

Resultater fra fullskala verifikasjon av globale laster ved måling av kontrollert endring av stille vannsmoment

Alf Egil Jensen, Hans Erling Torkildsen, Christian Wines, Geir Sagvolden og Sigurd Løvseth

Forsvarets forskningsinstitutt (FFI)

03.06.2008

FFI-rapport 2008/01115

1063

P: ISBN 978-82-464-1385-3

F: ISBN 978-82-464-1386-0

Emneord

Stille vannsmoment

Skrogovervåkning

Oksøy/Alta

KNM Otra

Globale laster

Godkjent av

Hans Erling Torkildsen

Prosjektleder

Nils Størkersen

Forskningsjef

John-Mikal Størdal

Avdelingssjef

Sammendrag

Minesveiperen KNM Otra i Okseøy/Alta-klassen er utstyrt med et skrogovervåkningssystem. Systemet måler bl.a. globale skrogbelastninger og viser disse på skjermer på bro og i maskinkontrollrom. Hensikten med systemet er at mannskapet skal kunne operere fartøyet i forhold til et seilingsreglement som beskriver tillatte belastningsnivåer. For å beregne de globale lastene beregnes det en transferfunksjon basert på målte tøyingsverdier fra et sett av strekksensorer montert midtskips og elementmetodeberegninger fra en global skrogmodell. Den viktigste enkeltlasten er globalt vertikalt bøyemoment (VBM).

Tidligere elementmetodeberegninger viser at lokale skrogskader er knyttet til gitte belastningsnivåer og skrogovervåkningssystemet gir en alarm dersom det er fare for at målt VBM overstiger den teoretiske skadeterskelen. For at skrogovervåkningssystemet skal kunne brukes på denne måten er det viktig at metoden for å beregne belastningen er verifisert, og riktig kalibrert. Hensikten med den gjennomførte testen var å verifisere transferfunksjonen, og eventuelt gi et grunnlag for å kalibrer denne.

Det er utført ballasteringstester på KNM Otra med det til hensikt å sammenligne målt VBM fra skrogovervåkningssystemet mot et analytisk beregnet moment, basert på dypgangsavlesninger, skrogstatikk og influenslinjeteori. Ved å holde trim og deplasement konstant fra en lastkonisjon til en annen er det kun omfordeling av ballast (14666kg) som gir opphav til endring i vertikalt midtskipsmoment.

En sammenligning mellom målt og beregnet VBM viser i utgangspunktet at beregningene gir en momentverdi ca. 30% over den målte verdien. En nærmere analyse av enkeltdata fra testen, samt beregningsmetodene som ligger til grunn for den analytiske momentverdien, viser at ca. 20% av avviket kan skyldes følgende faktorer:

- For lette ballastsekker relativt til signifikant respons fra skroget.
- Nullpunktsdrift i signalene pga soloppvarming. (Da man kun er interessert i dynamiske verdier under seiling, vil nullpunktsdrift bli filtrert bort av systemet under normal drift).
- Nøyaktigheten til plasseringen av dypgangsmerkene på skroget og avlesningsfeil pga krusninger. Testen krever nøyaktige avlesninger på millimeternivå.
- Mangler i hydrostatikkmodellen til FLO. (Inkl. ikke effekten av gondolen)
- Influenslinjeteorien inkl. ikke effekten av rotasjon av vannlinjeareal i tankene og forskyvning av flotasjonscenteret.

Ballasteringstesten som ble utført indikerer at den målte VBM verdien er ca. 10% lavere enn den teoretiske verdien. Det bør derfor vurderes om inputverdiene til skrogovervåkningssystemet bør økes tilsvarende eller om man skal legge inn en ekstra sikkerhetsmargin ved bestemmelse av alarmgrenser.

English summary

A prototype of a hull monitoring system is installed on the MCMV RNoN Otra, a vessel in the Oksøy/Alta-class. The system measures the global loads applied to the hull beam and the results are displayed at the ship bridge and in the machine control room. The main purpose with the system is to help the crew operating the vessel in accordance with the sailing regulation and the given allowable loading limits. The global loads are calculated from a transfer function using input from a network of strain sensors attached to the hull and extensive FE analyses performed on a global FE model. The most important load component is the vertical hull girder bending moment (VBM).

Previous element analyses have shown that initiations of local structural damages are related to certain load levels, and the hull monitoring system gives a warning when the VBM exceeds the theoretical damage threshold. In order to use the hull monitoring system as intended it is important that the load calculations performed by the hull monitoring system are verified, and if necessary, correctly calibrated. Thus, the main objective with the full scale test was to try to verify the transfer function, and if possible provide background information to be able to calibrate the transfer function.

Ballast testing has been done with the RNoN Otra, where the objective was to compare the VBM measured by the hull monitoring system with an analytical VBM based on reading of the draught marks, hydrostatics, and the influence line method. If the trim and displacement are kept constant it is only the redistribution in ballast (14666kg) from one condition to another that results in a modified VBM.

A comparison between the measured and the analytical VBM showed that the calculated value exceeds the measured VBM by approx. 30%. A close examination of the measured data from the test and the analytical calculation methods showed that approx. 20% of the error was caused by:

- To light weighted ballast bags in comparison to a significant response from the craft.
- Zero level drift due to solar heating. (During operation it is only the dynamic values which are of interest. The zero drift will be removed by a high-pass filter).
- Divergence in the localization of draught marks and ripples in water surface. The ballast test requires accuracy in millimeter scale.
- Incomplete hydrostatic model. (The influence of the gondola is not included in the model).
- The influence line method does not include the effect of free surface rotation in the tanks and changes to the centre of floatation.

The ballast testing indicates that the measured VBM value is approx. 10% lower than the analytical value. Thus, one should consider increasing the input in the hull monitoring values by 10%, or add an extra 10% safety margin to the alarm limits.

Innhold

	Innledning	7
1	Kort beskrivelse av testen og organiseringen av rapporten	7
2	Lasting av fartøyet	8
2.1	1. Lastkondisjon	8
2.2	2. Lastkondisjon	9
3	Måling av skroglast	9
3.1	Temperatur	9
3.2	Måling av strekk	12
3.3	Måling av moment	13
3.4	Måleusikkerhet	15
3.5	Konklusjon	15
4	Avlesning av dypgangsmerker og trimvinkel	16
4.1	1. lastkondisjon	16
4.2	2. lastkondisjon	17
4.3	Endring i trimvinkel mellom 1. og 2. lastkondisjon	17
4.4	Konklusjon	17
5	Hydrostatikk	18
6	Teoretisk snittmoment	18
7	Konklusjon	20
	Appendix A Måling av strekk	21
	Appendix B Tidsserier som viser endring i målt moment og trim ved forflytning av vekter	24
B.1	Forflytning 1	25
B.2	Forflytning 2	26
B.3	Forflytning 3	27
B.4	Forflytning 4	28
B.5	Forflytning 5	29
B.6	Forflytning 6	30
B.7	Forflytning 7	31
B.8	Forflytning 8	32
B.9	Forflytning 9	33

B.10	Forflytning 10	34
B.11	Forflytning 11	35
B.12	Forflytning 12	36
B.13	Forflytning 13	37
B.14	Forflytning 14	38
B.15	Forflytning 15	39
B.16	Forflytning 16	40
B.17	Forflytning 17	41
B.18	Forflytning 18	42
B.19	Forflytning 19	43
B.20	Forflytning 20	44
B.21	Forflytning 21	45
B.22	Forflytning 22	46
B.23	Forflytning 23	47
B.24	Forflytning 24	48
B.25	Forflytning 25	49
B.26	Forflytning 26	50
B.27	Forflytning 27	51
B.28	Forflytning 28	52
B.29	Forflytning 29	53
Appendix C Endring i moment		54
C.1	Endring i moment ved avlastning av midtskips veker	54
C.2	Endring i moment ved pålasting av fordekket	55
C.3	Endring i moment ved pålasting av akterdekket	56
Appendix D Instillinger FBGA-analysator		57
Appendix E Referansegitter og offsetverdi		58
References		60

Innledning

I forbindelse med installasjon av et skrogovervåkningssystem på Oksøy/Alta-klassen skal de matematiske modellene som ligger til grunn for estimering av de globale lastene, samt installasjonens nøyaktighet som sådan, evalueres. De matematiske modellene baserer seg på tøyningsmålinger fra et sett av fiberoptiske tøyningssensorer, montert på skroget innside, og sammenhenger mellom tøyninger og enhetslaster beregnet fra en FE modell av skroget. Hensikten med å gjennomføre testen er å kunne bestemme størrelsen på eventuelle avvik mellom estimerte global last og den kjente påførte lasten.

For å redusere mulige feilkilder knyttet til representerbare grensebetingelser har man valgt å gjøre målinger med fartøyet av løft. Ved denne kondisjonen har skroget et relativt mye større vannlinjeareal, sammenlignet med på løft kondisjonen. Endringer i vannlinjearealet på grunn av krumning av skrogbjelken vil da minimeres. Videre ble ballast påført i form av sandsekker slik måte at man oppnår momentlikevekt om langskips (LCF) og tverrskips flotasjonspunkt. På denne måten holdes trimvinkelen og deplasementet konstant. Det er kun effekten av å flytte lastene som skal måles. M.a.o., man søker kun å endre lastfordelingen og ikke oppdriftsfordelingen, noe som resulterer i at alle tøynings- og lastendringer kun vil være forårsaket av de omfordelte lastene. De påførte lastene med tilhørende grensebetingelser vil da kunne representeres vha av analytiske beregninger.

Under gjennomføringen av testene viste det seg imidlertid at langskips flotasjonspunkt ikke lå der man først hadde antatt. Dette medført at man ikke greide å unngå at trimvinkel endret seg. Med en endret trimvinkel kan ikke de forenklete analytiske løsningene benyttes, da disse forutsetter at trimvinkelen forblir uendret. I stedet må man benytte influenslinjeteori, som tar hensyn til endret trim og deplasement for relativt små laster sammenlignet med deplasementet. Det som influenslinjeteorien ikke fanger opp er endring i tankenes vannlinjearealtrehetsmoment pga av endret trim.

En systematisk gjennomgang av målingene vil kunne avdekke hva årsakene til eventuelle avvik mellom påført og estimert last kan være. Deretter vil man kunne kalibrere verdiene fra skrogovervåkningssystemet slik at de estimerte verdiene blir så korrekte som mulig.

Denne rapporten presenterer testresultatene samt en beskrivelse av gjennomføringen av selve fullskalatesten.

1 Kort beskrivelse av testen og organiseringen av rapporten

Testen ble gjennomført ved å laste fartøyet med to ulike lastkondisjoner. Ved første lastkondisjon ble fartøyet ballastert med sandsekker og lodd, heretter referert til som sandsekker, plassert ved midtskips. Ved andre lastkondisjon ble sandsekkene flyttet fra midtskips til baugen og

akterenden. For hver av de to lastkondisjonene ble trimvinkelen målt ved å lese av dypgangsmarkene og fartøyets treghets navigasjonssystem (INS).

Under testdagen ble fartøyet utsatt for betydelig soloppvarming. Dette resulterte i at de lokale spenningene i skrogpanelene endret seg i tiden mellom de to lastkondisjonene. For å kunne skille på effekten av soloppvarming og effekten av pålastingen av sandsekkene ble derfor endringen i vertikalt bøyemoment (VBM) registrert hver gang en sandsekk ble flyttet.

I kapittel 2 beskrives det hvordan fartøyet ble ballasert med sandsekker. Kapittel 3 beskriver hvordan endringen i det vertikale bøyemomentet ble målt og problemstillingene som dukket opp på grunn av solooppvarmingen. Resultatene fra avlesingen av fartøyets dypgangsmark og målingen av trimvinkelen er gjengitt i kapittel 4. De hydrostatiske verdiene som testen bygger på er gjengitt i kapittel 5, mens den teoretisk beregnede differansen i VBM mellom 1. og 2. lastkondisjon samt diskusjon vedrørende sammenlikning med målt moment er beskrevet i kapittel 6. En sammenfattende konklusjon på testen er gitt i kapittel 7.

2 Lasting av fartøyet

2.1 1. Lastkondisjon

Ved første lastkondisjon ble fartøyet belastet med sandsekker jevnt fordelt rundt tverrskott 28600mm fra fremre perpendikulær (FP). Fordelingen av sandsekkene på styrbord og babord side er gitt i Tabell 2.1.

Styrbord		Babord	
SekkNr	Vekt (Kg):	SekkNr	Vekt (Kg):
I	1124	VI	1644
II	1285	VII	1248
III	1162	VIII	1216
IV	1226	IX	1240
V	738	Lodd 4	988
Lodd 1	995	Lodd 5	1050
Lodd 2	250		
Lodd 3	500		
SUM	7280	SUM	7386

Tabell 2.1 Fordeling av vekter ved 28600mm fra FP ved 1. lastkondisjon.

2.2 2. Lastkondisjon

Ved andre lastkondisjon ble sandsekkene flyttet fra midtskips og plassert over tverrskott 48075mm fra FP ved akterenden og over tverrskott 4900mm fra FP ved baugen.

Sekk Nr. V ble først plassert på akterdekket. Da det viste seg at fartøyet ikke hadde samme trimvinkelen ved andre lastkondisjon som etter den første ble sekken flyttet fram til fordekket for å redusere endringen i trimvinkelen.

Den endelige fordelingen av sandsekken mellom fordekket og akterdekket for lastkondisjon 2 er gjengitt i Tabell 2.2.

Fordekk (4900mm fra FP)		Akteerdekk (48075mm fra FP)	
SekkNr	Vekt (Kg)	SekkNr	Vekt (Kg)
I	1124	III	1162
II	1285	VI	1644
IV	1226	VII	1248
V	738	VIII	1216
Lodd 3	500	IX	1240
		Lodd 1	995
		Lodd 2	250
		Lodd 4	988
		Lodd 5	1050
SUM	4873	SUM	9793

Tabell 2.2 Fordeling av sekker ved 2. lastkondisjon. Sekkene ved fordekket ble plassert over 4900mm fra FP mens sekken ved akterdekket ble plassert over 48075mm fra FP.

3 Måling av skroglast

3.1 Temperatur

Skroglasten på KNM Otra blir målt ved hjelp av fiberoptiske sensorer som er limt til skutesidens innside. Sensorene reflekterer lys med bølgelengde ($\lambda + \Delta\lambda$) der $\Delta\lambda$ er avhenging av temperaturen og tøyningen i sensoren. Forholdet mellom tøying og bølgelengde er gitt ved:

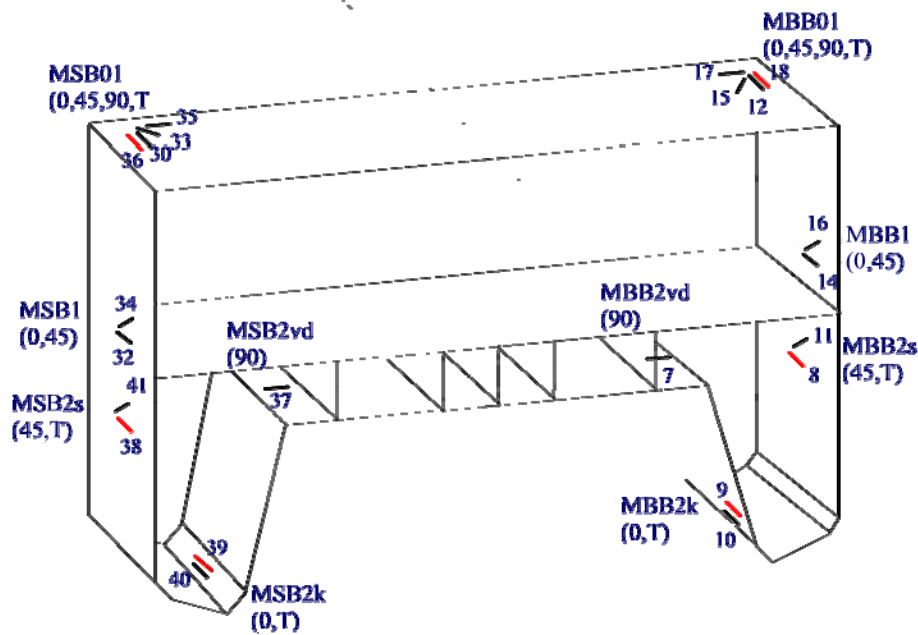
$$\frac{\Delta\lambda_{\epsilon}}{\Delta\epsilon} = 1,2 \left[\frac{pm}{\mu\epsilon} \right] \quad 2.1$$

Forholdet mellom temperatur og bølgelengde er gitt ved:

$$\frac{\Delta\lambda_T}{\Delta T} = 10 \left[\frac{pm}{^{\circ}C} \right] \quad 2.2$$

Likning 2.1 og 2.2 viser at en temperaturendring på 1 grad celsius gir den samme endringen i reflektert bølgelengde som en endring i strekket tilsvarende 10 $\mu\epsilon$.

For å kunne måle det statiske strekket til sensorene blir den målte bølgelengden til alle sensorene kompensert for temperaturdrift.. Temperaturdriften måles vha egne fibersensor som er strekkisolert. Figuren under viser plasseringen av strekk og temperatursensorene. I Tabell 3.1 er det listet hvilke temperatursensor som brukes til å kompensere de ulike strekksensorene.

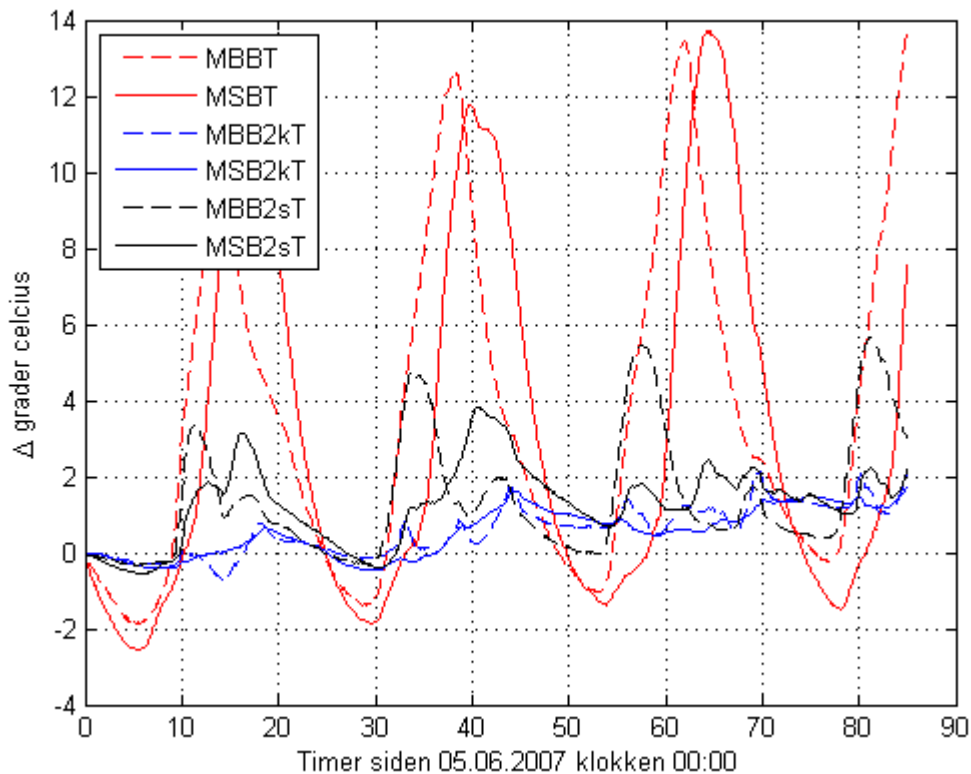


Figur 3.1 Strekk og temperatursensorer på KNM Otra er plassert i et tverrsnitt av fartøyet 20 meter fra FP. Temperatursensorene er røde og strekksensorene er svarte.

Strekkssensor	Temperatursensor for kompensering
MBB01 0	MBB01 T
MBB01 45	MBB01 T
MBB01 90	MBB01 T
MBB1 0	MBB2s T
MBB1 45	MBB2s T
MBB2s 45	MBB2s T
MBB2k	MBB2k T
MBB2vd (Denne sensoren er ødelagt og inngår derfor ikke i bergningene)	MBB2k T
MSB01 0	MSB01 T
MSB01 45	MSB01 T
MSB01 90	MSB01 T
MSB1 0	MSB2s T
MSB1 45	MSB2s T
MSB2s 45	MSB2s T
MSB2k	MSB2kT
MSB2vd	MSB2kT

Tabell 3.1 Liste over hvilke temperatursensorer som brukes til å kompensere strekkssensorene for temperaturdrift

Figur 3.2 viser den målte temperaturen til de ulike temperatursensorene i perioden fra midnatt 05.06.2007 og gjennom hele testdagen 07.06.2007 og til kvelden 08.06.2007. Fra figuren er det tydelig at det er store forskjeller i temperaturen ved de ulike sensorplasseringene. Det er derfor viktig å kjenne til den nøyaktige temperaturen for hver sensorplassering for å kunne måle det statiske strekket.



Figur 3.2 Målt endring i temperatur i perioden fra 05.06 klokken 00:00 og fram til klokken 13:00 08.06.2007

Sensorplasseringene MBB1_0, MBB1_45, MSB1_0, MSB1_45, MSB2vd og MBB2vd har ikke egne temperatursensorer. Fra testens temperaturmålinger kan man anta at man ikke får tilstrekkelig godt estimat for temperaturen i MSB2vd og MBB2vd ved å anta den samme temperaturen som i henholdsvis MSB2kT og MBB2kT. Det samme gjelder for MSB1_0 og MSB1_45 samt MBB_0 og MBB_45 ved å bruke henholdsvis MSB01T og MBB01T.

Sensorene MBB1_0, MBB1_45, MSB1_0, MSB1_45, MSB2vd og MBB2vd er derfor ikke egnet for å måle statisk strekk på dager med soloppvarming.

3.2 Måling av strekk

Det statiske strekket ble målt med sensorene som har egen temperatursensor. Dvs MBB01(0,45,90), MBB2s45, MBB2k, MSB01(0,45,90), MSB2s45 og MSB2k.

Figurene i Appendix viser det statiske strekket for disse sensorene i perioden fra midnatt 05.06.2007 og gjennom hele testdagen 07.06.2007 og til kvelden 08.06.2007.

Fra figurene i Appendix A, ser man at MBB01_0 eksempelvis har en endring på $600 \mu\epsilon$ gjennom døgnet. I følge (1) tilsvarer dette effekten av $(600\mu\epsilon)/(115\mu\epsilon/Nm)=5 \text{ MNm}$ i VBM.

MBB01_90 har en endring på $1200 \mu\epsilon$ gjennom døgnet som tilsvarer effekten av $1200/46=26 \text{ MNm}$ i VBM eller $1200/60=20 \text{ MNm}$ i Torsjon.

Til sammenlikning skulle det under testene måles en total endring i det vertikale bøyemomentet på 1MNm over en tidsperiode på 2 timer, tilsvarende tiden det tok å flytte sandsekken fra 1. lastkondisjon til 2. lastkondisjon.

3.3 Måling av moment

På grunn av de lavfrekvente endringene i målt strekk forårsaket av soloppvarmingen er det ikke mulig å måle differansen i det vertikale bøyemomentet for de to lastkondisjonene ved hjelp av to enkle målinger foretatt rett etter at lastkondisjonene er oppnådd. For å komme rundt dette problemet ble i stedet endringen i VBM målt for hver sekkeforflytning. Summen av alle endringene vil da utgjøre det totale vertikale bøyemomentet..

Ved å beregne den totale endringen i VBM på denne måten trengte man ikke å kompensere strekksensorene for temperatur heller. Dette gjorde at man kunne bruke alle sensorene som er tegnet inn i Figur 3.1, med unntak av MBB2vd som var ødelagt, i beregningene(1).

I figurene i Appendix B er effekten på VBM vist for hver sekkeforflytning. Siden utslagene er små i forhold til støynivået er det tilpasset en rett linje til tiden rett før og rett etter hver forflytning. Sirklene som markerer endene på linjene er punktene hvor differansen for det vertikale bøyemomentet er beregnet ut fra.

Effekten av alle lastendringene på det vertikale bøyemomentet er gitt i I Tabell 3.2. Den totale differansen mellom 1. lastkondisjon og 2. lastkondisjon er altså ~ 0.660 MNm.

Dataene i tabellen er også illustrert i figurene Appendix C. Figurene viser tendensen i sammenhengen mellom vektene som blir forflyttet og det resulterende vertikale bøyemomentet.

Forflytnings.nr:	Sekk nr.	Løftet av dekket			Plassert på dekket			EFFEKT	Kommentar
		Vekt (Kg)	hh:mm	hh	Plassering	hh:mm	hh		
1	Lodd 1 + 2	1245	14:23	14.377	SB			13,953	
2	IV	1226	14:28	14.475	SB			23,187	
3	IV	1226	14:32	14.54	SB	14:30	14.498	BB fordekk	48,239
4	I	1124	14:32	14.54	SB	14:33	14.56	SB fordekk	14,975
5	I	1124	14:32	14.54	SB	14:33	14.56	SB fordekk	43,414
6	II	1285	14:37	14.61	SB	14:38	14.643	Midt fordekk	20,850
7	II	1285	14:37	14.61	SB	14:38	14.643	Midt fordekk	55,474
8	Lodd 3	500	14:42	14.698	SB	14:45	14.755	Midt fordekk	13,993
9	Lodd 3	500	14:42	14.698	SB	14:45	14.755	Midt fordekk	23,110
10	III	1162	14:51	14.855	SB			22,303	
11	V	738	14:54	14.90	SB			10,928	
12	Lodd 4	988	14:57	14.962	BB			15,076	
13	Lodd 5	1050	15:01	15.018	BB			27,119	
14			15:05	15.087	BB			24,161	
15	Sekkene:		15:12	15.20	BB			20,873	
16	—VI, VII,	5348	15:16	15.27	BB			18,450	
17	—VIII, IX		15:20	15.335	BB			19,475	
18	IX	1240				15:32	15.53	BB akter	24,156
19	VII	1248				15:35	15.578	BB akter	24,333
20	VIII	1216				15:37	15.615	BB akter	24,401
21	III	1162				15:40	15.67	SB akter	26,254
22	VI	1644				15:43	15.713	SB akter	28,941
23	V	738				15:45	15.745	SB akter	16,224
24	Lodd 5	1050				15:48	15.800	Midt akter	27,753
25	Lodd 2	250				15:50	15.832	Midt akter	12,276
26	Lodd 4	988				15:52	15.86	BB akter	21,619
27	Lodd 1	995				15:54	15.90	SB akter	20,639
28	V	738	16:17	16.29	SB akter			-13,982	Utgår
29	V	738				16:21	16.355	midt Baug	32,516
SUM:									658,5

Tabell 3.2 Endring i VBM ved sekkeforflytningene mellom 1. og 2. lastkondisjon. hh:mm = tid i timer: minutter, hh= tid i timer med tiendeler, SB : Styrbord, BB: Babord. Summen nederst i tabellen tar ikke med på og avlastingen av sekk V på akterdekket (forflyttingsnummer 23 og 28)

Tabell 3.3 viser summen av alle sekkeforflytningene forbundet med pålastingen av fordekket og akterdekket samt avlastingen fra midtskips.

	Akterdekket	#Forflytning	Fordekk	#Forflytning	Midtskips	#Forflytning
BMMålt V	24,156	18	48,239	3	13,953	1
	24,333	19	43,414	4	23,187	2
	24,401	20	55,474	7	14,975	4
	26,254	21	23,110	9	20,850	6
	28,941	22	32,516	29	13,993	8
	27,753	24			22,303	10
	12,276	25			10,928	11
	21,619	26			15,076	12
	20,639	27			27,119	13
					24,161	14
				20,873	15	
				18,450	16	
				19,475	17	
Sum:	210,372		202,753		245,343	

Tabell 3.3 Målt moment ved å laste på fordekket og akterdekket samt avlasting fra midtskips.

3.4 Måleusikkerhet

Differansen i det vertikale bøyemomentet mellom 1. lastkondisjon og 2. lastkondisjon er ~660MNm. Denne summer er beheftet med følgende måleusikkerheter:

- Usikkerhet knyttet til støy nivået på målingene
- Usikkerhet knyttet til fastsettelse av korrekt start- og stoppunkt for plassering av sekkene på dekk.

Fra visuell inspeksjon av figurene i Appendix B antas det at usikkerhetene fra a) og b) kan være i størrelsesorden $\pm 15\%$ av totalmomentet.

3.5 Konklusjon

- For å kunne måle det statiske strekket i alle sensorposisjonene på fartøyet, må samtlige sensorposisjoner ha en egen temperatursensor. Grunnen til dette er at soloppvarming forårsaker store temperaturforskjeller inni fartøyet.
- Det er ikke mulig å måle svært lavfrekvente endringer (statiske målinger) av globale laster på Oksøy/Alta klassen dersom de utsettes for soloppvarming. Grunnen til dette er at soloppvarming forårsaker lokale termiske tøyninger som vil resultere i ”falske” globale momenter.
- Differansen i VBM mellom 1. lastkondisjon og 2. lastkondisjon er ~660MNm $\pm 15\%$.

- Målingene kan gjøres med mindre feilmargin dersom testen blir foretatt med stabil luft og vanntemperatur og uten innstrålt varme fra sola, dvs overskyet vært og lite vind.

4 Avlesning av dypgangsmarker og trimvinkel

Trimvinkelen ble målt ved hjelp av fartøyets INS og ved å lese av dypgangsmarkene på babord side av fartøyet.. Dypgangsmarkene på styrbord side kunne ikke brukes da denne siden lå inn mot kaien og dypgangsmarkene dermed var delvis utilgjengelige for avlesning.

Dypgangsmarkene ble avlest med et instrument som var laget for anledningen. Instrumentet bestod av et gjennomsiktig plastrør, målerøret, med en flytende dupp. I enden av målerøret var det festet et 1 meter langt og tynt rør som ble stukket ned i vannet. Hensikten med instrumentet var at duppen inni røret ville ligge stille selv om det var krusninger på havoverflaten. Erfaringen med instrumentet viste at det gjorde det noe lettere å lese av nøyaktig dypgang, men at det tynne røret som var festet i bunnen av målerøret måtte være mye lengre for å eliminere krusningene på vannoverflaten.

Figurene i Appendix B viser den målte trimvinkelen for alle sekkeforflytningene. Fra figurene ser man at støyen ligger på ca ± 0.02 grader, som er i den samme størrelsesordenen som endringen i trimvinkel på grunn av hver enkel sekkeforflytning. Siden støynivået var relativt høyt ble den totale endringen i trim derfor målt som endringen fra 1. lastkondisjon til 2. lastkondisjon istedenfor summen av endringene ved hver sekkeforflytning.

4.1 1. lastkondisjon

Tabellen under viser deplasementet som ble målt med dypgangsmarkene ved 1. lastkondisjon.

Målested	Måleverdi
Akter babord	246 cm
Akter styrbord	249 cm.
Midtskips babord	258 cm
Baug babord	272 cm
Baug styrbord	273,5 cm

Tabell 4.1 Avleste verdier fra dypgangsmarkene

Lengden på fartøyet er 52 meter fra akte perpendikulær(AP) til FP. Målingene på babord side gir dermed en trimvinkel på -0,286 grader.

Trimvinkelen som ble avlest ved hjelp av fartøyets INS var -0.285 grader.

4.2 2. lastkondisjon

Tabellen under viser deplasementet som ble målt med dypgangsmerkene ved 2. lastkondisjon.

Målested	Måleverdi
Akter babord	250 cm
Midtskips babord	257,5 cm
Baug babord	268,5 cm
Baug styrbord	270 cm
Akter styrbord	Ikke tilgjengelig for måling

Tabell 4.2 Avleste verdier fra dypgangsmerkene

Målingene på babord side gir en trimvinkel på -0,204 grader.

Trimvinkelen som ble avlest ved hjelp av fartøyets INS var -0.225 grader.

4.3 Endring i trimvinkel mellom 1. og 2. lastkondisjon

Ifølge avlesingen av dypgangsmerkene endret trimvinkelen seg fra -0.29 grader ved 1. lastkondisjon til -0.20 grader ved andre lastkondisjon. Dette gir en endring i trimvinkel på +0.09 grader.

Ifølge fartøyets INS endret trimvinkelen seg fra -0.285 grader til -0.225 grader. Dette gir en differanse på +0.06 grader.

Differansen mellom målingene for de to målemetodene er 0.03 grader. Dette tilsvarer omtrent støynivået for INSen. Over lengden på 52 meter fra AP til FP tilsvarer +0.03 grader en dypgangsendring på +15mm ved FP og -12mm ved AP. Dette ligger også innen avlesningsnøyaktighet av dypgangsmerkene.

Det er likevel sannsynlig at avlesingen av dypgangsmerkene gir det beste estimatet for trimvinkelen siden disse målingene ble visuelt midlet over tid samtidig som INSen gir noe tilfeldige verdier på dette nøyaktighetsnivået.

4.4 Konklusjon

- Endringen i trimvinkel mellom 1. og 2. lastkondisjon ble målt til +0.09 grader.
- Ved 1. lastkondisjon var dypgangen ved babord akterende 246 cm mens babord baug hadde en dypgang på 272 cm.
- Ved 2. lastkondisjon var dypgangen ved babord akterende 250 cm mens babord baug hadde en dypgang på 268.5 cm.

- Nøyaktig avlesing av dyppangsmarkene krever svært stille vannoverflate og et forbedret måleinstrument (lengre rør).

5 Hydrostatikk

Følgende verdier er beregnet av FLO med utgangspunkt i avleste dyppangstall på skroget:

	<u>Last kond. 1</u>	<u>Last kond. 2</u>
Langskips flotasjonspunkt, LCF	24,16m	24,11m
Langskips oppdriftssenter, LCB=LCG	24,15m	23,89m
Deplasement	404.3tonn	408,7tonn
Trim	-0,298m	-0.200m
Draught (midtskips)	2,624m	2.638m
Vannlinjeareal	248m ²	248m ²
LCF akter	13,83m	13,81m
LCF for	34,79m	34,73m
LCB akter	13,55m	13,48m
LCB for	34,74m	34,66m

Alle størrelser er målt ved/fra AP, bortsett fra draught.

Legg merke til at deplasementet økte med 4.4tonn mellom de to lastkondisjonene og at trim endret seg med 0.1m i FP.

6 Teoretisk snittmoment

Da trimvinkel ikke forble uendret må man bestemme snittmomentet på bakgrunn av influenslinjeteori.

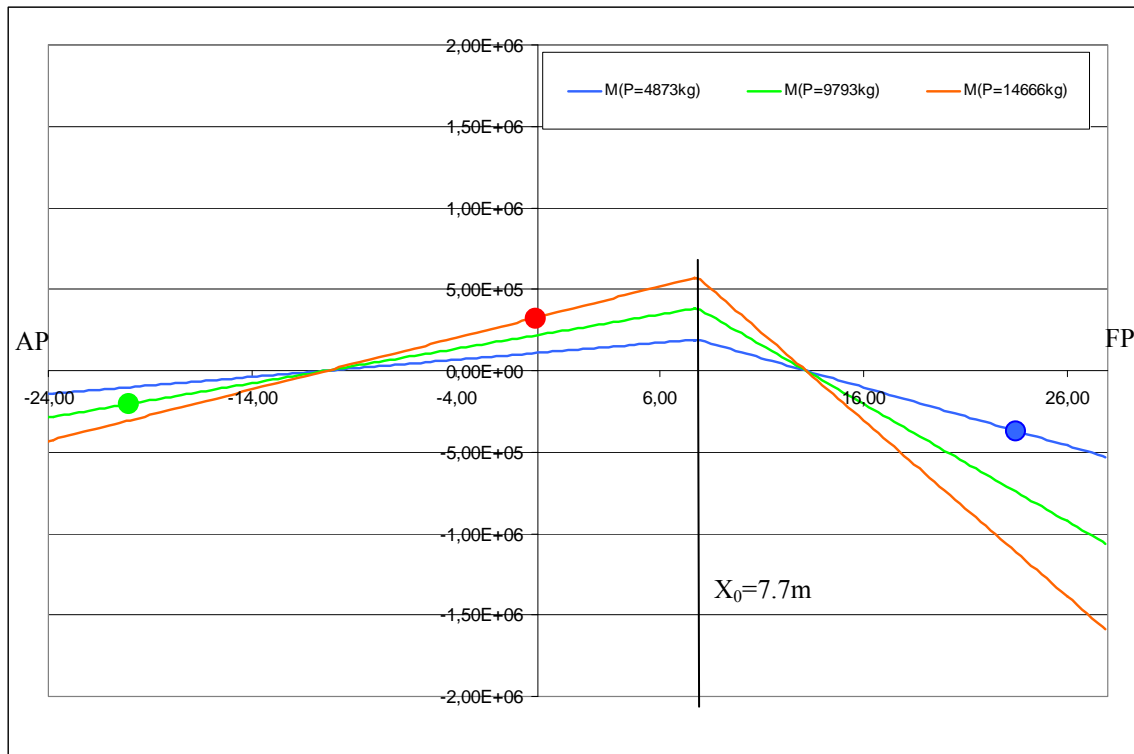
”Influenslinjen til VBM, M , i et snitt $x = x_0$ er en kurve hvor ordinaten på et vilkårlig sted $x = x_1$ er proporsjonalt med endring i M ved x_0 på grunn av en enhetskraft ved x_1 .”

For detaljer rundt influenslinjeteori vises det til litteraturen(9) for skrogstatikk.

Med bakgrunn i hydrostatikkdata gitt i kapittelet over er influenslinjene for følgende tre laster beregnet:

- 1) Last midtskips, $P1=14666\text{kg}$
- 2) Last på fordekk, $P2= 4873\text{kg}$
- 3) Last på akterdekk, $P3= 9793\text{kg}$

Kurvene for snittmoment, $M(x=x_0)$, som funksjon av plassering av laster langs skroget er vist i Figur 6.1.



Figur 6.1 Influenslinjer for bøyemoment pga. de tre lastene P1 til P3 ($x=0$ i LCF)

I og med at lasten P1 blir tatt bort så må fortegnet byttes i forhold til influenslinjen. Totalt snittmoment blir lik summen av de tre momentbidragene.

$$M(x=x_0)\text{Beregnet} = -M(x_1,P1) + M(x_2,P2) + M(x_3,P3) = -327 - 352 - 207 = -886\text{kNm}$$

Fra målingene fant man følgende snittmoment basert på de tre lasttilfellene:

$$M(x=x_0)\text{Målt} = -M(x_1,P1) + M(x_2,P2) + M(x_3,P3) = -246 - 203 - 210 = -660\text{kNm}$$

Som en ser av de to momentverdiene er den beregnede verdien 34% høyere enn den målte verdien.

I og med at vekten pr. sekk utgjør 2.5 promille eller mindre av fartøyets totale deplasement, vil hvert enkelt sekkebidrag bli relativt sett veldig små. Videre er det resulterende momentet på 886kNm under 5% av tilsvarende dimensjonerende verdi. Et eksempel på at vekten til en enkelt sekk er i minste laget er Sekk V, som innen et kort tidsintervall både ble lagt på og løfte av akterdekket. Effekten av dette skal i teorien bli lik null, men målingene gir imidlertid et avvik på ca. 15%. Dette indikerer at skrogresponen for så små laster gir avvik i størrelsesorden $\pm 7,5\%$. Tar man i tillegg med at soloppvarmingen medført en ekstra utfordring når det gjelder å definere endelig start og stopp for pålasting av hver enkelt sekk, kan ca $\pm 15\%$ av avviket skyldes avvikende respons i skroget.

Feilkilder til den beregnede momentverdien er input-verdiene fra hydrostatikkberegninger og nøyaktigheten i selve beregningene som inngår i influenslinjeteorien. Med bakgrunn i avleste dypgangstall finner man at deplasementet økte med 4.4tonn. Dette tyder på at selve hydrostatikkmodellen er beheftet med feil eller at dypgangsmerkene ikke er korrekt plassert på skroget. Avvik på under 1cm vil få innflytelse på hydrostatikkberegningene. Et annet viktig moment er at effekten av gondolen ikke er med i hydrostatikkmodellen. Fra de tre momentbidragene ser man at avvikene mellom målt og beregnet moment er størst for tilfellet med sekkene plassert på fordekket. Det er også for denne lastkondisjonen at gondolen har den teoretisk største innflytelsen. For tilfellet med lasten plassert på akterdekket er verdiene mellom målt og beregnet sammenfallende. Det er med andre ord høyst sannsynlig at effekten av gondolen gir et signifikant bidrag til avvik mellom målt og beregnet snittmoment. Det er anslått at et avvik på ca. 10% skyldes unøyaktigheter knyttet til avlesning av dypgangstall, feil i hydrostatikk- og influenslinjeteorimodellen.

Ballasteringstesten indikerer at den målte verdier er ca. 10% lavere enn den teoretiske verdien, når man korrigerer for de ovenfor nevnte feilkildene. Et teoretisk studie av mulige feilkilder knyttet til selve matrisemetoden(2) viser at lokale variasjoner i tøyningverdier fra lokal belastning i nærheten av en eller flere sensorer gir avvik knyttet til beregnede globale laster i størrelsesorden $\pm 10\%$. Begge disse resultatene peker mot at man bør vurdere om inputverdiene til skrogovervåkningssystemet bør økes tilsvarende, eller legge inn en 10% ekstra sikkerhetsmargin ved bestemmelse av alarmgrenser.

7 Konklusjon

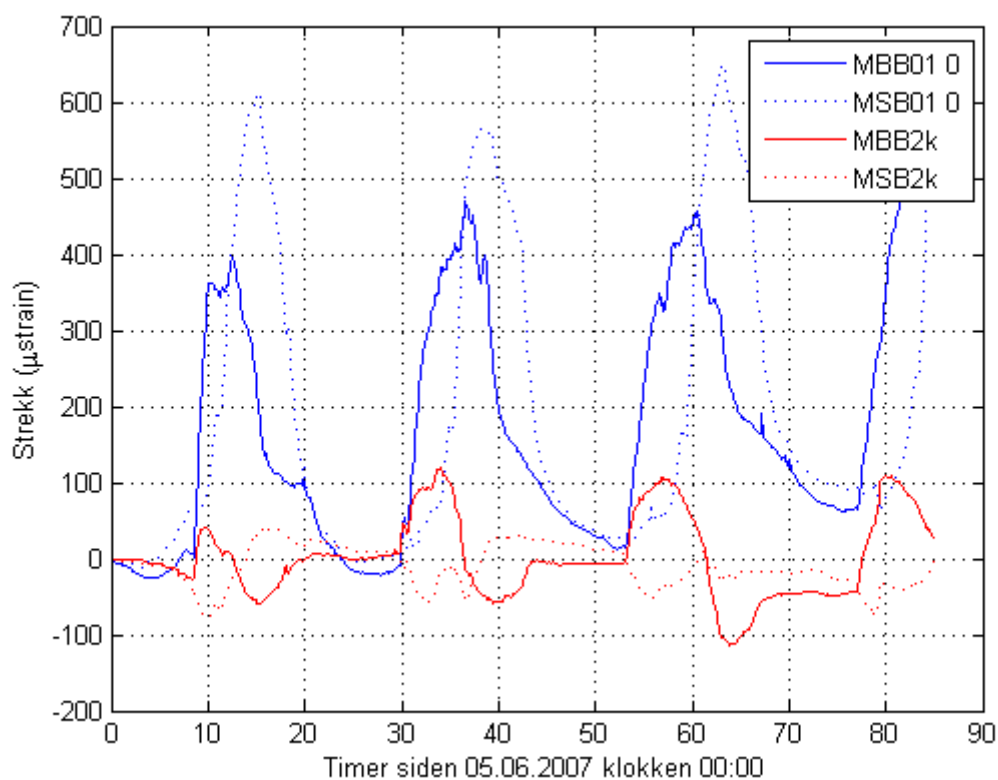
Konklusjon blir at beregninger av snittmomentet ved hjelp av dypgangstall, hydrostatikkmodellen til FLO og influenslinjeteori gir en høyere momentverdi enn verdien fra måling med skrogovervåkningssystemet. Den foreslåtte testen, i form av kun å endre ballasteringen, gir et avvik mot teoretisk verdi lik 34%. Ved å inkludere feilkilder som skyldes testoppsettet og modellfeil knyttet til verifiseringsberegningene, kan avvik reduseres noe.

For å øke nøyaktigheten til de teoretiske beregningene må man bl.a. legge inn effekten av gondolen i skrogstatikkmodellen. For å øke nøyaktigheten på målt verdi fra skrogovervåkningssystemet må det utføres nye ballasttester med færre og tyngre vekter. (PS! Dimensjonerende dekkslast setter imidlertid en praktisk begrensning på hvordan vektene kan utformes og plasseres ut på dekk).

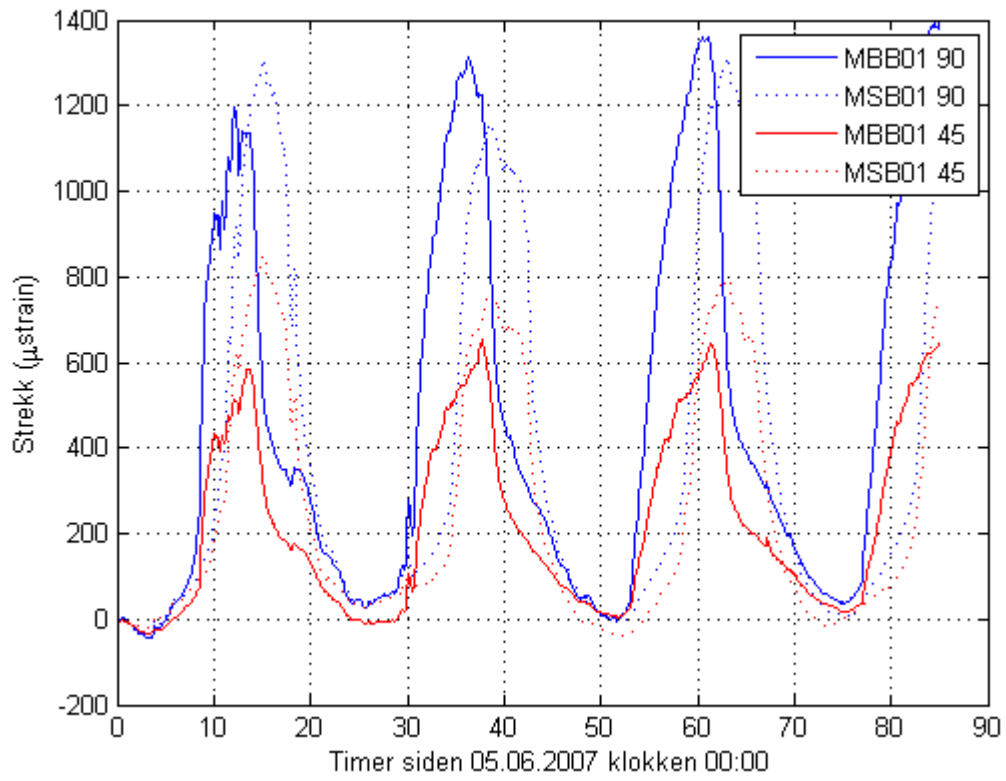
Det er ikke grunnlag for å hevde at målemetoden ikke gir et representativt mål på snittmomentet. Normalt er man kun interessert i dynamiske ekstremverdier for snittkreftene. Disse momentverdiene vil ikke være beheftet med unøyaktigheter knyttet til relativt trege tøyningsvariasjoner fra f. eks. soloppvarming grunnet høypass filtrering. Ballasteringstesten som ble utført indikerer imidlertid at den målte verdier er ca. 10% lavere enn den teoretiske verdien. Det bør derfor vurderes om inputverdiene til skrogovervåkningssystemet bør økes tilsvarende eller om man skal legge inn en 10% ekstra sikkerhetsmargin ved bestemmelse av alarmgrenser.

Appendix A Måling av strekk

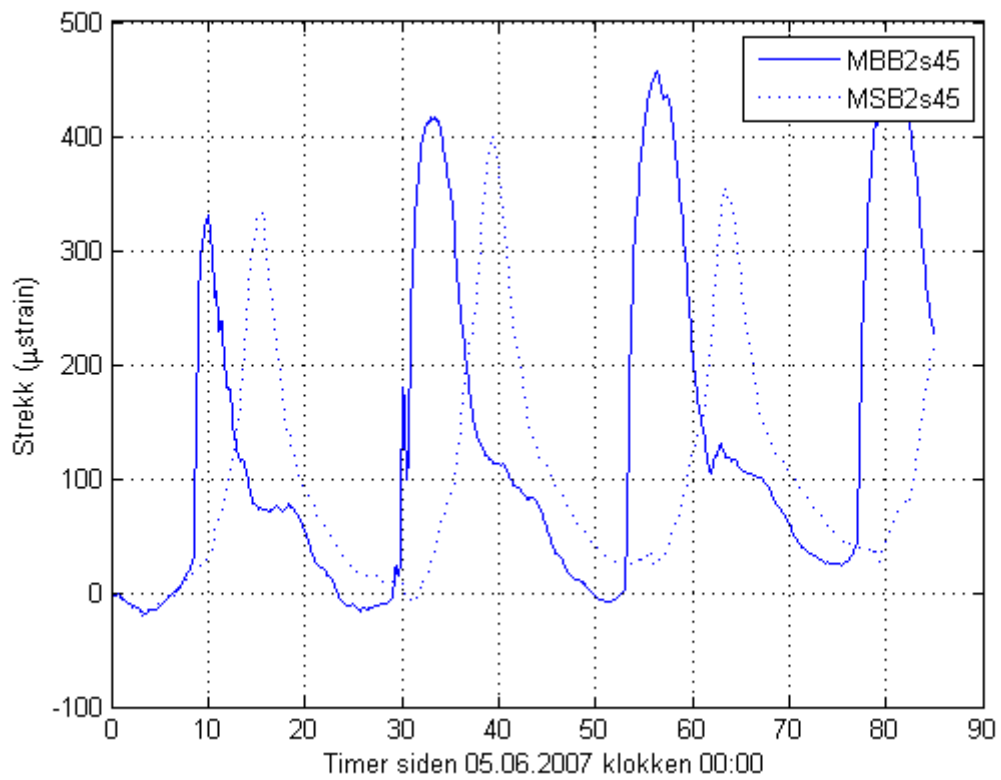
I figurene under er det vist temperaturkompensert strekk for de ulike strekksensorene for perioden tirsdag 5 juni klokken 00:00 til fredag 8 juni klokken 13.00. Figurene viser at det er store og periodiske endringer i strekket i hele perioden inkludert testdagen torsdag 7 juni. Årsaken til dette er at soloppvarming av fartøyet resulterte i lokale utvidelser og kompresjoner av skrogplatene sensorene sitter på.



Figur A.1 Målt endring i strekk over tre og et halvt døgn inkludert testdøgnet 07.06.2007 fra tiden 48 timer til 72 timer.



Figur A.2 Målt endring i strekk over tre og et halvt døgn inkludert testdøgnnet 07.06.2007 fra tiden 48 timer til 72 timer



Figur A.3 Målt endring i strekk over tre og et halvt døgn inkludert testdøgnet 07.06.2007 fra tiden 48 timer til 72 timer

Appendix B Tidsserier som viser endring i målt moment og trim ved forflytning av vekter

Appendix B inneholder 29 kapitler. Hvert kapittel viser endringen i målt VBM og trimvinkel for hver av sekkeforflytningene i Tabell 3.2.

Som man ser av figurene er endringen i VBM, Dmoment, bare noe større enn støynivået til måleinstrumentet. For å gjøre målingen av momentendringen mest mulig nøyaktig har det derfor blitt tilpasset en rett linje til tiden rett før og rett etter hver sekkeforflytning. I Figur B.1 er den røde linjen tilpasset den målte skroglasten rett før sekken blir løftet av dekket, mens den svarte linjen er tilpasset målingene rett etter at sekken har blitt løftet av dekket. Den røde linjen avsluttes med en sirkel, og den svarte linjen starter med en sirkel. Det er differansen i det målte momentet mellom de to sirklene som gir endringen i VBM, Dmoment.

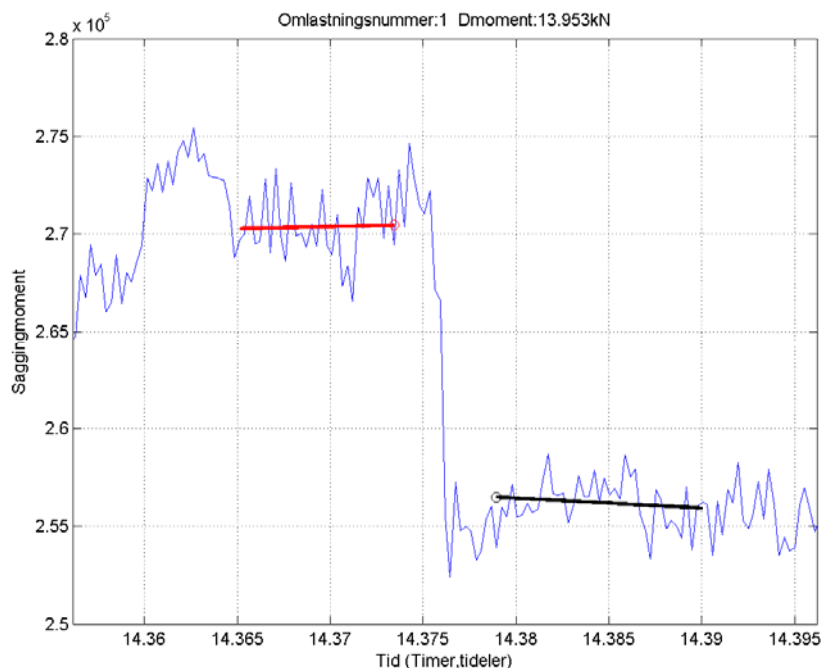
Tilpasningen av den røde linjen har vært gjort på følgende måte:

A)	Tidspunktet for avslutningen av linjen (den røde sirkelen) har blitt valgt skjønnsmessig. Tidspunktet er valgt så nær selve sekkeforflytningen som mulig, men med god nok avstand til at man er sikker på at ikke noe av vekten av sekken er overført fra dekket til kranen. Et godt eksempel på dette er sekkeforflytning 8. Her avtar skroglasten gradvis etter den røde sirkelen. Det antas at vekten av sekken her gradvis blir forflyttet fra dekket til krana.
B)	Startpunktet for linjen har blitt valgt slik at man får nok data til å foreta en linjetilpasning, men uten at man tar inn effekten av at personell forflytter seg på fartøyet mellom sekkeforflytningene.
C)	Linjen $Y(t)=A+B*t$ er tilpasset det målte momentet, VBM, mellom starttidspunktet og slutt-tidspunktet med minste kvadratsums prinsipp. Det at linjen har en helning gjør at den kan tilpasses eventuelle endringer i målt VBM på grunn av soloppvarming. Ellers virker linjen som et filter som midler støyen i målesignalet.

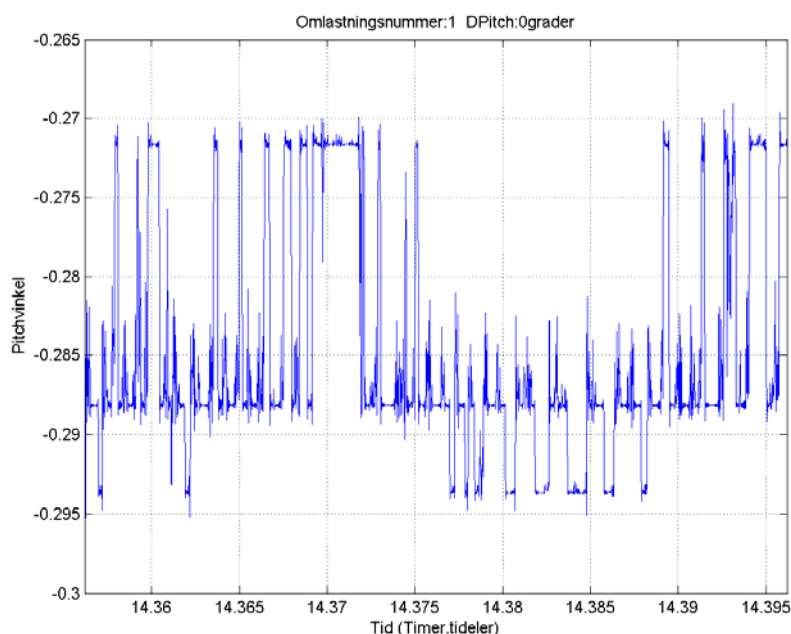
Tilpasningen av den svarte linjen er gjort med den samme fremgangsmåten.

Tidsserien til den målte trimvinkelen er vist i den nederste figuren i hvert kapittel. Endringen i trim DPitch er vurdert manuelt for hver sekkeforflytning. Årsaken til dette er at støynivået er veldig stort i forhold til endringen som skyldes sekkeforflytningene.

B.1 Forflytning 1

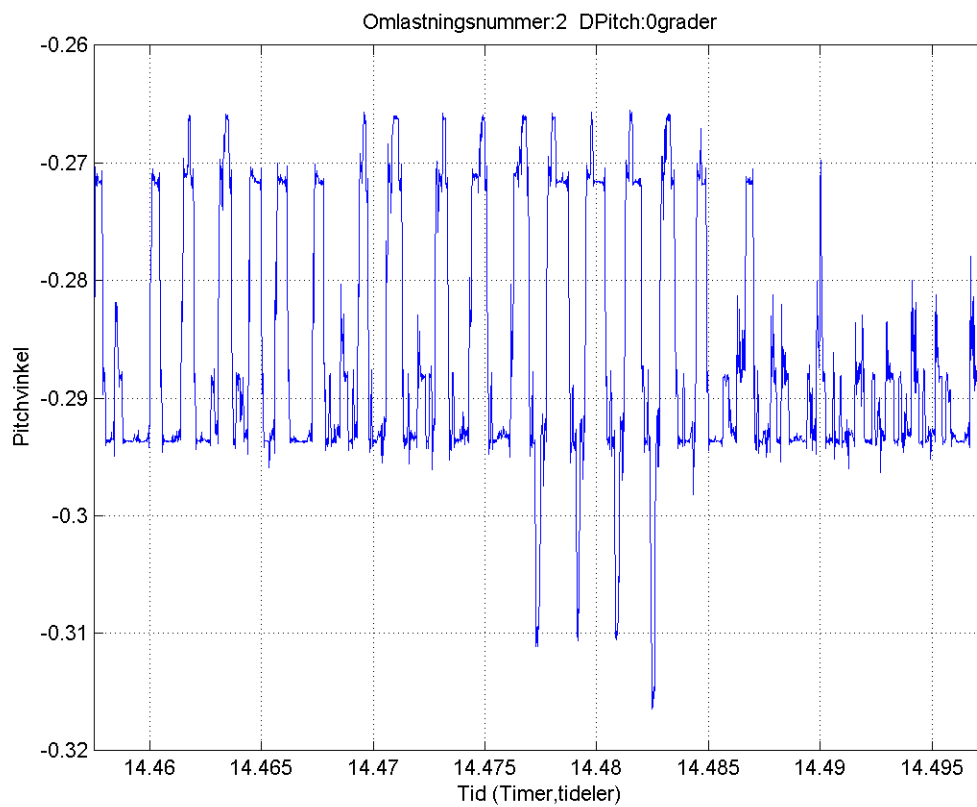
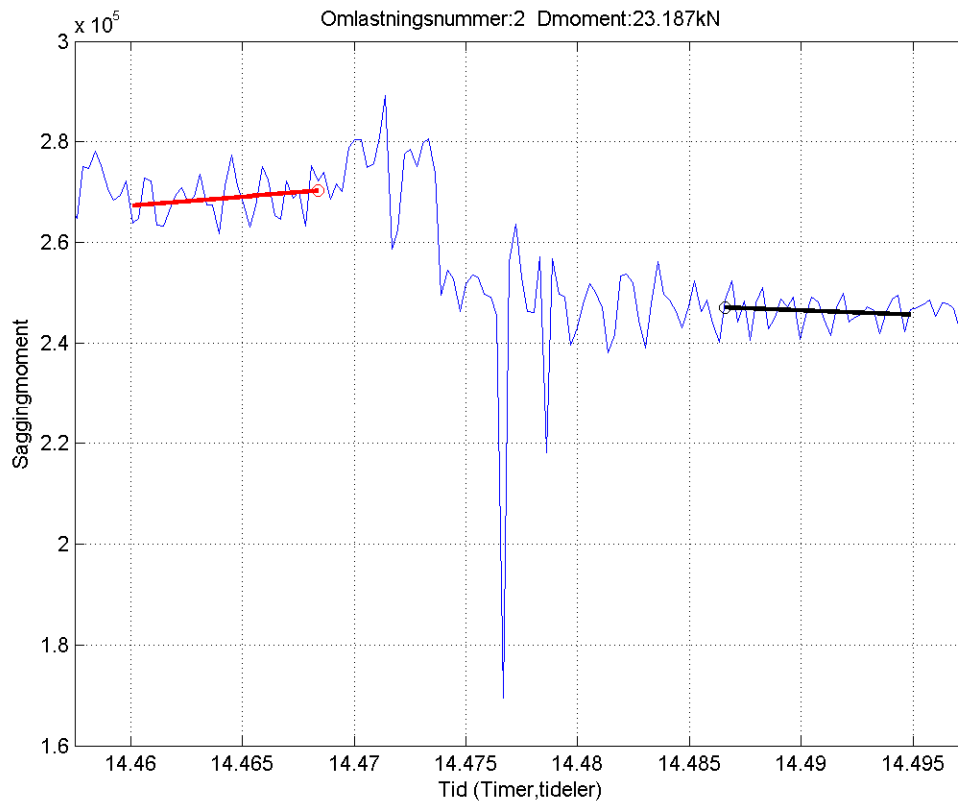


Figur B.1 Endring av saggingsmoment ved forflytningsnummer 1 i Tabell 3.2. Differensen i momentet (Dmoment) er tatt fra verdien til den røde og svarte sirkelen. Tilsvarende er gjort for de resterende omlastningsnumrene.

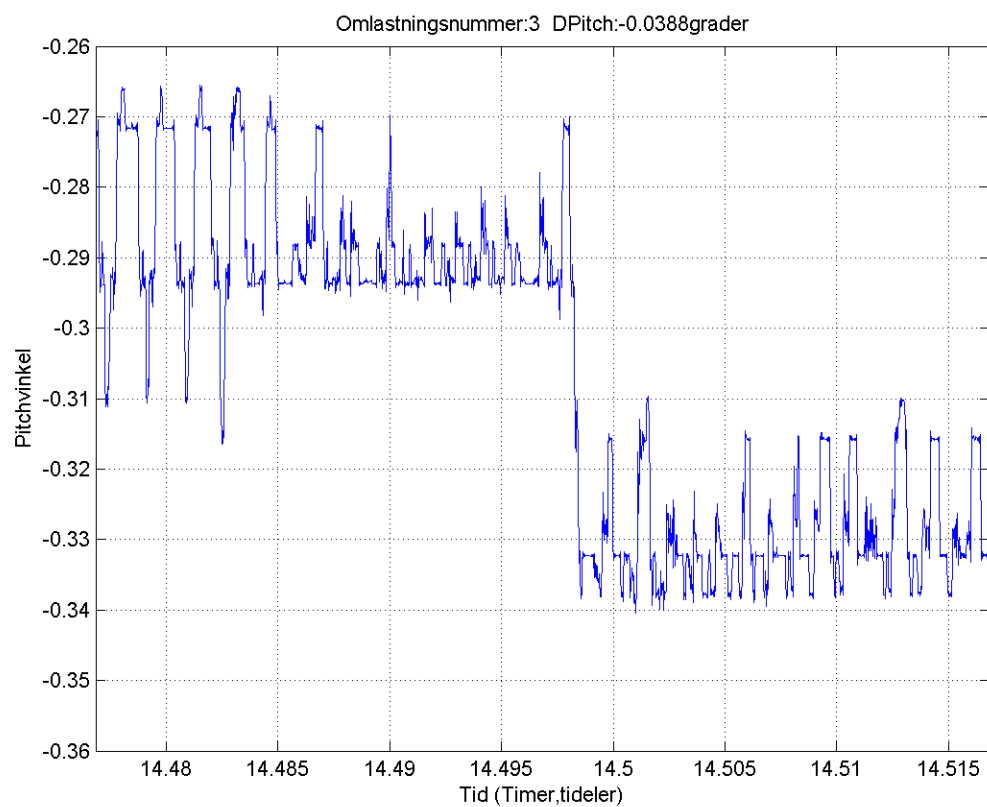
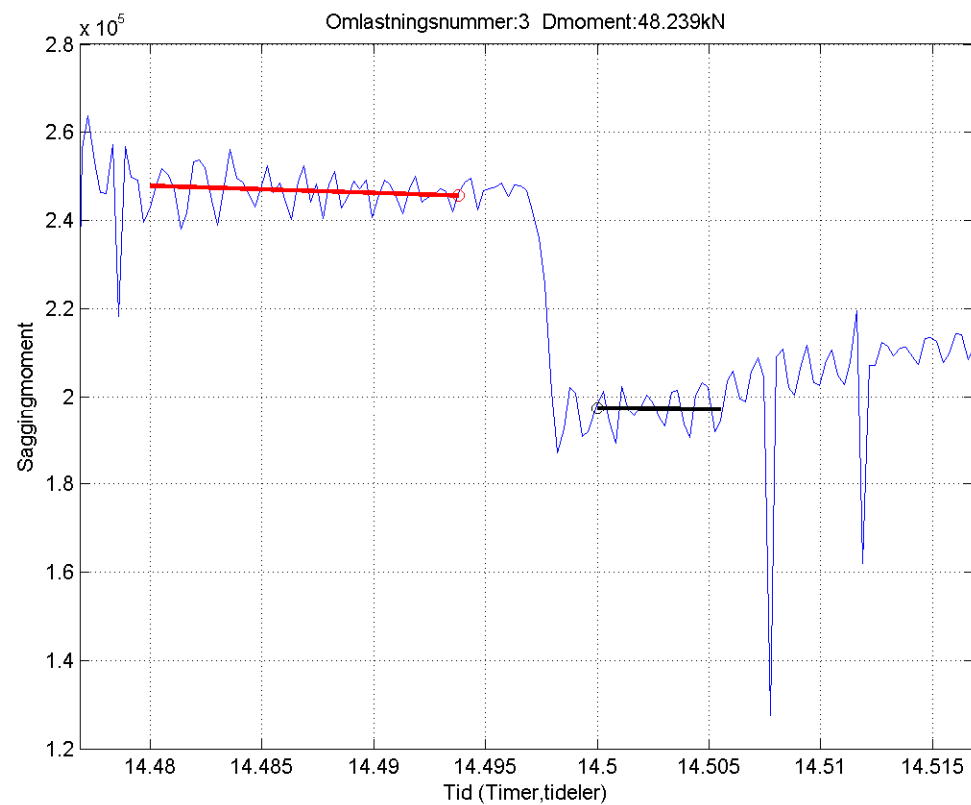


Figur B.2 Figuren viser at forflytningsnummer 1 ikke skaper noen forskjell i trimvinkelen. På grunn av den relativt store svingninger (usikkerhet) i INS signalet er differansen i trimvinklene funnet ved manuell inspeksjon av figurene

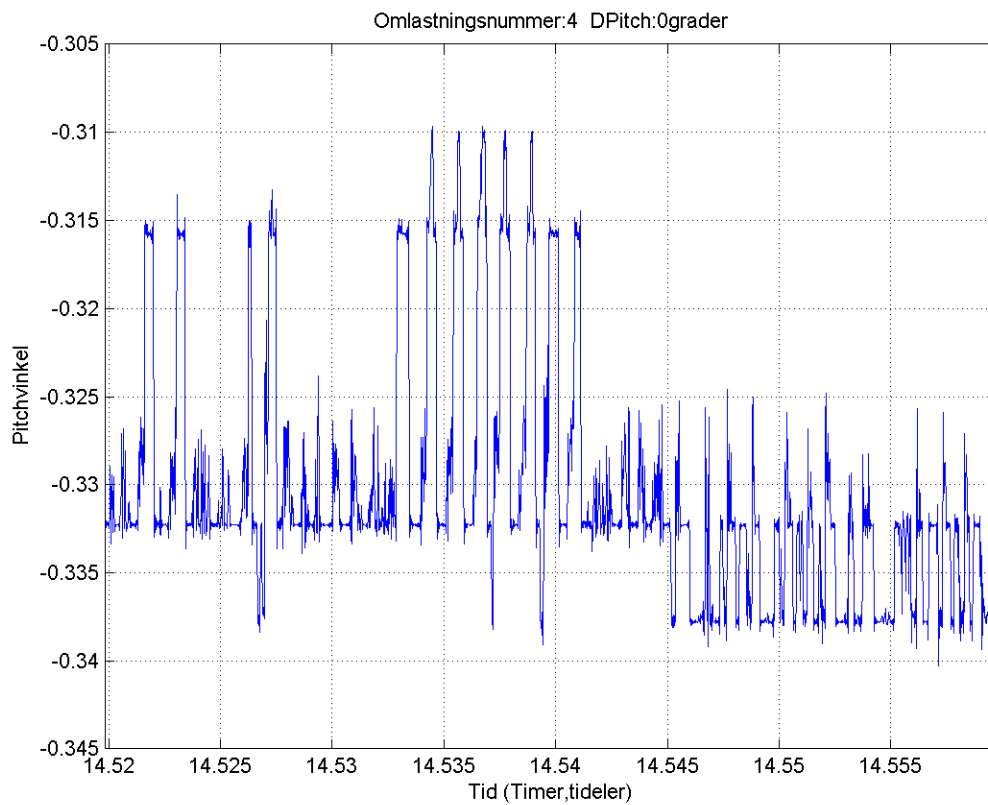
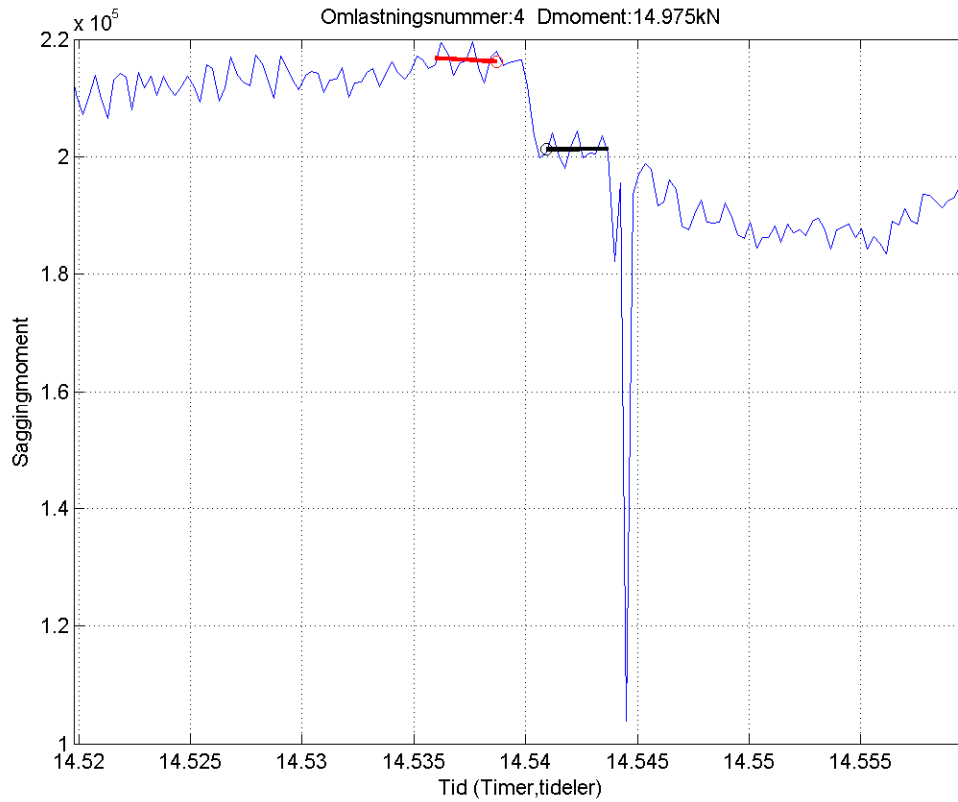
B.2 Forflytning 2



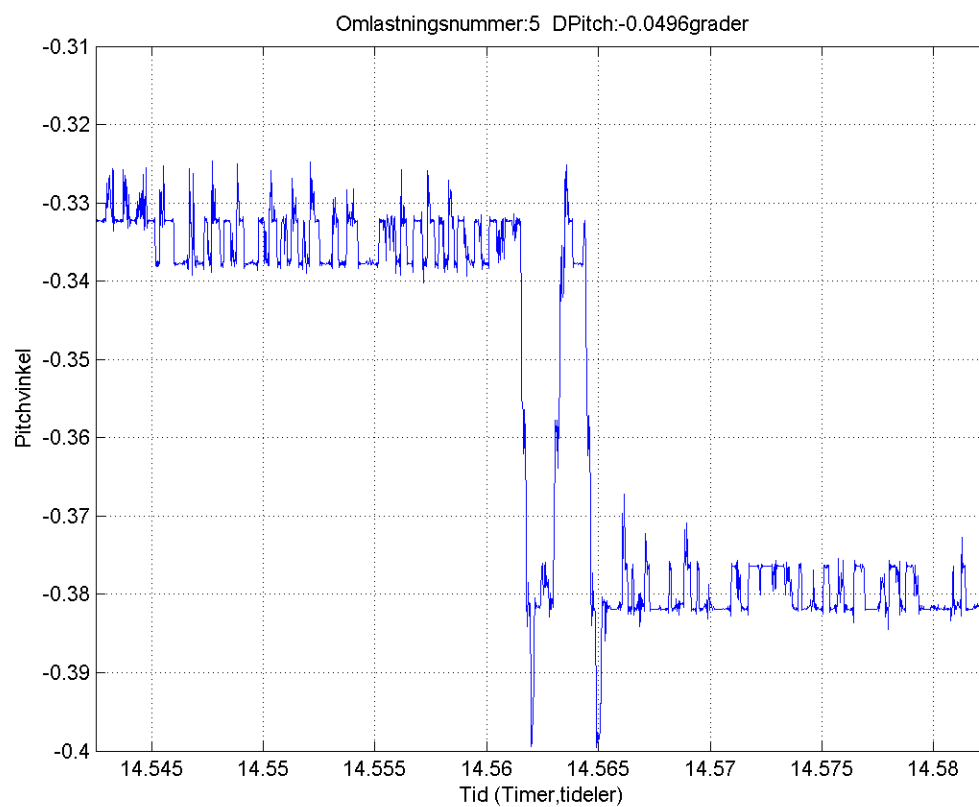
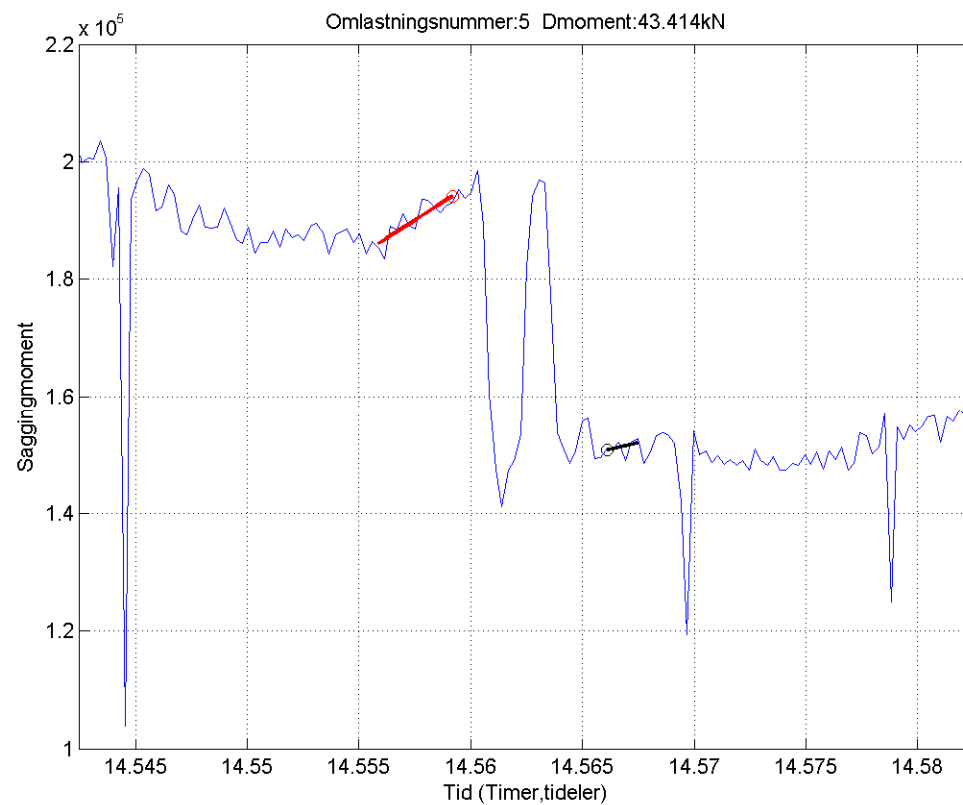
B.3 Forflytning 3



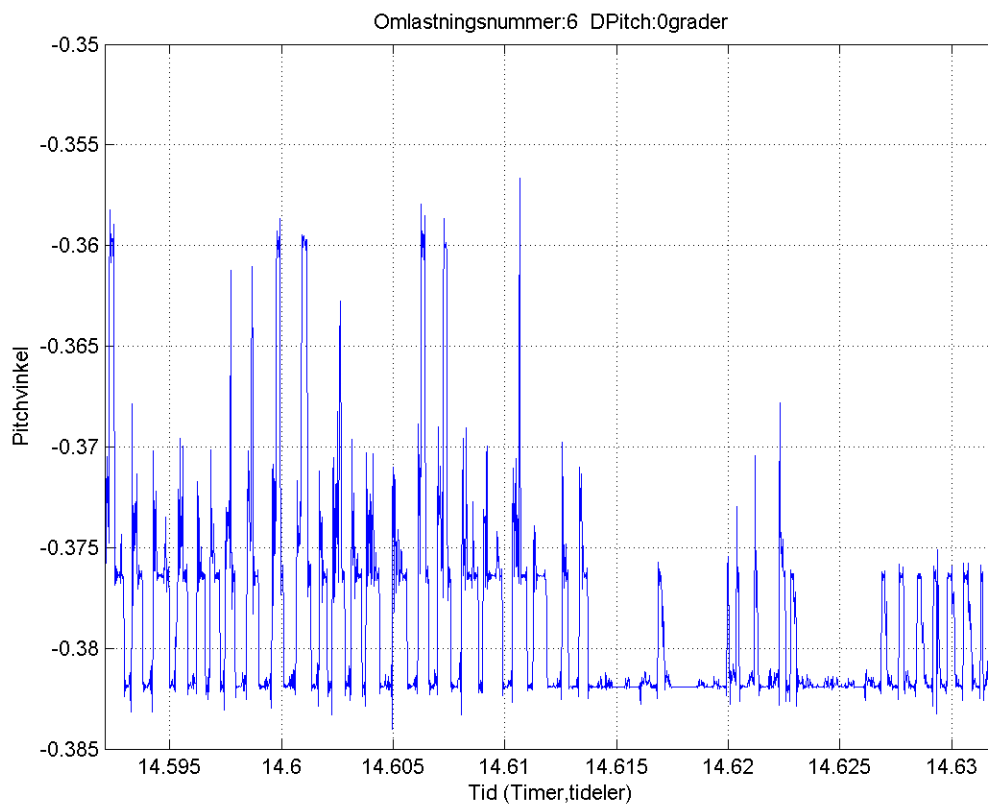
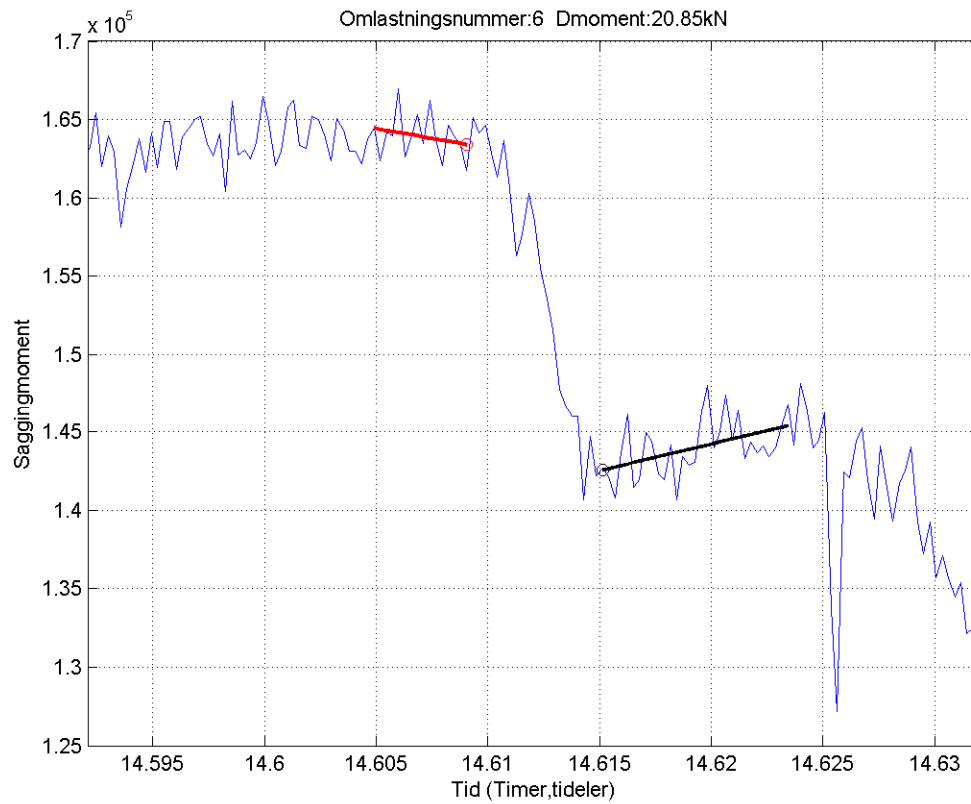
B.4 Forflytning 4



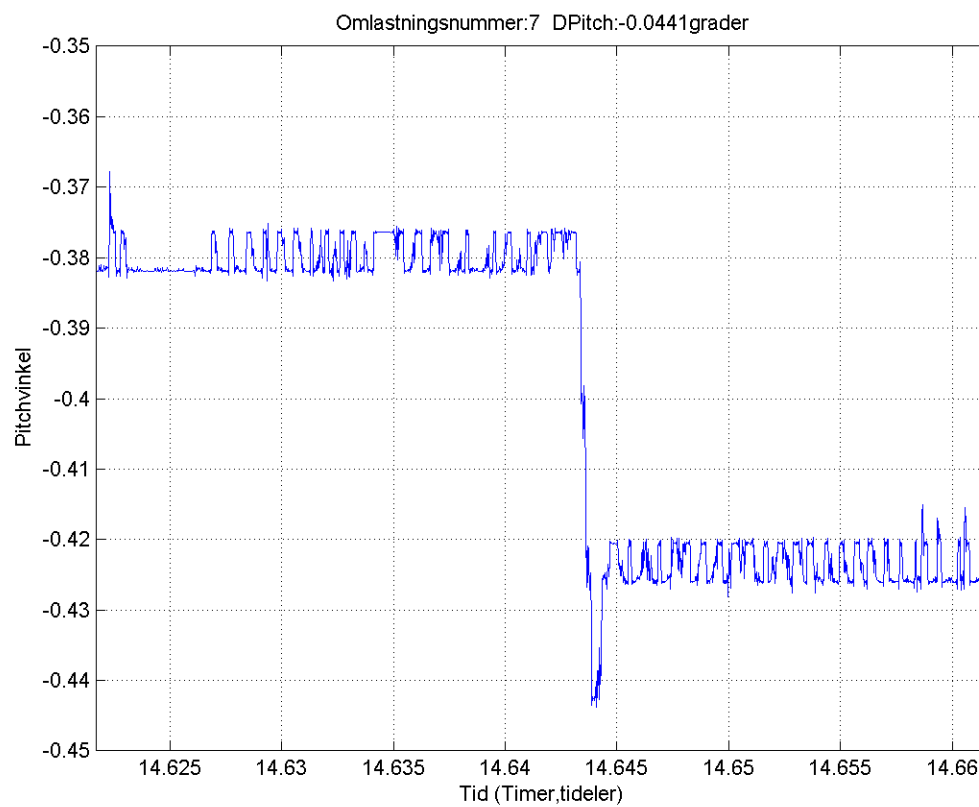
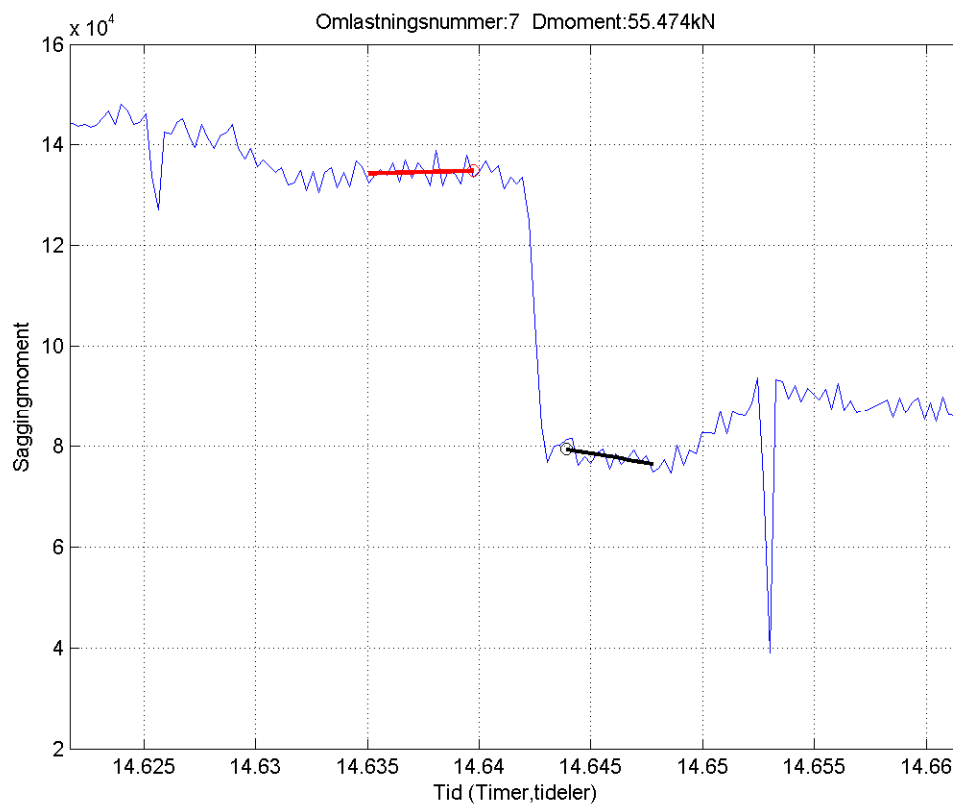
B.5 Forflytning 5



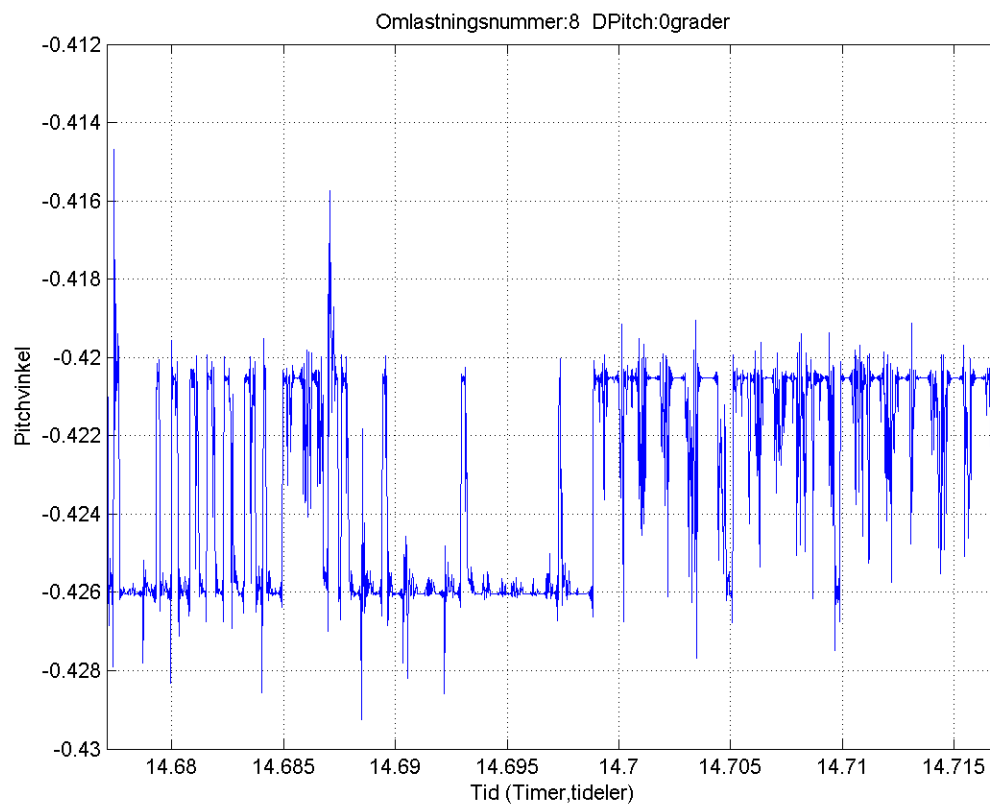
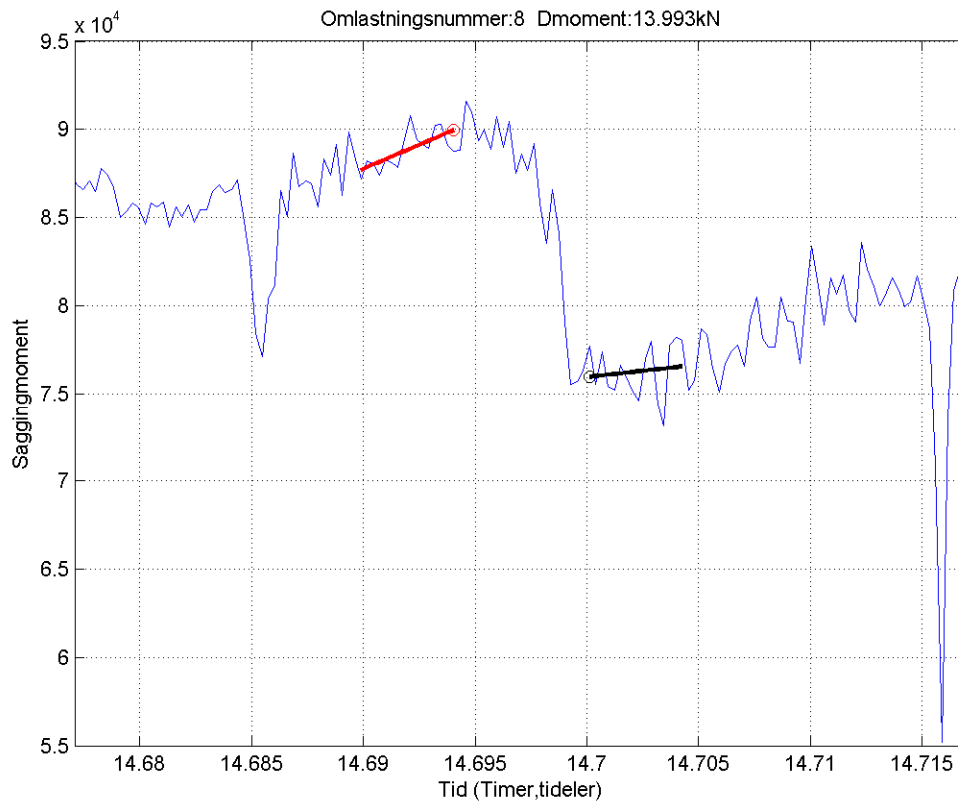
B.6 Forflytning 6



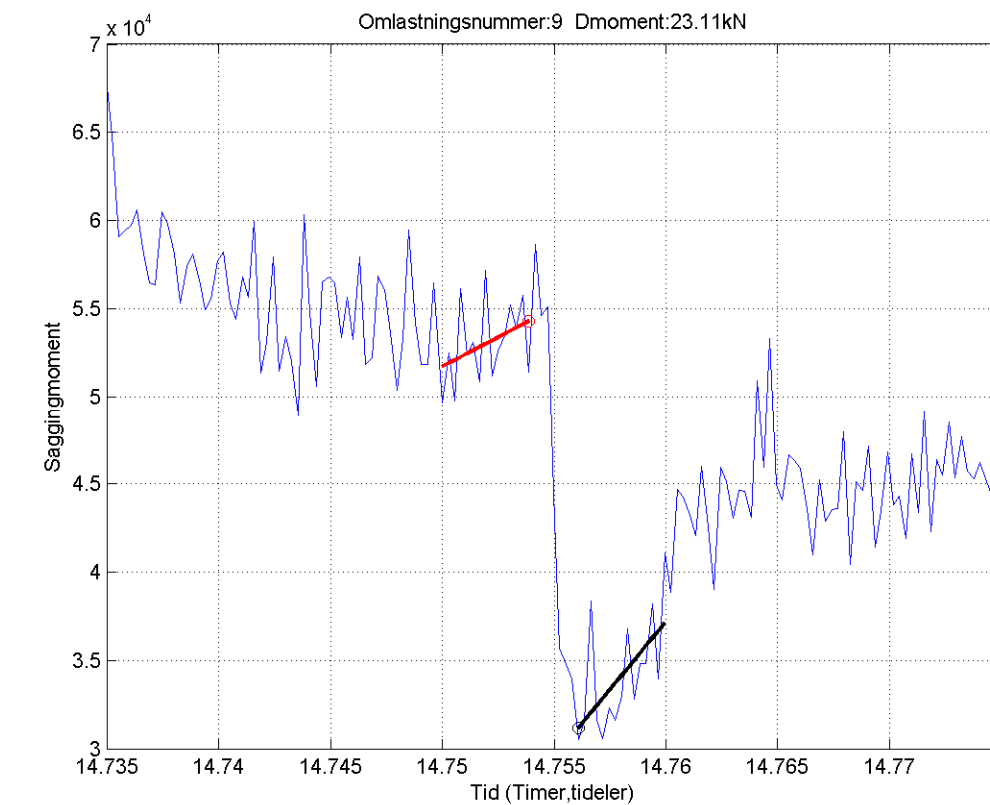
B.7 Forflytning 7



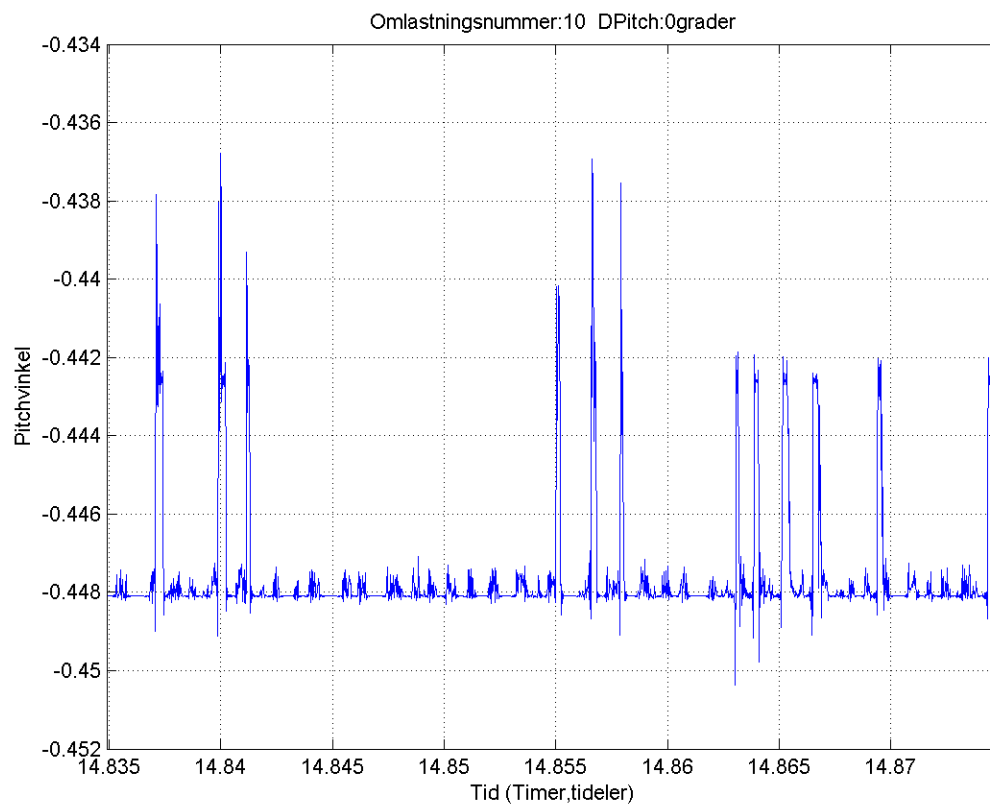
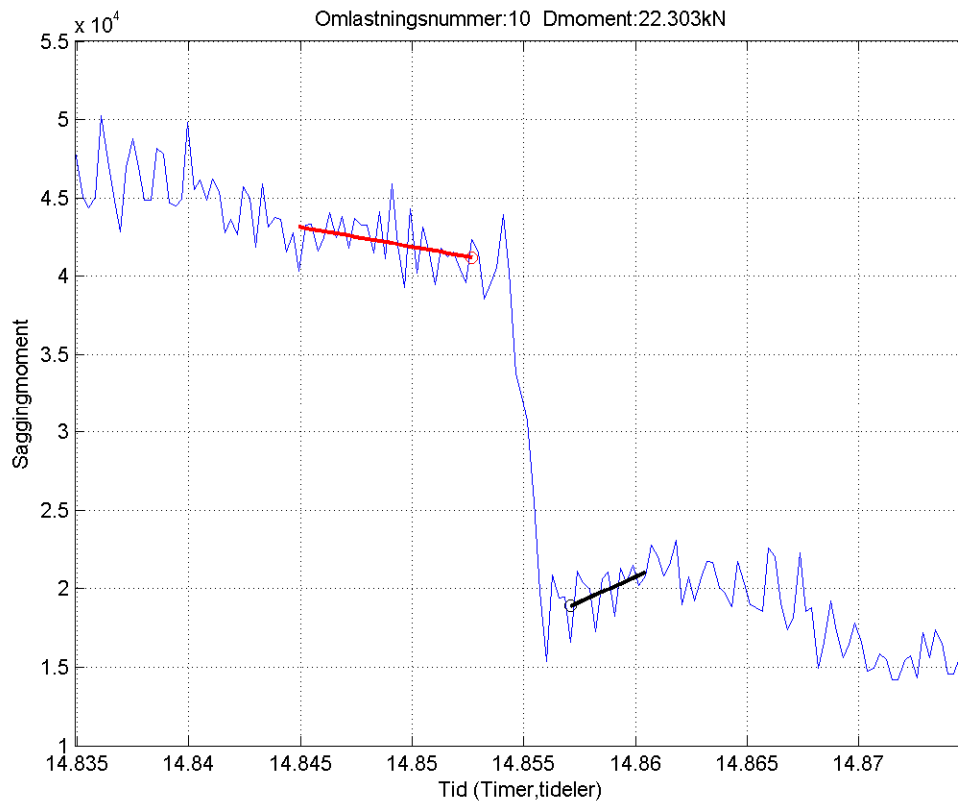
B.8 Forflytning 8



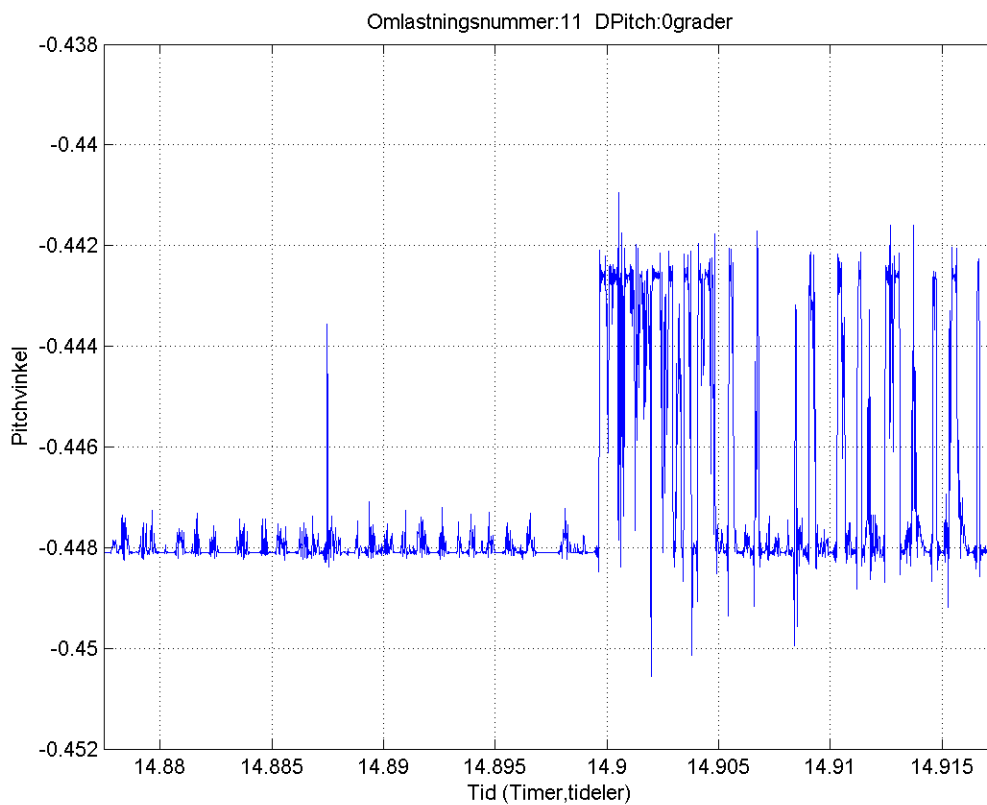
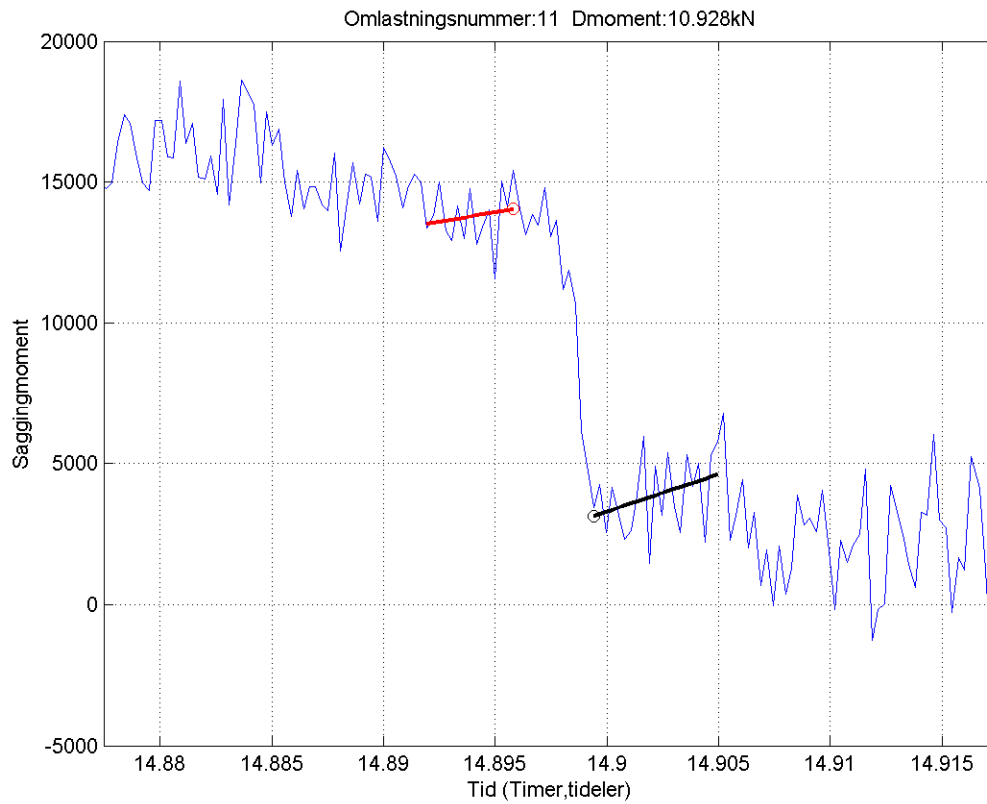
B.9 Forflytning 9



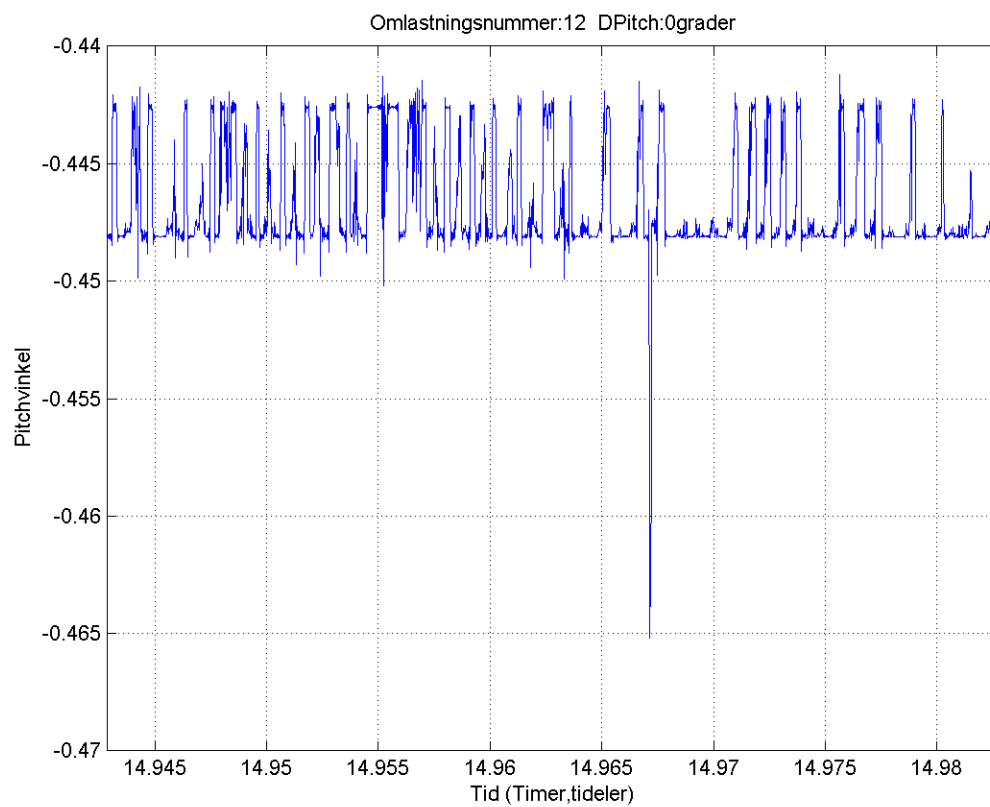
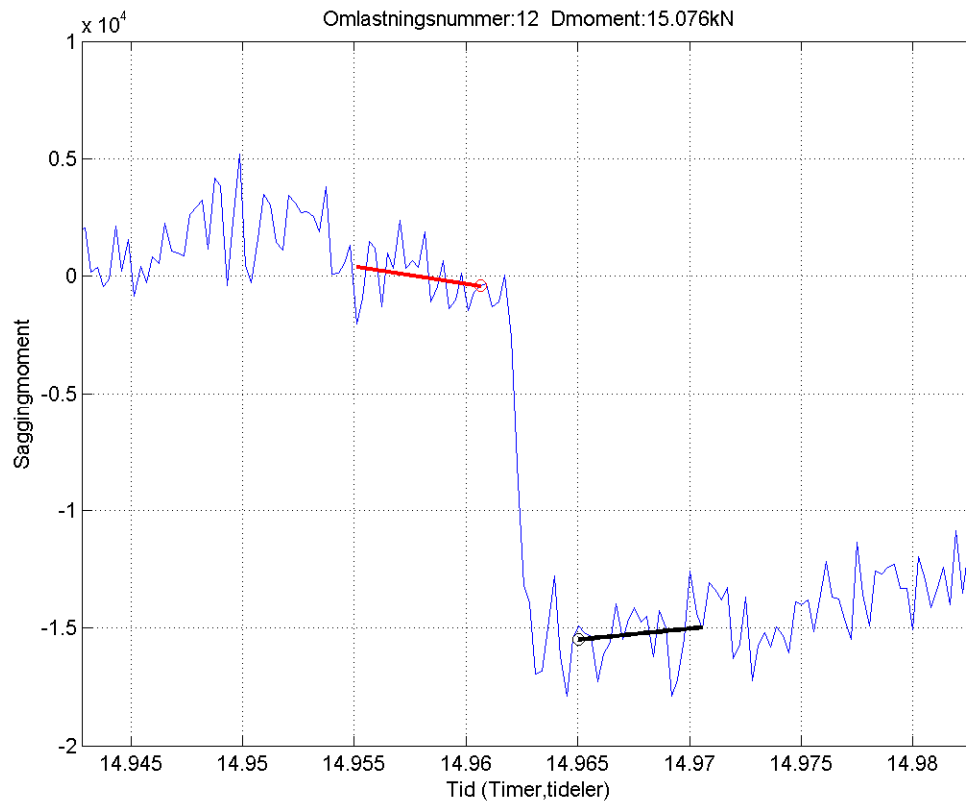
B.10 Forflytning 10



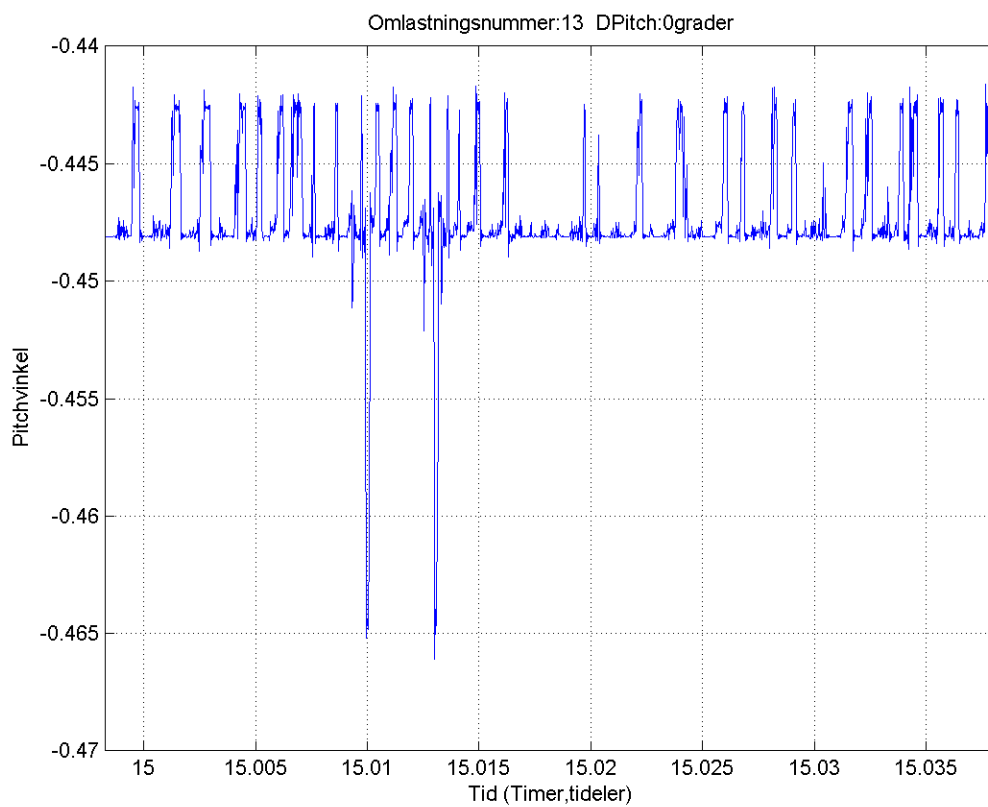
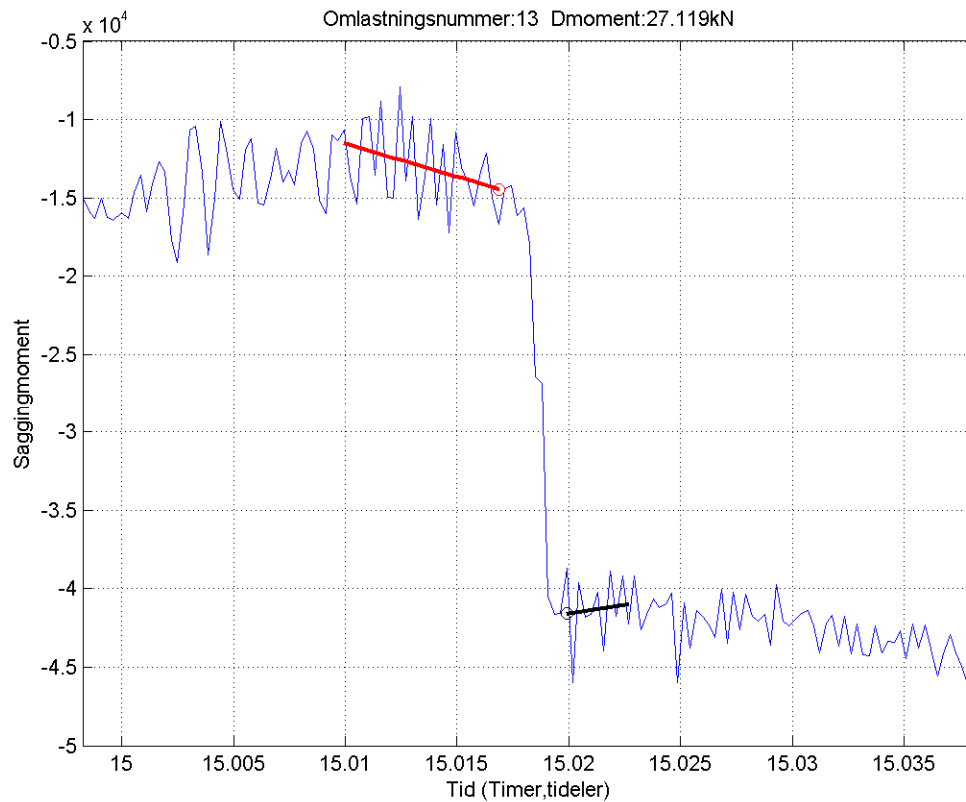
B.11 Forflytning 11



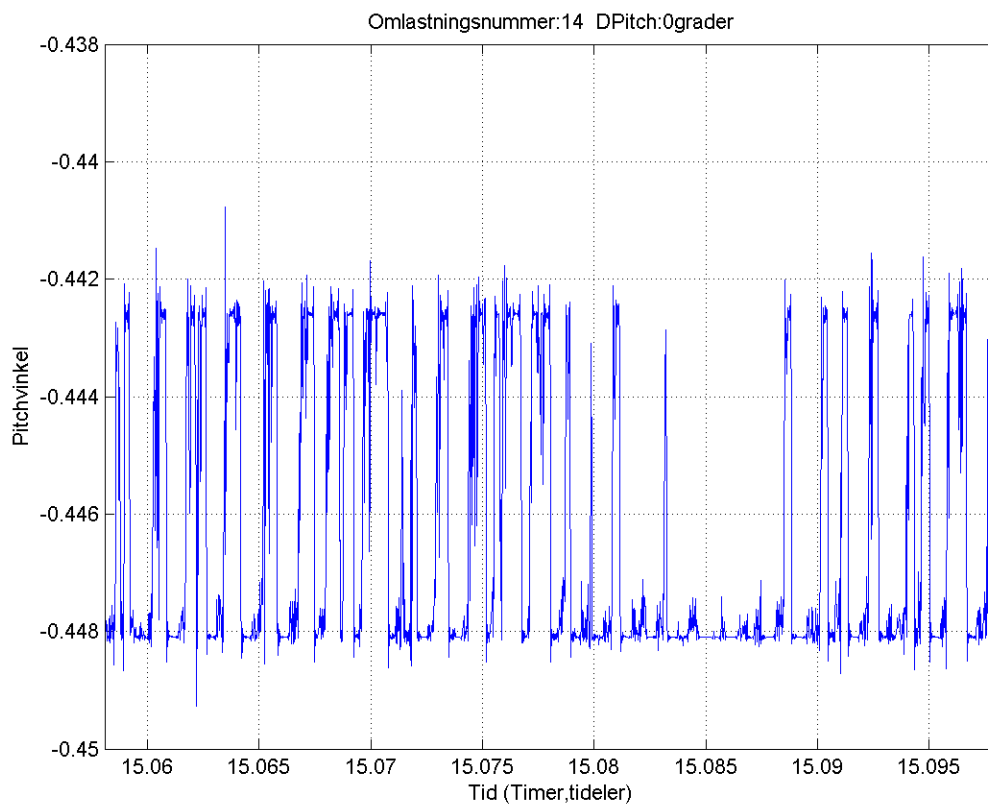
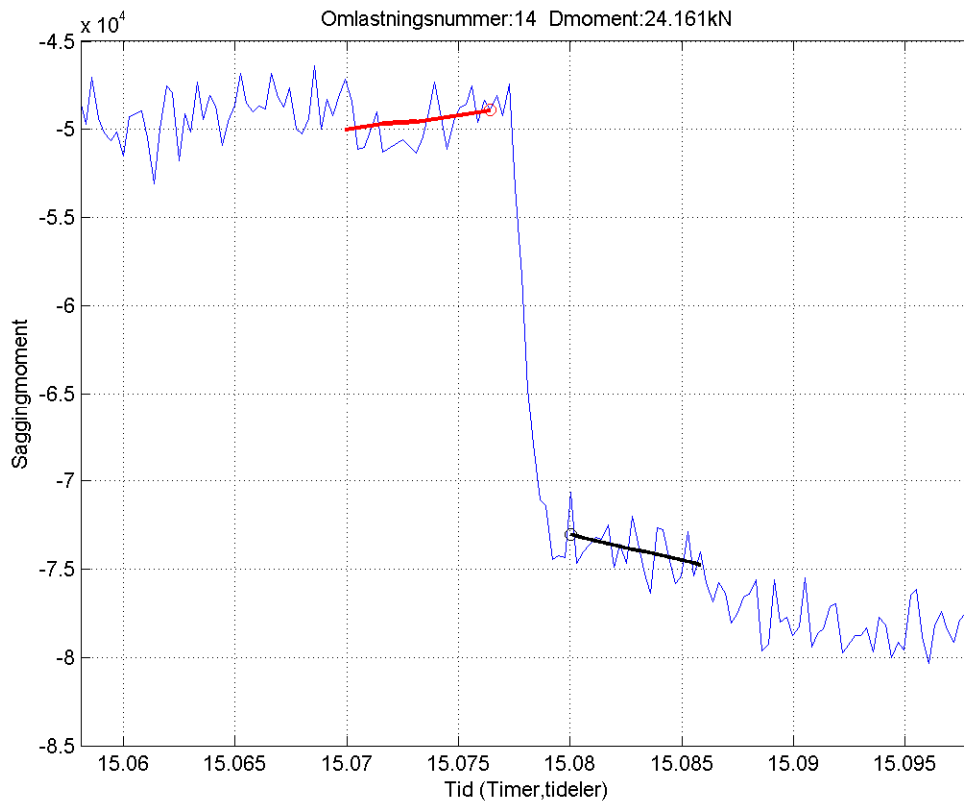
B.12 Forflytning 12



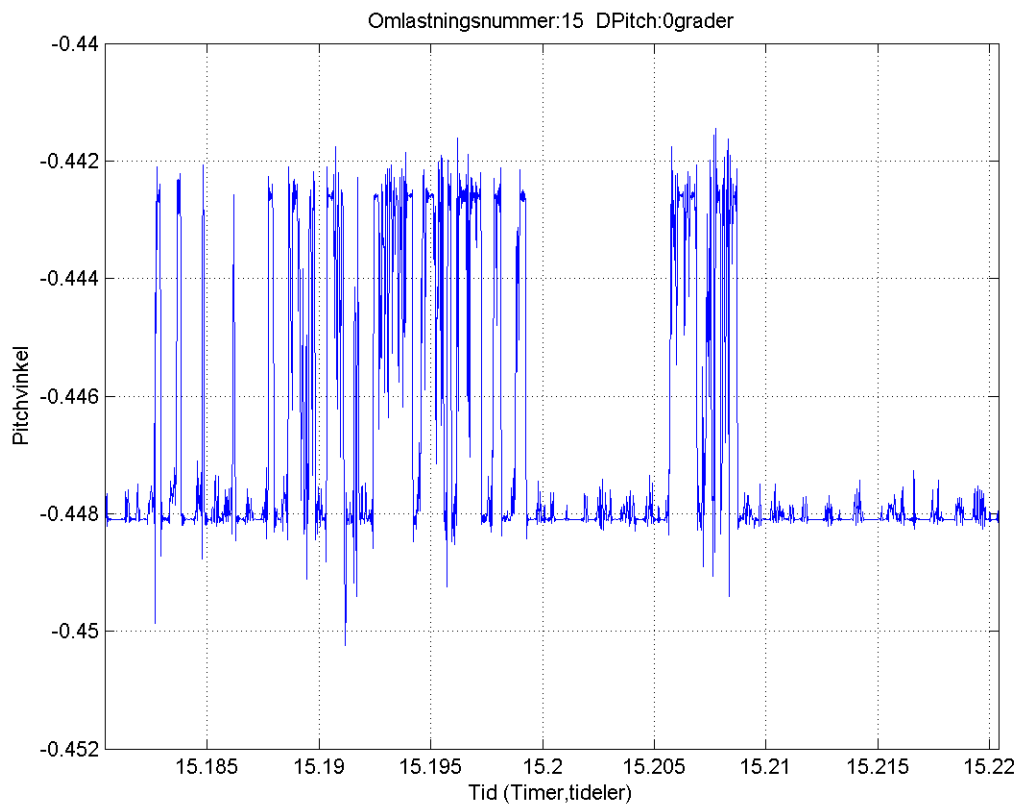
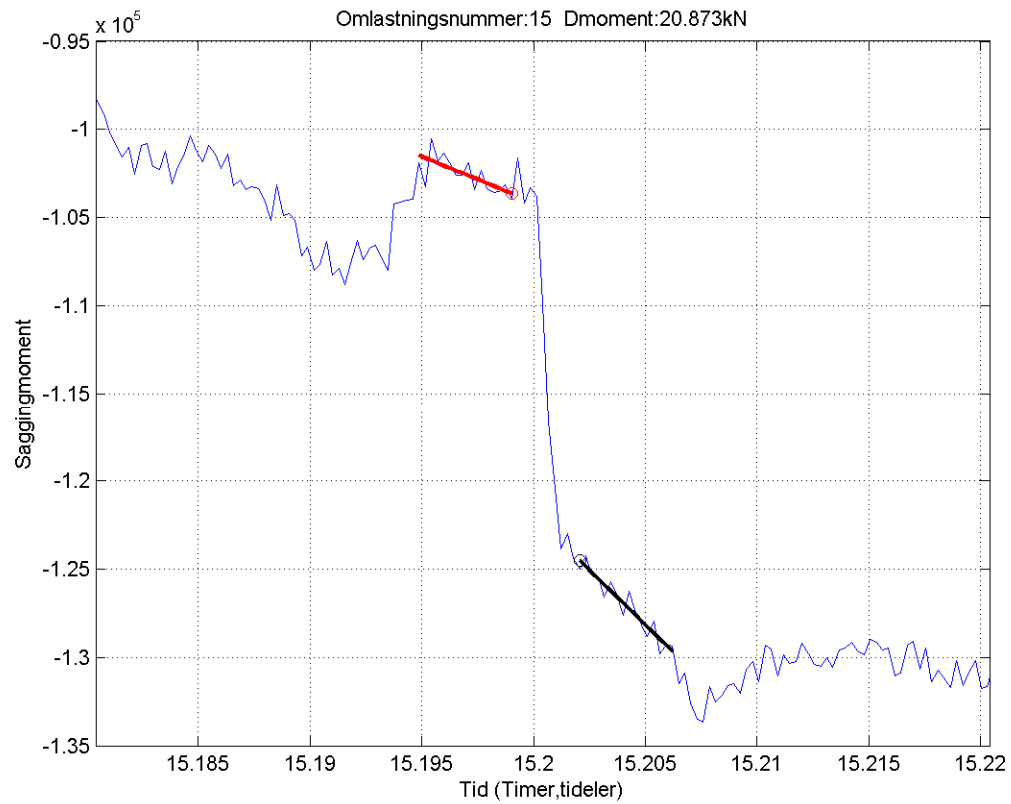
B.13 Forflytning 13



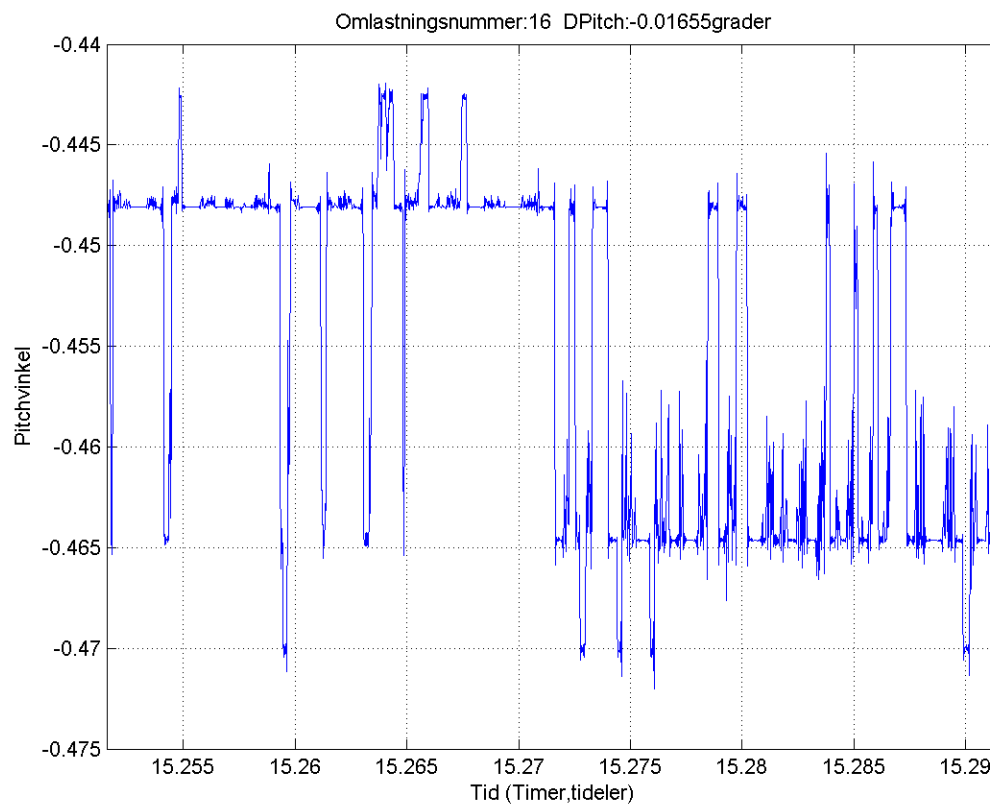
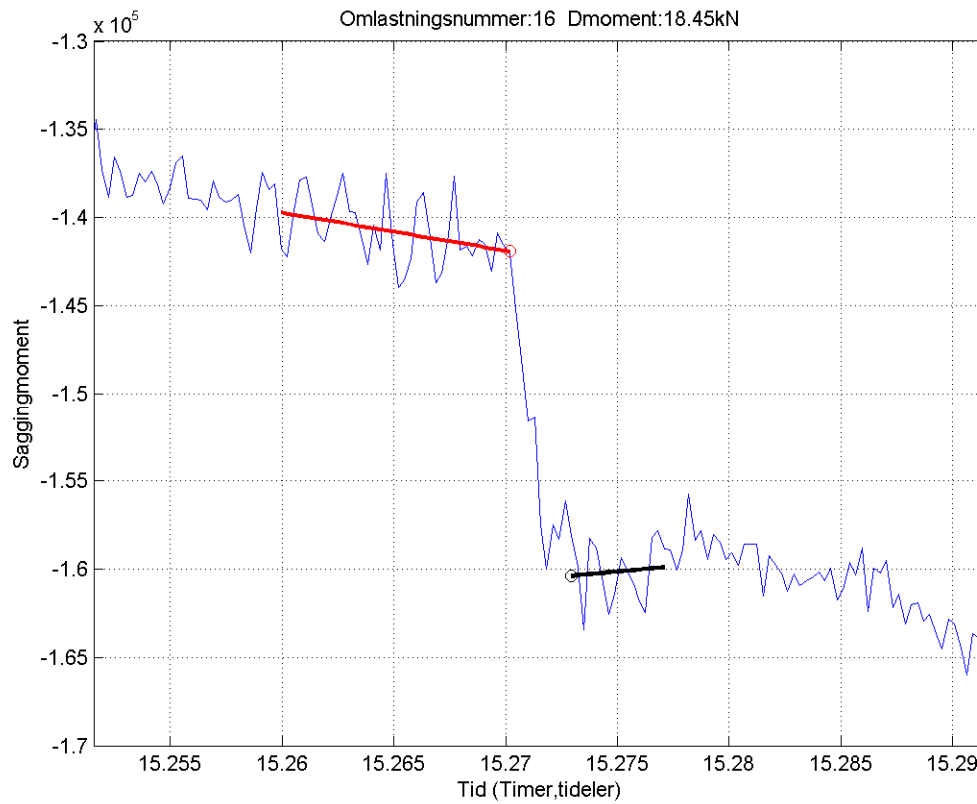
B.14 Forflytning 14



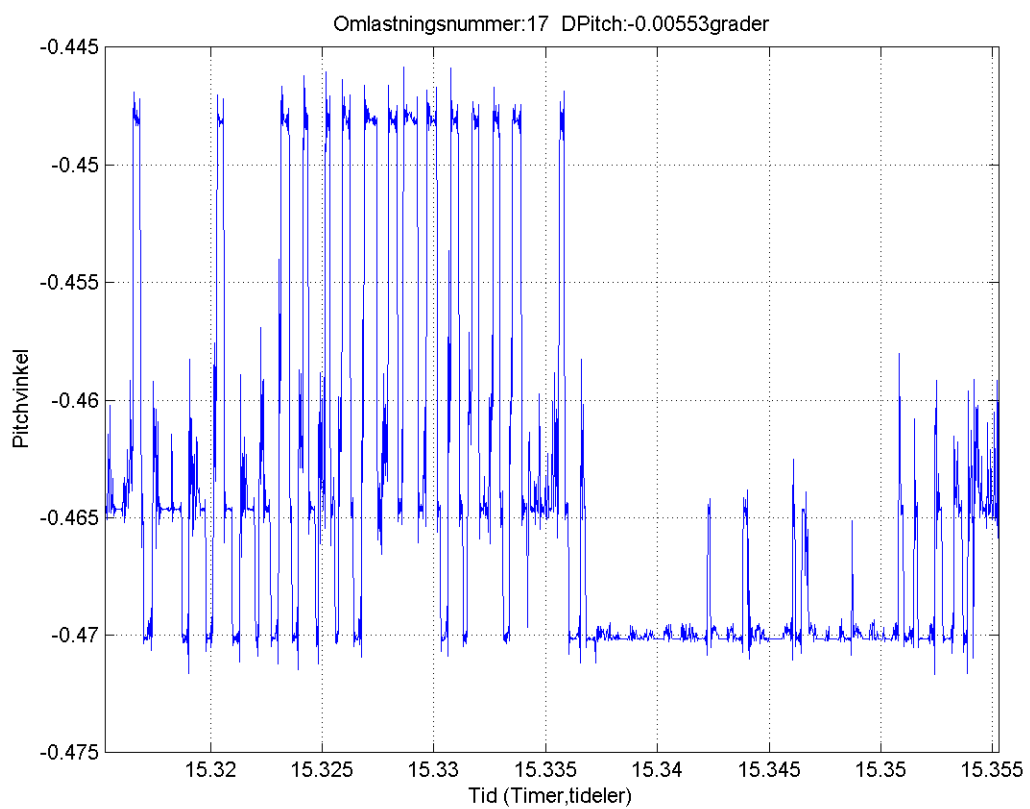
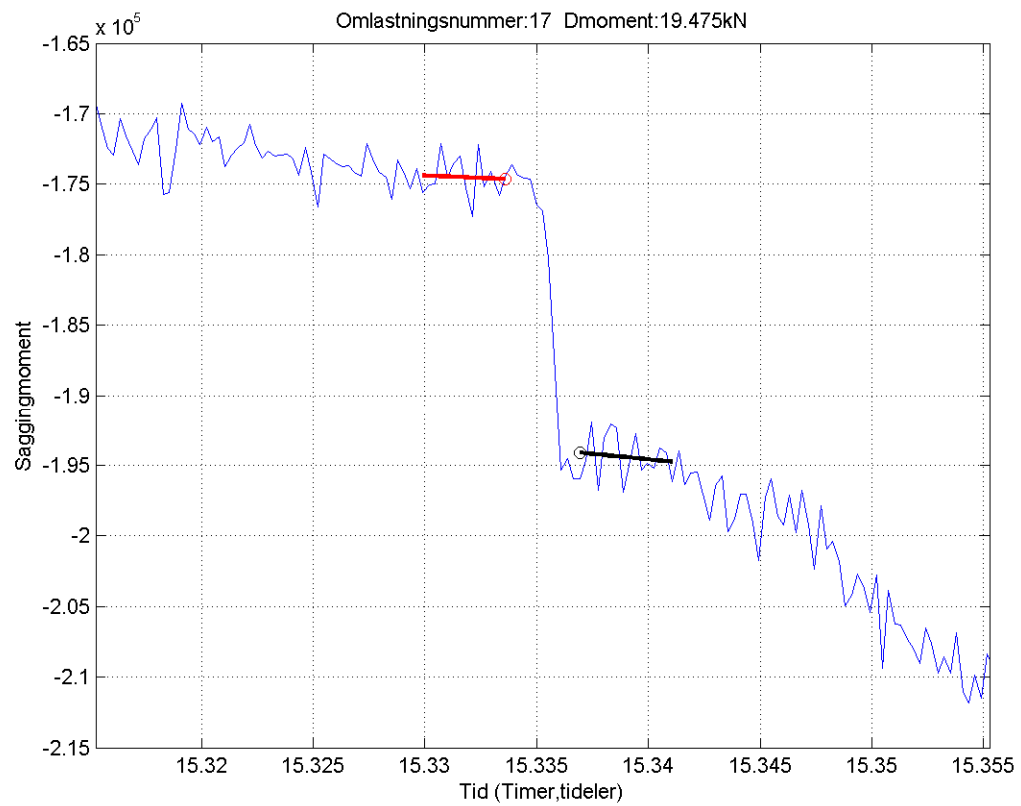
B.15 Forflytning 15



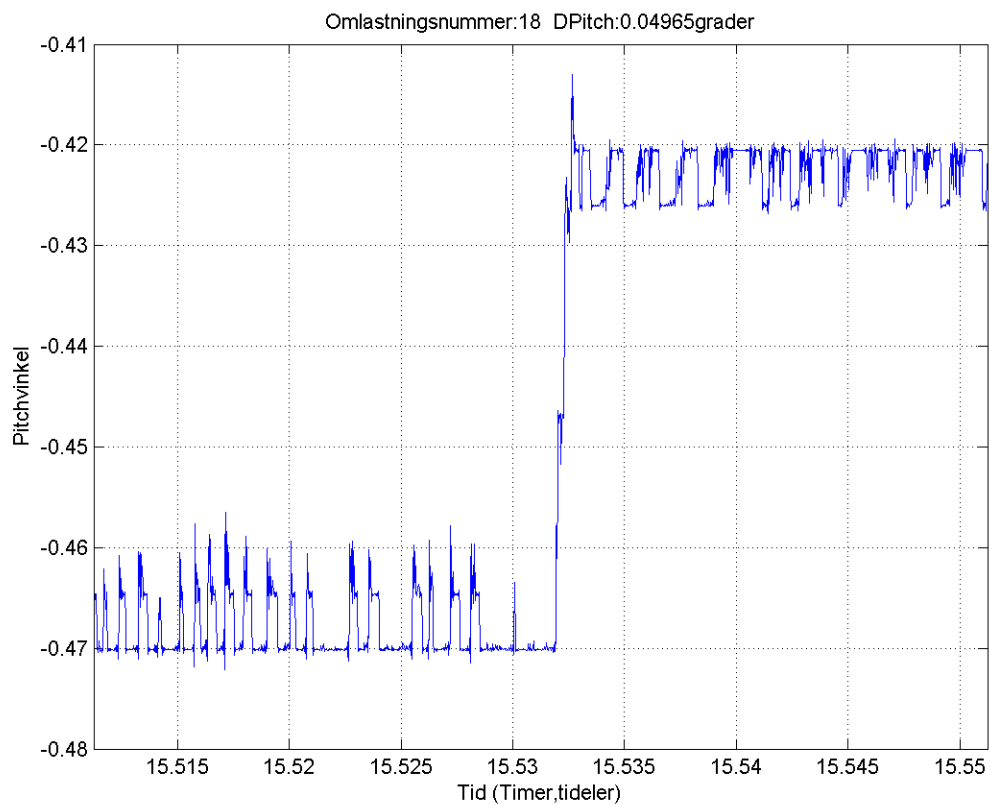
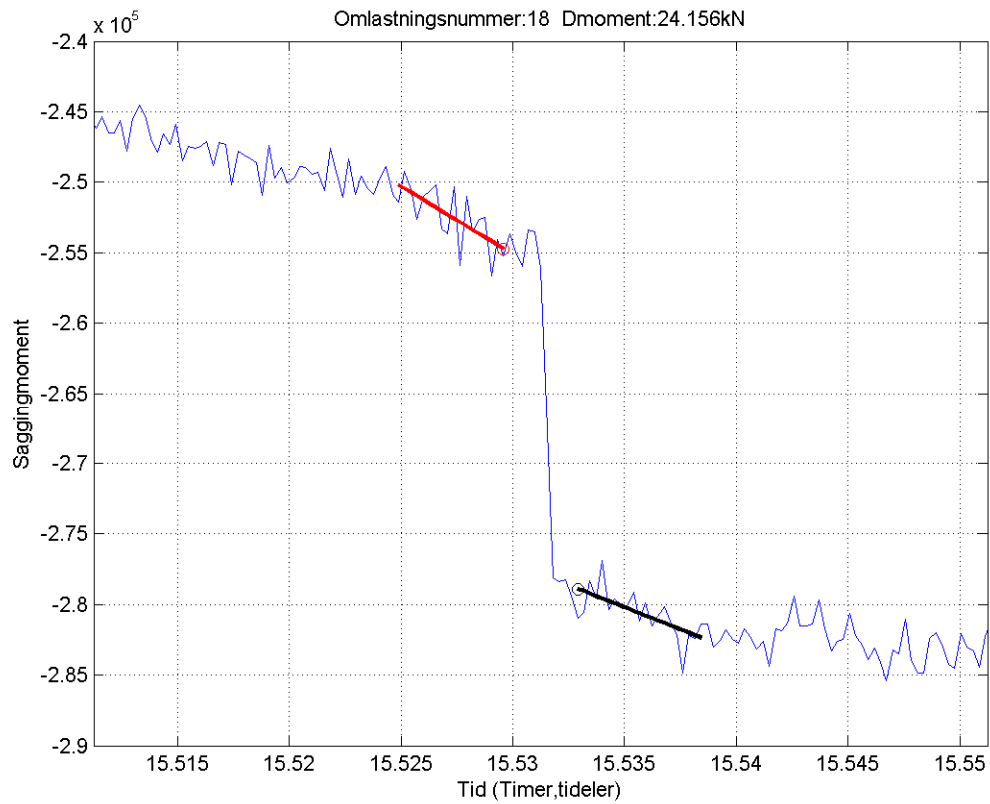
B.16 Forflytning 16



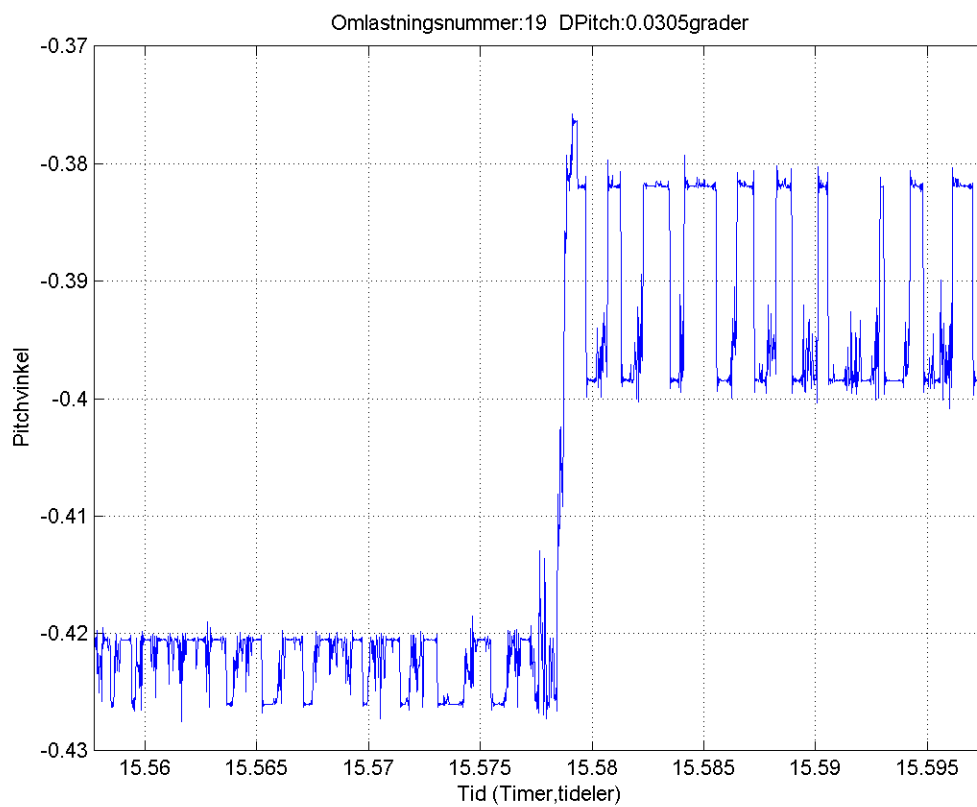
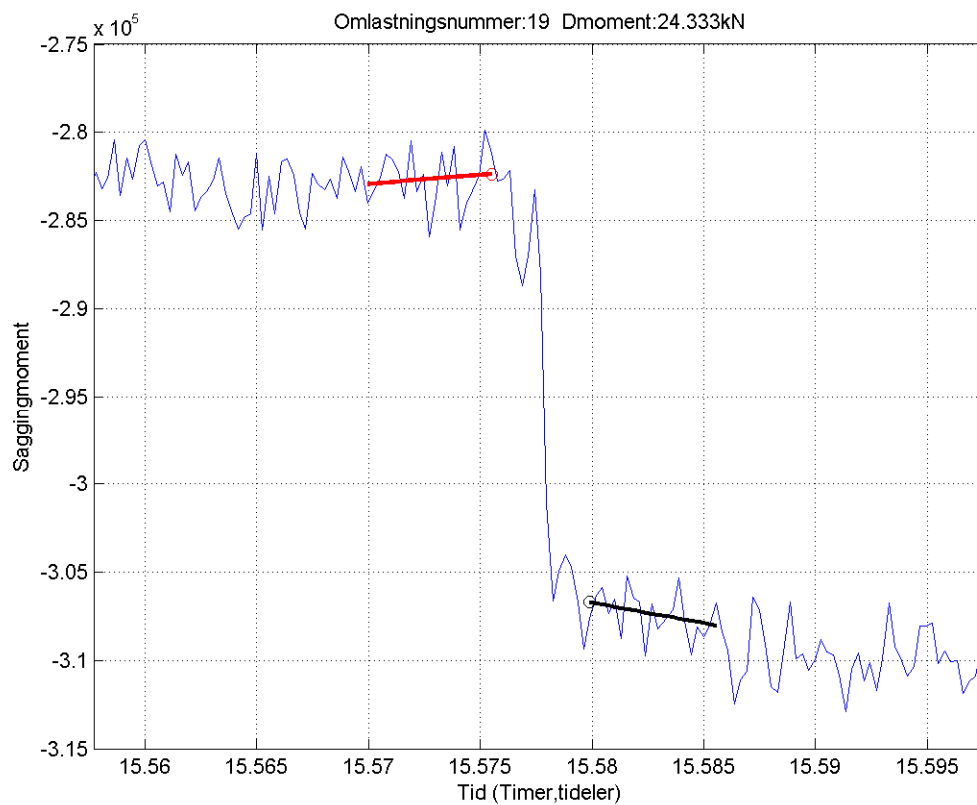
B.17 Forflytning 17



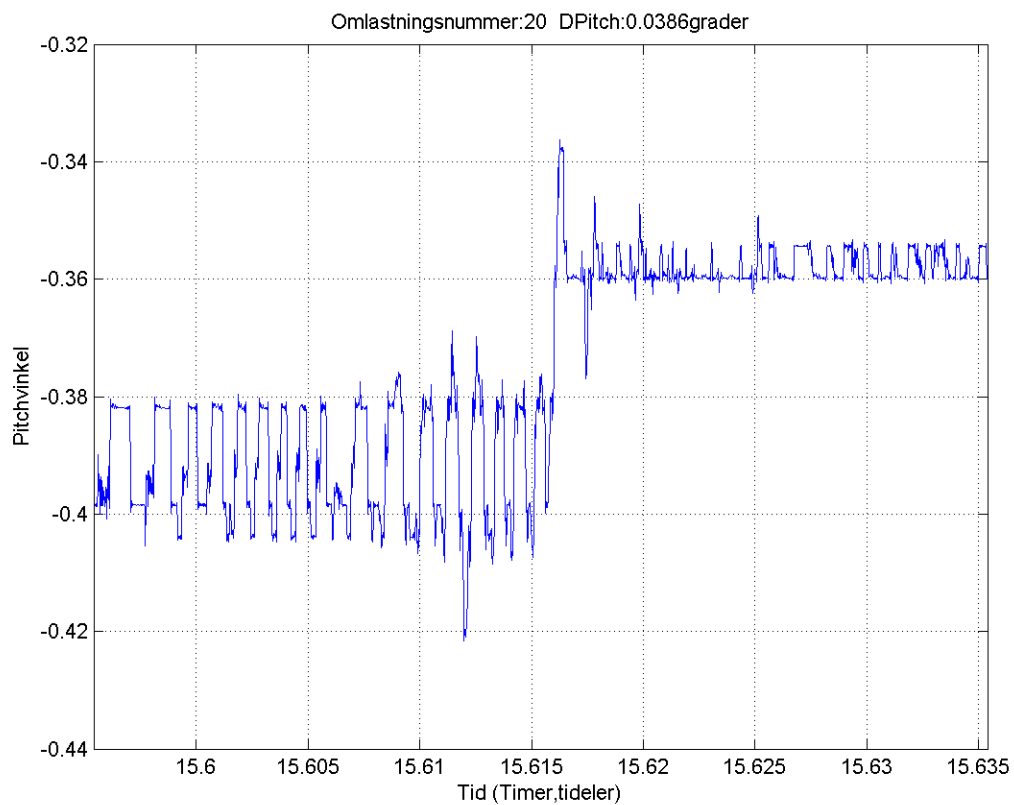
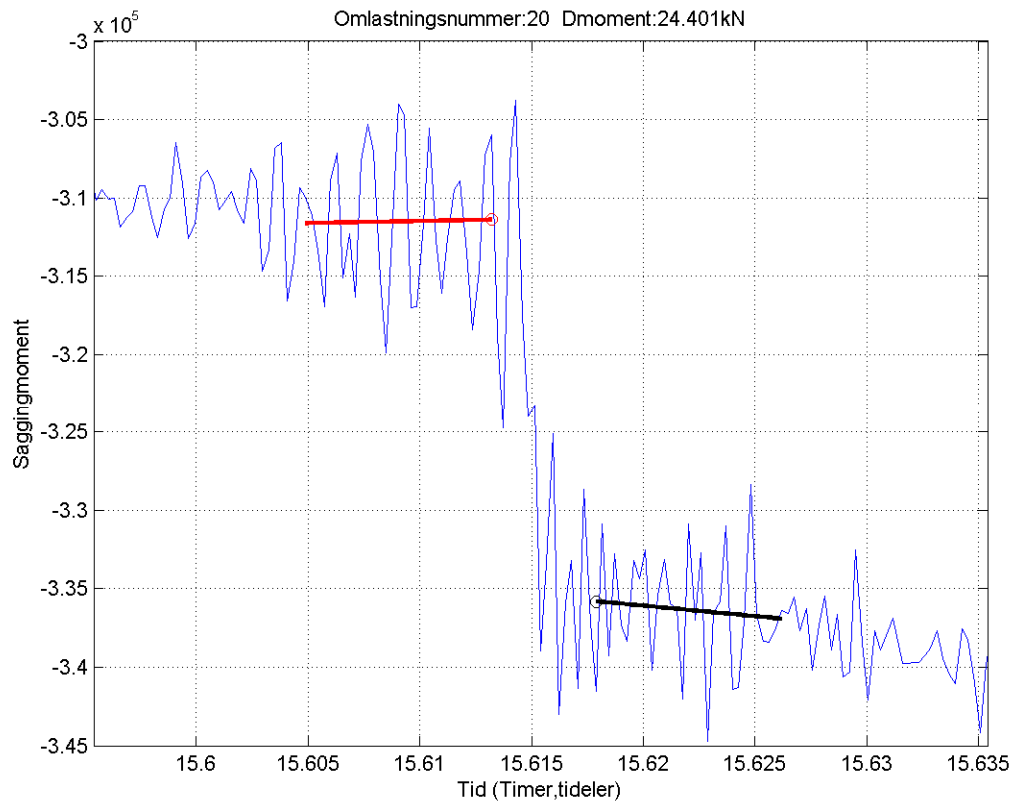
B.18 Forflytning 18



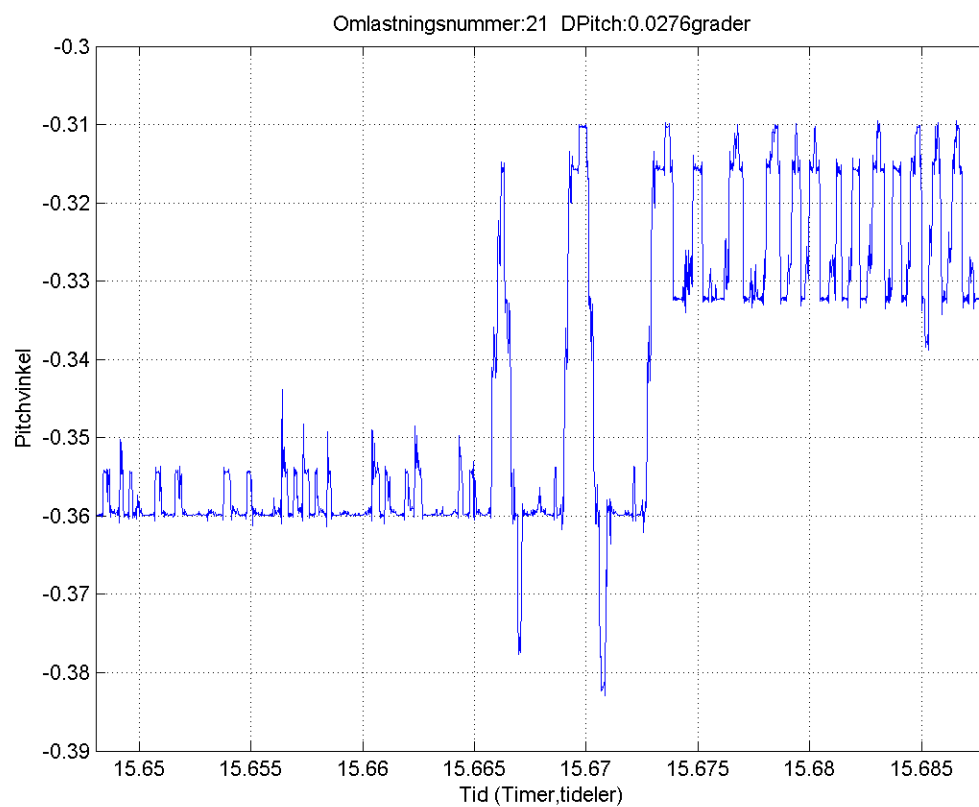
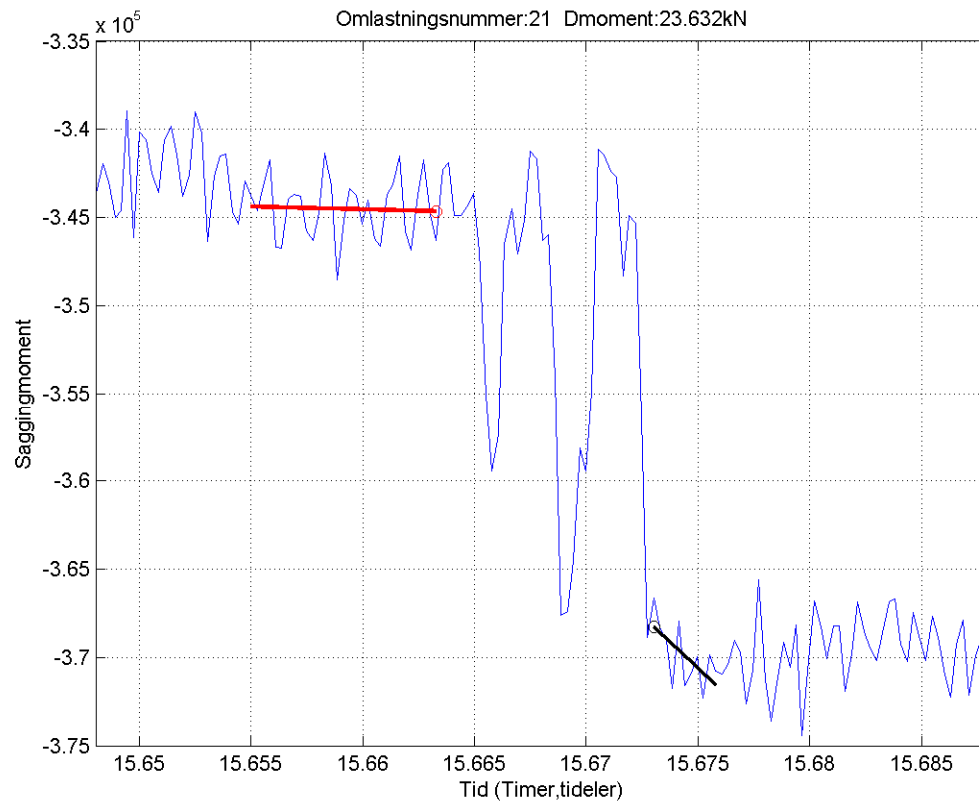
B.19 Forflytning 19



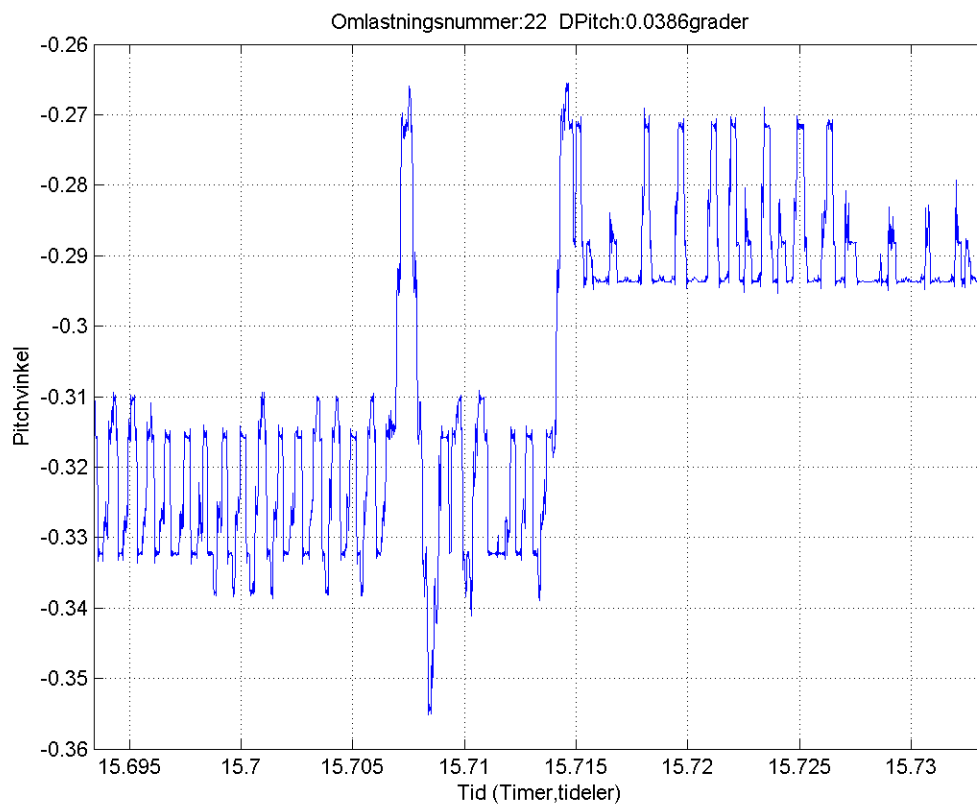
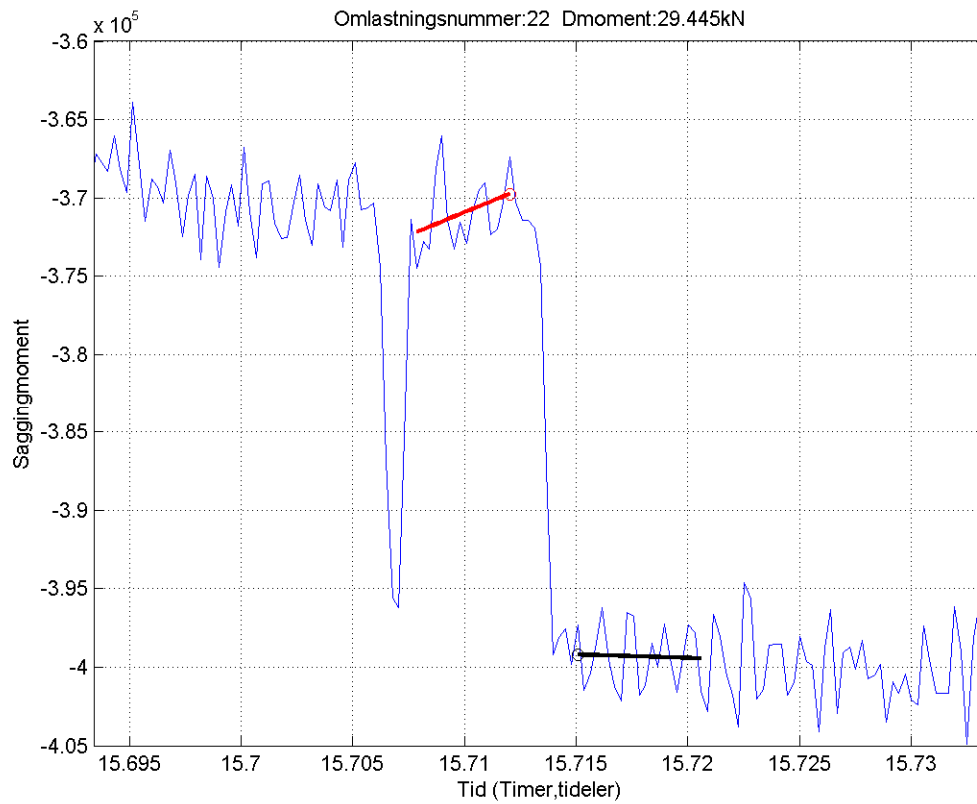
B.20 Forflytning 20



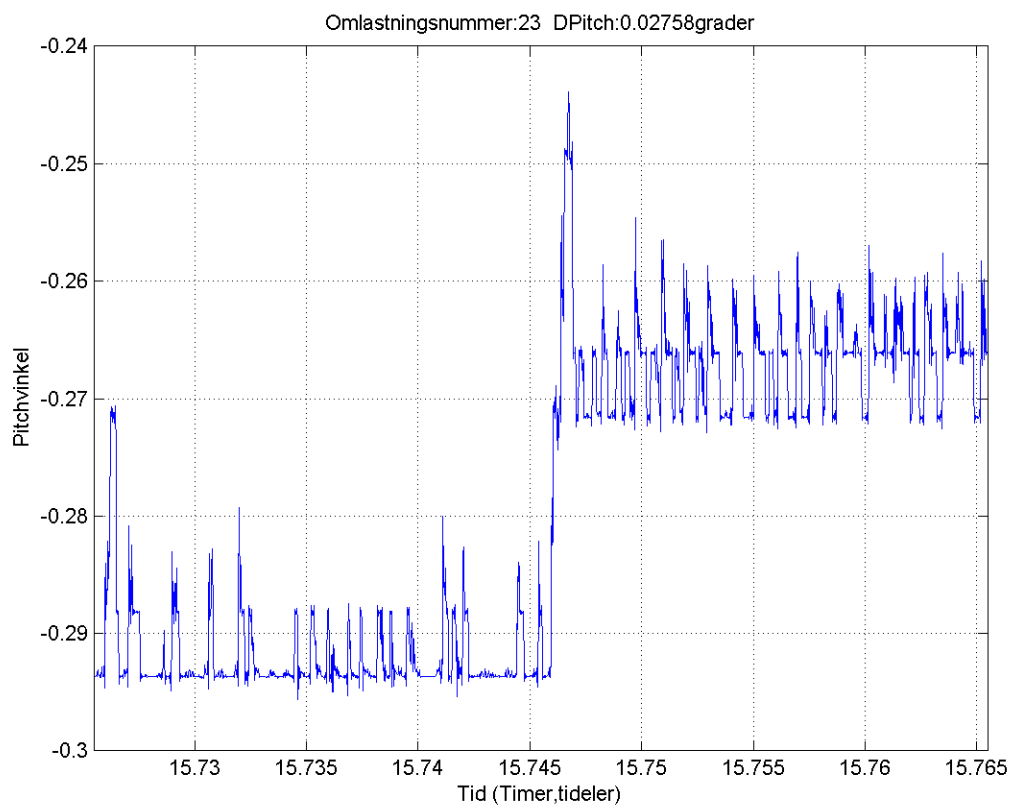
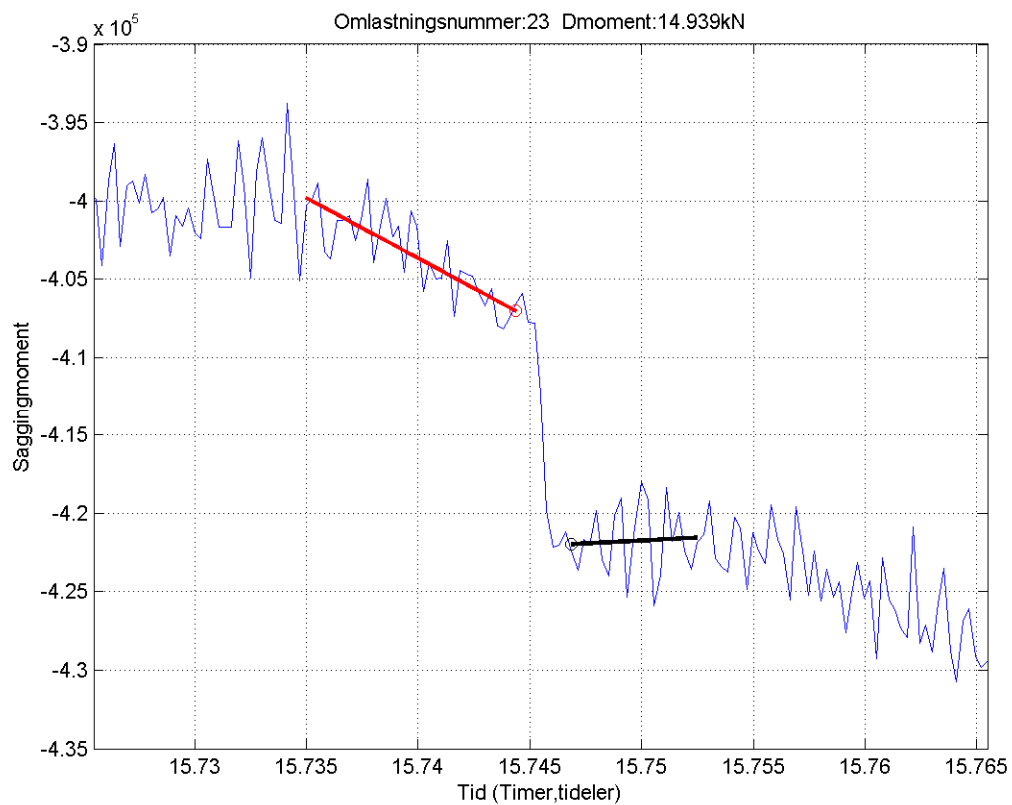
B.21 Forflytning 21



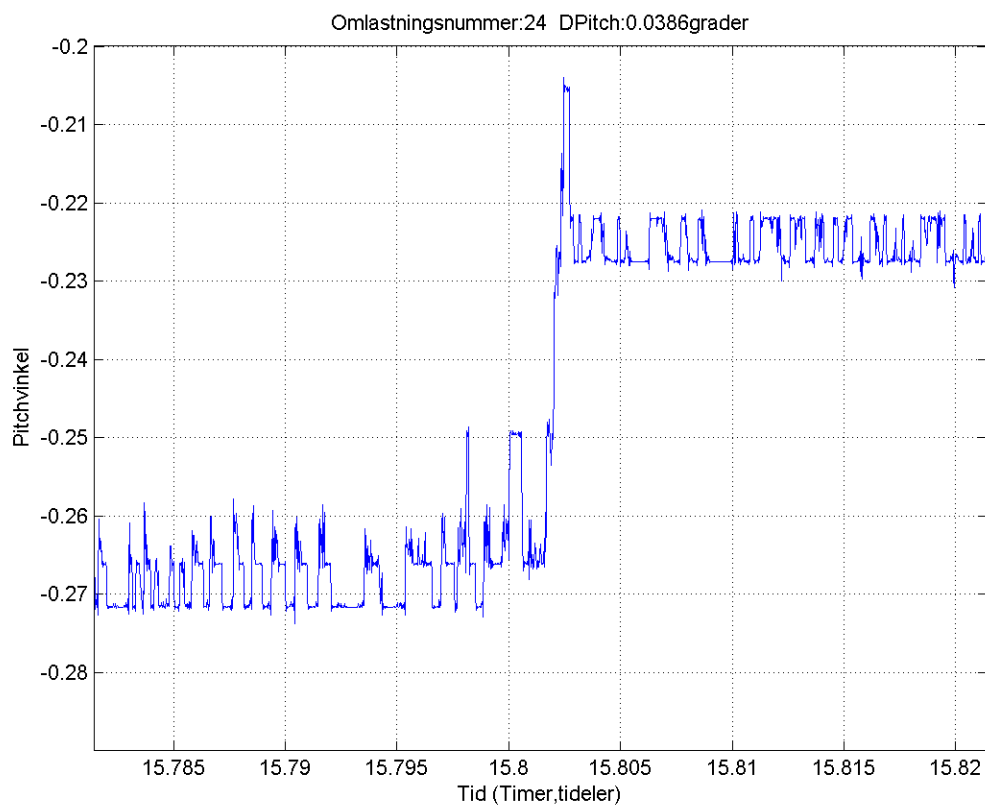
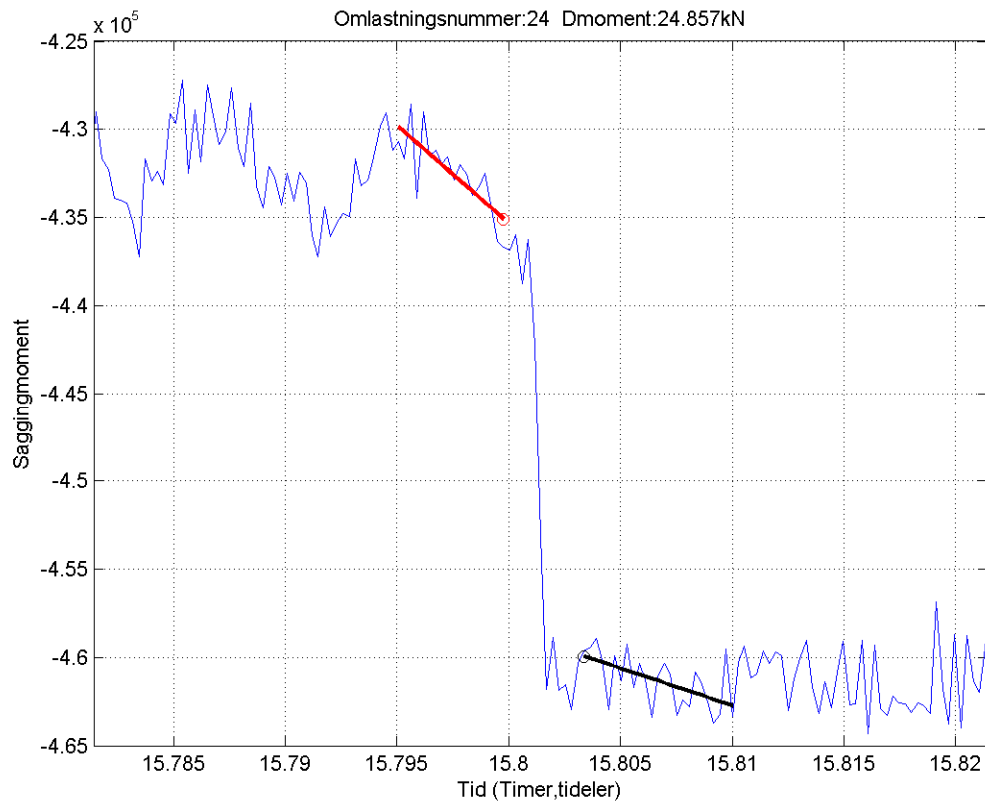
B.22 Forflytning 22



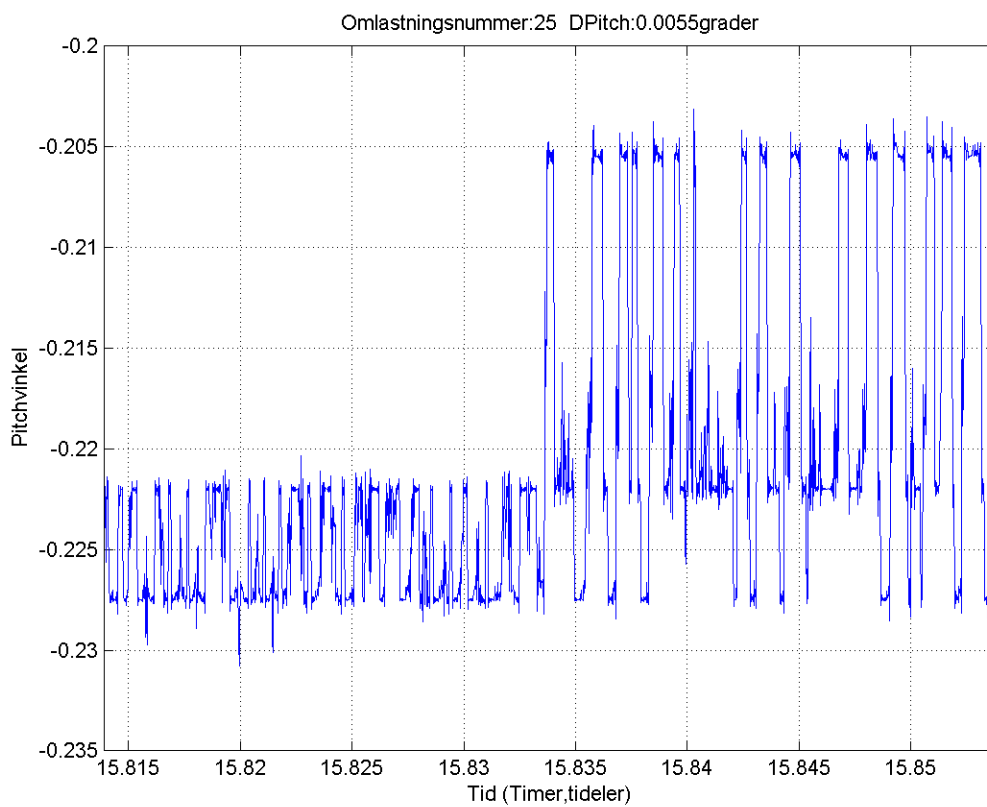
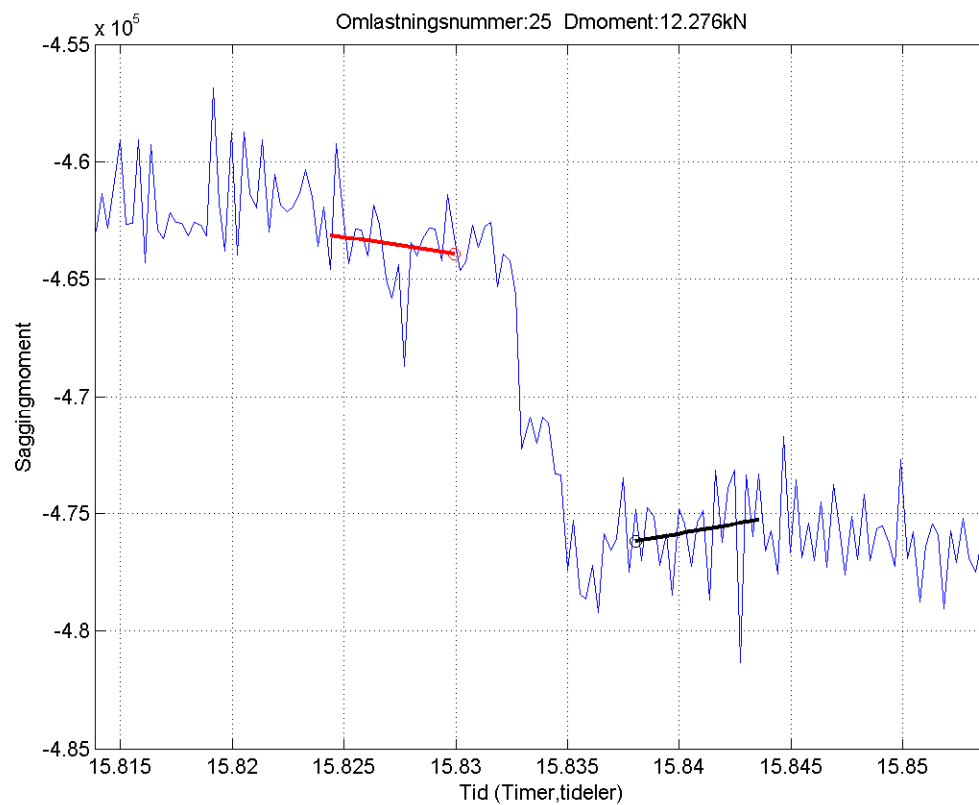
B.23 Forflytning 23



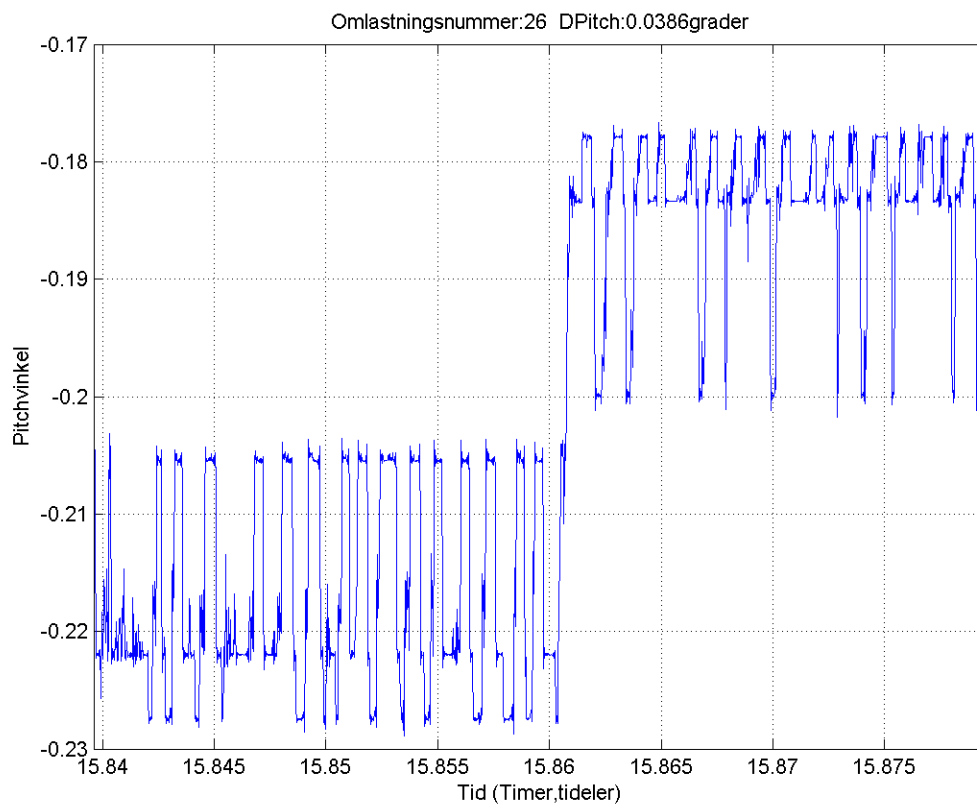
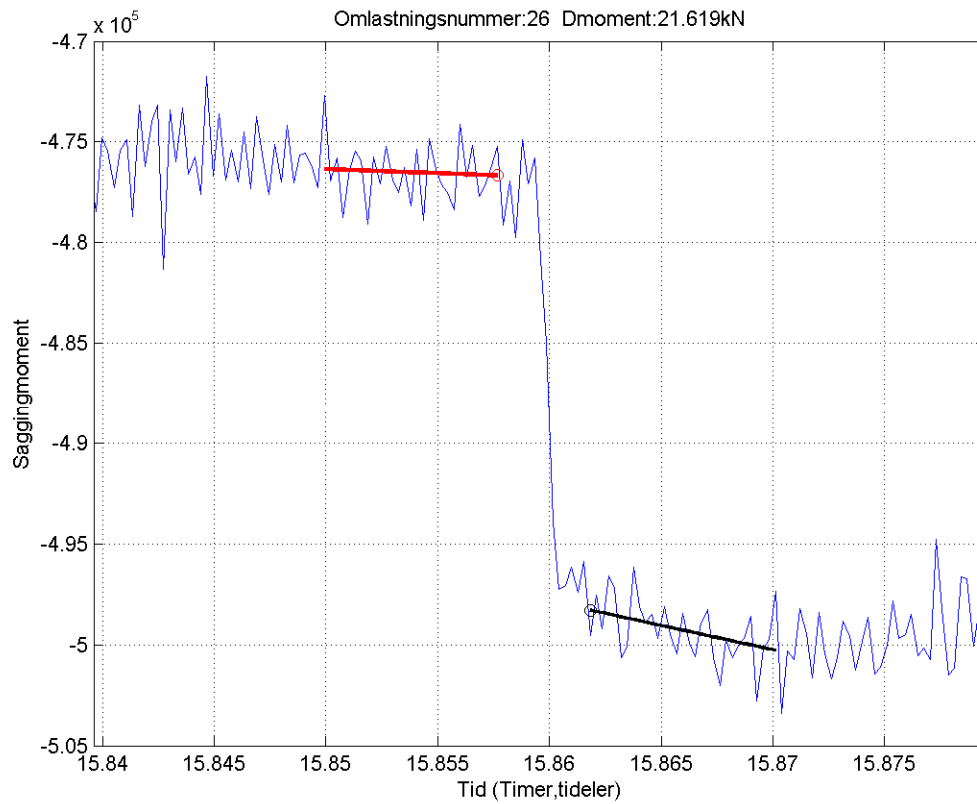
B.24 Forflytning 24



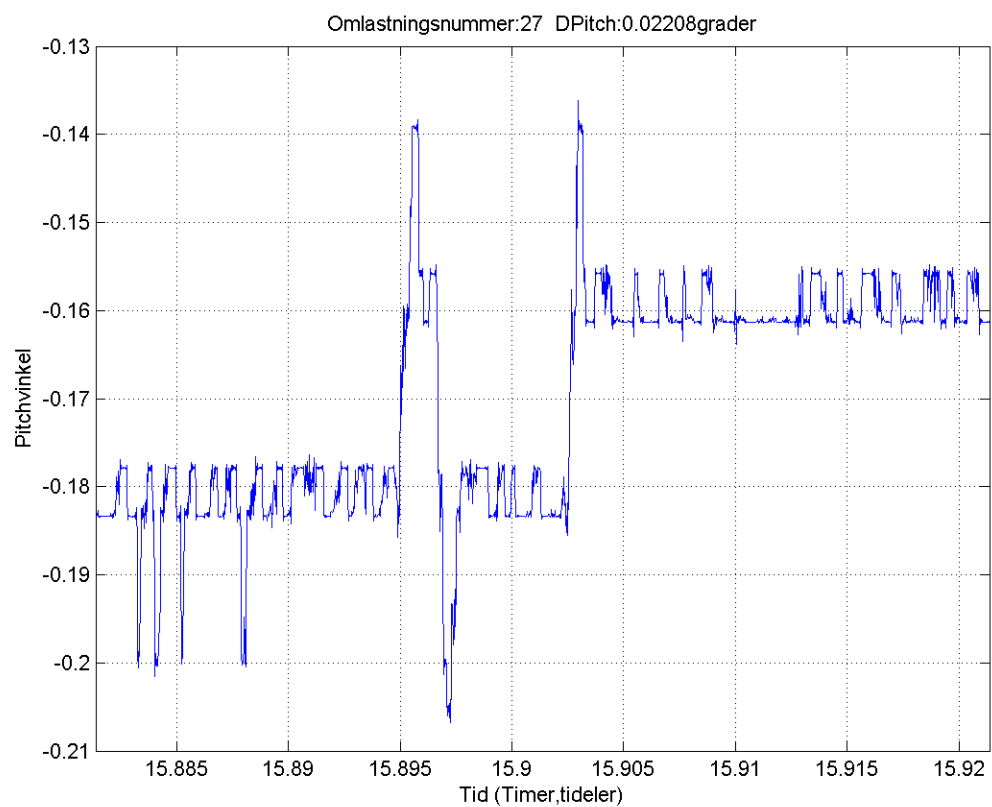
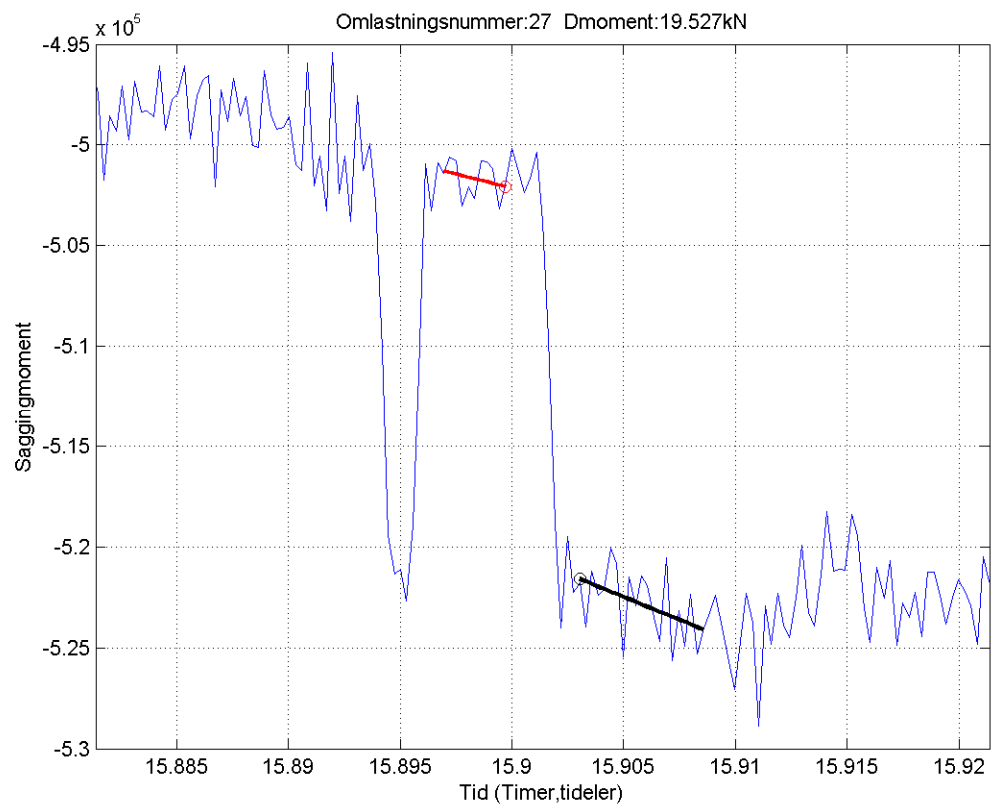
B.25 Forflytning 25



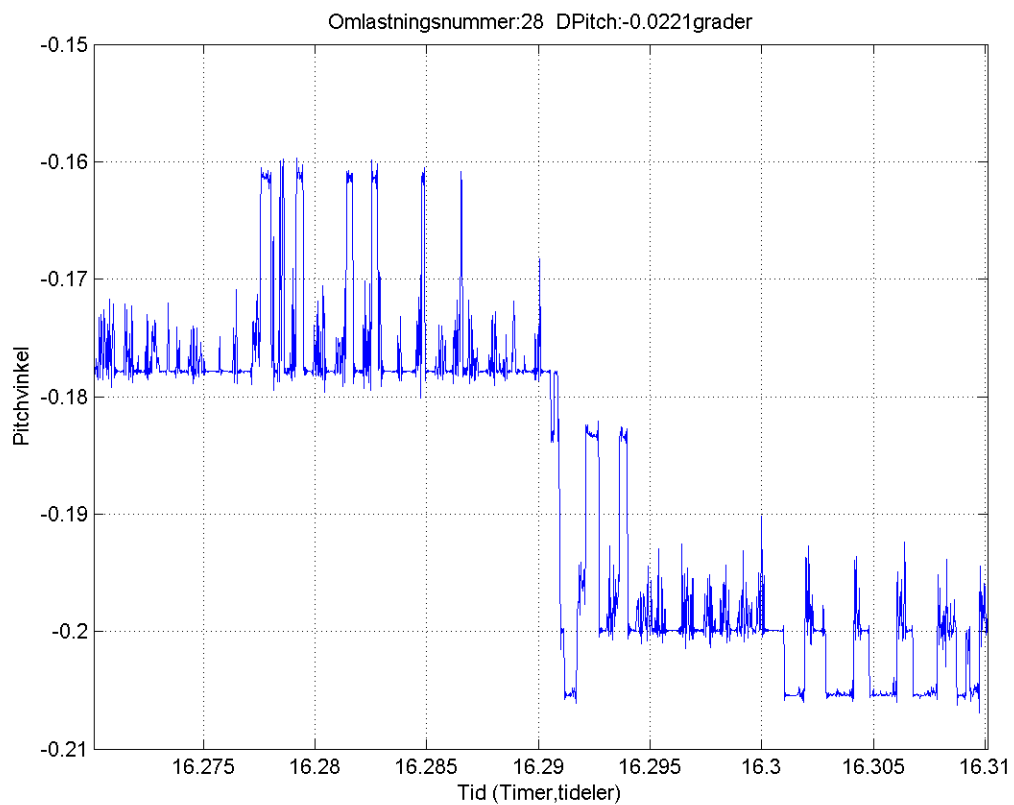
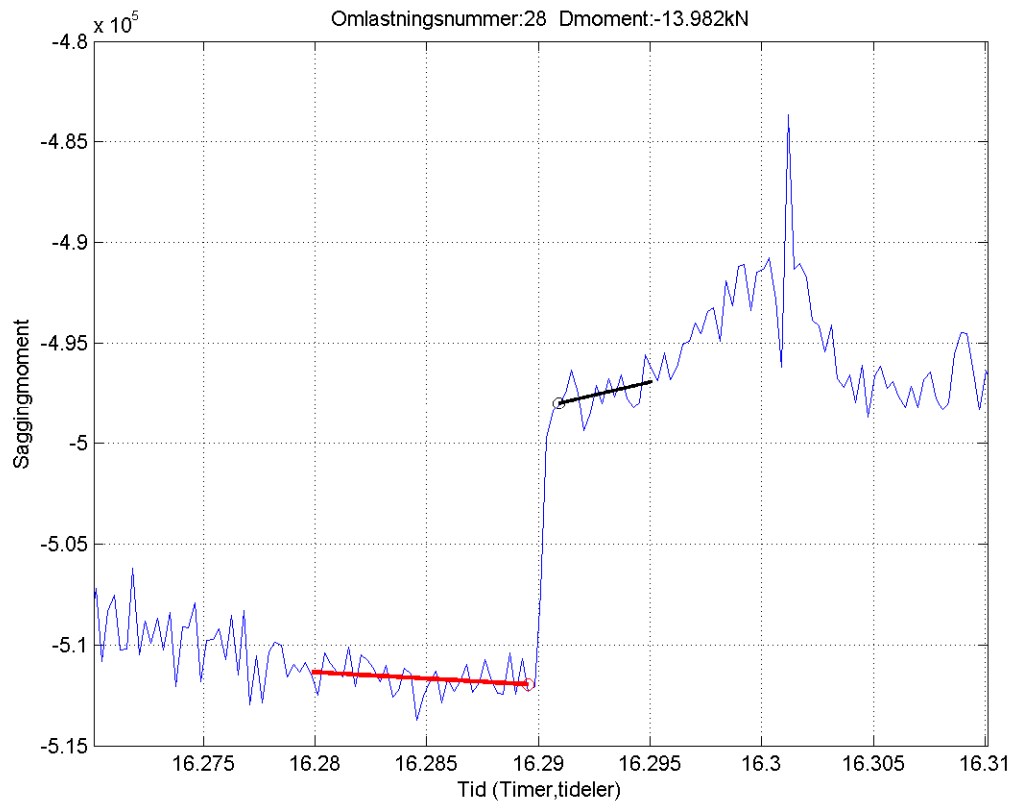
B.26 Forflytning 26



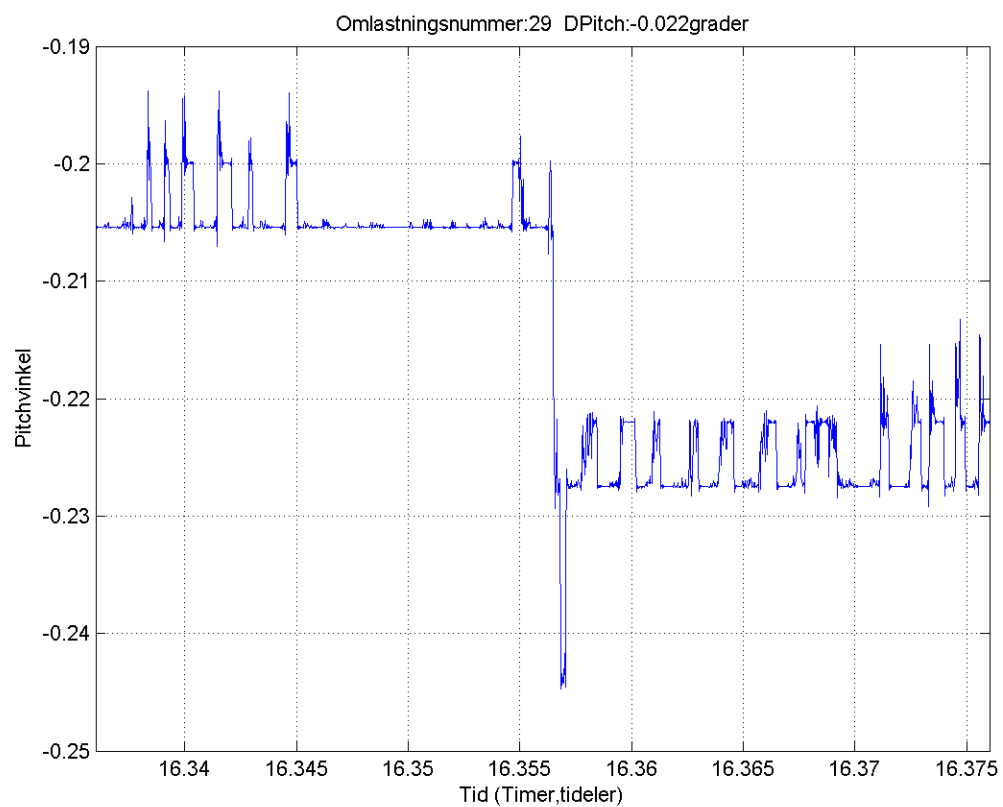
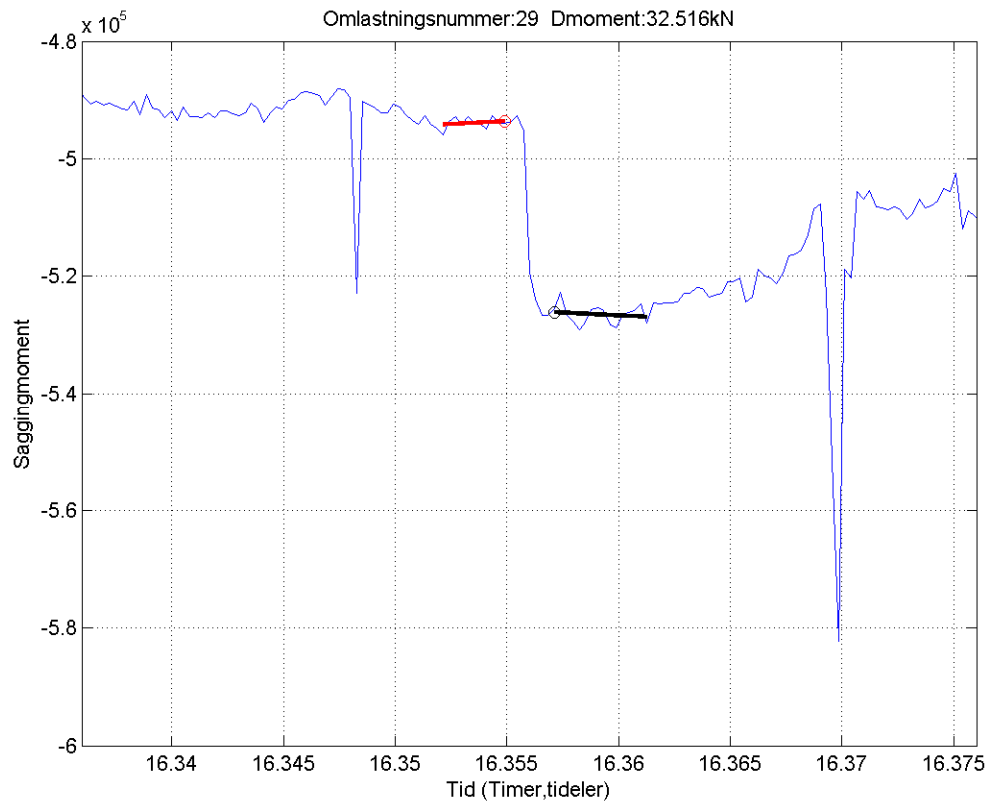
B.27 Forflytning 27



B.28 Forflytning 28

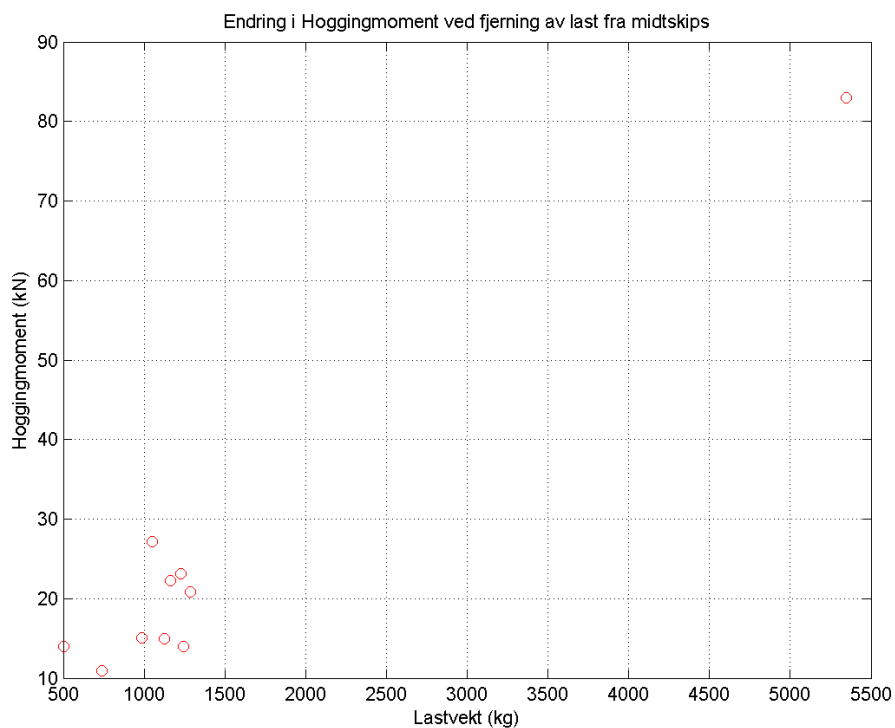


B.29 Forflytning 29



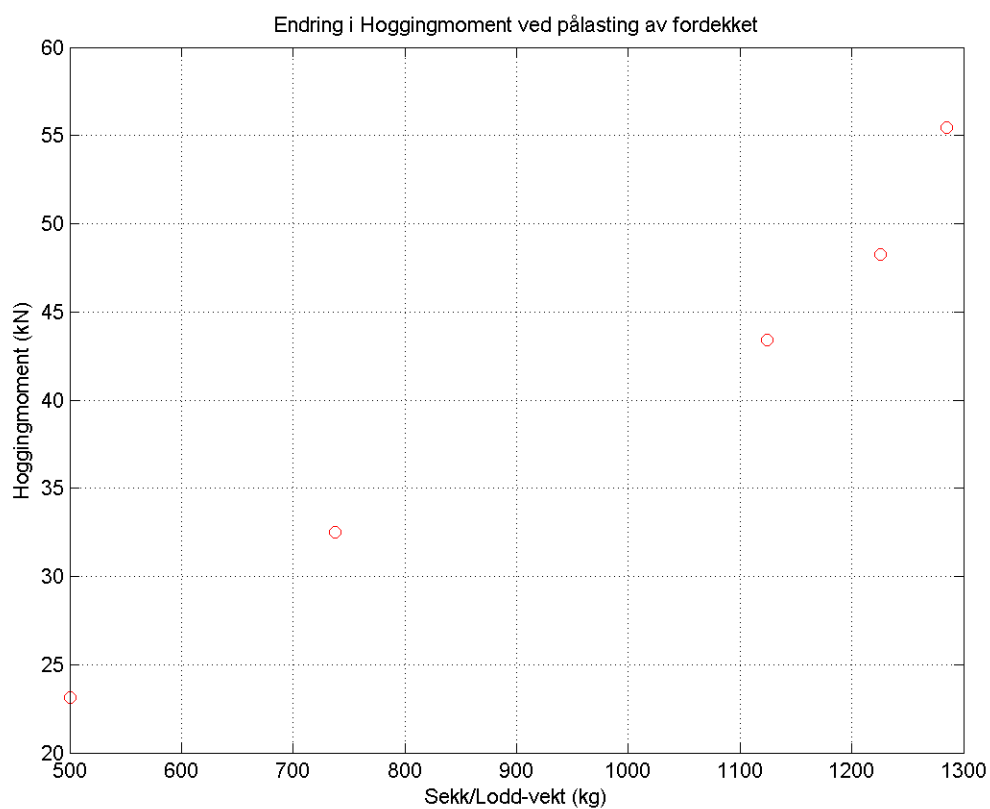
Appendix C Endring i moment

C.1 Endring i moment ved avlasting av midtskips vekter



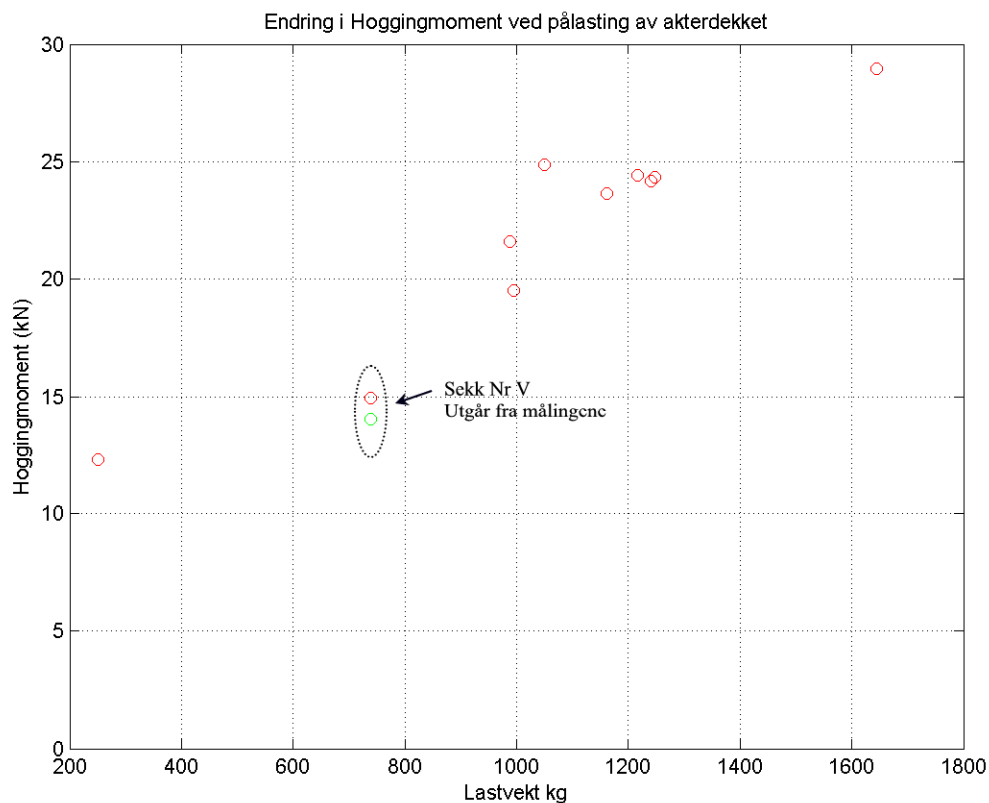
Figur C.1 Hver sirkel representerer en sekkeforflytning gitt i Tabell 3.2

C.2 Endring i moment ved pålasting av fordekket



Figur C.2 Hver sirkel representerer en sekkeforflytning gitt i Tabell 3.2

C.3 Endring i moment ved pålasting av akterdekket



Figur C.3 Hver sirkel representerer en sekkeforflytning gitt i Tabell 3.2. Endringene som er forårsaket av sekk Nr. V er markert med en stiplet sirkel. Den grønne sirkelen tilsvarende absoluttverdien til momentendringen ved at sekk Nr. 5 ble løftet av akterdekket. Legg merke til at det ble målt 15% forskjell i momentverdi ved å sette på sekken og løfte den av igjen.

Appendix D Instillinger FBGA-analysator

Offsetverdien blir justert slik at Ref#3 skal holde seg rundt bølgelengden 1550+44.6 nm.

Bragg gitrene som blir brukt til å finne stigningstallet i den lineære tilpasningen er:

REF#2: 1550+36.9 nm

REF#4: 1550+52.0 nm

Konstantdelen i tilpasningen blir funnet ved tilpasningen til REF#2.

Faktorene i tilpasningspolynomet er:

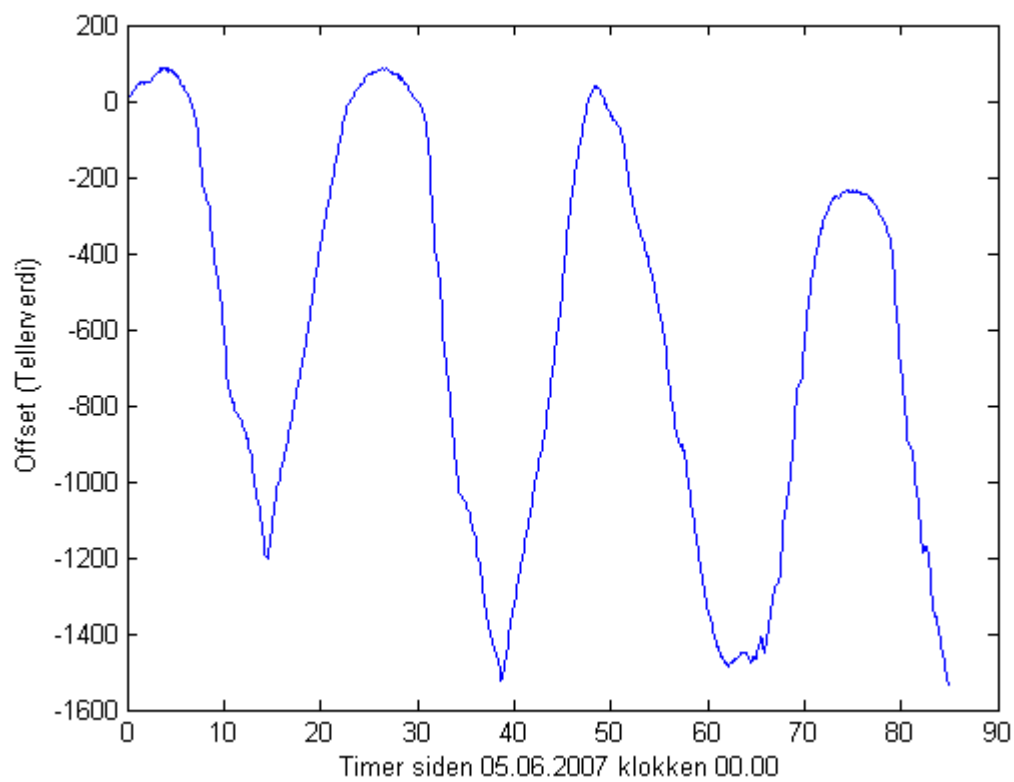
$a_0=3.629$

$a_1=-0.4504$

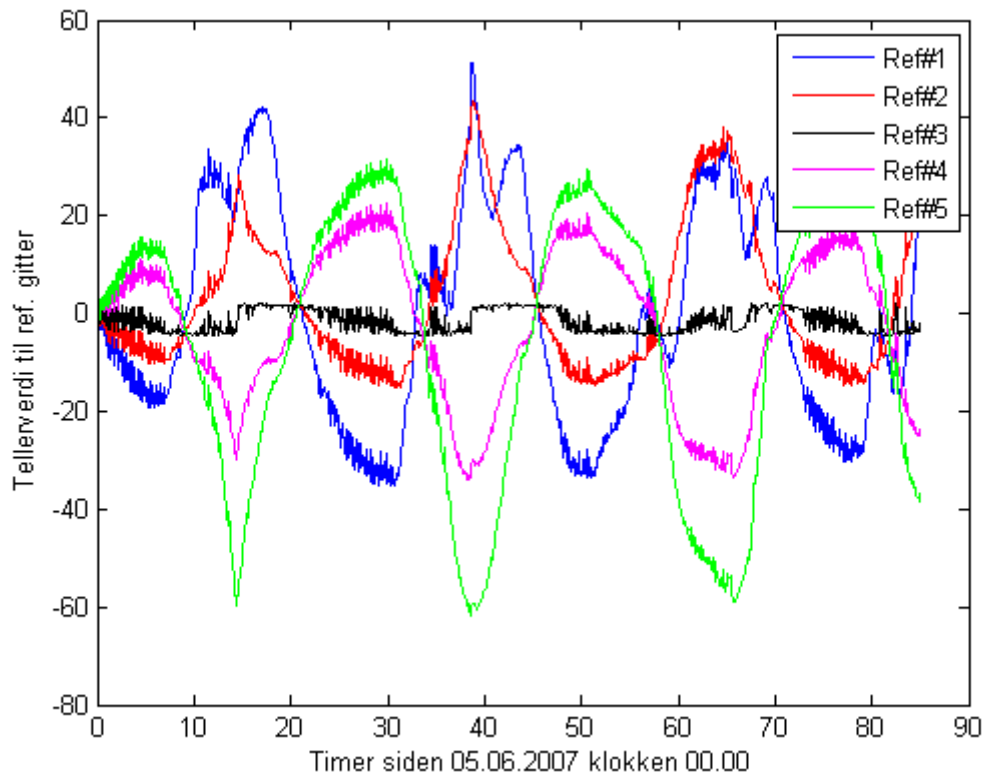
$a_2=0.015022$

$a_3=0.00014796$

Appendix E Referansegitter og offsetverdi



Figur E.1 Endringer i offsetverdi på Fabry Perot filteret. Offset ved tid 0 er 10550



Figur E.2 Endring i tellerverdi til referansegitterne. Ved tid 0 er telleverdiene: Ref#1=3884, Ref#2=16007, Ref#3=29001, Ref#4=42579, Ref#5=58600.

References

- (1) Torkildsen H E, Jensen A E, Brodtkorb P A(2006): (U) Estimating hull loads and wave parameters using the ESHHM system on HNoMs Otra, FFI/RAPPORT-06/01607, Forsvarets forskningsinstitutt(Restricted)
- (2) Jensen A E(2000): Damage detection and design verification of FRP sandwich composites using fibre optic strain sensors, Dr. Ing avhandling, Inst. for mekanikk, termo- og fluidodynamikk, NTNU, Trondheim Norway. mai 2000