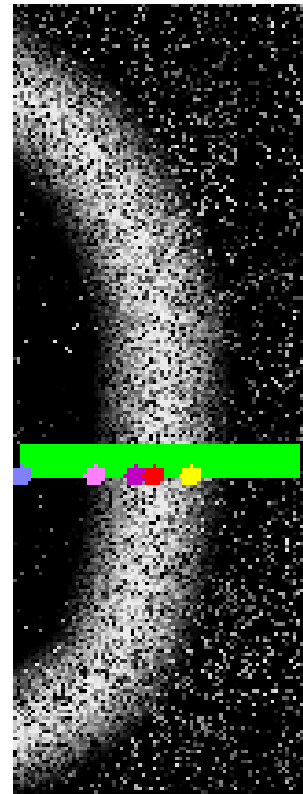
Figur 252 – Skalogramer og energinivå

9.8.15 Kubisk Spline

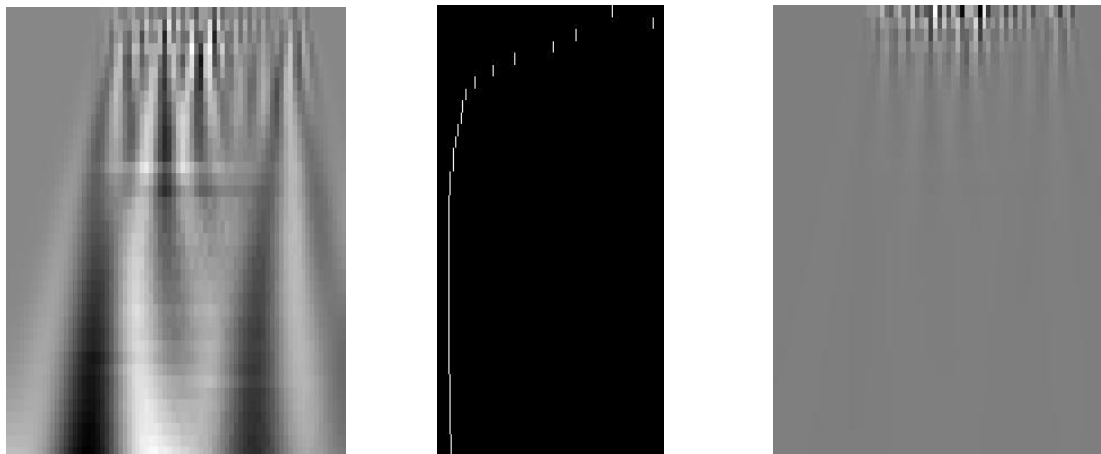
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	10

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	291	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	301	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	291	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	286	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	275	Lys lilla



Figur 253 – Wavelet parametre og testresultater



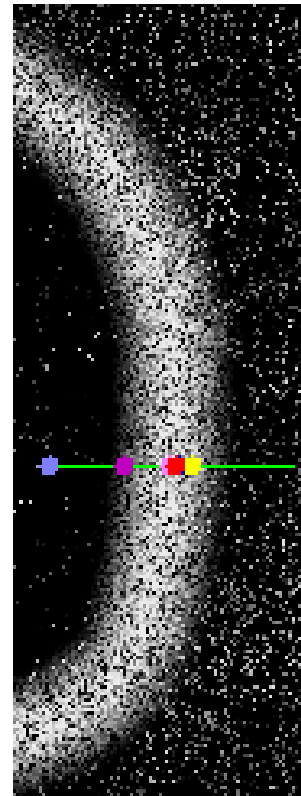
Figur 254 – Skalogramer og energinivå

9.8.16 Kvadratisk Spline

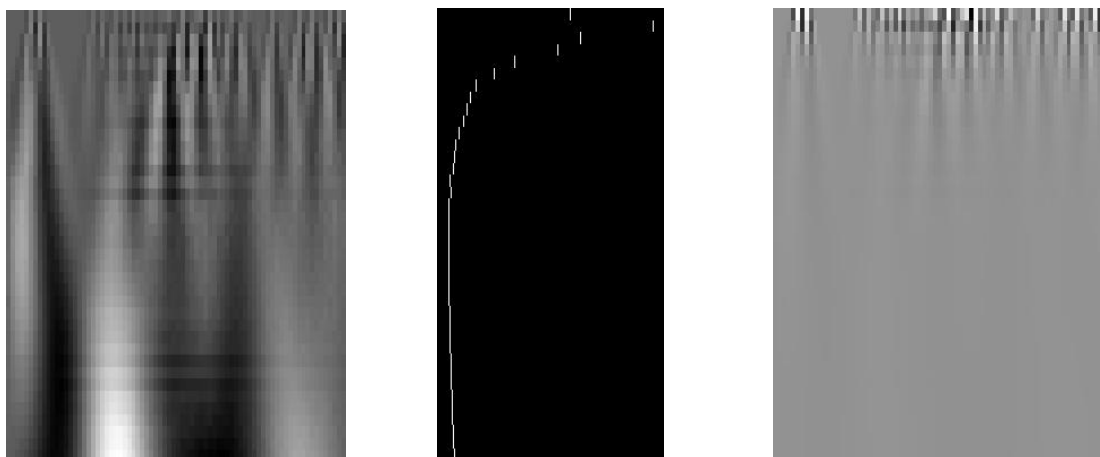
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	294	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	299	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	295	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	278	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	292	Lys lilla



Figur 255 – Wavelet parametre og testresultater



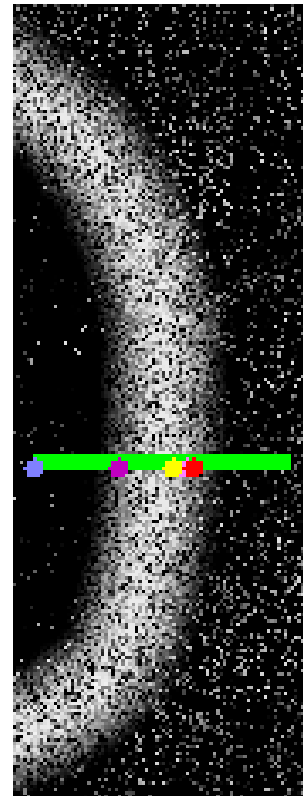
Figur 256 – Skalogramer og energinivå

9.8.17 Kvadratisk Spline

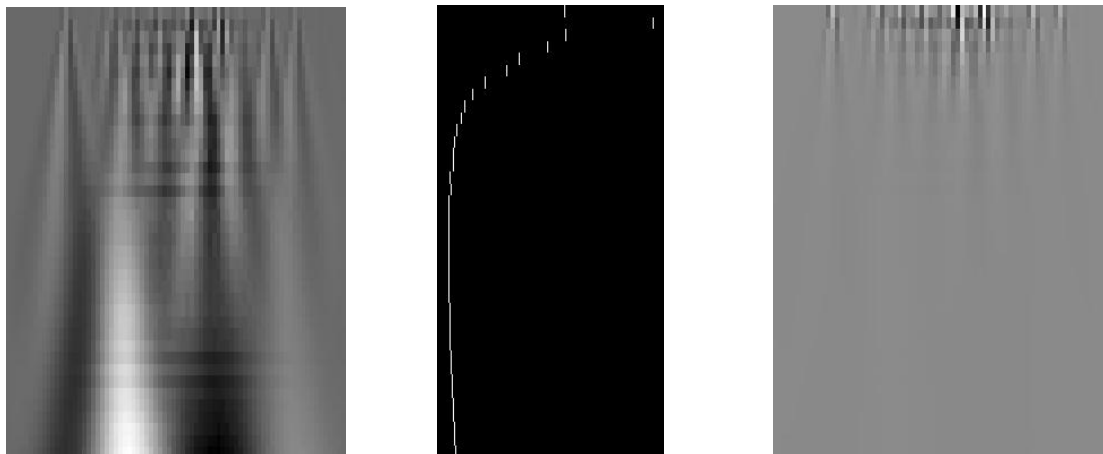
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	5

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	302	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	296	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	296	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	280	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	300	Lys lilla



Figur 257 – Wavelet parametre og testresultater



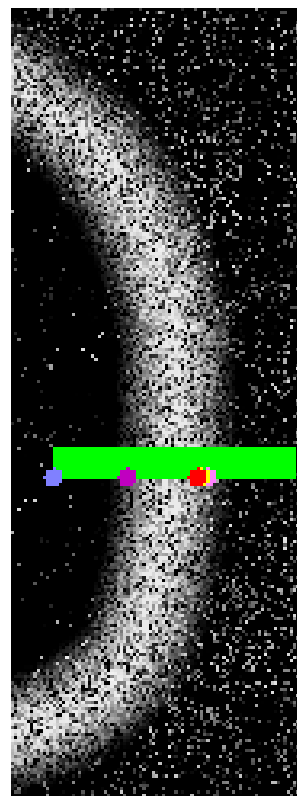
Figur 258 – Skalogramer og energinivå

9.8.18 Kvadratisk Spline

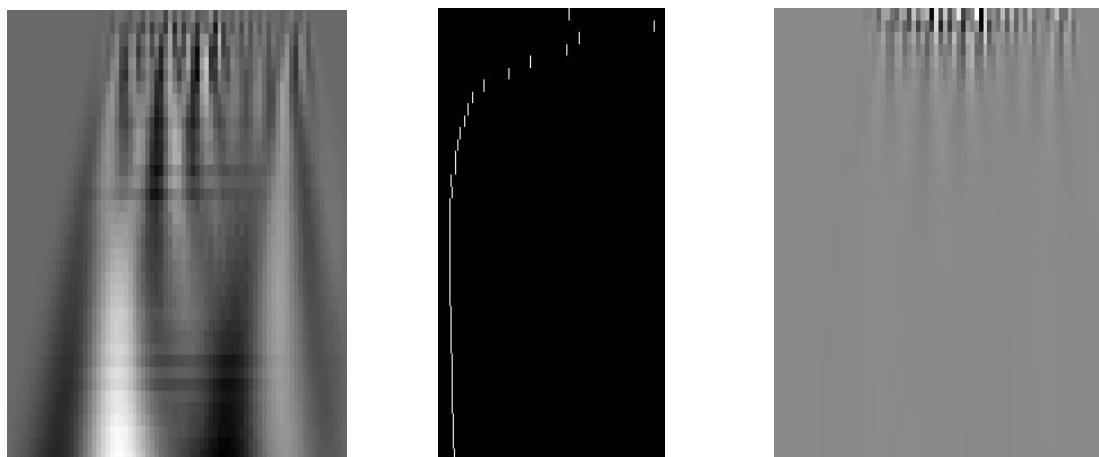
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	10

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	300	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	301	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	301	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	278	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	303	Lys lilla



Figur 259 – Wavelet parametre og testresultater



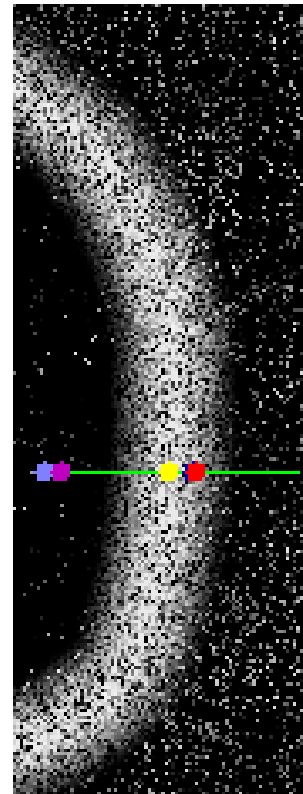
Figur 260 – Skalogramer og energinivå

9.8.19 Stykkevis lineær Spline

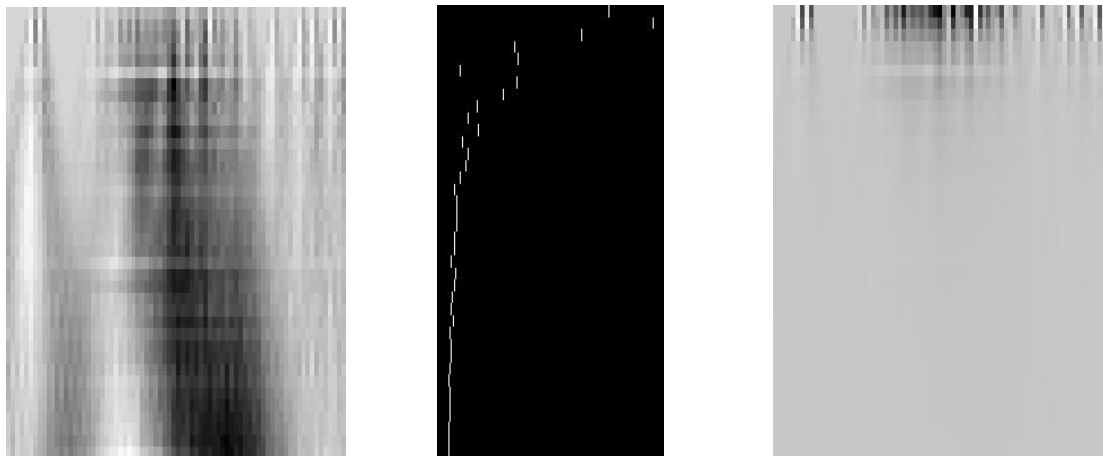
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	1

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	300	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	292	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	299	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	260	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	292	Lys lilla



Figur 261 – Wavelet parametre og testresultater



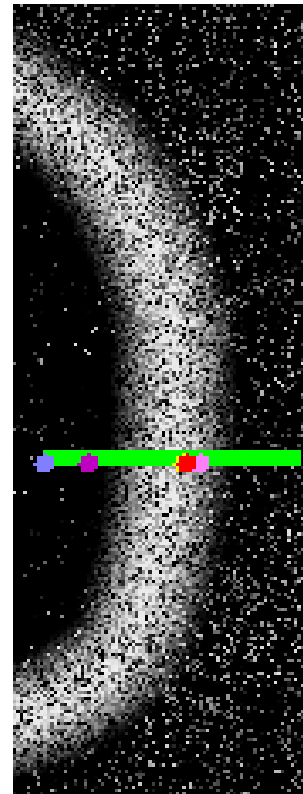
Figur 262 – Skalogramer og energinivå

9.8.20 Stykkevis lineær Spline

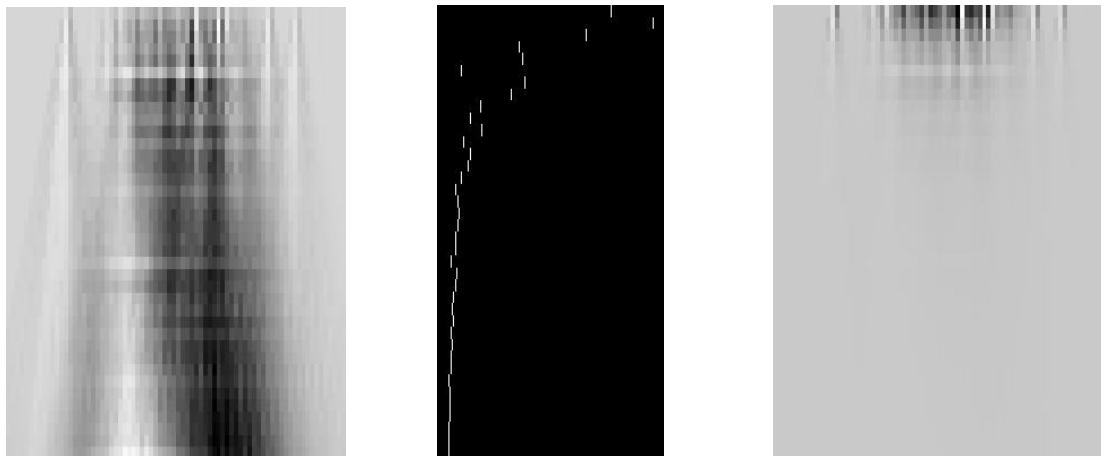
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	5

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	302	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	296	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	296	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	268	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	301	Lys lilla



Figur 263 – Wavelet parametre og testresultater



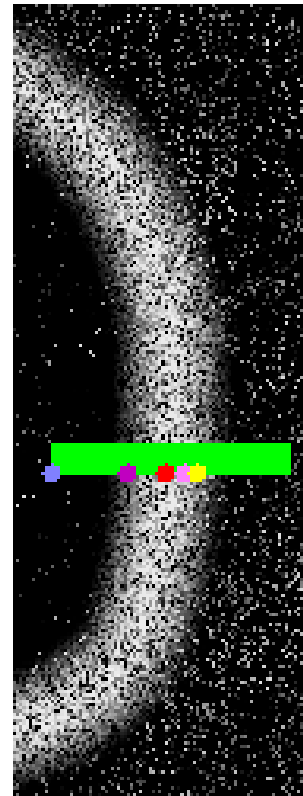
Figur 264 – Skalogramer og energinivå

9.8.21 Stykkevis lineær Spline

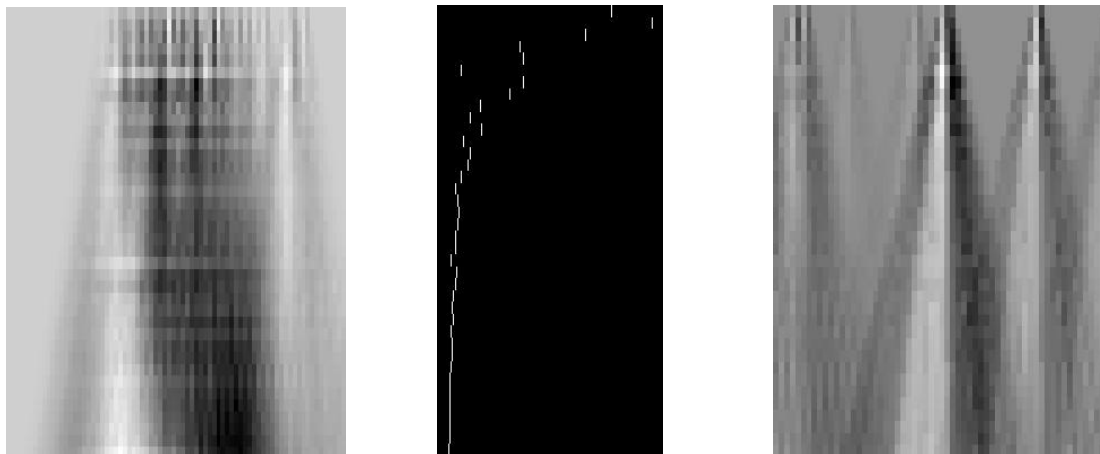
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	10

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	291	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	301	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	297	Mørkeblå
Maksimal kolonneverdi	279	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	297	Lys lilla



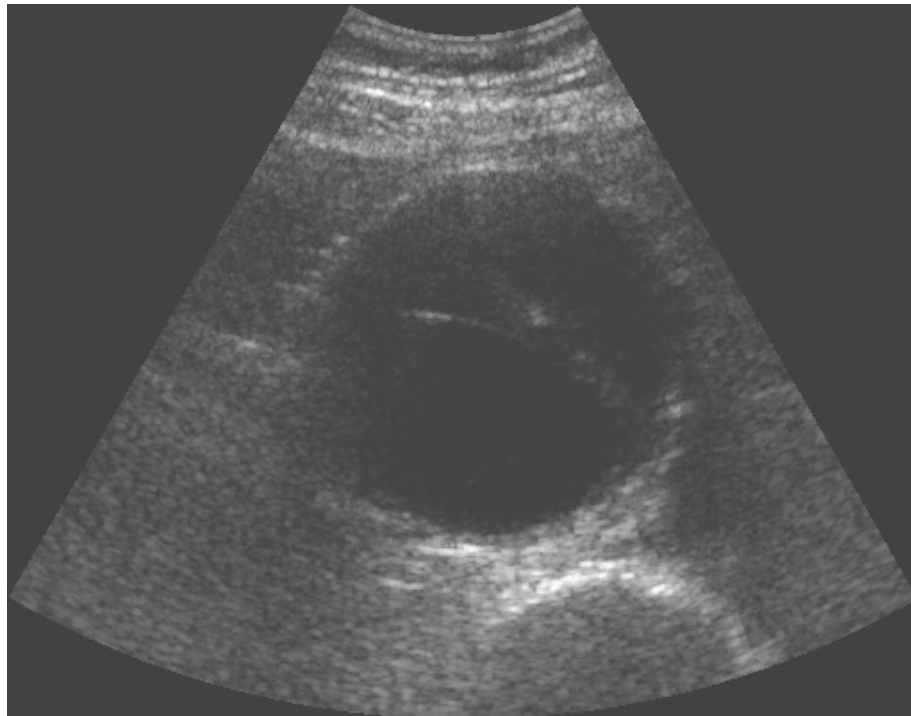
Figur 265 – Wavelet parametre og testresultater



Figur 266 – Skalogramer og energinivå

9.9 Ultralydbilde nr. 1

Her har vi skutt en strek på høyre side av blodåren.



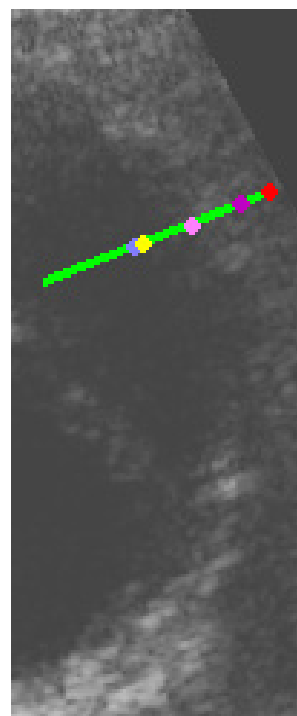
Figur 267 - Ultralydbilde

9.9.1 Haar

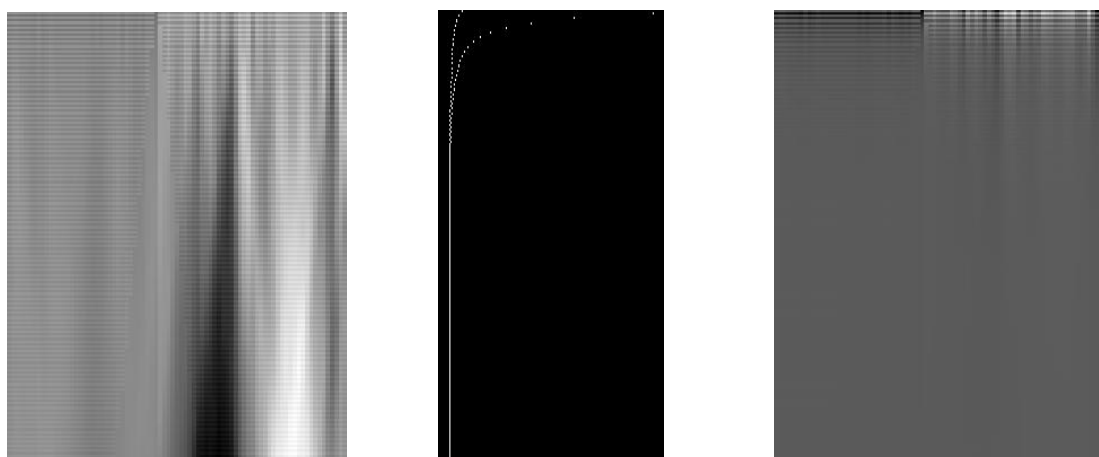
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	3

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	389,131	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	345,148	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	389,131	Mørkeblå
Minimumsverdi i rad med høyest energi	342,149	Lyseblå
Maksimal kolonneverdi	379,135	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	362,142	Lys lilla



Figur 268 – Wavelet parametre og testresultater



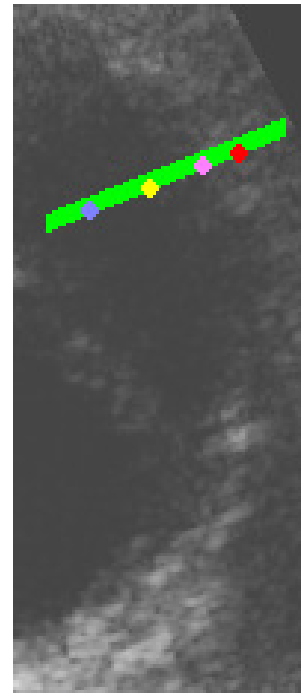
Figur 269 – Skalogramer og energinivå

9.9.2 Haar

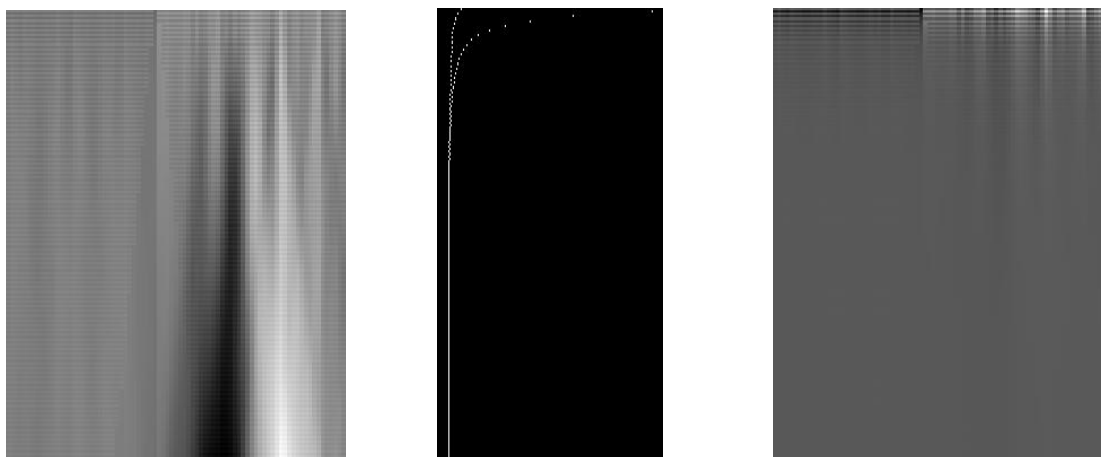
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	6

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	375,138	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	345,149	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	375,138	Mørkeblå
Minimumsverdi i rad med høyest energi	325,156	Lyseblå
Maksimal kolonneverdi	375,138	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	363,142	Lys lilla



Figur 270 – Wavelet parametre og testresultater



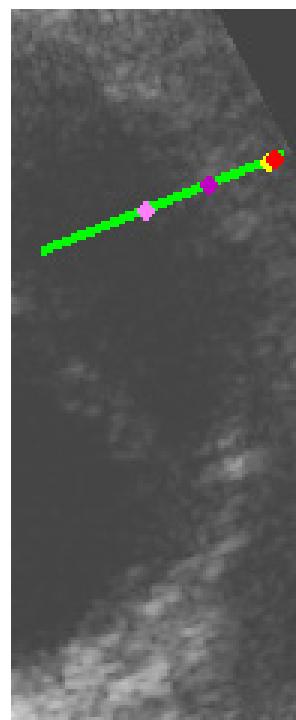
Figur 271 – Skalogramer og energinivå

9.9.3 Mexican Hat

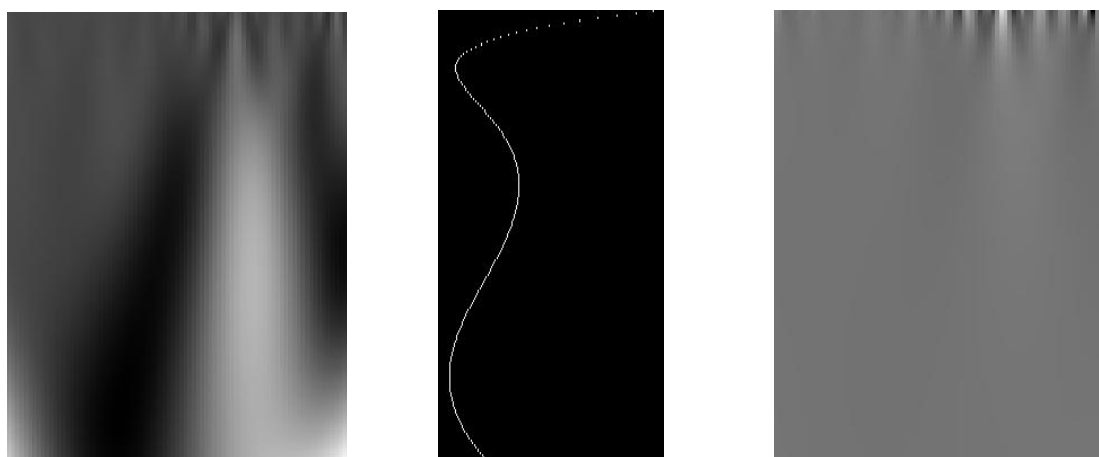
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	3

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	388,132	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	386,133	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	388,132	Mørkeblå
Minimumsverdi i rad med høyest energi	386,133	Lyseblå
Maksimal kolonneverdi	366,140	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	345,148	Lys lilla



Figur 272 – Wavelet parametre og testresultater



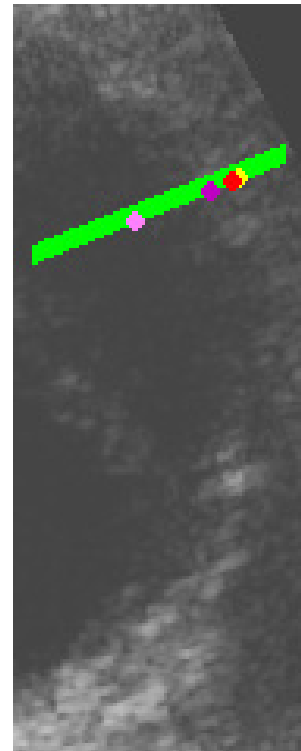
Figur 273 – Skalogramer og energinivå

9.9.4 Mexican Hat

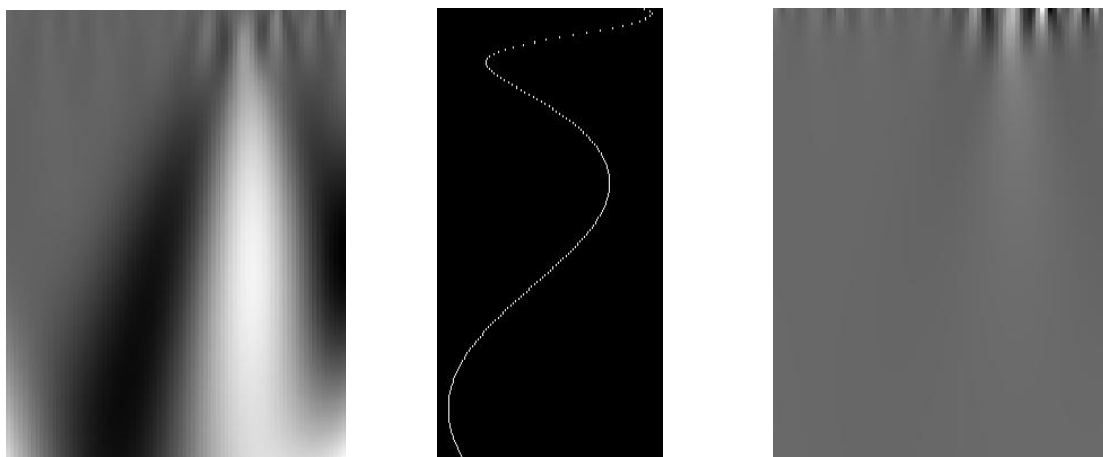
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	6

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	374,138	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	376,137	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	374,138	Mørkeblå
Minimumsverdi i rad med høyest energi	376,137	Lyseblå
Maksimal kolonneverdi	367,141	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	343,150	Lys lilla



Figur 274 – Wavelet parametre og testresultater



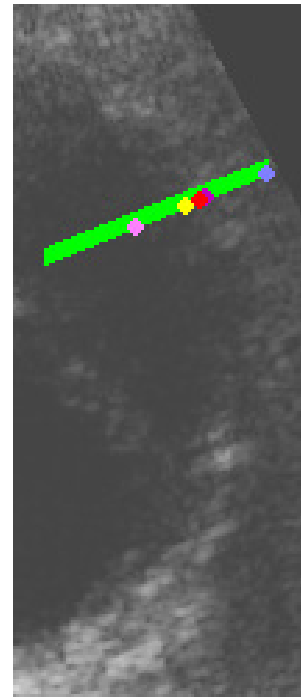
Figur 275 – Skalogramer og energinivå

9.9.5 Mexican Hat

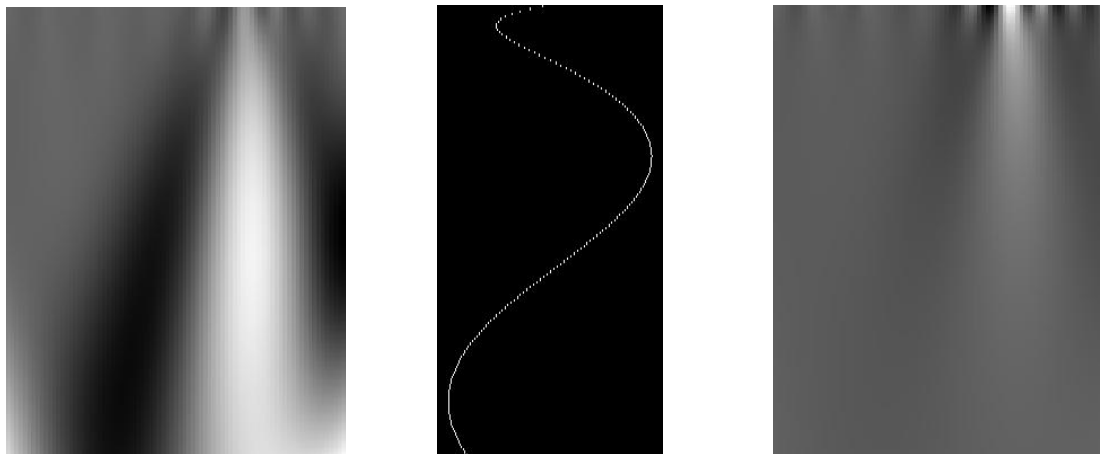
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	2,5	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	6

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	366,141	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	361,143	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	368,140	Mørkeblå
Minimumsverdi i rad med høyest energi	390,132	Lyseblå
Maksimal kolonneverdi	368,140	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	343,150	Lys lilla



Figur 276 – Wavelet parametre og testresultater



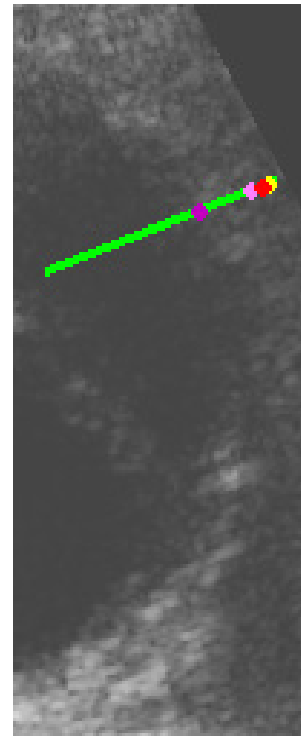
Figur 277 – Skalogramer og energinivå

9.9.6 Morlet

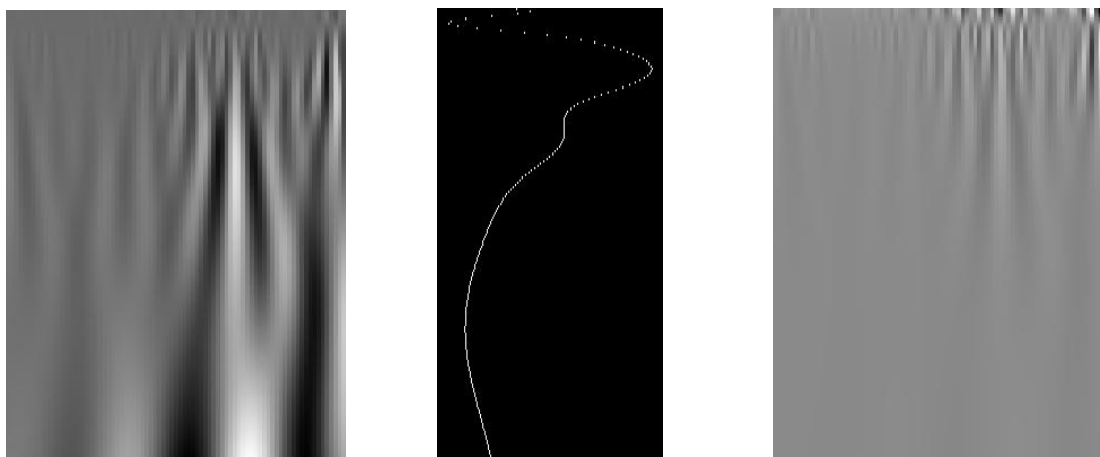
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	3

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	386,133	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	388,132	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	388,132	Mørkeblå
Minimumsverdi i rad med høyest energi	386,133	Lyseblå
Maksimal kolonneverdi	364,141	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	382,134	Lys lilla



Figur 278 – Wavelet parametre og testresultater



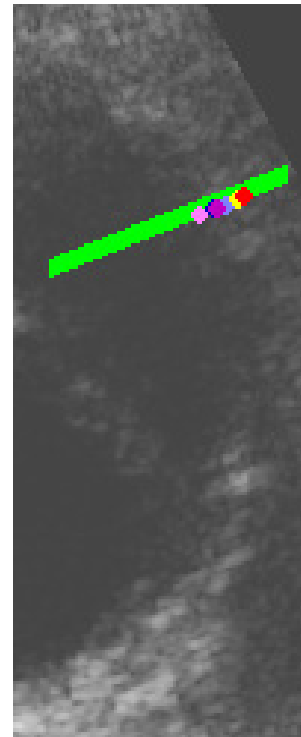
Figur 279 – Skalogramer og energinivå

9.9.7 Morlet

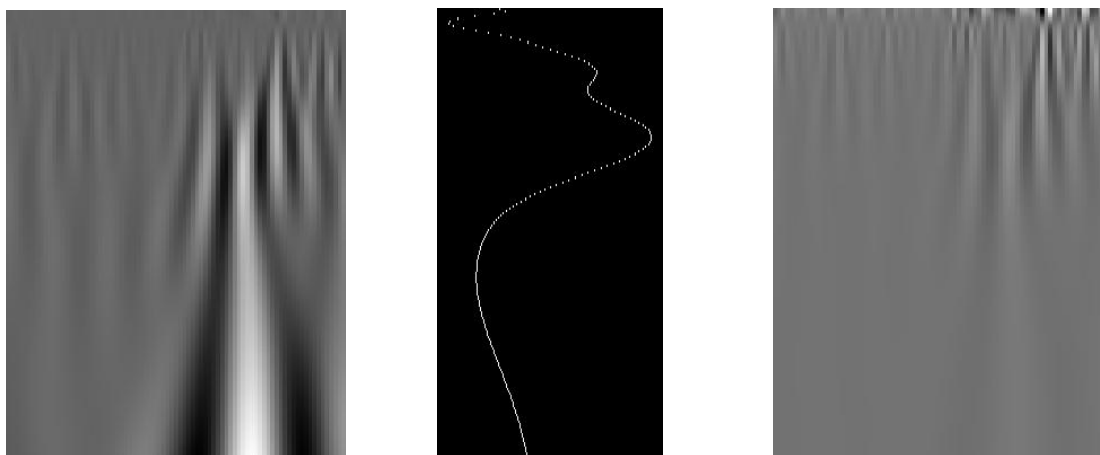
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	6

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	376,137	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	374,138	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	366,141	Mørkeblå
Minimumsverdi i rad med høyest energi	370,140	Lyseblå
Maksimal kolonneverdi	367,141	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	361,143	Lys lilla



Figur 280 – Wavelet parametre og testresultater



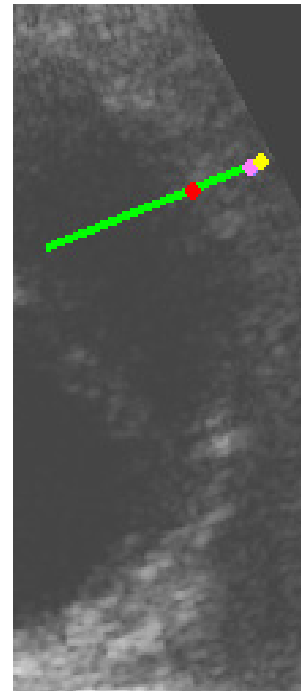
Figur 281 – Skalogramer og energinivå

9.9.8 Daubechies D4

	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	3

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	364,141	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	389,131	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	364,141	Mørkeblå
Minimumsverdi i rad med høyest energi	386,133	Lyseblå
Maksimal kolonneverdi	364,141	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	385,133	Lys lilla



Figur 282 – Wavelet parametre og testresultater



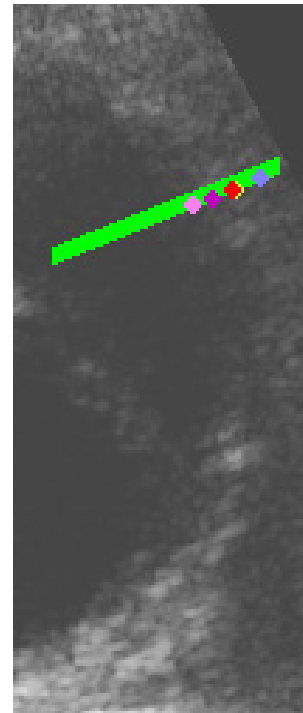
Figur 283 – Skalogramer og energinivå

9.9.9 Daubechies D4

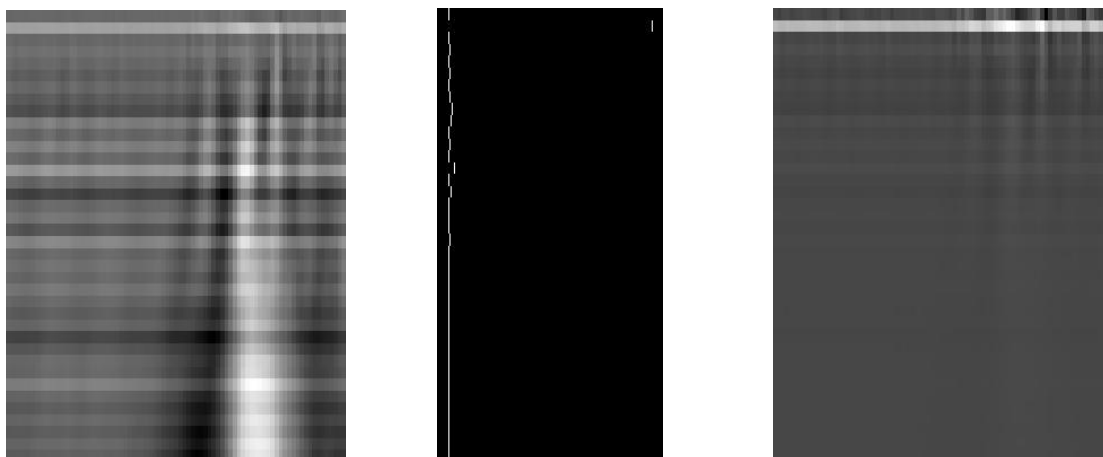
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	6

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	374,138	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	375,138	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	374,138	Mørkeblå
Minimumsverdi i rad med høyest energi	384,134	Lyseblå
Maksimal kolonneverdi	367,141	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	360,143	Lys lilla



Figur 284 – Wavelet parametre og testresultater



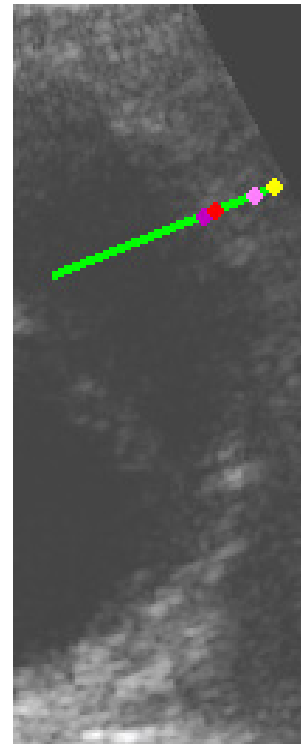
Figur 285 – Skalogramer og energinivå

9.9.10 Kubisk Spline

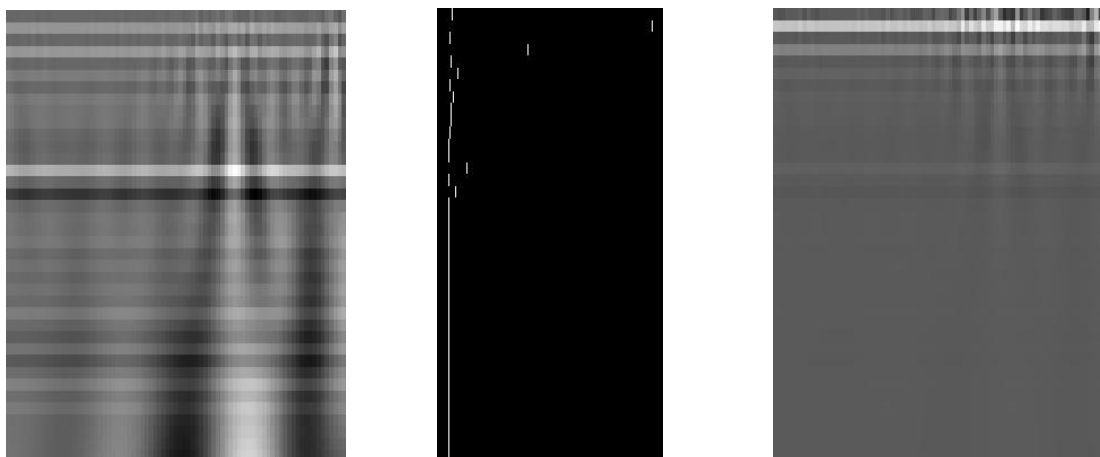
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	3

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	368,139	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	389,131	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	368,139	Mørkeblå
Minimumsverdi i rad med høyest energi	389,131	Lyseblå
Maksimal kolonneverdi	364,141	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	382,134	Lys lilla



Figur 286 – Wavelet parametre og testresultater



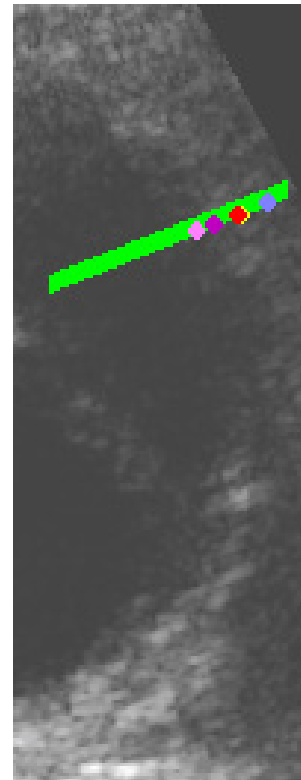
Figur 287 – Skalogramer og energinivå

9.9.11 Kubisk Spline

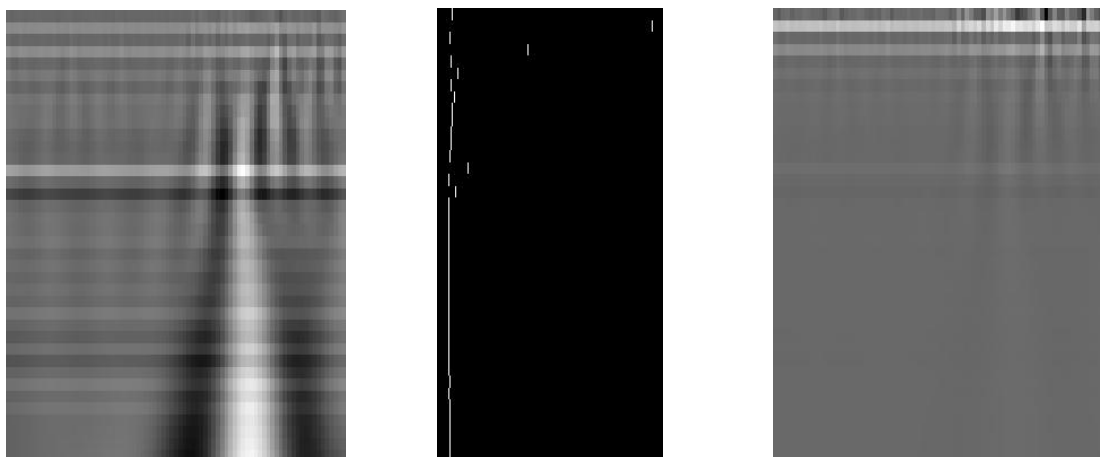
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	6

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	374,138	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	375,138	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	374,138	Mørkeblå
Minimumsverdi i rad med høyest energi	384,134	Lyseblå
Maksimal kolonneverdi	366,141	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	360,143	Lys lilla



Figur 288 – Wavelet parametre og testresultater



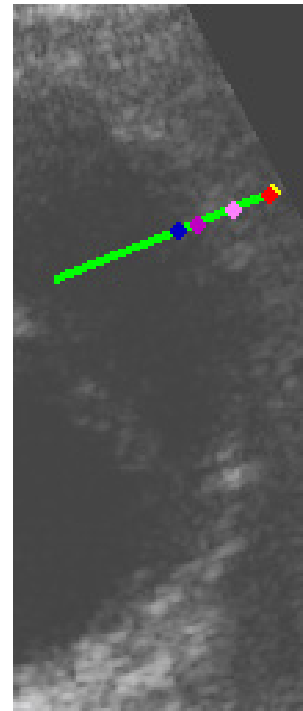
Figur 289 – Skalogramer og energinivå

9.9.12 Kvadratisk Spline

	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	3

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	388,132	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	389,131	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	355,144	Mørkeblå
Minimumsverdi i rad med høyest energi	389,131	Lyseblå
Maksimal kolonneverdi	362,142	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	375,137	Lys lilla



Figur 290 – Wavelet parametre og testresultater



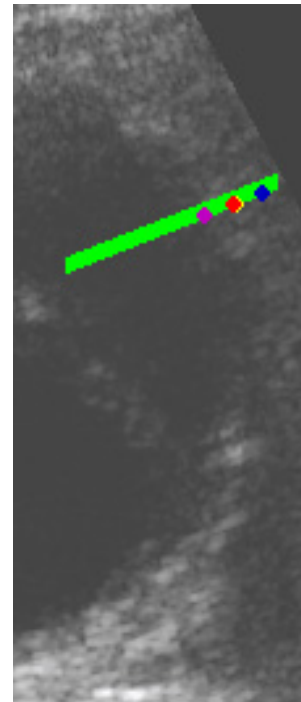
Figur 291 – Skalogramer og energinivå

9.9.13 Kvadratisk Spline

	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	6

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	374,138	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	375,138	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	385,134	Mørkeblå
Minimumsverdi i rad med høyest energi	375,138	Lyseblå
Maksimal kolonneverdi	363,142	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	375,138	Lys lilla



Figur 292 – Wavelet parametre og testresultater



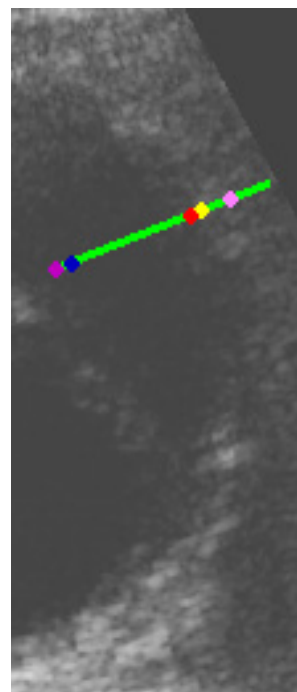
Figur 293 – Skalogramer og energinivå

9.9.14 Stykkevis lineær Spline

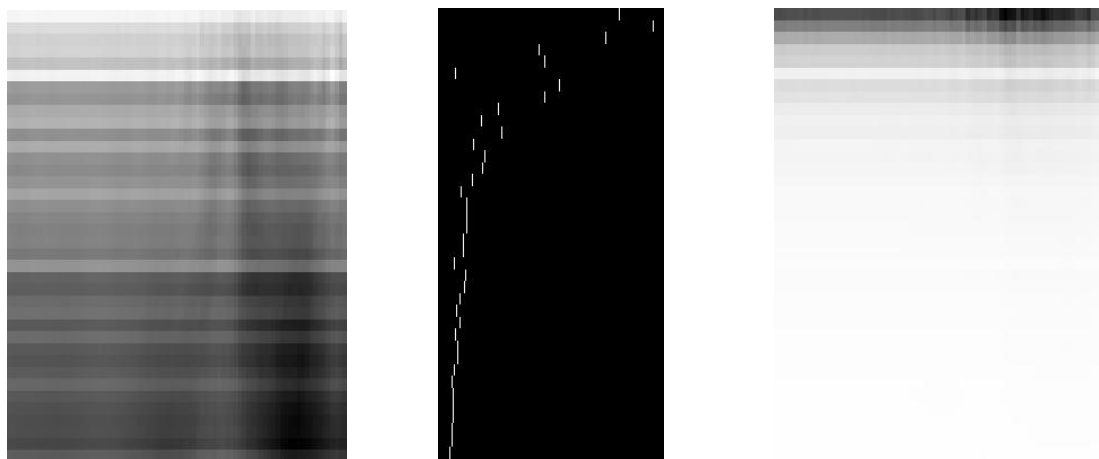
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	3

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	361,142	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	365,140	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	316,159	Mørkeblå
Minimumsverdi i rad med høyest energi	365,140	Lyseblå
Maksimal kolonneverdi	310,161	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	376,136	Lys lilla



Figur 294 – Wavelet parametre og testresultater



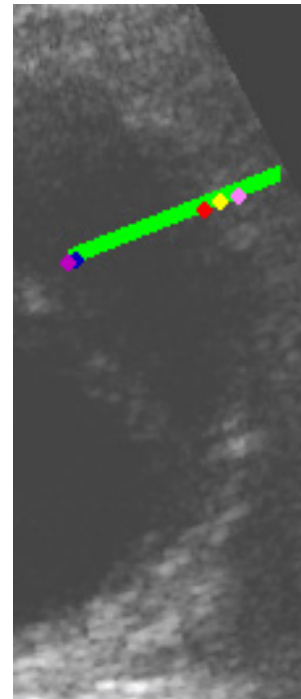
Figur 295 – Skalogramer og energinivå

9.9.15 Stykkevis lineær Spline

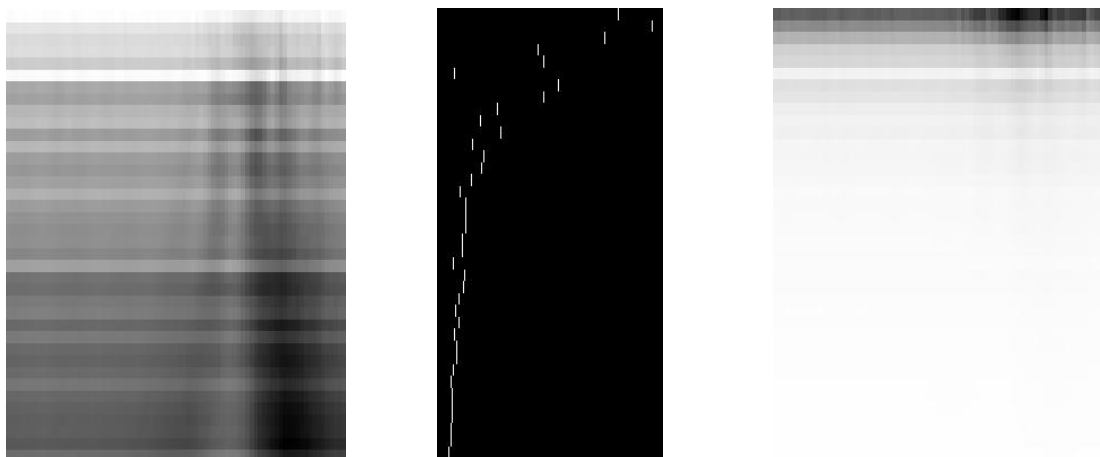
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	6

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	362,143	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	368,140	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	313,161	Mørkeblå
Minimumsverdi i rad med høyest energi	368,140	Lyseblå
Maksimal kolonneverdi	310,162	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	375,138	Lys lilla



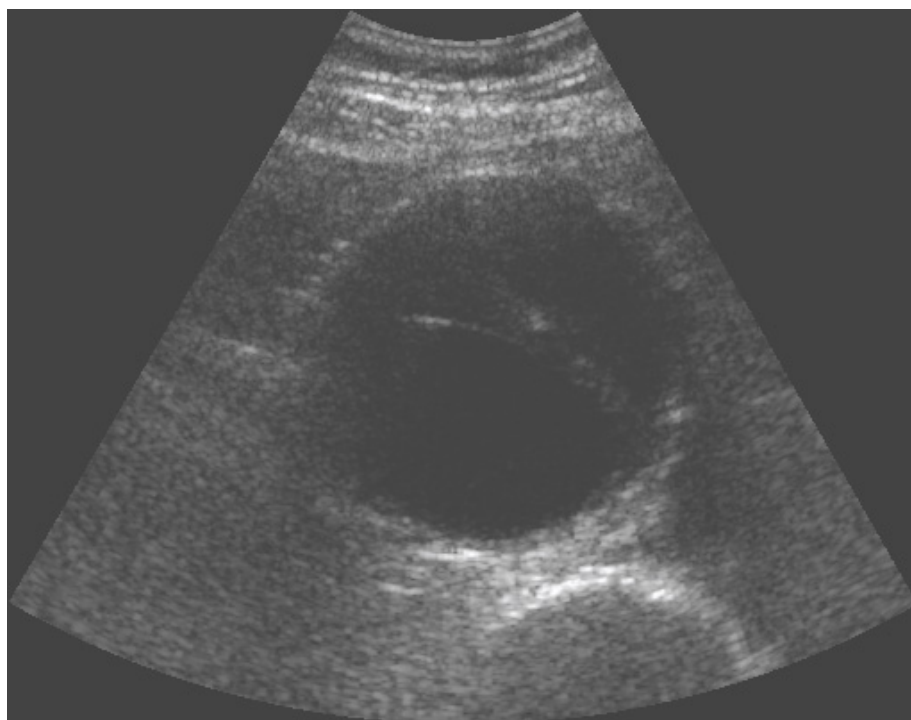
Figur 296 – Wavelet parametre og testresultater



Figur 297 – Skalogramer og energinivå

9.10 Ultralydbilde nr. 2

Her har vi skutt en strek på venstre side av blodåren.



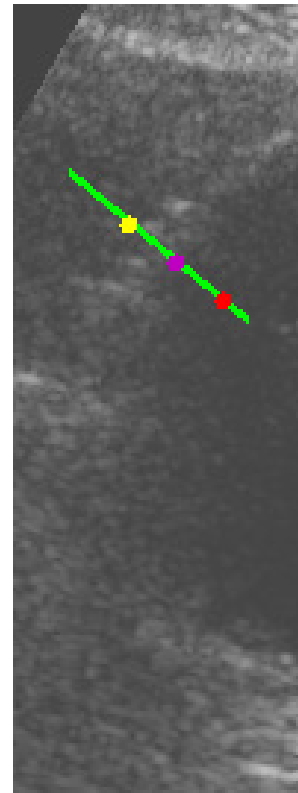
Figur 298 - Ultralydbilde

9.10.1 Haar

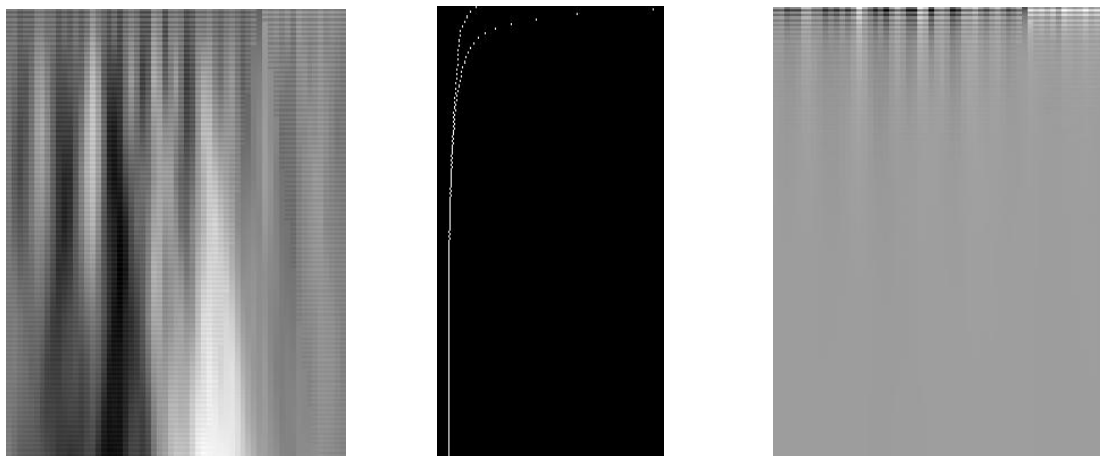
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	3

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	202,164	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	170,138	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	202,164	Mørkeblå
Minimumsverdi i rad med høyest energi	170,138	Lyseblå
Maksimal kolonneverdi	186,151	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	170,138	Lys lilla



Figur 299 – Wavelet parametre og testresultater



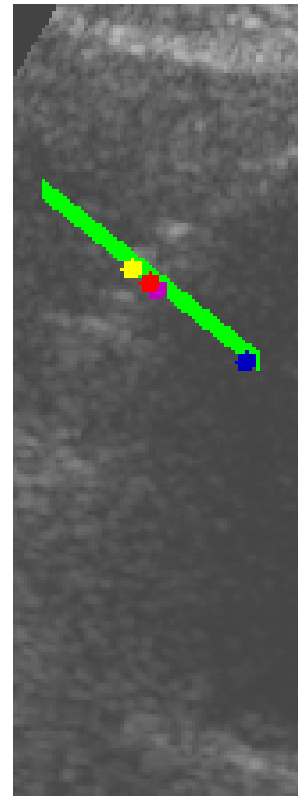
Figur 300 – Skalogramer og energinivå

9.10.2 Haar

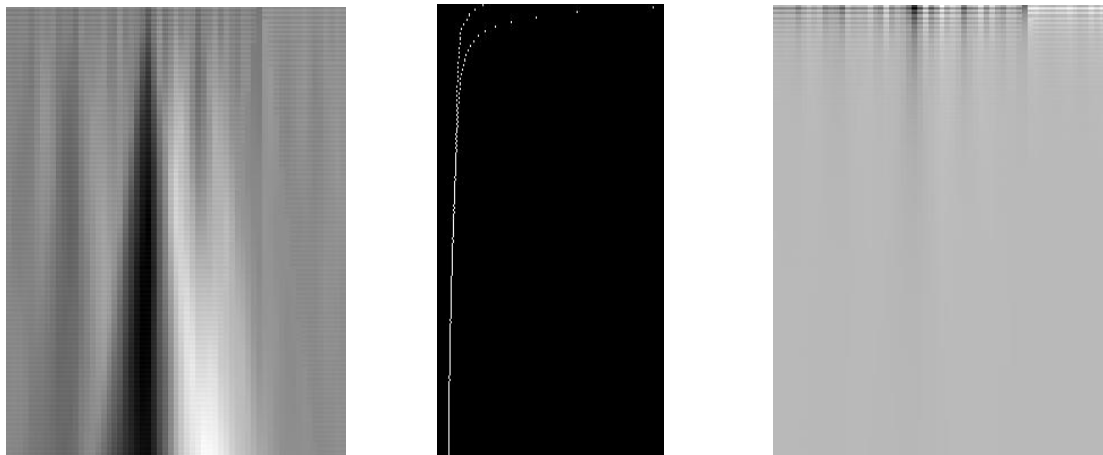
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	6

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	180,147	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	175,143	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	207,170	Mørkeblå
Minimumsverdi i rad med høyest energi	175,143	Lyseblå
Maksimal kolonneverdi	182,149	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	175,143	Lys lilla



Figur 301 – Wavelet parametre og testresultater



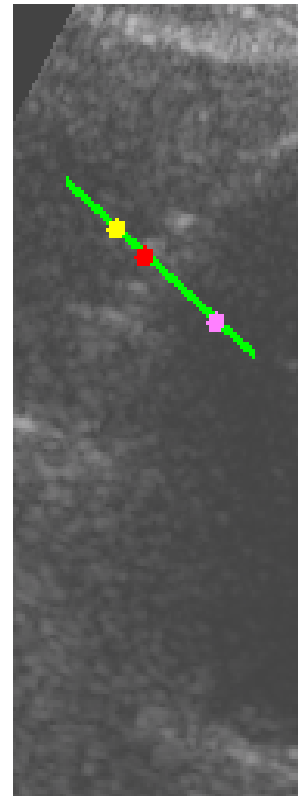
Figur 302 – Skalogramer og energinivå

9.10.3 Mexican Hat

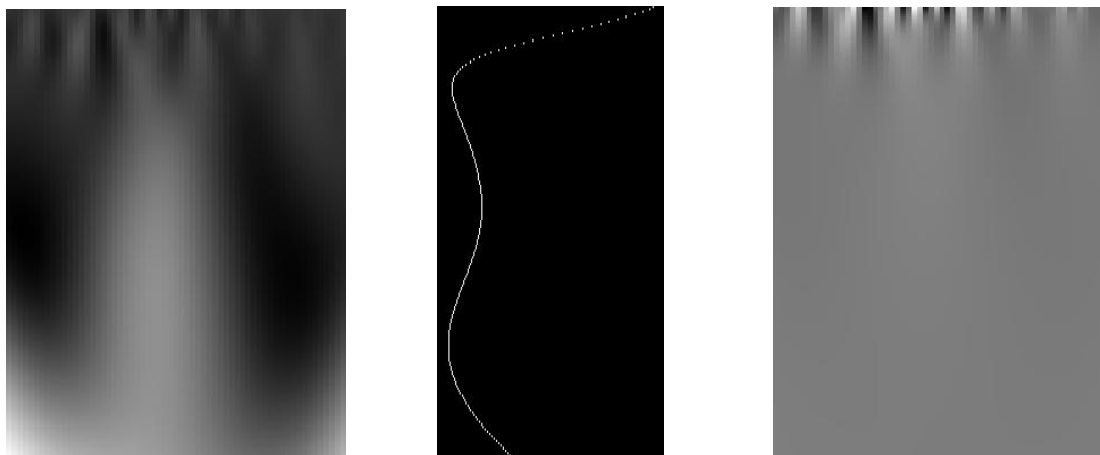
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	3

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	175,142	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	166,134	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	175,142	Mørkeblå
Minimumsverdi i rad med høyest energi	166,134	Lyseblå
Maksimal kolonneverdi	175,142	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	198,161	Lys lilla



Figur 303 – Wavelet parametre og testresultater



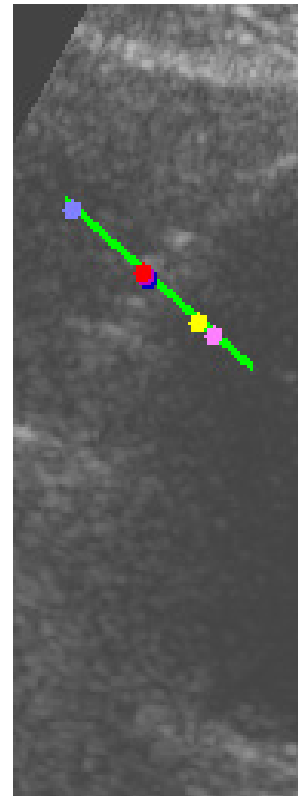
Figur 304 – Skalogramer og energinivå

9.10.4 Mexican Hat

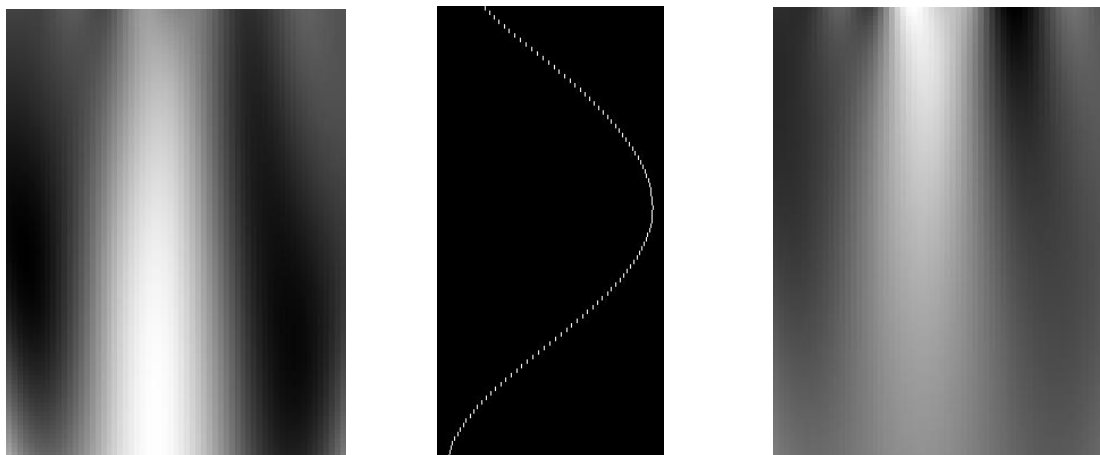
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	5	0,1	15
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	3

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	175,142	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	193,157	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	177,152	Mørkeblå
Minimumsverdi i rad med høyest energi	152,123	Lyseblå
Maksimal kolonneverdi	176,143	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	198,161	Lys lilla



Figur 305 – Wavelet parametre og testresultater



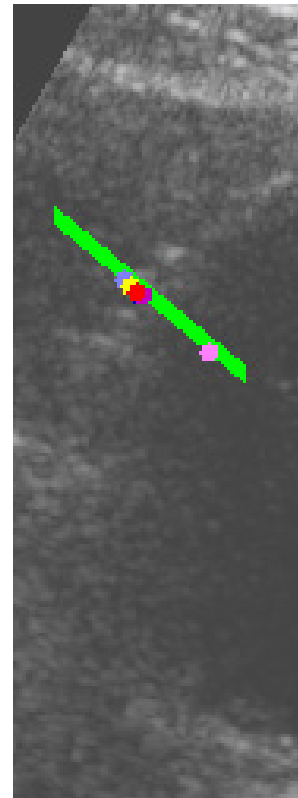
Figur 306 – Skalogramer og energinivå

9.10.5 Mexican Hat

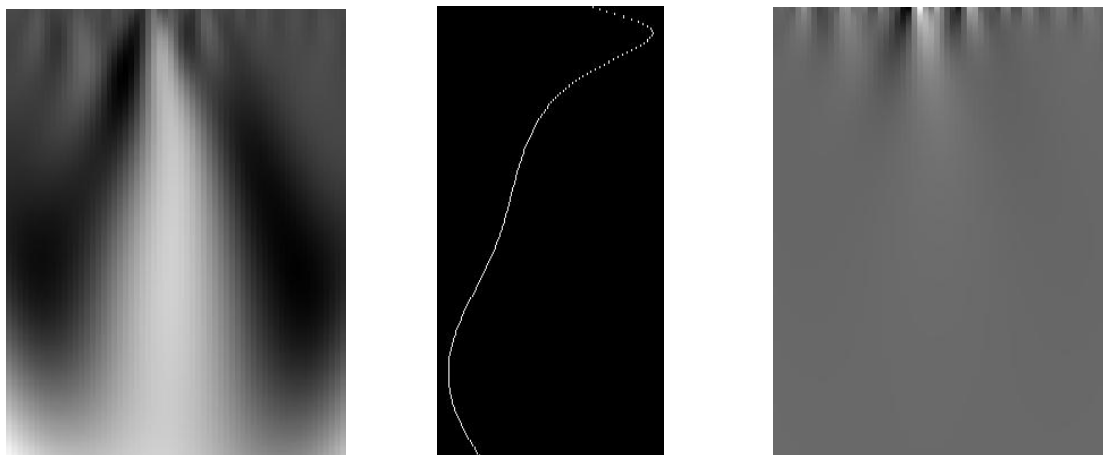
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	6

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	176,144	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	174,142	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	177,145	Mørkeblå
Minimumsverdi i rad med høyest energi	172,140	Lyseblå
Maksimal kolonneverdi	178,145	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	199,163	Lys lilla



Figur 307 – Wavelet parametre og testresultater



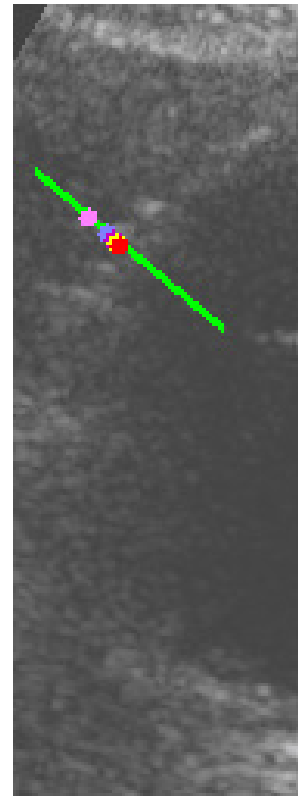
Figur 308 – Skalogramer og energinivå

9.10.6 Moret

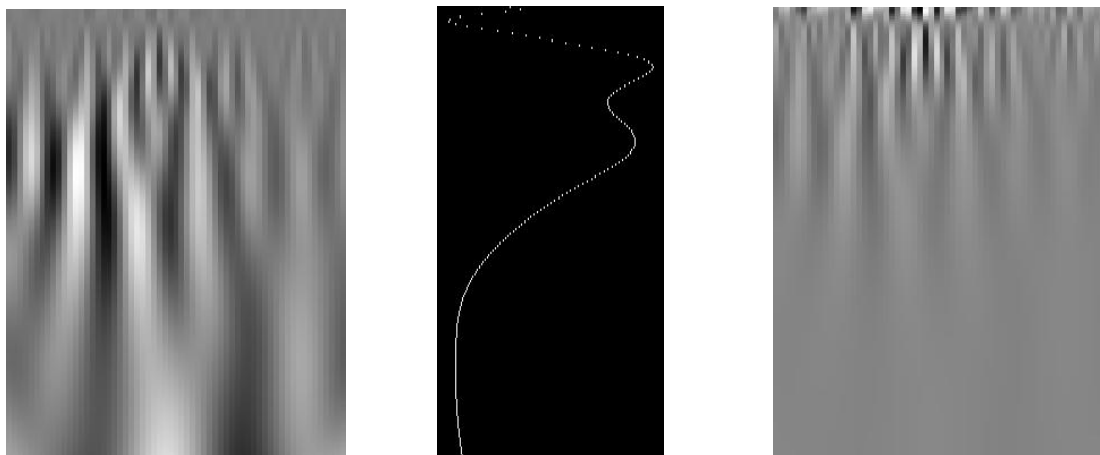
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	3

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	177,144	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	176,143	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	175,142	Mørkeblå
Minimumsverdi i rad med høyest energi	173,140	Lyseblå
Maksimal kolonneverdi	175,142	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	167,135	Lys lilla



Figur 309 – Wavelet parametre og testresultater



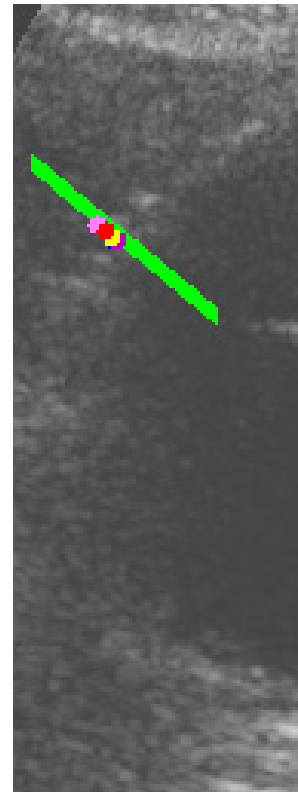
Figur 310 – Skalogramer og energinivå

9.10.7 Morlet

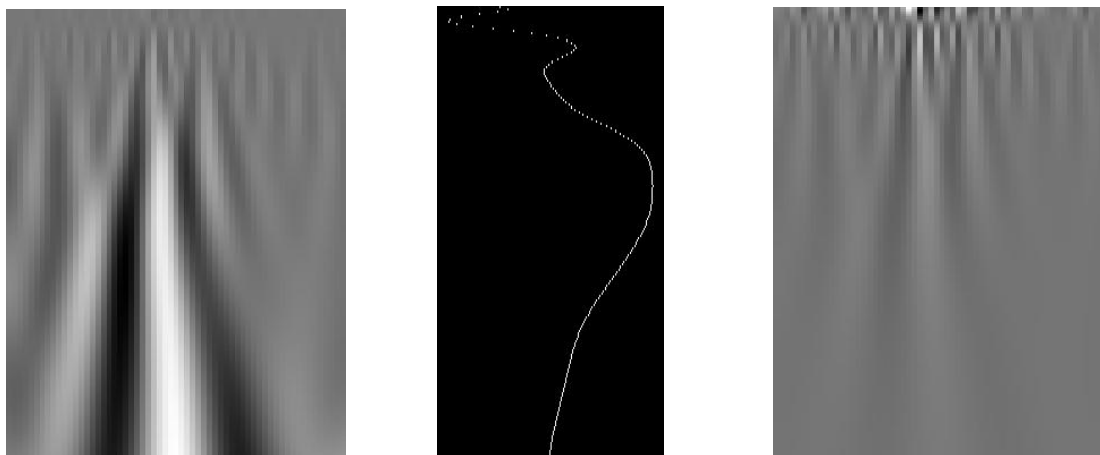
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	6

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	174,142	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	176,144	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	177,145	Mørkeblå
Minimumsverdi i rad med høyest energi	172,140	Lyseblå
Maksimal kolonneverdi	178,145	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	171,140	Lys lilla



Figur 311 – Wavelet parametre og testresultater



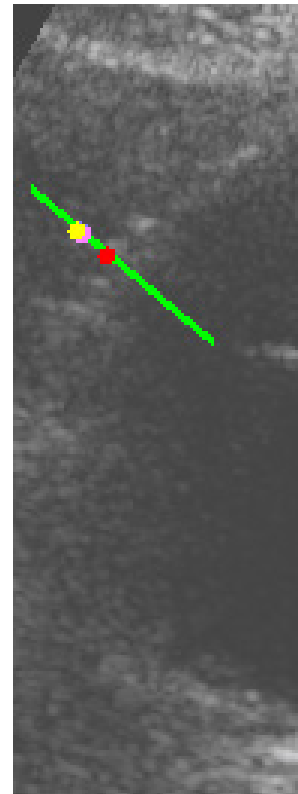
Figur 312 – Skalogramer og energinivå

9.10.8 Daubechies D4

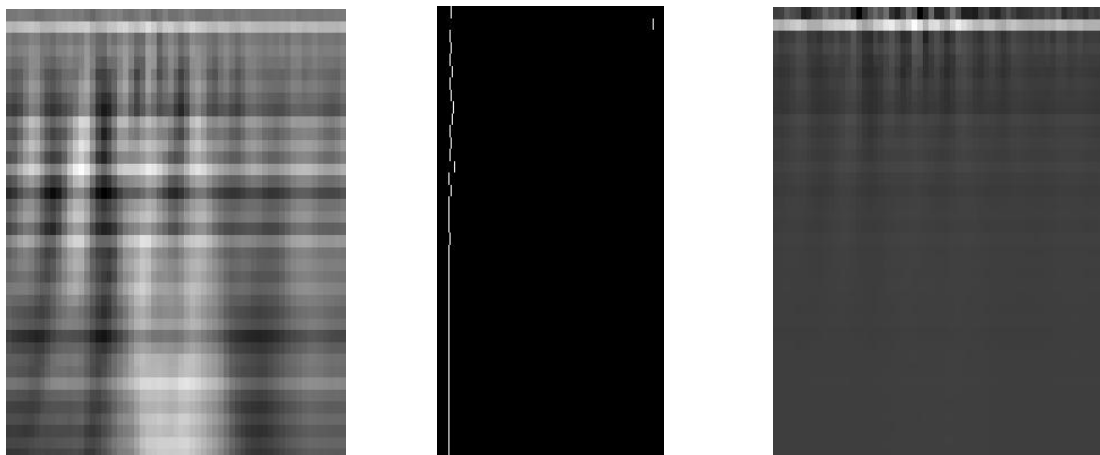
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	3

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	175,142	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	165,134	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	175,142	Mørkeblå
Minimumsverdi i rad med høyest energi	166,134	Lyseblå
Maksimal kolonneverdi	175,142	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	167,135	Lys lilla



Figur 313 – Wavelet parametre og testresultater



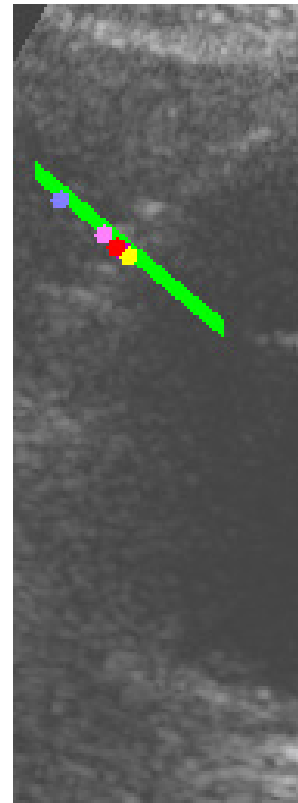
Figur 314 – Skalogramer og energinivå

9.10.9 Daubechies D4

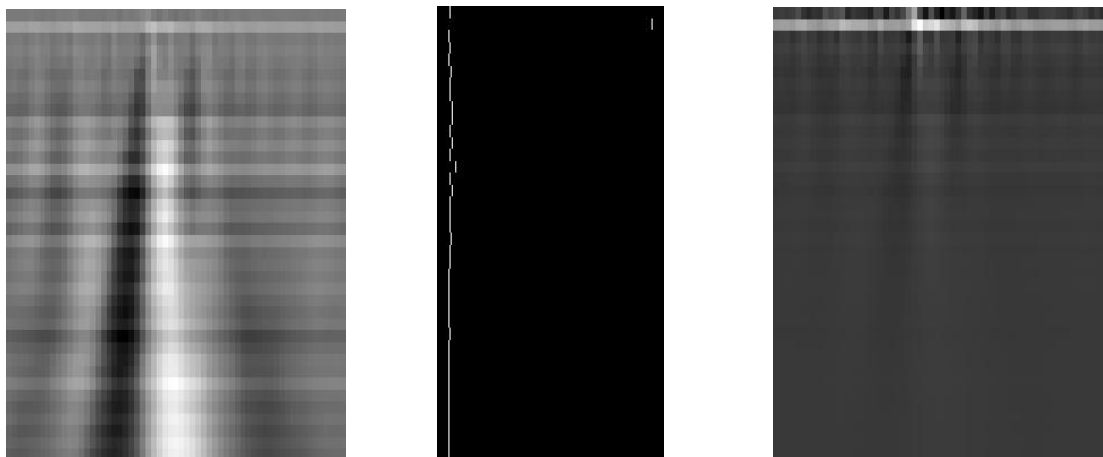
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,1	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,1	

	Verdi
Stråletykkelse	6

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	176,144	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	180,147	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	176,144	Mørkeblå
Minimumsverdi i rad med høyest energi	158,129	Lyseblå
Maksimal kolonneverdi	178,145	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	172,140	Lys lilla



Figur 315 – Wavelet parametre og testresultater



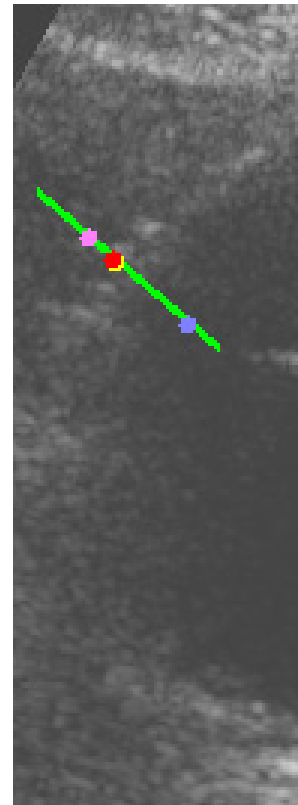
Figur 316 – Skalogramer og energinivå

9.10.10 Kubisk Spline

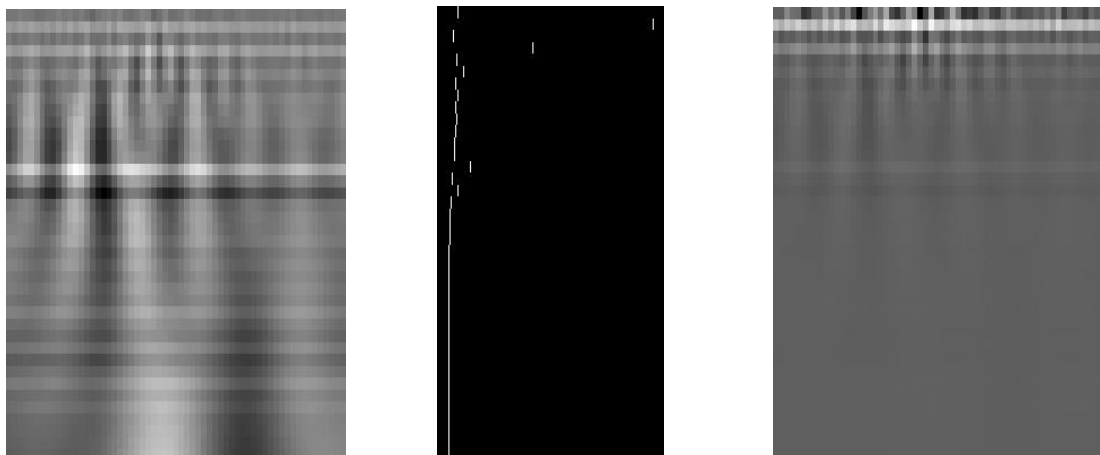
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	3

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	175,142	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	176,143	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	175,142	Mørkeblå
Minimumsverdi i rad med høyest energi	200,163	Lyseblå
Maksimal kolonneverdi	175,142	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	167,135	Lys lilla



Figur 317 – Wavelet parametre og testresultater



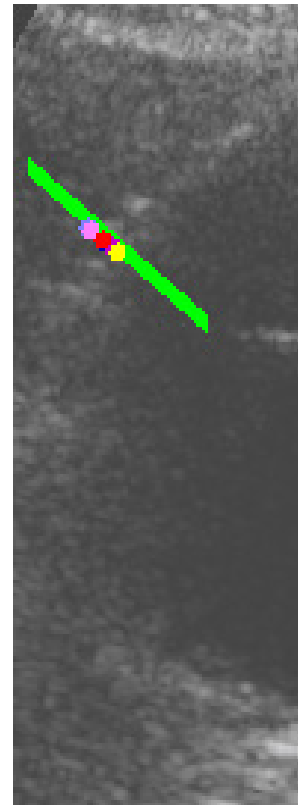
Figur 318 – Skalogramer og energinivå

9.10.11 Kubisk Spline

	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	6

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	175,143	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	180,147	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	176,144	Mørkeblå
Minimumsverdi i rad med høyest energi	170,139	Lyseblå
Maksimal kolonneverdi	178,145	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	171,140	Lys lilla



Figur 319 – Wavelet parametre og testresultater



Figur 320 – Skalogramer og energinivå

9.10.12 Kvadratisk Spline

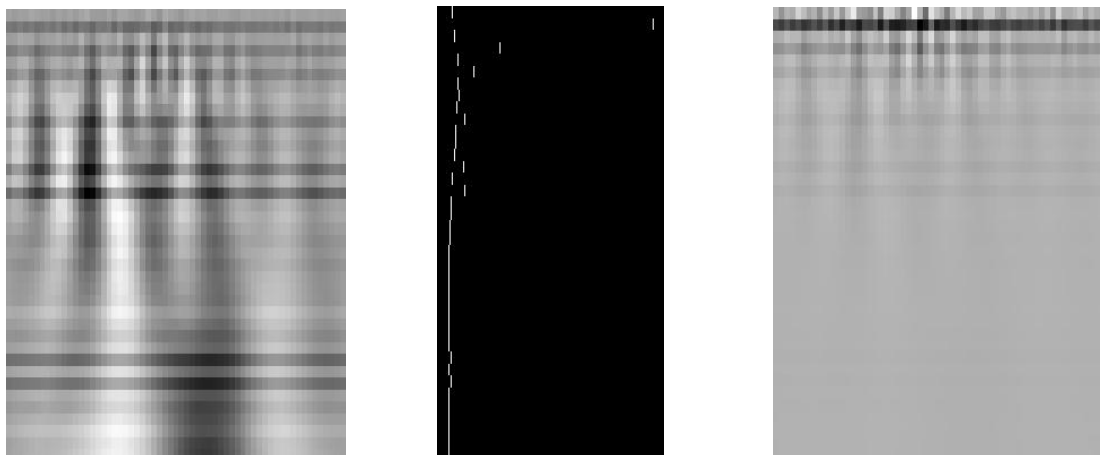
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	3

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	175,142	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	176,143	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	178,144	Mørkeblå
Minimumsverdi i rad med høyest energi	176,143	Lyseblå
Maksimal kolonneverdi	169,137	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	186,151	Lys lilla



Figur 321 – Wavelet parametre og testresultater



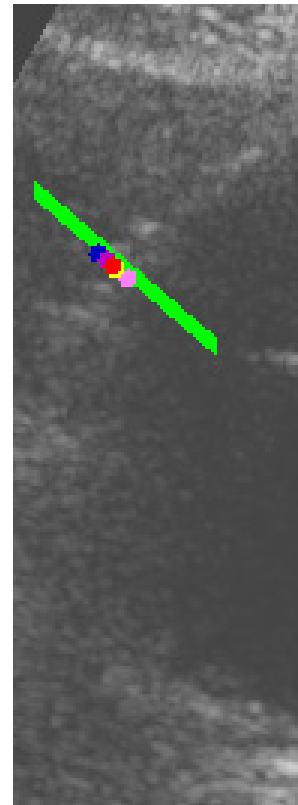
Figur 322 – Skalogramer og energinivå

9.10.13 Kvadratisk Spline

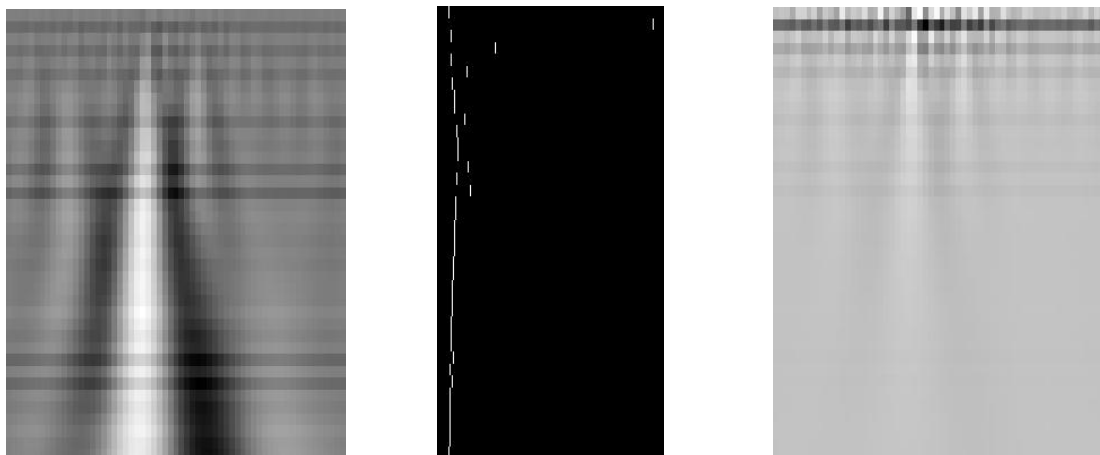
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	6

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	176,144	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	177,145	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	171,140	Mørkeblå
Minimumsverdi i rad med høyest energi	177,145	Lyseblå
Maksimal kolonneverdi	174,142	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	181,148	Lys lilla



Figur 323 – Wavelet parametre og testresultater



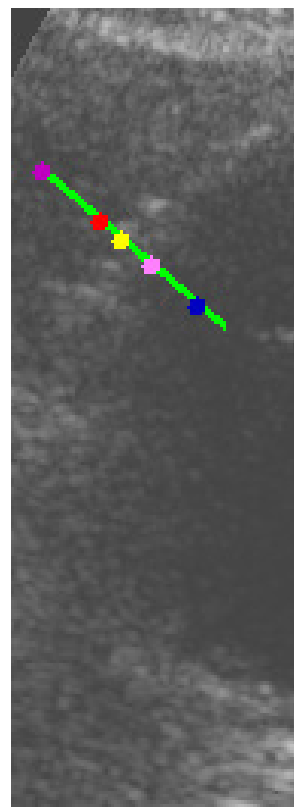
Figur 324 – Skalogramer og energinivå

9.10.14 Stykkevis lineær Spline

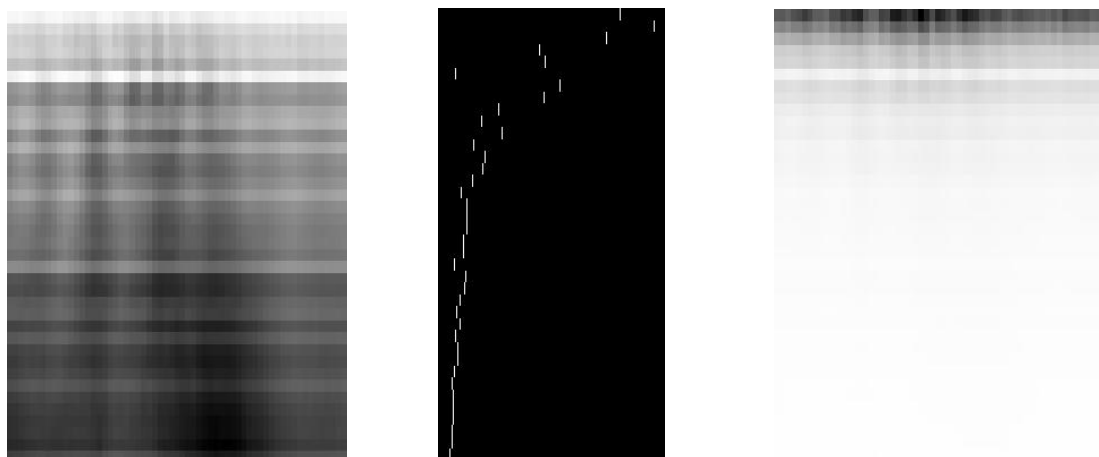
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	3

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	169,137	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	176,143	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	201,164	Mørkeblå
Minimumsverdi i rad med høyest energi	176,143	Lyseblå
Maksimal kolonneverdi	150,121	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	186,151	Lys lilla



Figur 325 – Wavelet parametre og testresultater



Figur 326 – Skalogramer og energinivå

9.10.15 Stykkevis lineær Spline

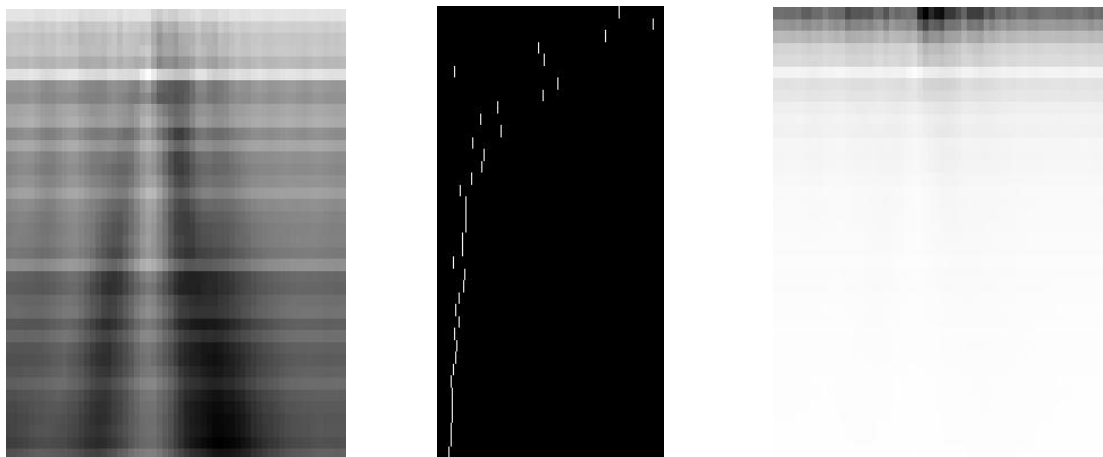
	Fra	Steg	Til
Skaleringsverdier	1	0,5	20
Forflytning		1	
Summeringsverdier		0,5	

	Verdi
Stråletykkelse	6

	x-verdi	Farge
Maksimalverdi i $1/a^2$ skalogram	175,143	Rød
Minimumsverdi i $1/a^2$ skalogram	177,145	Gul
Maksimalverdi i rad med høyest energi	159,129	Mørkeblå
Minimumsverdi i rad med høyest energi	177,145	Lyseblå
Maksimal kolonneverdi	150,122	Mørk lilla
Minimum kolonneverdi	182,149	Lys lilla



Figur 327 – Wavelet parametre og testresultater



Figur 328 – Skalogramer og energinivå

10 Drøfting av resultater

Alle data om testene står i hver enkelt test. Det er imidlertid ikke lett å sammenlikne resultatene. Vi har derfor prøvd å sammenfatte likheter i et kapittel som vi har tatt med som vedlegg. Dette er gjort for og lette drøftingen, men er ikke en nødvendig del av forsøkene. Resultatene er kun presentert på en annen måte.

Vi vil her diskutere de ulike egenskapene til waveletene på syntetiske bilder og ultralydbilder. Syntetiske bilder har vi delt opp i tre kategorier. Her sier vi først litt om resultatene på bilder med en kant uten bredde, for så å diskutere en kant med tykkelse. Etter dette ser vi på resultatene på en kunstig fremstilt blodåre. Til slutt prøver vi å trekke frem hvilke wavelets som egner seg best på syntetiske bilder.

På ultralydbilder har vi to testkanter vi bruker. Vi kjører stålen over disse kantene med forskjellig tykkelse for alle wavelets. Ved å se på disse testene prøver vi å kommentere hvilke wavelets som egner seg best.

10.1 Syntetisk bilder

Vi har kjørt testene våre på tre forskjellige typer kanter/streker. Testene ble kjørt med ulik grad av støy. Kanten i bilde 1, 2 og 3 er en tynn strek med bredde på en pixel. Streken har pixelverdi på 255 (hvit) mens bakgrunnen har verdien 0 (sort). Støyen har tilfeldig intensitet i intervallet 0-255. Kanten i bilde 4, 5 og 6 har tykkelse. I bilde 4 og 5 har kanten pixelverdi på 255, mens pixelverdien på kanten i bilde 6 er 128. Støyen i bilde 6 kan derfor gjøre seg mer gjeldende enn kanten. I bilde 7 og 8 er kanten diffus med ulik grad av støy på hver side av kanten.

10.1.1 Kanter med bredde på en pixel

Dette gjelder bilde 1,2 og 3. Bilde 1 har ingen støy. Alle waveletene fant kanten med alle maks verdiene. Dette var ikke overraskende da alle skalogrammene viser en sterk og skarp kant. På bilde 2 er det lagt til noe støy av varierende intensitet. Også her treffer de fleste waveletene på maksverdiene, men grunnen til dette er den høye intensiteten til streken i forhold til støyen. Vi kunne vært uheldige og truffet en eller flere støypixler med samme intensitet som kanten. Da ville det ha vært tilfeldig hvor kanttreffene hadde inntruffet avhengig av hvilke pixelverdier som ligger i umiddelbar nærhet til kanten og de høye

støyverdiene. Bilde 3 inneholder høy tetthet av støy. Her ser vi mye av det samme som i bilde 2 med unntak av stråle med tykkelse fem som ga veldig dårlige resultater i bilde 3. Dette skyldes tilfeldigheter. Vi har vært uheldige med strålen vi har skutt i denne testen. Støypixlene gjorde så store utslag at kanten ikke ble funnet. Ved å skyte fra en annen posisjon med samme stråletykkelse oppnådde vi gode resultater.

Disse tilfeldighetene forsvinner når kanten som skal detekteres har en viss bredde. Det er ikke før kanten har bredde at egenskapene for wavelets til bruk i kantdeteksjon kommer fram. Skaleringsegenskapen til waveleten vil ikke ha noen betydning når det kommer til gjenfinning av kanter uten bredde. Kanten vil ikke gjøre seg mer gjeldende enn støy med samme intensitet, det er derfor umulig å skille disse fra hverandre. En gruppe pixler med forholdsvis lav intensitet kan gjøre seg mer gjeldende ved høye skaleringer enn en enkelt pixel med høyeste intensitet og på den måten fremstå som en kant.

Det hadde derfor liten mening å gå noe videre med testing av bilder med kanter med tykkelse på en pixel. Dette er heller ikke noen reell kant. En blodårekant vil alltid ha en bredde større enn en pixel.

10.1.2 Skarpe kanter med bredde

Dette gjelder bildene 4, 5 og 6. Når kanten har en viss bredde er det tre ting vi ser etter når det kommer til hvilke treffpunkter de ulike waveletene har. Treffpunktene kan treffe inne i kanten eller starten/slutten av den. Det er starten og slutten av en kant vi er på utkikk etter.

På våre bilder hvor kanten har høy intensitet finner Haar, Daubechies, Kubisk-, Kvadratisk- og Stykkevis lineær Spline begge kantene. Mange av treffpunktene for de ulike waveletene treffer på samme sted over flere tester, enten start-, inne i- eller slutten av kanten. Dette er noe det er verdt å se nærmere på.

Hvis vi ser på skalogrammet til Haar for bilde 4 og 5, ser vi kanten tydelig markert. Starten på kanten markeres med lave waveletkoeffisienter, mens slutten markeres med høye. Vi ser også at treffpunktene markerer kantene. Vi ser det samme mønsteret for Daubechies og splines (høye og lave verdier kan være byttet).

Morlet og Mexican Hat treffer inne i kanten med mørk lilla punktet. Ved høye skaleringer ser vi tydelig at kanten gjør seg gjeldende som en høy rygg. Ved å summere kolonneverdiene kan vi utnytte dette. Noe overraskende ser vi at det mørkeblå punktet ikke treffer inne i kanten for Mexican hat. Dette kommer av at den mest energirike raden opptrer ved den laveste skaleringen. Ved å studere energinivåene ser vi at det finnes en topp ved en høyere skalering. For at dette energinivået skal bli det gjeldende slik at det mørkeblå punktet har noen mening for Mexican Hat må skaleingen begynne på et høyere nivå. Da ville det mørkeblå punktet ha markert inne i streken. Hvis man ser på figur 141 vil man se dette. Mexican Hat og Morlet er imidlertid ikke egnet til og finne starten eller slutten på kanten. Disse treffer kun inne i kanten.

I bilde 6 er det vanskelig og finne kanten. Her har støyen en høyere intensitet enn kanten. Vi har derfor valgt og bare teste med tykkelse ti. Raske forsøk med mindre tykkelse viste dårlige resultater. Vi ser at Daubechies er den waveleten som gir best resultat. Den har to treffpunkter inne i streken, mens den treffer den venstre kanten med det røde punktet. Mexican Hat vil heller ikke ha noe problem med og finne kanten hvis vi starter på en høyere skalering slik som forklart i forrige avsnitt. Den vi imidlertid ha problemer med og finne starten og slutten på kanten.

De waveletene som peker seg ut etter tester på skarpe kanter med bredde er: Haar, Mexican Hat og Daubechies. Hvis man bare skal se på det vanskeligste bildet hvor kanten har lav intensitet er det Mexican Hat og Daubechies som peker seg ut.

10.1.3 Diffus kant med bredde

I bildene 7 og 8 har vi mange punkter som angir relativt gode treff. Det er imidlertid ikke mange som klarer og angi starten og slutten på kanten etter de krav vi satt for å kvalifisere til kanttreff. Vi var relativt strenge da vi satt kravene til kanttreff, så andre vil kanskje regne enkelte treff som bedre enn det vi gjorde.

Det første vi ser etter forsøkene på disse bildene er at det er nødvendig med en viss tykkelse på strålen. Når vi kjører tykkelse på strålen treffer alle waveletene med en eller flere verdier inne i kanten. I forsøkene på denne kanten er det vanskelig og trekke frem noen wavelets som er bedre enn andre. Vi kan imidlertid si at Kubisk-, Kvadratisk- og Stykkevis lineær Spline er

litt dårligere enn de andre, mens Mexican Hat ser litt bedre ut ved stråletykkelse en. Ved å øke stråletykkelsen viskes disse forskjellene mer eller mindre ut.

10.2 Konklusjon på syntetiske bilder

Wavelettransformasjoner kjørt over streker uten tykkelse ser vi liten hensikt i. Her får vi ikke brukt egenskapene til wavelettransformasjoner. Dette kommer først til nytte når vi får tykkelse på kanten og dermed utslag ved høyere skaleringer, noe som ikke vil intrefte ved støy.

På streker med skarpe kanter ser vi at det er Mexican Hat og Daubechies som peker seg ut som de beste. Haar er også veldig bra hvis ikke støyen har høyere intensitet enn kanten. Mexican Hat finner stort sett alltid kanten, men ikke starten og slutten med våre kantdeteksjonsalgoritmer. Daubechies er litt bedre på dette. Hvis ikke kanten er for vanskelig finner den ofte start og sluttverdier på kanten med de røde og gule punktene.

På diffuse kanter er det nødvendig med en viss stråletykkelse for og få gode resultater. Treffene er imidlertid stort sett bare inne i kanten, ikke starten eller slutten. Denne kanten er så vanskelig at vi skulle hatt langt flere tester.

Etter testene på syntetiske bilder kan vi si at waveletene kjørt med våre verdier og kantgjenfinningsalgoritmer ikke finner start og slutt punkt på en kant godt nok. Hvis vi ser på skalogrammene ser vi ofte kantene der, så andre metoder for og finne kanter vil sansynligvis gi bedre treff.

10.3 Ultralydbilder

De to kantene vi tester mot på ultralydbilder er veldig ulike. Kanten i bilde 1 er veldig uskarp, og skiller seg lite utifra støyen rundt. I bilde 2 har vi en skarpere kant. Vi ser at alle waveletene treffer mye bedre på denne kanten. For og avgjøre hvilke punkter som treffer har vi brukt skjønn på hver test.

De to waveletene som peker seg ut i positiv retning på begge kantene er Mexican Hat og Morlet. På bilde 2 finner begge kanten med nesten alle punktene. Mexican Hat trenger imidlertid og gå fra en høyere skalering for og få optimale treff. Ved at skaleringen går fra 1

gir maks energigrad ved den høyeste skaleringen. Vi får en topp lengre nede, men denne blir ikke maks, og derfor ikke tatt hensyn til. Ved å begynne på en høyere skalering blir denne toppen maks energigrad. Da finner Mexican Hat kanten mye bedre.

Hvis vi ser på hvilke treffpunkter som er best for alle waveletene er dette uten tvil mørk lilla. Dette er det punktet vi selv implementerte ved observasjoner i skalogrammene.

På grunn av tidsnød hadde vi ikke mulighet for å gjøre flere tester på ultralydbilder. For å kunne dokumentere hver wavelets egenskaper i ultralydbilder trenger vi et større sammenlikningsgrunnlag.

11 Konklusjon

I løpet av prosjektperioden har vi rukket og bli godt kjent med temaet wavelets. Dette er imidlertid et så stort tema at mye arbeid gjenstår. Wavelet prosjekter kommer til og bli kjørt i flere år fremover på HiA. Mye av arbeidet vårt er lagt opp slik at det lar seg videreføre av andre.

Det vi har brukt mest tid på i prosjektperioden er Java applikasjonen. Utvikling er en tidkrevende prosess. Vi mener at vi har laget en prototype som egner seg godt for testing av ulike wavelets på bilder. Waveletkoeffisientene er godt fremstilt i skalogrammer i både to- og tre dimensjoner. Kanten funnet av de ulike waveletene er tydelig markert i originalbildet. Det største problemet med applikasjonen per nå er algoritmene for og finne kanter. Kantene er veldig ofte synlige i skalogrammene, men ikke funnet av programmet. Applikasjonen lar seg lett videreføre av andre som vil ta prosjektet et steg videre.

Vi kunne tenke oss å gjøre flere tester av de ulike waveletene på bilder. Vi føler ikke at vi har nok tester til og trekke bastante konklusjoner. Imidlertid er det noen wavelets som ser mer lovende ut enn andre. På ultralydbilder er det Mexican Hat og Morlet som ser ut til og treffe kanten oftest. Når det kommer til og finne tykkelse er det andre som egner seg bedre. Dette viser vi på testene av skarpe kanter med tykkelse. Her er Haar og Daubechies de beste.

Vi har utviklet en applikasjon som fungerer bra til testing av ulike wavelets på bilder. En naturlig videreføring av prosjektet vil være og implementere andre/flere metoder for og finne kanter. Flere tester må også utføres for å trekke klare konklusjoner om de ulike waveletenes egenskaper innen kantdeteksjon av blodårer i ultralydbilder.

12 Litteraturliste

12.1 Bøker

- [1] C. Sidney Burrus, Ramesh A. Gopinath and Haitao Guo: Introduction to Wavelets and Wavelet Transforms A Primer, Prentice Hall 1998
- [2] M. Holschneider: Wavelets An Analysis Tool, Oxford Science Publications 1995
- [3] Yves Meyer: Wavelets and Operators, Cambridge University Press 1992
- [4] D.E Newland: An introduction to random vibrations, spectral & wavelet analysis – Third edition, Longman 1994
- [5] Nick Efford: Digital Image Processing – a practical introduction using Java, Addison Wesley 2000
- [6] Cay S. Horstmann, Gary Cornell: Core Java 2 Volume I – Fundamentals, Sun Microsystems Press 1999
- [7] David C. Lay: Linear algebra and its applications – Second edition, Addison Wesley 1998

12.2 Internettssider

- [8] An Introduction to Wavelets
<http://www.amara.com/IEEEwave/IEEEwavelet.html>
- [9] The Wavelet Tutorial
<http://engineering.rowan.edu/~polikar/WAVELETS/WTtutorial.html>
- [10] Java Advanced Imaging API
<http://java.sun.com/products/java-media/jai/>
- [11] Java 3D API
<http://java.sun.com/products/java-media/3D/>
- [12] Per Henrik Hogstads Waveletside
<http://fag.grm.hia.no/fagstoff/perhh/htm/fag/matem/datwww/wavelet.htm>
- [13] Borland JBuilder 8
http://www.borland.com/products/downloads/download_jbuilder.html

13 Vedlegg

13.1 Sammenlikning av resultater

Vi vil her presentere testresultatene ved og sammenlikne hver wavelet og se hvor bra disse treffer ved å øke støyen i bildene. Vi vil her vise til de forskjellige treffpunktene med deres respektive farger. Makimal- og minimalverdien i skalogrammet hvor vi har dividert waveletkoeffisientene med kvadratet av a er markert med henholdsvis rødt og gult. Mørkeblå prikk markerer posisjonen til høyeste waveletkoeffisient ved den skaleringen som gir høyest energi. Mørk lilla og lys lilla markerer den b -verdien hvor summen over alle skaleringer er henholdsvis høyest og lavest.

13.1.1 Bilde nr. 1

I dette bildet var kanten veldig sterk med en bredde på en pixel. Vi ser her at alle waveletene finner kanten med rød, mørkeblå og mørk lilla prikk. Disse er alle maksimalverdier, og vi ventet at disse skulle finne en så markert kant.

13.1.2 Bilde nr. 2 og bilde nr. 3

Vi velger og sammenligne disse bildene. Bildene er de samme, men med ulik grad av støy.

Stråle med tykkelse på en pixel

- Ved bruk av Haar fant waveleten kanten i begge bildene med de samme punktene. Det var gul, mørkeblå og lys lilla.
- Ved bruk av Mexican Hat ser vi også at de fleste treffpunktene er like. Det er kun det gule treffet som faller bort i bilde 3 i forhold til bilde 2. Felles treffpunkter er rød, mørkeblå og mørk lilla.
- Morlet treffer godt med med gul, mørkeblå og mørk lilla i begge bildene. I bilde 2 treffer den også med rød.
- Daubechies finner kanten i begge bildene med rød, mørkeblå og mørk lilla.
- Kubisk Spline har akkurat de samme treffpunktene i begge bildene som Daubechies.
- Kvadratisk Spline treffer med gul og mørk lilla i begge bildene.
- Stykkevis lineær Spline treffer med mørk lilla i begge bildene. Den treffer også med rød i bilde 3, men ikke i bilde 2.

Stråle med tykkelse på fem pixler

I bilde 2 treffer alle waveletene med rød, gul, mørkeblå og mørk lilla. Det er kun Haar som også treffer med lys lilla. I bilde 3 er det kun med Mexican Hat, Kubisk-, Kvadratisk- og Stykkevis lineær Spline vi treffer kanten. Mexican hat treffer med gul og mørk lilla, mens Kubisk Spline treffer kun med mørk lilla. Kvadratisk- og Stykkevis lineær Spline treffer begge med gul og mørkeblå.

Stråle med tykkelse på ti pixler

Her er det kun kjørt tester på bilde 3. I bilde 2 traff vi veldig godt med tykkelse på fem pixler, og derfor kjørte vi ikke tester med tykkelse på ti pixler. I bilde 3 treffer alle waveletene med unntak av Mexican Hat med rød, gul og mørkeblå. Mexican Hat treffer ikke med noen av punktene.

13.1.3 Bilde nr. 4

Her er det tykkelse på streken. Vi skiller mellom kanttreff og treff mellom kantene (treffer streken, men ikke kanten). Det er ingen støy i bildet.

- Haar treffer kanten mot venstre med gul og lys lilla, mens den treffer kanten mot høyre med rød, mørkeblå og mørk lilla.
- Mexican Hat treffer inne i streken med mørkeblå og mørk lilla. Den treffer streken mot høyre med rød.
- Morlet treffer inne i streken med gul, mørkeblå og mørk lilla.
- Daubechies treffer inne i streken med mørkeblå og mørk lilla. Den treffer kanten mot venstre med rød og kanten mot høyre med gul.
- Kubisk Spline treffer inne i streken med mørk lilla, mens den treffer kanten mot venstre med rød og kanten mot høyre med gul og mørkeblå.
- Kvadratisk Spline treffer venstre kant med gul og mørk lilla og høyre kant med rød, mørkeblå og lys lilla.
- Stykkevis lineær Spline treffer venstre kant med rød og mørk lilla, mens den treffer høyre kant med gul, mørkeblå og lys lilla.

13.1.4 Bilde nr. 5 og bilde nr. 6

Bilde 5 ble kjørt med stråletykkelse på 1 og 5 for alle wavelets. For Mexcian Hat kjørte vi i tillegg tykkelse 10. På bilde 6 kjørte vi kun stråletykkelse 10. Dette fordi kanten er vanskelig og finne og vi har støy med høyere intensitet enn kanten.

- Haar treffer venstre kant med gul og lys lilla, mens den treffer høyre kant med rød, mørkeblå og mørk lilla ved stråletykkelse på 1 på bilde nr. 5. Den traff med alle punktene, derfor kjørte vi ikke tester med stråletykkelse større enn 1 på bilde 5. På bilde 6 traff Haar høyre kant med lys lilla.
- Mexican Hat treffer inne i streken med mørk lilla for stråletykkelse 1, 5 og 10 i bilde 5 og for stråletykkelse 10 i bilde 6. I tillegg treffer Mexican Hat venstre kant med gul i bilde 6.
- Morlet treffer inne i streken med mørk lilla for stråletykkelse 1 og 5 i bilde 5. I bilde 6 treffer Morlet venstre kant med rød og mørkeblå.
- Daubechies treffer inn i streken med mørkeblå og mørk lilla, mens den treffer venstre kant med rød og høyre kant med gul for stråletykkelse 1 og 5 i bilde 5. Daubechies treffer inne i streken med mørkeblå og mørk lilla og venstre kant med rød i bilde 6.
- Kubisk Spline treffer inne i streken med mørk lilla og venstre kant med rød for stråletykkelse 1 og 5 i bilde 5. I tillegg høyre kant med gul for tykkelse 5. Treffer ingenting i bilde 6.
- Kvadratisk Spline treffer venstre kant med gul og mørk lilla og høyre kant med lys lilla for stråletykkelse 1 og 5 i bilde 5. Kvadratisk Spline treffer i tillegg venstre kant med mørkeblå for tykkelse 1. I bilde 6 treffer mørk lilla venstre kant.
- Stykkevis lineær Spline treffer høyre kant med gul og lys lilla for stråletykkelse 1 og 5 i bilde 5. Den treffer venstre kant med mørkeblå med tykkelse 1. Med tykkelse 10 treffer rød og mørk lilla venstre kant og høyre kant med mørkeblå, mens den treffer ingenting i bilde 6.

13.1.5 Bilde nr. 7 og bilde nr. 8

Bilde nr. 7 og nr. 8 er det syntetiske blodårebildet vi laget. Med lite støy inne i blodåren og mye på utsiden. Vi har kjørt med stråletykkelse 1, 5 og 10. Bildene er like, men vi har skutt stråler fra to forskjellige plasser i bildet.

Stråle med tykkelse på en pixel

- Haar treffer inne i streken med rød på begge bildene. På bilde 7 traff mørk lilla inne i streken. I bilde 8 traff gul og mørkeblå inne i streken, mens lys lilla traff venstre kant.
- Mexican Hat traff inne i streken med rød og mørk lilla på begge bildene. I bilde 7 traff gul og mørkeblå høyre kant, mens i bilde 8 traff gul og mørkeblå inne i streken.

- Morlet traff inne i streken med gul og mørkeblå på begge bildene. På bilde 7 traff rød og lys lilla høyre kant. På bilde 8 traff rød inne i streken.
- Daubechies traff inne i streken med mørk lilla på begge bildene. På bilde 7 traff gul høyre kant. På bilde 8 traff rød, gul og mørkeblå inne i streken.
- Kubisk Spline traff inne i streken med gul på begge bildene. På bilde 7 traff lys lilla høyre kant. På bilde 8 traff rød og mørkeblå inne i streken.
- Kvadratisk Spline traff inne i streken med gul, mørkeblå og lys lilla på begge bildene. På bilde 8 traff rød inne i streken, mens mørk lilla traff venstre kant.
- Stykkevis lineær Spline traff inne i streken med gul, mørkeblå og lys lilla på begge bildene. På bilde 8 traff rød inne i strekene.

Stråle med tykkelse på fem pixler

- Haar traff inne i streken med rød, mørkeblå og mørk lilla, mens den traff venstre kant med lys lilla på begge bildene. På bilde 8 traff gul inne i streken.
- Mexican Hat traff inne i streken med rød og mørk lilla på begge bildene. På bilde 8 traff gul og mørkeblå inne i streken.
- Morlet traff inne i streken med mørk lilla på begge bildene. På bilde 7 traff lys lilla inne i streken. På bilde 8 traff rød, gul og mørkeblå inne i streken.
- Daubechies traff inne i streken med mørk lilla på begge bildene. På bilde 7 traff rød venstre kant, mens gul traff inne i streken. På bilde 8 traff rød og mørkeblå inne i streken, gul traff høyre kant og lys lilla venstre kant.
- Kubisk Spline traff inne i streken med mørk lilla på begge bildene. På bilde 7 traff lys lilla inne i streken. På bilde 8 traff rød og mørkeblå inne i streken, mens gul traff høyre kant.
- Kvadratisk Spline traff inne i streken med lys lilla og ventre kant med mørk lilla i begge bildene. På bilde 8 traff rød, gul og mørkeblå inne i streken.
- Stykkevis lineær Spline traff inne i streken med gul, mørkeblå og lys lilla på begge bildene. På bilde 8 traff rød inne i streken.

Stråle med tykkelse på ti pixler

- Haar traff inne i streken med rød, gul, mørkeblå og mørk lilla, mens den traff venstre kant med lys lilla i begge bildene.
- Mexican Hat traff inne i kanten med mørkeblå og mørk lilla på begge bildene. På bilde 7 traff gul inne i streken. På bilde 8 traff rød inne i streken.
- Morlet traff inne i kanten med rød, gul og mørkeblå på begge bildene. På bilde 7 traff lys lilla inne i streken. På bilde 8 traff mørk lilla inne i streken.
- Daubechies traff inne i streken med rød, gul, mørkeblå og mørk lilla i begge bildene. På bilde 7 traff lys lilla venstre kant.
- Kubisk Spline traff inne i streken med rød, gul, mørkeblå og mørk lilla i begge bildene. På bilde 7 traff lys lilla inne i streken.
- Kvadratisk Spline traff inne i streken med rød, gul og mørkeblå og mørk lilla traff venstre kant i begge bildene. På bilde 7 traff lys lilla inne i streken. På bilde 8 traff lys lilla høyre kant.
- Stykkevis lineær Spline traff inne i streken med rød, gul, mørkeblå og lys lilla, mens mørk lilla traff venstre kant i begge bildene.

13.1.6 Ultralydbildene

Her har vi kjørt tester på to kanter. Vi har brukt stråletykkelse på 3 og 6. Vi tar ikke med tykkelse en på grunn av til dels dårlige erfaringer med dette i ”vanskelige” syntetiske bilder. Ultralydbilde 1 har ikke noe tydelig kant. Her har støyen utenfor blodåren tilnærmet samme intensitet utenfor kanten. På ultralydbilde 2 har vi en mer tydelig kant. Vi ser da at vi treffer mer nøyaktig med flere punkter.

Her er også det lyseblå punktet riktig implementert. Derfor er også det med her. For hver test har vi vurdert hvor bra hvert enkelt punkt treffer kanten. Disse vurderingene er:

Stråle med tykkelse på tre pixler

- Haar treffer med lys lilla i begge ultralydbildene. I bilde 2 treffer den også med gul, lyseblå og mørk lilla.
- Mexican Hat treffer med mørk lilla i begge ultralydbildene, mens den treffer også med rød og mørkeblå i bilde 2.
- Morlet treffer med mørk lilla i begge ultralydbildene, mens den treffer også med rød, gul, mørkeblå og lyseblå i bilde 2.

- Daubechies treffer med rød, mørkeblå og mørk lilla i begge bildene.
- Kubisk Spline treffer med rød, mørkeblå og mørk lilla i begge bildene, mens den treffer også med gul i ultralydbilde 2.
- Kvadratisk Spline har ingen felles treffpunkter i bildene. Den treffer med rød, gul, mørkeblå, lyseblå og lys lilla i bilde 2 mens den treffer med mørk lilla i bilde 1.
- Stykkevis lineær Spline treffer med gul og lyseblå i begge bildene. I tillegg treffer den med rød i bilde 1 og lys lilla i bilde 2.

Stråle med tykkelse på seks pixler

- Haar treffer med lys lilla i begge bildene. I bilde 2 treffer den også med rød, gul, lyseblå og mørk lilla.
- Mexican Hat treffer med mørk lilla i begge bildene. I bilde 2 treffer Mexican Hat også med rød, gul, mørkeblå og lyseblå. Ved og forandre skaleringen i bilde 1 for tykkelse 6 ser vi at vi får flere felles treffpunkter. Da treffer rød, gul, mørkeblå og mørk lilla kanten i begge bildene.
- Morlet treffer kanten i begge bildene med mørkeblå, mørk lilla og lys lilla. Den treffer også kanten med rød, gul og lyseblå i bilde 2.
- Daubechies treffer med mørk lilla og lys lilla i begge bildene. I bilde 2 treffer vi også med rød, gul og mørkeblå.
- Kubisk Spline treffer med mørk lilla og lys lilla i begge bildene. I bilde 2 treffer den også med rød, gul, mørkeblå og lyseblå.
- Kvadratisk Spline treffer med mørk lilla i begge bildene. I bilde 2 treffer vi også med også med rød, gul, mørkeblå, lyseblå og lys lilla.
- Stykkevis lineær Spline treffer med rød, gul og lyseblå i begge bildene. I bilde 2 treffer den også med lys lilla.