

# **FFI RAPPORT**

## **MÅLINGER AV AKSELERASJONER PÅ STRIDSBÅT 90N**

SAGVOLDEN Geir, PRAN Karianne, WANG Gunnar

**FFI/RAPPORT-2001/04408**

FFIE/793/116

Godkjent  
Kjeller 10 september 2001

Stian Løvold  
Forskningsjef

**MÅLINGER AV AKSELERASJONER PÅ  
STRIDSBÅT 90N**

SAGVOLDEN Geir, PRAN Karianne, WANG Gunnar

FFI/RAPPORT-2001/04408

**FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT**  
**Norwegian Defence Research Establishment**  
Postboks 25, 2027 Kjeller, Norge

P O BOX 25  
 NO-2027 KJELLER, NORWAY  
**REPORT DOCUMENTATION PAGE**

**SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE**  
 (when data entered)

1) PUBL/REPORT NUMBER FFI/RAPPORT-2001/04408	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED	3) NUMBER OF PAGES 115
1a) PROJECT REFERENCE FFIE/793/116	2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE -	
4) TITLE MÅLINGER AV AKSELERASJONER PÅ STRIDSBÅT 90N  ACCELERATION MEASUREMENTS ON STRIDSBÅT 90N		
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) SAGVOLDEN Geir, PRAN Karianne, WANG Gunnar		
6) DISTRIBUTION STATEMENT Approved for public release. Distribution unlimited. (Offentlig tilgjengelig)		
7) INDEXING TERMS IN ENGLISH: IN NORWEGIAN:		
a) <u>acceleration measurement</u>	a) <u>akselerasjonsmåling</u>	
b) _____	b) _____	
c) _____	c) _____	
d) _____	d) _____	
e) _____	e) _____	
THESAURUS REFERENCE:		
8) ABSTRACT <p>Rapporten beskriver målinger og analyser av akselerasjoner på Stridsbåt 90N foretatt vinteren og sommeren 2001. Akselerasjonsnivåene som er observert er sammenholdt med grenseverdier for akselerasjonsbelastninger i sivile regelverk for vibrasjoner (NS-ISO 26311/1), passasjerbåtreglementet IMO High Speed Craft Code og frittfall livbåter (DnV).</p> <p>Det er gjort systematiske målinger under ulike sjøtilstander, seilingsretninger i forhold til dominerende bølgeretning og hastigheter. Det er observert akselerasjonsverdier som anses som høye i relasjon til eksisterende regelverk. Samtidig er det observert at akselerasjonsbelastningen reduseres kraftig ved å senke farten, og tildels også ved å endre retning.</p>		
9) DATE 10 September 2001	AUTHORIZED BY This page only Stian Løvold	POSITION Director of Research

ISBN-82-464-0547-0

**UNCLASSIFIED**

**SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE**  
 (when data entered)

**INNHold**

1	SAMMENDRAG	7
2	INNLEDNING	8
2.1	Formål	8
2.2	Vurdering av grunnlagsmateriale	8
2.2.1	NS-ISO 2631/1	9
2.2.2	NAVWEPS 00-80T-89	9
2.2.3	IMO High Speed Craft / DASS Seakeeping Manual (MARINTEK)	9
2.2.4	Veritas grenser for fritt-fall livbåter	10
3	INSTRUMENTERING	10
4	MÅLEPROGRAM	12
5	DATAANALYSE	14
5.1	Vibrasjonsmiljø	15
5.2	Store vertikale forskyvninger	16
5.3	Store horisontale akselerasjoner	17
5.4	Presentasjon av data	18
5.4.1	Vibrasjonsspektrum i forhold til NS-ISO 2631/1	18
5.4.2	Retningsdiagram	18
5.4.3	Støtdiagram	20
6	DISKUSJON	21
6.1	Variasjoner med seilingsretning	21
6.2	Variasjon med hensyn på fart	22
6.3	Variasjoner med sjøtilstand	22
7	KONKLUSJONER	22
<b>APPENDIKS</b>		
A	OVERSIKT OVER DATASETTENE	23
B	GRAFISK PRESENTASJON AV ANALYSERESULTATENE	23
C	DATA-CD	114
	Fordelingsliste	115



## MÅLINGER AV AKSELERASJONER PÅ STRIDSBÅT 90N

### 1 SAMMENDRAG

Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) instrumenterte vinteren 2000/2001 stridsbåten KA14 “Kjø-køy” for måling av akselerasjonsbelastninger ombord på oppdrag av Kystartilleriinspektøren (KAINSP) og Sjøforsvarets Forsyningskommando (SFK). Dataene skal danne grunnlag for vurderinger av arbeidsmiljøet ombord.

SFK spesifiserte et omfattende systematisk måleprogram hvor fartøyet skulle seile i definerte møtevinkler og hastigheter i sjøtilstander 1-4, i alt 96 måleserier av ca 5 minutter. Målingene var planlagt utført i desember og i første halvdel av januar, men da denne perioden var over var kun et fåtall av de ønskede målingene samlet inn. Supplerende data er tatt opp i juni i sjøtilstand 3 og 4. Datasettet gir nå grunnlag for å trekke en del konklusjoner.

Nivået av kontinuerlige periodiske belastninger, som omhandlet i NS-ISO 2631/1, ligger under spesifiserte grenseverdier med unntak av opphold i motorrom under drift. Dataene for motorrommet er imidlertid svært usikre da de er influert av elektromagnetisk interferens.

Nivået av horisontalakselerasjoner/støt ligger i en del tilfeller over grensene satt i passasjerbåtreglementet IMO High Speed Craft Code, Safety Level 3. Dette er grenser satt ut fra fare for skade på passasjerer, og kalles “Major degradation of safety”. Man kan derfor forvente at noe høyere nivåer kan aksepteres ombord i marinefartøyer, men at hyppige gjentakelser vil kunne ha negativ helsemessig effekt.

Det er observert vertikale akselerasjoner/støt godt over 25% av grensene som er satt for fritt-fall livbåter. Dette er grenser som er basert på fysiologiske betraktninger for mennesker som er forberedt og sitter fastspent i korrekt sittestilling. Grenser for mannskapet i SB90 bør settes betydelig lavere.

Man kan også konstatere at bølgelengden har mye å si for miljøet ombord, ved at høyere akselerasjonsverdier er registrert i sjøtilstand 3 med bølgelengde tilsvarende båtens lengde, enn i sjøtilstand 4 med lengre bølgelengde. Reduksjon av hastigheten har også stor effekt, som man kan se av data for hhv 38kn og 20kn fart i sjøtilstand 3. Mannskapet har også kommentert at den bølgetilstanden som oppleves som mest belastende, “fjordsjø” med krappe bølger, ikke ble funnet under målingene.

Når det gjelder retning i forhold til dominerende bølgeretning, viser det seg at de største akselerasjonene opptrer når man får sjøen inn med ca 30 grader på baugen. Også ved seiling rett mot sjøen oppleves store akselerasjoner i de høyere sjøtilstandene, mens belastningene reduseres ved seiling med sjøen inn bakfra.

Det anbefales å legge begrensninger på hastighet ved seiling mot sjøen, og særlig i relativt krappe bølger. Det ser ikke ut til å være grunn til å legge begrensninger på seiling med bølgene inn aktenfor tvers.

## 2 INNLEDNING

Denne rapporten dokumenterer målingene av akselerasjonsbelastninger ombord på Stridsbåt 90 KA-14 "Kjøkøy" gjennomført av Forsvarets Forskningsinstitutt på oppdrag av Kystartilleriinspektoratet og Sjøforsvarets forsyningskommando.

FFIs innsats i prosjektet har vært planlegging og installasjon av akselerometre, tilpasning og vibrasjonsdempning av instrumenteringen for forholdene ombord i KA-14, utvikling av spesialtilpasset programvare for logging av data, klargjøring av FFIs værbøye for bølgemålinger i området, etterbehandling og analyse av data samt rapportering av resultater. Kjernen i prosjektet utgjøres av forfatterne, men vi er takknemlige for utlån av instrumenter og verdifull innsats under montasje fra Øystein Lundberg og Atle Skaugen ved FFIs miljølaboratorium, samt Terje Johnsen ved FFI/E. Vi er også takknemlige for innsatsen fra Jan Rune Nilsen ved FFI/Fv for vibrasjonsdempingen av utstyret.

### 2.1 Formål

Etter rapporter om skader på mannskapet ombord, har Sjøforsvaret satt ned en arbeidsgruppe som skal vurdere arbeidsmiljøet ombord i SB90.

FFI fikk i oppdrag å fremskaffe grunnlagsdata for dette arbeidet i form av måling av akselerasjonsbelastninger og analyse av disse.

### 2.2 Vurdering av grunnlagsmateriale

SFK fremskaffet en del grunnlagsmateriale i form av standarder og grenseverdier i forbindelse med oppdraget. Dette materialet danner endel av grunnlaget for valg av instrumentering og måleprogram, samt analyse av data og presentasjon.

Det må imidlertid bemerkes at standarder for mannskap ombord på denne typen fartøy så vidt oss bekjent ikke eksisterer. Standardene som er beskrevet nedenfor gir grenseverdier ut fra kriterier som spenner fra passasjerkomfort og trygghet til fysiologiske grenser for engangsbelastninger, og gir derfor ikke entydige grenser.

Det finnes endel erfaringsmateriale som ikke er vurdert i forbindelse med denne rapporten. Vi anbefaler i denne sammenheng kontakt med det idrettsmedisinske miljøet.

Det finnes også målinger av belastninger i rommet under førerposisjon som ble utført i forbindelse med avdempning av navigasjonsutstyret. FFI har ikke blitt forelagt noen resultater eller konklusjoner fra disse målingene, men det kan tenkes at de kan gi supplerende informasjon.

### 2.2.1 NS-ISO 2631/1

NS-ISO 2631/1 tar for seg akselerasjonsgrenser for stokastiske og periodiske variasjoner. Grensene er satt ut fra smertekriterier på mannlige forsøkspersoner ved å utsette dem for vibrasjoner. Helsekriteriet er satt til 50% av smertegrensen. Grensen for nedsatt komfort er satt til 25% av smertegrensen.

Grensene er gitt som funksjon av frekvens og eksponeringstid i området 1-100 Hz for vibrasjoner i horisontalplanet, i vertikal retning, og som vektorsum.

Standarden er best egnet til å vurdere arbeidsmiljøet for personer utsatt for kontinuerlige vibrasjoner, enten i form av sinus-liknende svigninger eller stokastiske spektra (hvit støy). Dette kan f.eks. være begrensende for arbeid ved roterende maskineri som i et maskinrom, men vil ikke være et egnet kriterium dersom det er store variasjoner i belastningen (som i bølger).

Analysen av data for å beregne et kontinuerlig vibrasjonsspektrum vil derfor gi gjennomsnittsrms-verdier (effektiv-verdier) som funksjon av frekvens, men en situasjon med et fåtall store belastningstopper vil ikke gi særlig utslag i analysen.

### 2.2.2 NAVWEPS 00-80T-89

NAVWEPS 00-80T-89 gir oversikt over mekanismer og grenseverdier for g-påkjenninger relevant for jagerflypiloter. Fokus er på det kardiovaskulære system, og setter grenser når hjertet ikke lenger er i stand til å pumpe blod effektivt til hodet. Dette vil betegne en situasjon hvor piloten blir utsatt for en konstant belastning over lengre tid (f.eks. i en loop), og av lengre varighet enn i sjøgående fartøyer. Problemstillingen anses derfor ikke som relevant for SB90.

### 2.2.3 IMO High Speed Craft / DASS Seakeeping Manual (MARINTEK)

Utdraget fra IMO HSC (IMO publikasjon 187E) og seakeeping manual fra DASS prosjektet (MARINTEK) gir grenser for passasjersikkerhet. Nivåene er satt ut fra akselerasjoner som vil føre til fall, og det fokuseres på akselerasjoner i horisontalplanet.

HSC-koden gir følgende grenser for maksimal observert akselerasjon i horisontalplanet for akselerasjoner under 20 Hz:

MARINTEK gir i tillegg grenser for antall “motion induced interrupts,” d.v.s. akselerasjoner som er kraftige nok til å påvirke balansen til en stående person. Verdier på akselerasjoner som skal til for å få dette til er ikke gitt, men de vil høyst sannsynlig være av samme størrelse som IMO HSC farenivå 1. Det refereres til en publikasjon hvor Graham anbefaler grensen på marinefartøyer til 1 event per minutt, men det sies ingenting om størrelsen på de aktuelle fartøyene (hangarskip?) og arbeidsforholdene til mannskapet som ble vurdert.



Farenivå	Grense (m/s <sup>2</sup> )	Kommentar
1: Moderat	2.0	1.5 m/s <sup>2</sup> : stående person holder seg på beina ved å holde seg fast, sittende person vil holde seg fast
2: Signifikant	3.5	2.5 m/s <sup>2</sup> : øvre grense for at stående person kan holde seg fast 4.5 m/s <sup>2</sup> : sittende person faller av stolen
3: Stor		10.0 m/s <sup>2</sup> : fare for passasjerskade

Tabell 2.1 Grenseverdier for fare ved bevegelse ombord

Det gis også grenser for roll og pitch, samt grenser for lavfrekvente (< 0.31 Hz) vibrasjoner. FFI har ikke instrumentert KA-14 med gyroer for å måle roll/pich. Akselerasjonsfrekvenser under 1 Hz ligger dessuten utenfor båndbredden for akselerometerne plassert ombord. Disse grensene blir derfor ikke vurdert.

Disse standardene egner seg derfor til å vurdere hvor enkelt det er å bevege seg ombord, men vil ikke gi grenser som egner seg for vurdering av fare for direkte fysiologisk skade.

#### 2.2.4 Veritas grenser for fritt-fall livbåter

Det Norske Veritas gir grenseverdier for belastning på personer i fritt-fall livbåter (tabell 2.2). Det forutsettes at personene er fastspent på overkropp og hode. Det antas at grensenivåene er satt ut fra fysiologiske betraktninger, f.eks. verdien for +z, som refererer til en grenseverdi for sammentrykning av ryggsøylen p.g.a. vekten av overkroppen.

Disse grenseverdiene er ikke direkte overførbare til SB90, da mannskapet ikke oppfyller kriteriene til fastspenning. Det antas også at grenseverdiene forutsetter at belastningene ikke repeteres. Grenseverdiene for SB90 bør derfor settes betydelig lavere.

Eksponeringstid (s)	0.1	0.1-0.2	0.2-0.5
+x (akterover)	180 m/s <sup>2</sup>	150 m/s <sup>2</sup>	130 m/s <sup>2</sup>
-x (forover)	100 m/s <sup>2</sup>	90 m/s <sup>2</sup>	80 m/s <sup>2</sup>
y (tvers)	80 m/s <sup>2</sup>	70 m/s <sup>2</sup>	60 m/s <sup>2</sup>
+z (nedover)	70 m/s <sup>2</sup>	60 m/s <sup>2</sup>	40 m/s <sup>2</sup>
-z (oppover)	120 m/s <sup>2</sup>	100 m/s <sup>2</sup>	80 m/s <sup>2</sup>

Tabell 2.2 Grenseverdier for fritt fall livbåter (Veritas). Koordinatsystemet er transformert til koordinatsystemet for fartøyets akselerasjoner. Retningen i parentes angir hvilken vei overkroppen beveges i forhold til setet

### 3 INSTRUMENTERING

KA 14 ble instrumentert 4-5 desember 2000 med akselerometre. Posisjonene er gitt i figur 3.1. Akselerometerne ble orientert etter et aksekors hvor +x retning peker langs skips forover, +y retning peker tverrskips mot babord og +z retning peker oppover. Akselerometerne ble montert som følger:

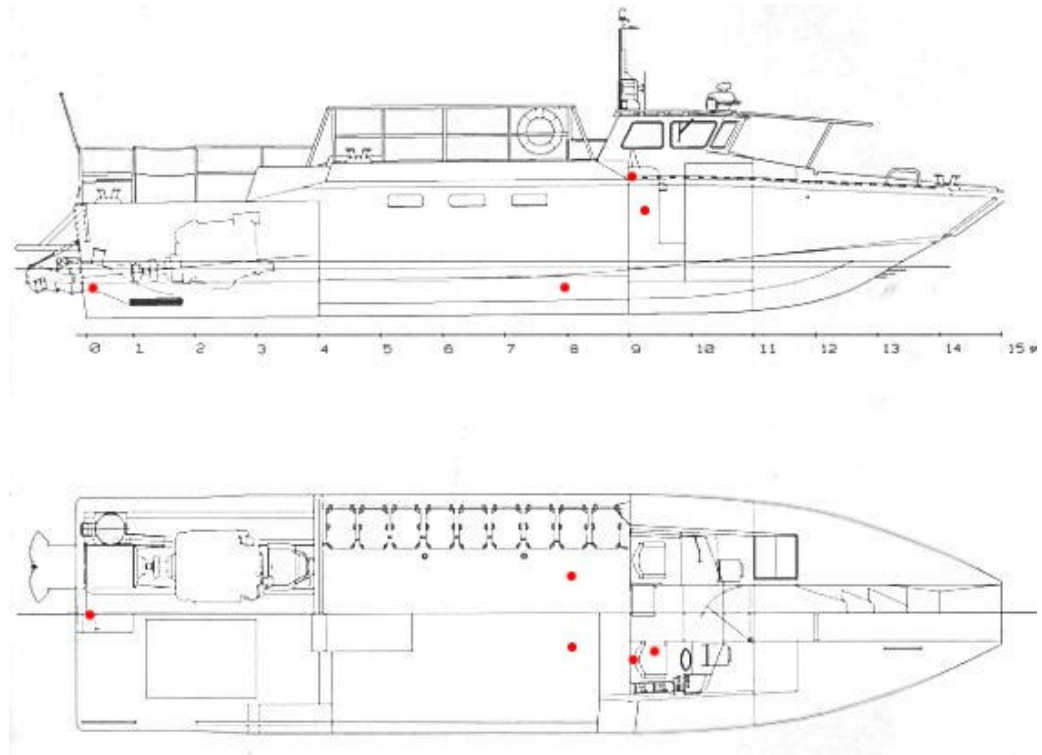
- Motorrom (3 akser). På senterbjelke under hjelpemotor ca 40 cm fra akterstavnen. Kabel ble trukket forover gjennom Brattberggjennomføring på SB side. Posisjonen er svært sårbar for elektromagnetisk interferens.
- Dørken i troppetransportrom. Ett akselerometer orientert i z-retning i hver av to festebraketter for surrekroker på henholdsvis SB og BB side forut i troppetransportrommet. Kabler ble beskyttet med kobberør limt til dørken. Ved demontering 19 februar 2001 viste det seg at akselerometret plassert på babord side hadde løsnet. Dette antar vi har skjedd sent i måleserien, da det ikke observeres store forskjeller mellom SB og BB akselerometer.
- Under SB førerstol (3 akser). Akselerometerne ble plassert i et hulrom under stolfestet. Disse akselerometerne vil måle akselerasjonen på førerplassen uten stolens demping.
- På ryggen til førersetet (3 akser). Akselerometerne ble festet til en metallplate på baksiden av stolen. Dette akselerometeret har hatt flere forskjellige orienteringer, da det har løsnet som følge av uforsiktighet. Mellom run 105 og 129 var akselerometeret festet med tykk dobbeltsidig tape, som kan dempe noen akselerasjonstopper. Etter run 129 ble akselerometeret festet med epoxy.

Akselerometerne på og under førerstolen er de viktigste for å evaluere arbeidsmiljøet på bro. Akselerometeret på undersiden er festet til metall som er godt koblet til skroget, og vil derfor gi et inntrykk av hva situasjonen ville vært uten noen form for dempemekanisme i førerstolen. Akselerometeret på stolryggen vil følge stolens dempebevegelse, og gir dermed et inntrykk av belastningene på føreren. Det må imidlertid bemerkes at effekten av putene i stolsetet og –ryggen ikke er tatt i betraktning. Slike puter gir størst dempeeffekt for høyere akselerasjonsfrekvenser. Verdiene som fremkommer av akselerometret på stolryggen gir derfor et øvre grense for belastningene i førerposisjonen.

Akselerometerne som ble benyttet var av fabrikatet PCB og har en båndbredde på 1-10000 Hz med en følsomhet på 10 mV/g.

I tillegg til akselerometre ble det montert to “tilbakemeldingsknapper” på styrbord og babord side på bro.

Signalene fra akselerometerne ble forsterket av separate batteridrevne forsterkere, og rådata for alle signalene ble logget på en PC i separate kanaler. En oversikt over kanalene og kanalnummereringen er gitt i tabell 3.1. Det ble utviklet spesialisert programvare i LabView



*Figur 3.1 Plassering av akselerometre på KA-14. De røde punktene indikerer akselerometerplasseringen.*

tilpasset dette måleoppdraget. Mesteparten av utstyret ble lokalisert i et rack plassert på SB side forut i troppettransportrom. Racket sto på fjærer for å dempe vibrasjoner og støt. Fjærene ble limt til gulvet (Araldite 2010 og 3M DP100) da skrufester kunne ødelegge flyterommet under troppettransportrom.

Ved de supplerende målingene i juni og juli ble kun akselerometerposisjonene på stol og fundament benyttet.

#### 4 MÅLEPROGRAM

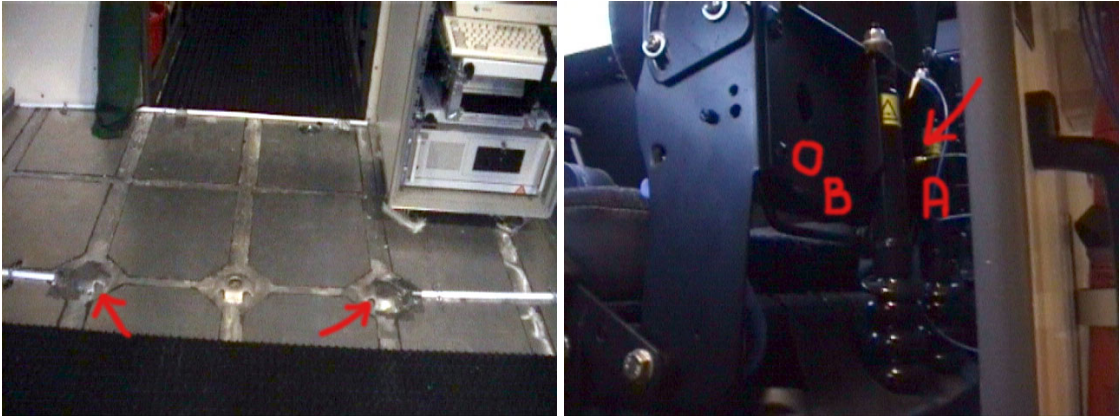
Måleprogrammet ble definert av SFK på bakgrunn av erfaringer fra liknende prosjekter. Måleprogrammet legger opp til en systematisk kartlegging av belastningene som funksjon av møtevinkel mot sjø, hastighet og bølgehøyde. Følgende møtevinkler inngikk i programmet:  $0^\circ$  (sjø forfra),  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $150^\circ$  og  $180^\circ$  (sjø aktenfra). Det ble først ikke spesifisert hvilken side sjøen i vinkler 30-150 skulle komme fra for å lette gjennomføringen av måleprogrammet. Imidlertid var forskjellen i målte akselerasjoner på førerposisjonen avhengig av hvilken side sjøen kom inn fra, så mannskapet ble instruert om at sjøen skulle inn fra SB side etter run 130. Hastighetene var 5, 20, 30 og 40 knop, og ønskede sjøtilstander 0/1,2,3

Kanalnummer	Orientering	Posisjon	Forsterkning (mV/g)
0	+x	Maskinrom	1
1	+y	Maskinrom	1
2	+z	Maskinrom	1
3	+z	Troppetransp SB	10
4	+z	Troppetransp BB	10
5	-x	Stol	10
6	-y	Stol	10
7	+z	Stol	10
8	+x	Fundament	10
9	-y	Fundament	10
10	+z	Fundament	10
11	-	Tilbakemelding SB	-
12	-	Tilbakemelding BB	-

Tabell 3.1 Loggede kanaler på stridsbåt 90



Figur 3.2 Forsterkere og PC ble plassert i et vibrasjonsdempet rack. Racket ble limt til dørken og til fremre skott i transport/opsrom.



Figur 3.3 Bildene viser akselerometerposisjonen på dørken i troppettransportrom og bak førerstol. Bak stolen ble det brukt 2 akselerometerposisjoner markert som A og B.

og 4 (se tabell 4.1). Det fullstendige målprogrammet er gitt i tabell 4.2.

Sjøtilstand	Signifikant bølgehøyde (m)
0	0
1	0-0.1
2	0.1-0.5
3	0.5-1.25
4	1.25-2.5
5	2.5-4

Tabell 4.1 Sjøtilstanden er definert som middelveien av den tredjedelen av bølgene som er størst. Bølgehøyden er målt fra bølgetopp til bølgedal, og midlingen bør foregå i 20 minutter

I tillegg ble det gjort to målinger med ulik trimming i SS3. Disse har fått nummer 319 og 320.

## 5 DATAANALYSE

Analysene som er implementert bygger på metoder som er skissert i de tilgjengelige standardene, og tar sikte på å avdekke uheldige akselerasjonsbelastninger. Resultatene presenteres som plott i appendiks A, og skiller mellom horisontale akselerasjoner og vertikale akselerasjoner. Alle metodene er implementert i Matlab.

Binærfilene generert av Labview leses inn i Matlab, og akselerometerkanalene multipliseres

sjø 0/1	0°	30°	60°	120°	150°	180°
5 kn						
20 kn						
30 kn						
40 kn						<i>109</i>
sjø 2	0	30	60	120	150	180
5 kn						
20 kn	117	121	118	119	120	116
30 kn	127	124	123	122	126	125
40 kn						
sjø 3	0	30	60	120	150	180
5 kn						
20 kn	313	315	317	318	316	314
30 kn	307	309	311	312	310	308
40 kn	301	303	305	306	304	302
sjø 4	0	30	60	120	150	180
5 kn						
20 kn	<i>129</i>					
30 kn	213	214			215	
40 kn	202	225	230	212	228	

Tabell 4.2 Måleprogrammet. Tall i rutene angir at målingen er utført og representerer run-nummer. Tall i kursiv angir at målingen er dekket av logging under drift

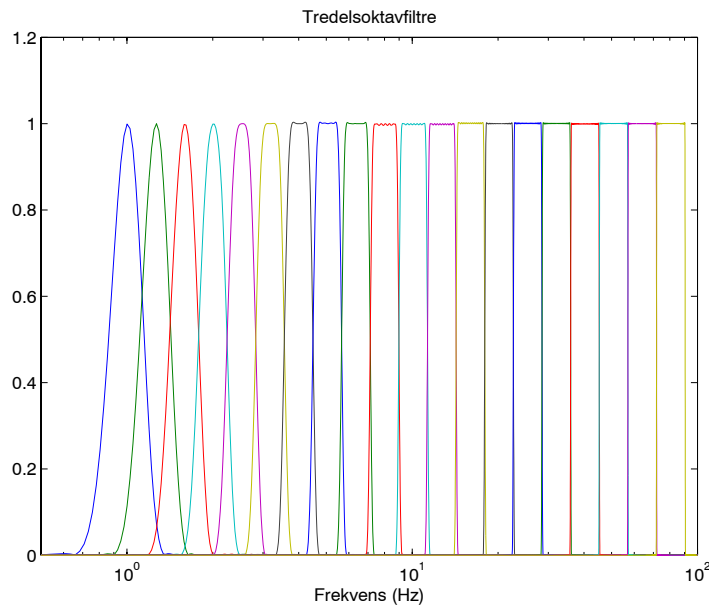
med en omregningsfaktor for å konvertere fra bitverdi til  $\text{m/s}^2$ .

$$C = 9.81 \text{m/s}^2 \frac{10000 \text{mV } G}{2047 \text{bit } S} \quad (5.1)$$

der  $G$  forsterkningen og  $S$  er følsomheten til det aktuelle akselerometeret. Deretter lavpass-filtreres og nedsamples dataene fra samplingsraten på 2kHz til en rate på 200Hz for å redusere datamengden og fjerne frekvenskomponenter som er uviktige med tanke på fysiologiske belastninger.

## 5.1 Vibrasjonsmiljø

Vibrasjonsmiljøet ombord belyses vha 1/3-oktavbånd filtrering som anbefalt i NS-ISO 2631/1. Analysen gjøres i frekvensområdet 1-100Hz ved at smale båndpassfiltre benyttes to ganger (Matlab-funksjonen *filtfilt*). Slik unngår man faseforskyvninger i de filtrerte dataene. Fre-



Figur 5.1 Passbånd i tredelsoktavfilter

kvensresponsen til filtrene er vist i figur 5.1. Senterfrekvensen i filtrene er gitt ved

$$f_i^c = 2^{i/3} \quad \text{for } i \in [0, 19]. \quad (5.2)$$

Etter båndpassfiltreringen finnes rms-verdien av tidsserien i hvert delbånd

$$a_i^{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N a_i^2}, \quad (5.3)$$

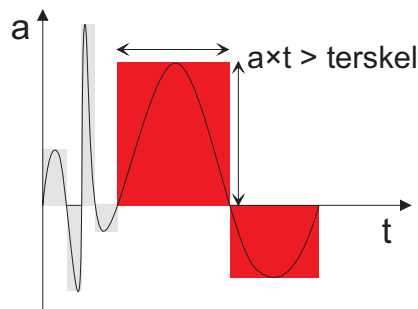
og disse rms-verdiene plottes på logaritmisk skala. Inkludert i plottene er grenseverdier for nedsatt arbeidsevne og fare for helse ved en times eksponering. Det er laget et plott for vertikale akselerasjoner og et for horisontale akselerasjoner. I tillegg har vi funnet vektorsummen av akselerasjonene ifølge forslag i NS-ISO 2631/1

$$a^{sum} = \sqrt{(1.4a_x^{rms})^2 + (1.4a_y^{rms})^2 + (a_z^{rms})^2}. \quad (5.4)$$

Standarden vektet horisontalkomponentene tyngre enn vertikalkomponenten med en faktor 1.4 fordi man har funnet en høyere følsomhet for horisontale vibrasjonsbelastninger. Verdiene for vektorsummen sammenlignes med grenser for nedsatt arbeidsevne ved vertikalakselerasjoner.

I standarden kalles rms-verdiene for vektete akselerasjoner eller effektivverdier.

## 5.2 Store vertikale forskyvninger



Figur 5.2 Metoden for å finne amplituden og varigheten av vertikale akselerasjoner

Akselerasjoner gir opphav til vesentlige forskyvninger dersom de har en viss varighet og amplitude. For å studere vertikale forskyvninger har vi gått gjennom datasettet og funnet akselerasjonstopper og -bunner og tiden mellom nullkryssninger, se figur 5.2. Dersom produktet av akselerasjon og varighet overstiger en terskel (gir en viss forskyvning), tas tallparet vare på. På denne måten har vi funnet par av akselerasjonsamplitude  $a$  og varighet av toppen  $t$ , og verdiene er plottet som punkter i et scatterdiagram. Et eksempel er vist i figur 5.6.

Vi har filtrert dataene ytterligere til en båndbredde på ca 20Hz idet akselerasjoner med en frekvens over 20Hz antas å være for kortvarige til å forårsake vesentlige forskyvninger. Samplingsraten er beholdt på 200Hz. Terskelverdien er satt lavt og har form som en hyperbel. Det gjør at det ikke ligger datapunkter nært aksene i plottene.

### 5.3 Store horisontale akselerasjoner

De horisontale akselerasjonsbelastningene har vært studert på to ulike måter for å finne den samlede belastningen ved kombinert akselerasjon i x- og y-retning, og samtidig finne belastninger som gir opphav til store forskyvninger.

Også for horisontale akselerasjoner er det benyttet data som er filtrert til en båndbredde på 20Hz.

Vi studerer den horisontale retningslasten ved å finne toppunkter for vektorsummen av x- og y-akselerasjonen

$$a^{hor} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}. \quad (5.5)$$

Akselerasjonskomponentene som ga toppunktene er plottet i retningsdiagrammer der akse-retningene representerer de fire retningene i horisontalplanet SB, BB, forover og akterover. Se eksempel i figur 5.5. I de tilfellene der det er relevant har vi inkludert kurven for stor degradering av sikkerhetsnivå i IMO Hurtigbåtkoden ( $1.0 \text{ g} = 9.8 \text{ m/s}^2$ ).

For å forenkle plottene er det satt en terskelverdi slik at kun de verdiene som er over terskelen kommer med i plottet. Dette gir en tom sirkel i midten av plottet.

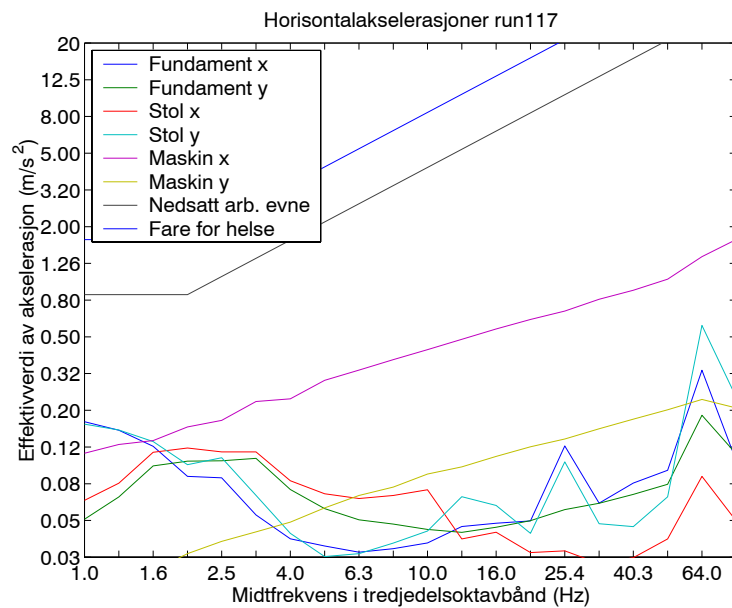


Horisontale akselerasjoner som gir signifikante forskyvninger er plottet på liknende måte som de vertikale akselerasjonene. For det horisontale tilfellet har vi igjen benyttet vektorsummen av komponentene.  $a^{hor}$  vil alltid være positiv, og det var derfor nødvendig å skape kunstige nullpunkter på kurven. Dette ble gjort ved å trekke fra en verdi, valgt til halvparten av middelverdien av vektorsummen,  $a = a^{hor} - 0.5 \overline{a^{hor}}$ . Det som er plottet er tiden mellom disse kunstige nullpunktene mot den faktiske maksimumsakselerasjonen.

## 5.4 Presentasjon av data

Dataene er forsøkt presentert på en måte som gjør sammenlikning med de aktuelle standardene så enkel som mulig.

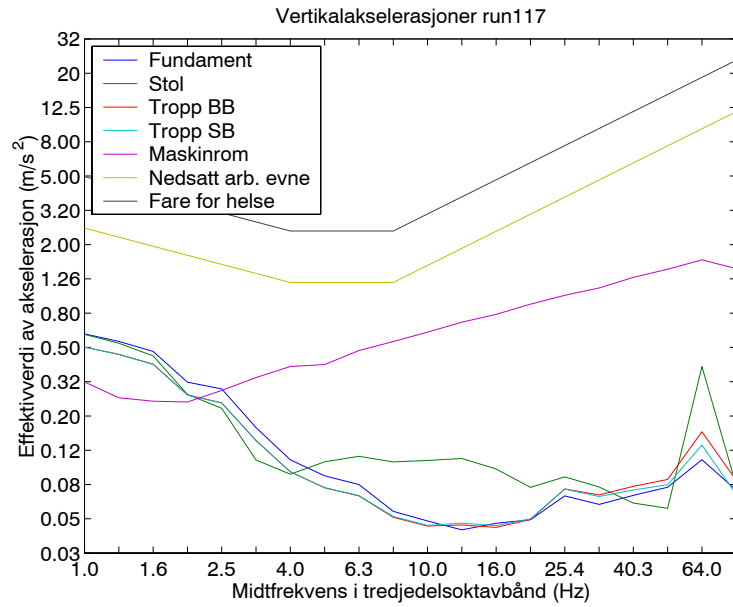
### 5.4.1 Vibrasjonsspektrum i forhold til NS-ISO 2631/1



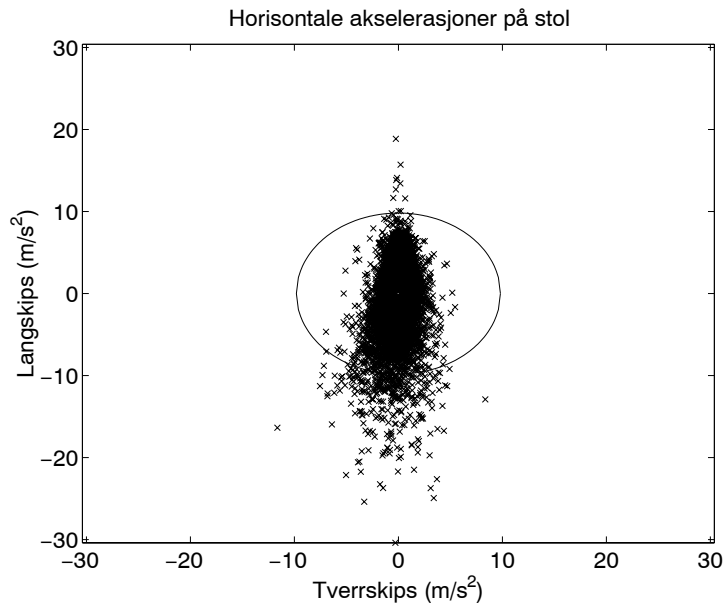
Figur 5.3 Vibrasjonsspektrum for horisontale akselerasjonskomponenter.

Analysen av vibrasjonsmiljøet blir presentert i en dobbelt-logaritmisk graf hvor rms-verdien av akselerasjonsamplituden er gitt på y-aksen og frekvensen på x-aksen, se figurene 5.3 og 5.4. Grenseverdiene for arbeidsmiljø og helsefare for 1 times eksponering er indikert som heltrukne linjer.

### 5.4.2 Retningsdiagram



Figur 5.4 Vibrasjonsspektrum for vertikale akselerasjonskomponenter.



Figur 5.5 Retningsdiagram for akselerasjoner i horisontalplanet.

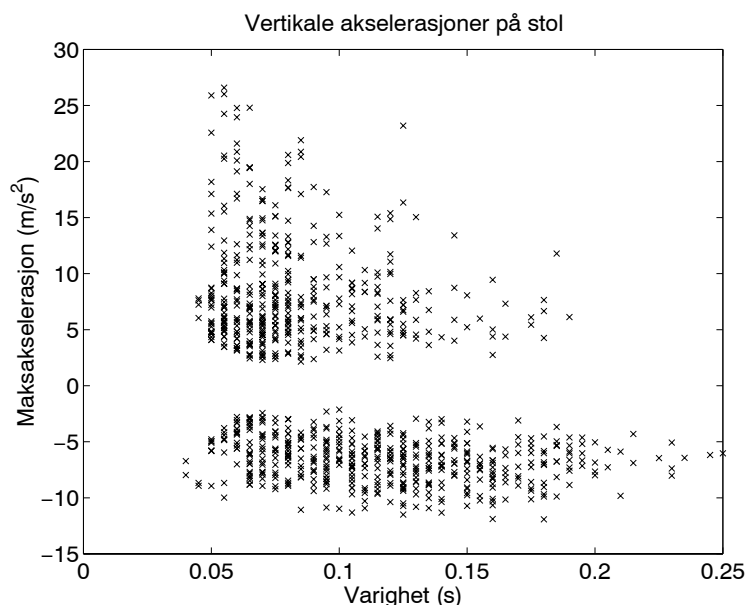
Diagrammet i figur 5.5 angir retningen og størrelsen av akslerasjoner i horisontalplanet. Det er avsatt ett kryss for hver akselerasjonstopp i målingen. Avstanden fra origo angir størrelsen, men de minste akselerasjonene ( $< 0.5 \text{ m/s}^2$ ) er ikke plottet for å redusere filstørrelsen. Posisjonen til kryssene i forhold til aksekorset angir retningen som akselerasjonen virker i. Et kryss på positiv y-akse angir at fartøyet ble akselerert fremover, d.v.s. at mannskapet blir presset bakover i setet. Et kryss på positiv x-akse angir en akselerasjon av fartøyet mot styrbord/høyre, d.v.s. at mannskapet blir presset mot babord armlene.

Hensikten med dette diagrammet er å angi størrelsen på de maksimale akselerasjonene som ble målt, for enkelt å finne “belastningstoppene” samt retningen de virker i.

Grensen satt av IMO HSC reglementet sikkerhetsnivå 3 indikeres med en sirkel. Eventuelle kryss utenfor denne sirkelen angir tilfeller hvor grensen i reglementet ble overtrådt. Dersom sirkelen ikke vises i diagrammet ligger alle målte akselerasjoner innenfor grensen.

Diagrammet blir generert for alle posisjoner hvor det finnes 3-aksede akselerometermålinger, d.v.s. på stolen, på stolens fundament og i maskinrommet. Målinger i maskinrommet blir normalt ikke presentert da disse er sterkt influert av elektromagnetisk interferens.

### 5.4.3 Støtdiagram



Figur 5.6 Støtdiagrammet angir størrelsen og varigheten av akselerasjonstoppene.

Støtdiagrammet angir størrelsen av en akselerasjonstopp på y-aksen og varigheten på x-aksen. Presentasjonen er laget for å sammenholde målte akselerasjonsverdier og –varigheter med grensene satt for fritt-fall livbåter. Som for retningsdiagrammene, er de minste akselerasjonstoppene ikke plottet.

Som angitt i tabell 2.2 minker akselerasjonstoleransen med økende varighet på støtet. Dette skyldes at et langvarig støt vil gi større hastighetsendring/impulsendring og større forskyvning.

Diagrammet er generert for alle målepunkter, med separate diagrammer for vertikalretning og horisontalplanet.

## 6 DISKUSJON

Vibrasjonsspekteret på bro ligger innenfor grenseverdiene satt i NS-ISO 2631/1 for alle målinger som er utført. Enkelte målinger i motorrommet ligger over grensene, men dette kan skyldes elektromagnetisk interferens. Maskinrommet er i alle tilfeller ikke et sted hvor mannskapet vil oppholde seg i lengre tid under drift.

Vertikale akselerasjoner på stol, på fundament og i troppetransport/opsrom ligger nær faregrensene definert av Veritas for fritt fall livbåter. Fartøyet vil neppe oppleve akselerasjoner som er større enn 1 g eller  $10 \text{ m/s}^2$  rettet nedover p.g.a. tyngdekraften, tillagt et lite bidrag fra fartøyets egenre vibrasjoner. De relevante grenseverdiene er derfor grensen for akselerasjoner langs positiv z-akse, d.v.s. oppover. Her er grensen  $70 \text{ m/s}^2$  for akselerasjoner som varer under 0.1 s,  $60 \text{ m/s}^2$  for akselerasjoner som varer fra 0.1-0.2 s, og  $40 \text{ m/s}^2$  for akselerasjoner som varer fra 0.2-0.5 s. Det har vært observert akselerasjoner som ligger nær 50% av denne grensen, se figur B.57. En kan også se at akselerasjonsnivået ligger over 25% av grensen for frittfall livbåter for alle datasettene i 38kn i sjøtilstand 3, og for 30kn mot sjøen. Belastningene faller for større vinkel med sjøen i 30kn og faller ytterligere med redusert hastighet.

Det er interessant å merke seg at både i sjøtilstand 2 og 3 er vertikalakselerasjonsnivået målt på stolen og fundamentet relativt like hverandre. I sjøtilstand 4 er akselerasjonene målt på stolen betydelig lavere enn de målt på fundamentet. Det var ulik skipssjef ombord under de tre måleperiodene, og denne forskjellen er muligens en indikasjon på at det ligger en gevinst i å tilpasse stolen bedre til brukeren.

Akselerasjoner i horisontalplanet over IMO HSC grensene er ikke observert for lave sjøtilstander og lave hastigheter, men observeres for hastigheter over 20 knop i SS3 og ved noen av målingene i SS4. Legg merke til at horisontale akselerasjoner på stol er like store eller større enn akselerasjonene på fundamentet. Dette skyldes at bevegelsene er rotasjoner om kjølen, og stolens større avstand fra vannet gir større bevegelser. Dette forteller også at lasten på nakken er vesentlig større enn målt lavt på stolryggen.

### 6.1 Variasjoner med seilingsretning

Vi ser gjennomgående tendens til at akselerasjonene er størst ved seiling mot sjøen, dvs null og  $30^\circ$ . Ved SS3 og SS4 er disse to retningene i det vesentlige like ille, mens vi ser av data fra

SS2 at seiling med 30° vinkel med bølgene gir høyere akselerasjonsbelastninger enn seiling rett mot sjøen.

Ved 60° vinkel med bølgene er bildet mindre entydig, men lastene er vesentlig lavere enn for null og 30° og i noen tilfeller på linje med seiling med sjøen inn aktenfor tvers.

Ved høye hastigheter, dvs at båtens fart er mye større enn bølgenes egenhastighet, vil det være mindre forskjell på akselerasjonene som oppleves ved ulike seilingsretninger, særlig i krapp sjø.

## 6.2 Variasjon med hensyn på fart

Ikke overraskende er det slik at redusert hastighet gir reduserte akselerasjonsnivåer. Imidlertid vil man se fra datasettene tatt opp i SS3 at en reduksjon fra 38kn til 30kn har liten eller ingen effekt, mens når farten senkes til 20kn reduseres akselerasjonene vesentlig. Hvor stor hastighetsreduksjon som skal til for å redusere lasten betydelig vil avhenge av hvor krapp sjøen er. En vil sannsynligvis kunne holde høyere hastighet i dønning enn i ny sjø.

Ulik trimming ser ikke ut til å ha noen effekt av betydning.

## 6.3 Variasjoner med sjøtilstand

Vi ser fra datasettene at akselerasjonsnivået er vesentlig høyere både for horisontale og vertikale bevegelser i SS3 enn i SS4. Det er imidlertid blitt bemerket at bølgene i SS3 var relativt krappe, mens bølgene i SS4 selv om de var høyere var mer langbølget. Akselerasjonene som er målt i SS2 er betydelig lavere.

Vi mener dette tyder på at sjøtilstand alene er et for upresist kriterium, og at bølgelengden har like stor innvirkning på miljøet ombord.

## 7 KONKLUSJONER

Det er grunn til å tro at de akselerasjoner som er observert under seiling i SS3 i hastigheter på 30 og 38kn overstiger et nivå som er forsvarlig over tid. Man bør derfor vurdere å legge begrensninger på hvilke hastigheter som kan tillates i SS3 og høyere, særlig med fart mot dominerende bølgeretning.

De målinger som er gjort tyder på at akselerasjonsnivåene som opptrer ved lavere sjøtilstander og redusert hastighet (20kn) i SS3 er akseptable.

Sjøtilstand er ikke et entydig kriterium for å sette seilingsbegrensninger, siden bølgeperioden spiller inn i vesentlig grad. En alternativ løsning er å utnytte akselerometrene i navigasjonsutstyret som allerede finnes om bord og gi begrensninger ut fra målte belastninger.

## APPENDIKS

### A OVERSIKT OVER DATASETTENE

Vi gir her en tabelloversikt over alle datasettene med kommentarer der det er spesielle ting å merke seg. Appendix B inneholder plott fra alle dataseriene omtalt i tabell 4.2. Leseren vil legge merke til at grafene er ordnet på samme måte i alle figurene, og at det for en del datasett “mangler” plott. Det skyldes at kun seks akselerometre ble benyttet under opptak av run i 200- og 300-serien.

I tillegg ser en del retningsdiagrammer annerledes ut. Dette skyldes problemer med elektriske kontakter, særlig under opptak av datasettene 202-215, slik at enkeltkanaler bare inneholder støy. Disse er ikke benyttet i analysen og plottene for de aktuelle seriene inneholder dermed kun en horisontal retning. En oversikt over hvilke run og kanaler det gjelder finnes i tabell A.1.

Run	Kanaler					
	$x_{stol}$	$y_{stol}$	$z_{stol}$	$x_{fund}$	$y_{fund}$	$z_{fund}$
202		x		x		
225		x		x		
228		x				
230		x			x	
212		x				
213		x			x	
214		x		x		
215		x				
311	x					
312	x					
318	x					
319	x					
320	x					

Tabell A.1 Kanaler som er forkastet

Vår vurdering av akselerasjonsnivået i de ulike runnene som plottet i figurene B.1-B.88, er sammenfattet i tabellene A.2 og A.3. Det er disse observasjonene som ligger til grunn for konklusjonene vi har trukket.

Sjø	Retning	Hastighet	Run	Vertikal akselerasjon	Horisontal akselerasjon	Kommentar
0/1	180°	40	109	1.0	1.0	
2	0°	20	117	6.0	2.5	
2	30°	20	121	10.0	6.0	
2	60°	20	118	3.0	2.5	
2	120°	20	119	5.0	2.5	
2	150°	20	120	3.0	1.5	
2	180°	20	116	2.5	1.0	
2	0°	30	127	10.0	4.0	
2	30°	30	124	8.0	3.5	
2	60°	30	123	10.0	5.0	
2	120°	30	122	6.0	3.5	
2	150°	30	126	9.0	3.0	
2	180°	30	125	5.0	1.5	
3	30°	5	321	4.0	4.0	
3	0°	20	313	12.0	12.0	
3	30°	20	315	10.0	11.0	
3	60°	20	317	8.0	8.0	
3	120°	20	318	2.0	2.0	
3	150°	20	316	3.0	7.0	
3	180°	20	314	3.0	4.0	
3	0°	30	307	25.0	25.0	
3	30°	30	309	20.0	22.0	
3	60°	30	311	14.0	9.0	
3	120°	30	312	8.0	4.0	
3	150°	30	310	8.0	10.0	
3	180°	30	308	10.0	12.0	
3	0°	38	301	25.0	23.0	Maks 31m/s <sup>2</sup> horisontalt
3	30°	38	303	20.0	25.0	Maks 45m/s <sup>2</sup> horisontalt og vertikalt
3	30°	38	322	17.0	22.0	
3	60°	38	305	17.0	20.0	
3	120°	38	306	17.0	17.0	
3	150°	38	304	15.0	15.0	
3	180°	38	302	15.0	15.0	
3	0°	38	319	20.0	15.0	Med trim (baug ned)
3	30°	38	320	18.0	15.0	Med trim (10-15°)

Tabell A.2 Observasjoner til målingene i sjø 0-3

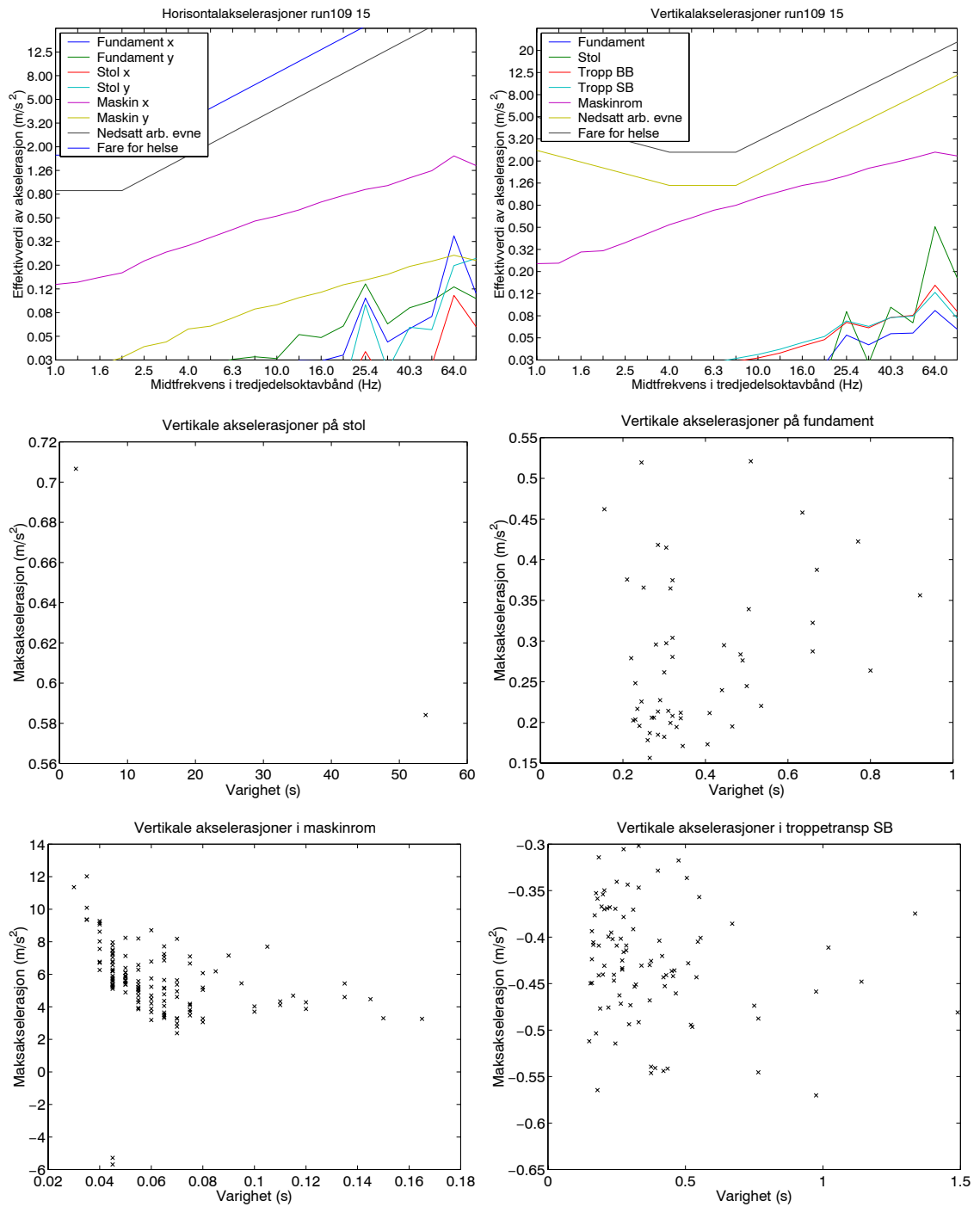
Sjø	Retning	Hastighet	Run	Vertikal akselerasjon	Horisontal akselerasjon	Kommentar
4	0°	20	129	11.0	5.0	
4	0°	30	213	10.0	4.0	
4	30°	30	214	12.0	5.0	
4	150°	30	215	12.0	4.0	
4	0°	40	202	12.0	5.0	Fundament
4	30°	40	225	20.0	8.0	Fundament
4	60°	40	230	15.0	6.0	Fundament
4	120°	40	212	13.0	5.0	Fundament
4	150°	40	228	10.0	3.0	Fundament

Tabell A.3 Observasjoner til målingene i sjø 4

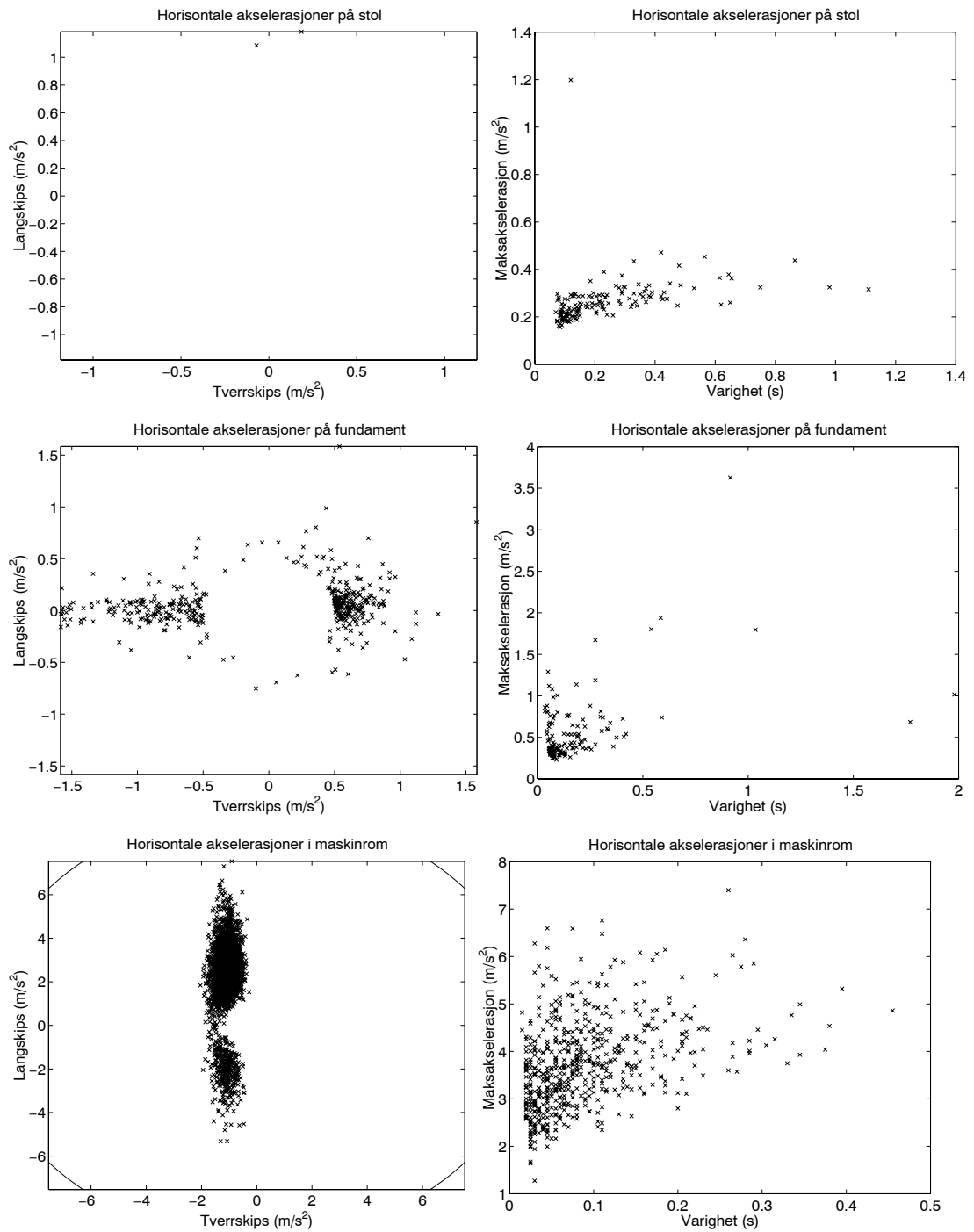
## B GRAFISK PRESENTASJON AV ANALYSERESULTATENE

For kommentarer til plottene, se også appendiks A.

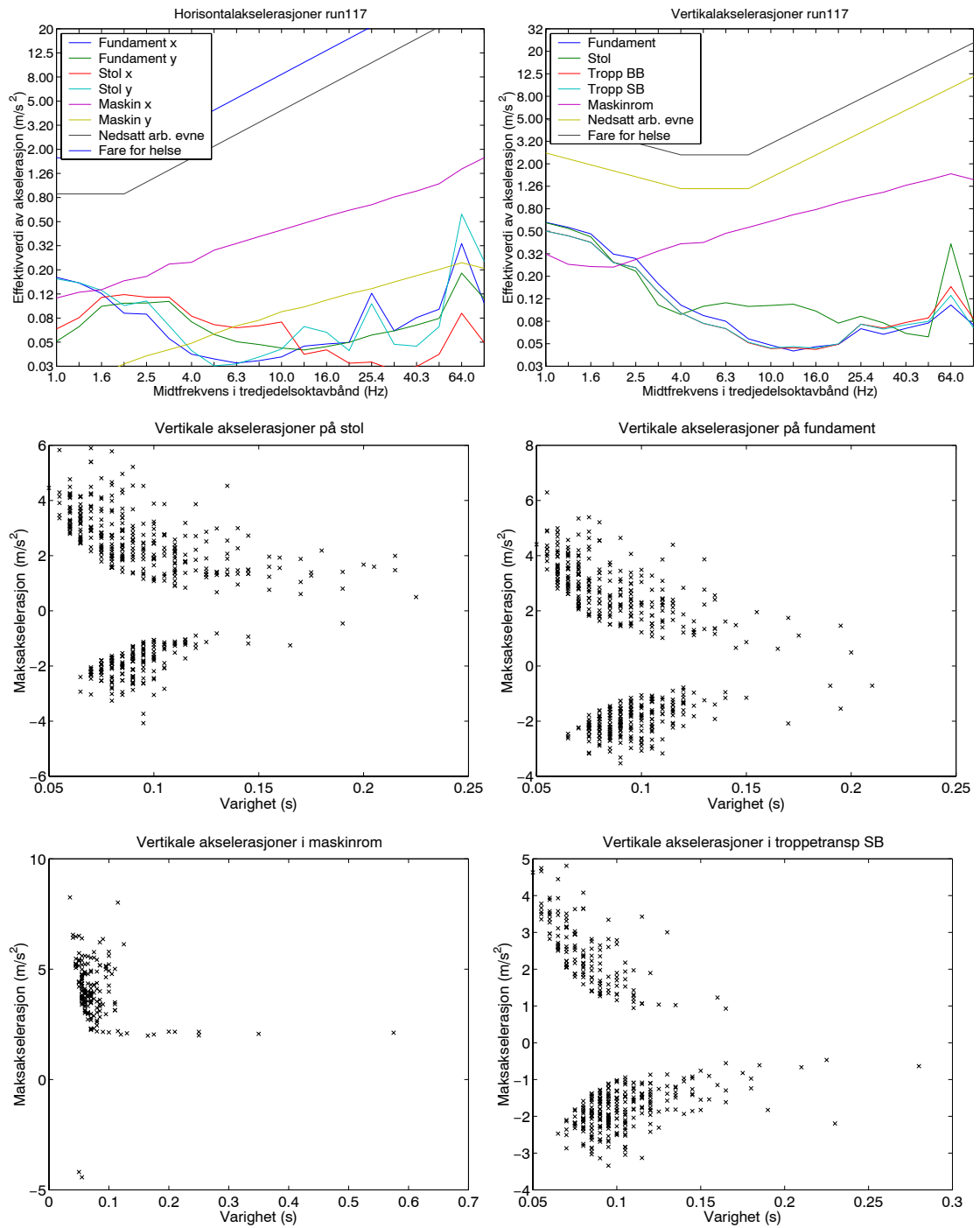




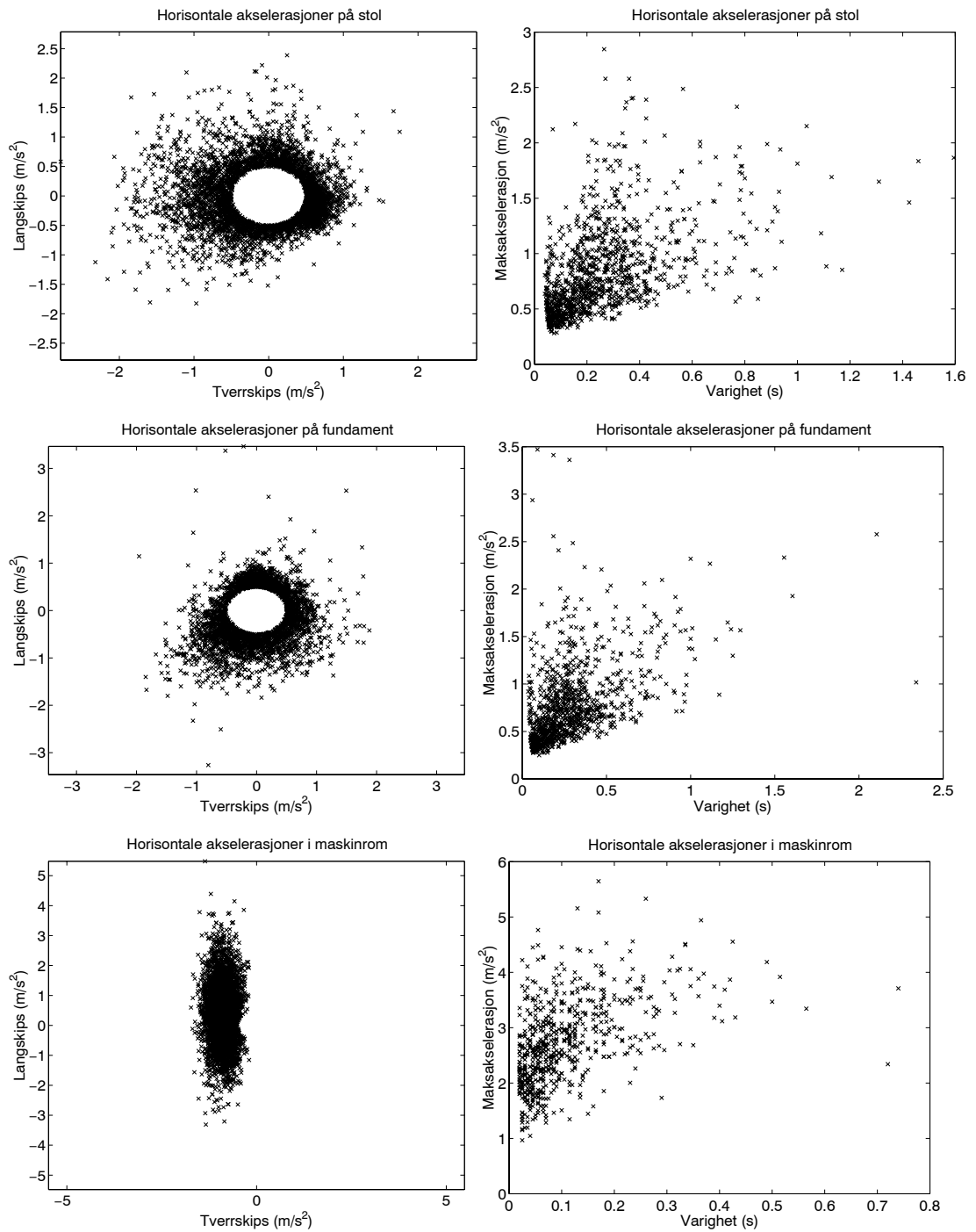
Figur B.1 Run 109: Seastate 1, hastighet 40 kn og møtevinkel 180°. Vibrasjonsspektrum og vertikale støt. Fra tokt



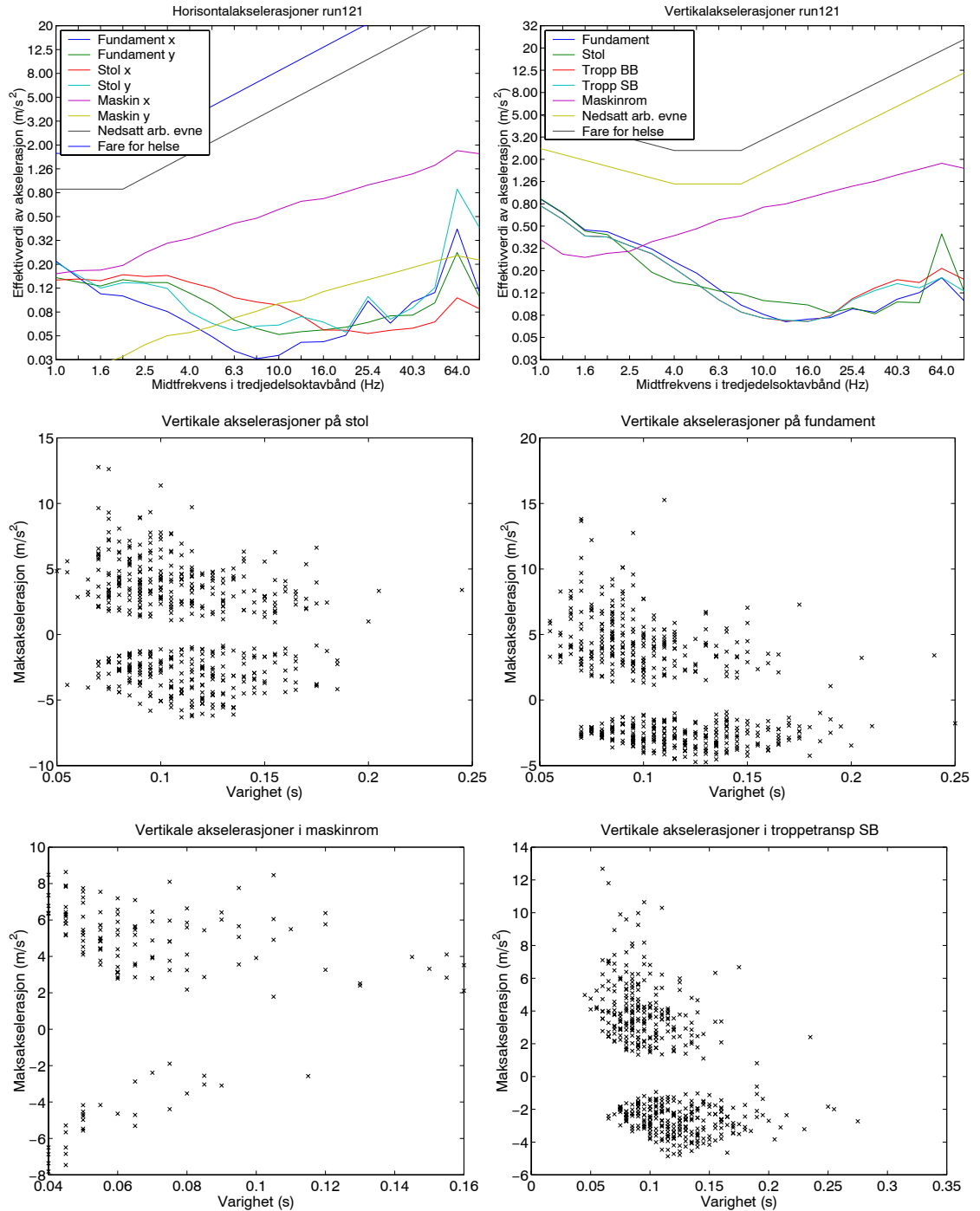
Figur B.2 Run 109: Seastate 1, hastighet 40 kn og møtevinkel 180°. Horisontale støt, retningsdiagram og varighet. Fra tokt



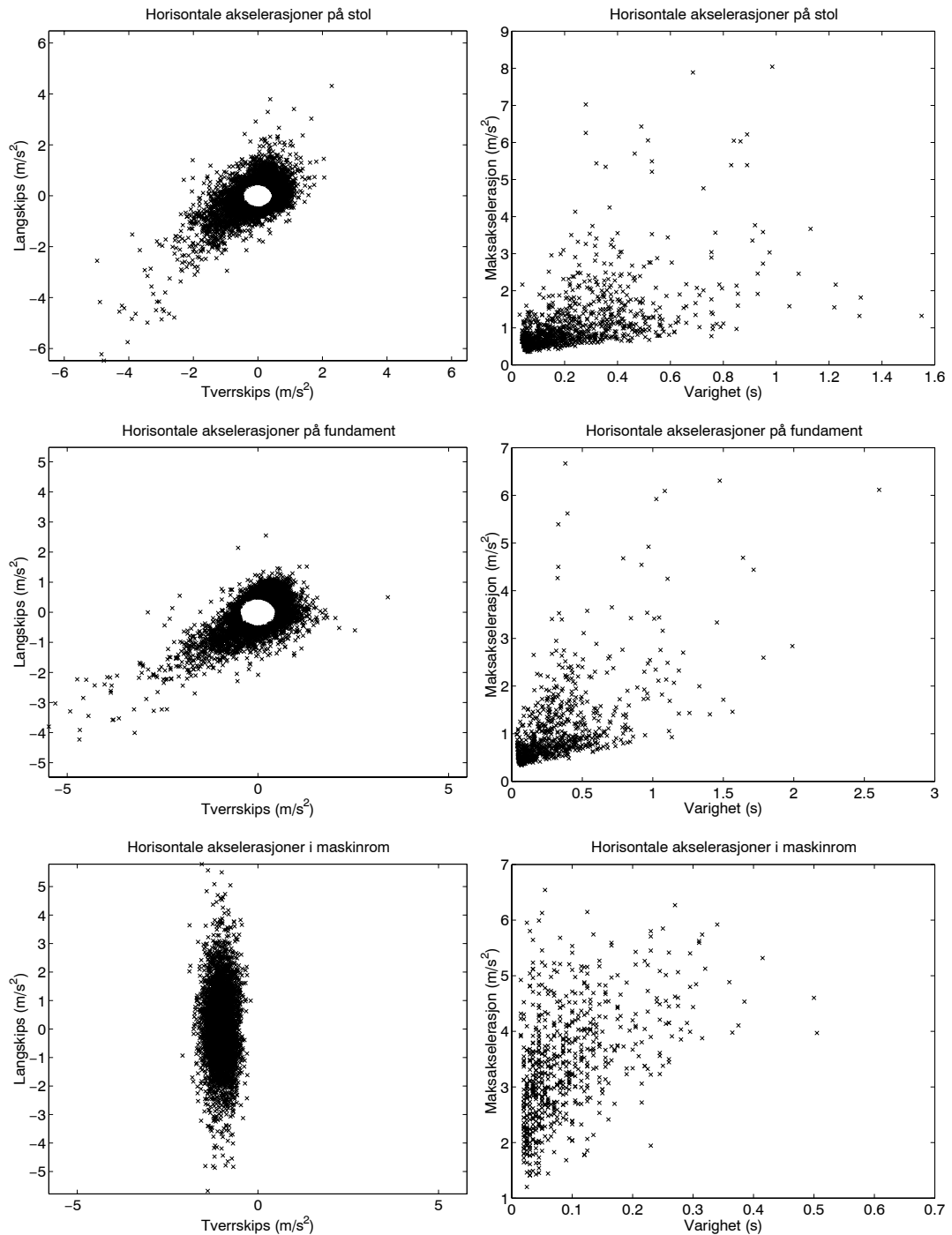
Figur B.3 Run 117: Seastate 2, hastighet 20 kn og møtevinkel 0°. Vibrasjonsspektrum og vertikale støt.



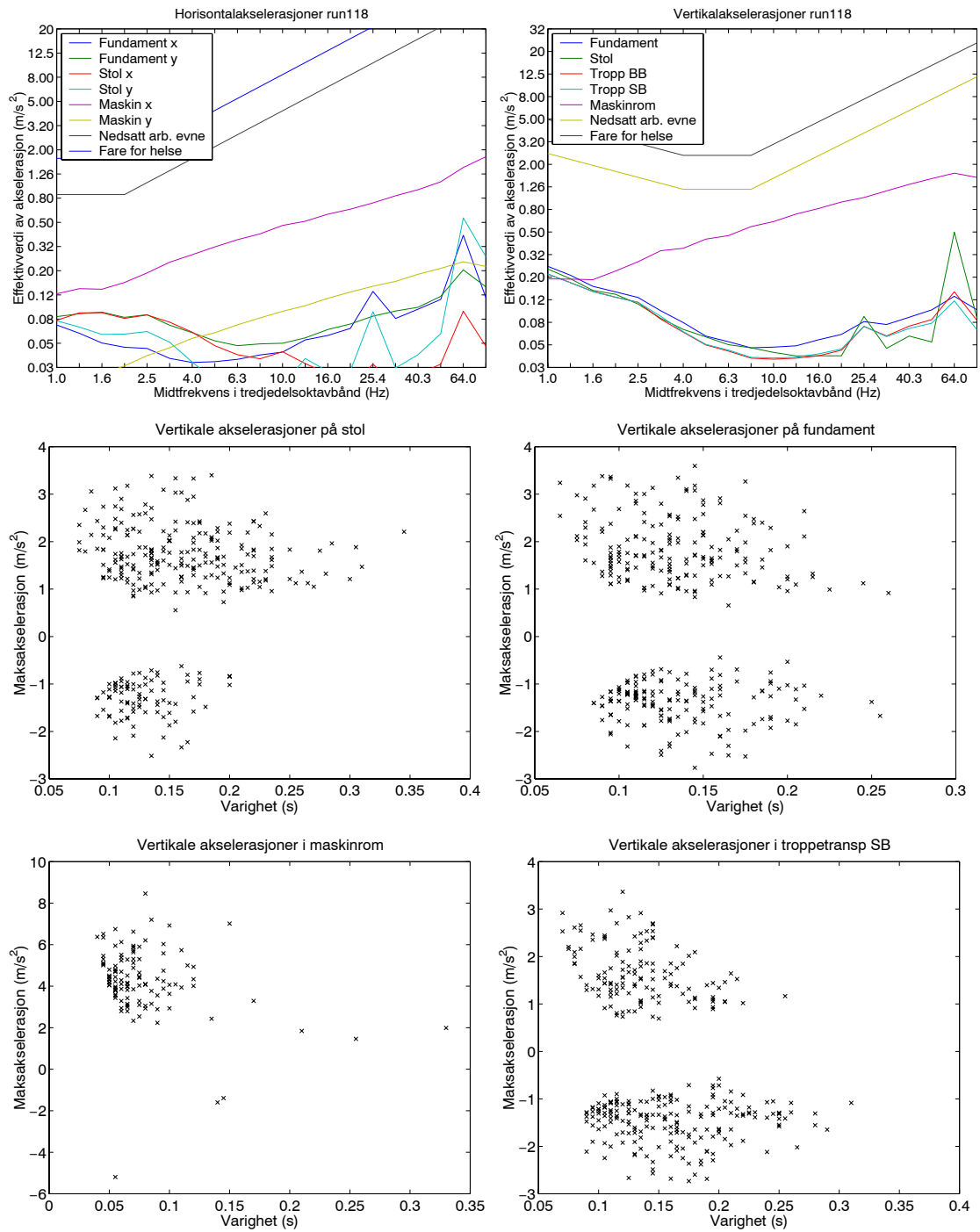
Figur B.4 Run 117: Seastate 2, hastighet 20 kn og møtevinkel  $0^\circ$ . Horisontale støt, retningsdiagram og varighet.



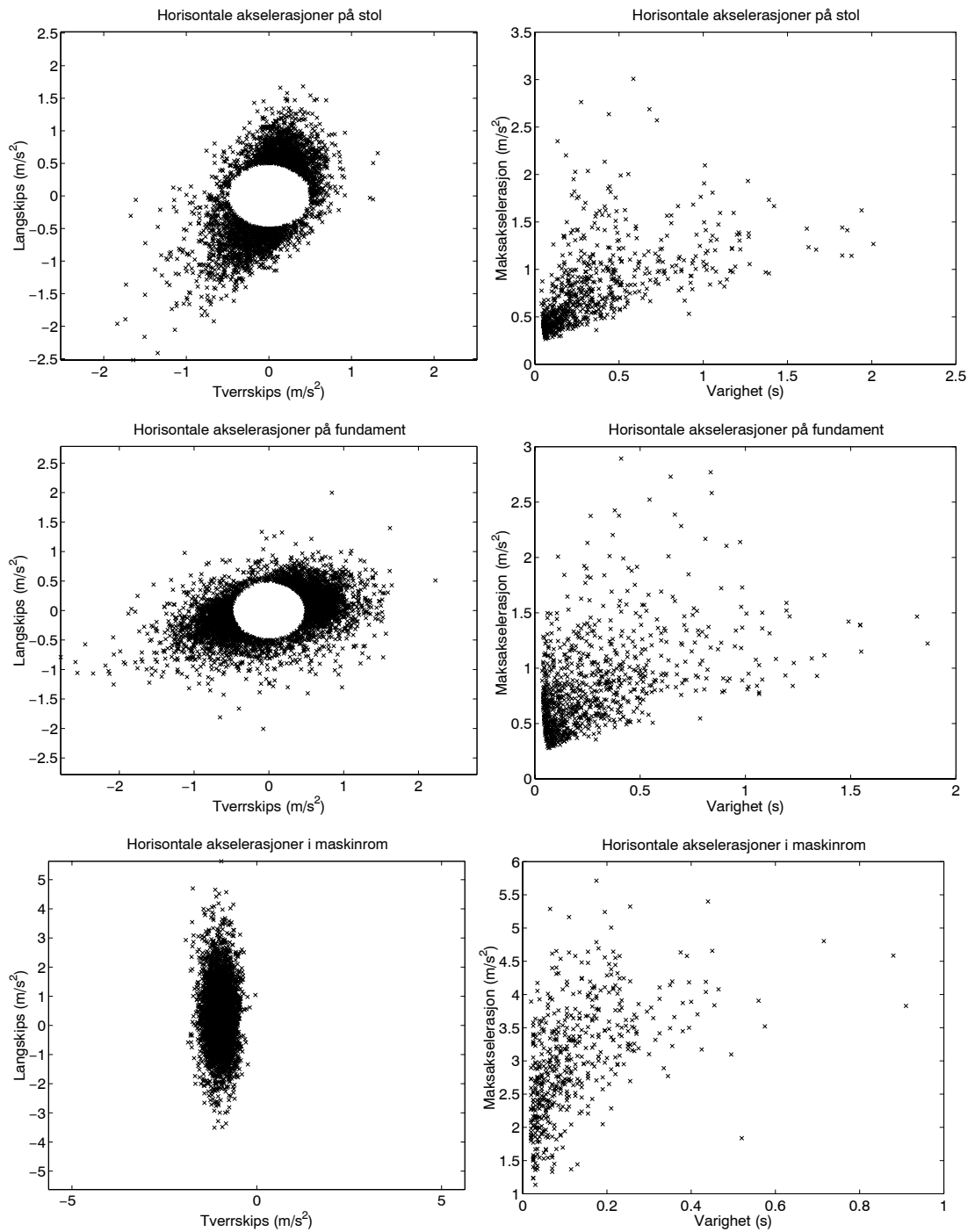
Figur B.5 Run 121: Seastate 2, hastighet 20 kn og møtevinkel 30°. Vibrasjonsspektrum og vertikale støt. Mannskapet kommenterer at denne retningen er mest ubehagelig. Legg merke til at målte verdier øker dramatisk fra møtevinkel 0, og at enkelte store akselerasjoner observeres. Sjø på SB side



Figur B.6 Run 121: Seastate 2, hastighet 20 kn og møtevinkel  $30^\circ$ . Horisontale støt, retningsdiagram og varighet. Mannskapet kommenterer at denne retningen er mest ubehagelig. Legg merke til at målte verdier øker dramatisk fra møtevinkel 0, og at enkelte store akselerasjoner observeres. Sjø på SB side

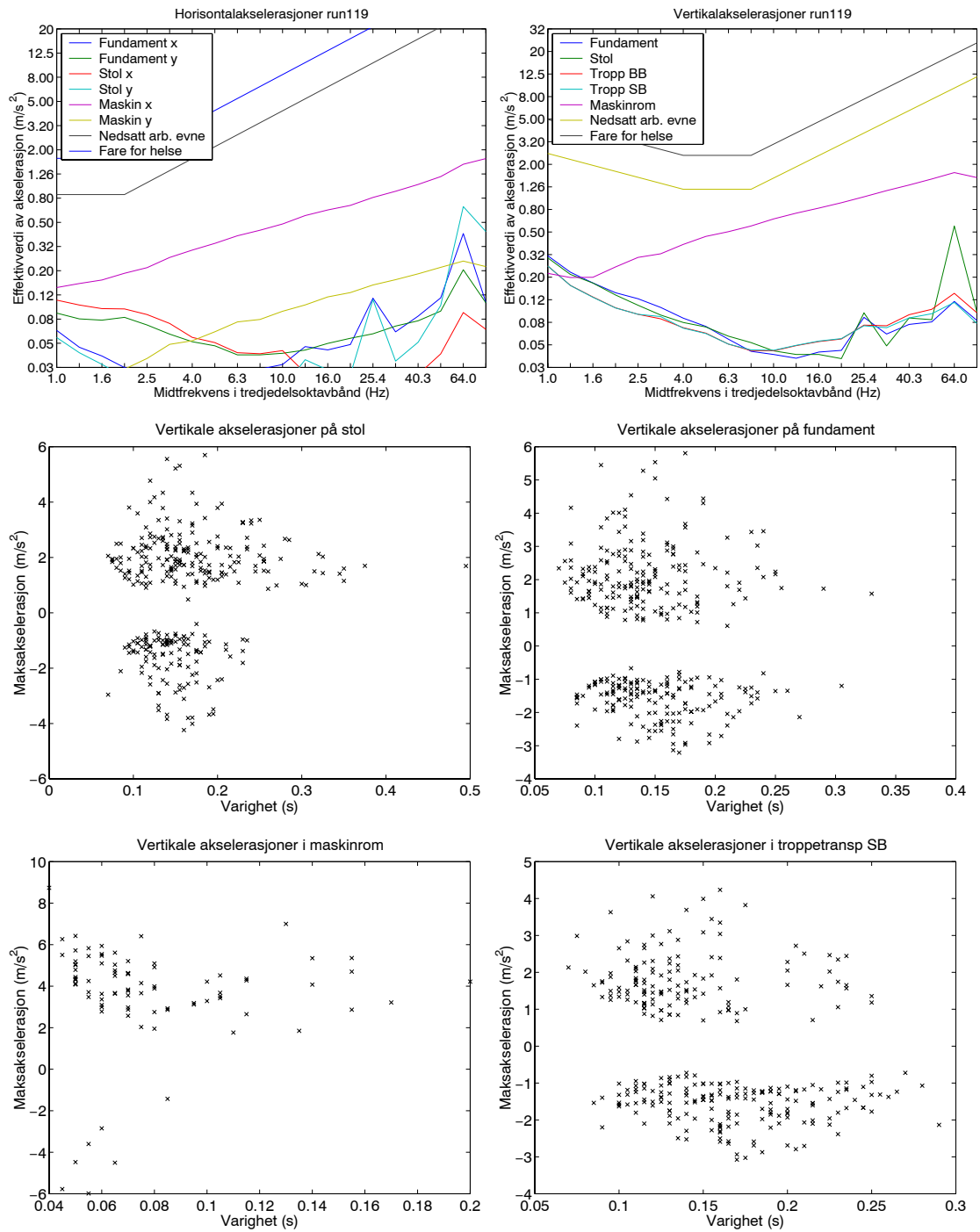


Figur B.7 Run 118: Seastate 2, hastighet 20 kn og møtevinkel  $60^\circ$ . Vibrasjonsspektrum og vertikale støt. Sjø antas på SB side

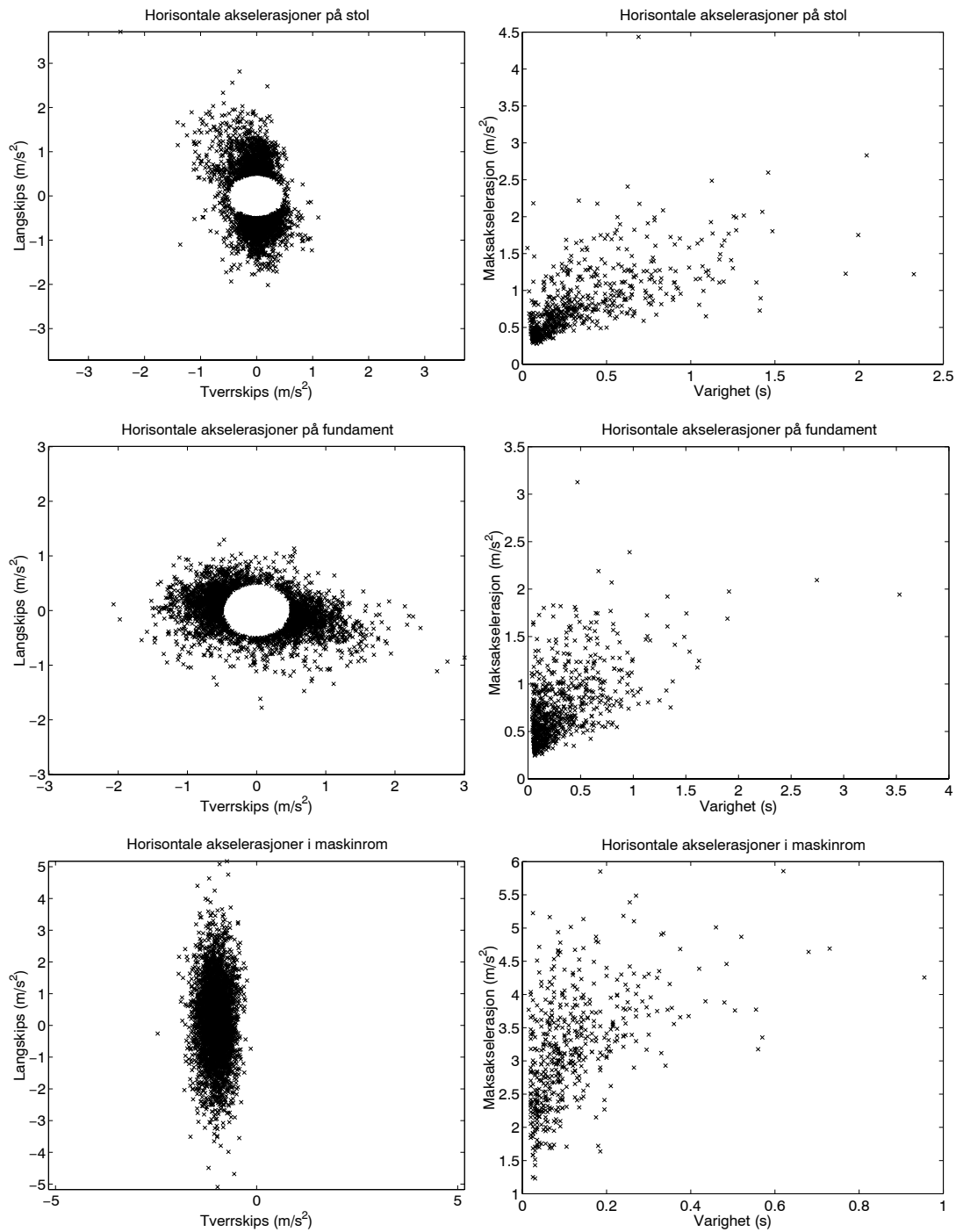


Figur B.8 Run 118: Seastate 2, hastighet 20 kn og møtevinkel 60°. Horisontale støt, retningsdiagram og varighet. Sjø antas på SB side

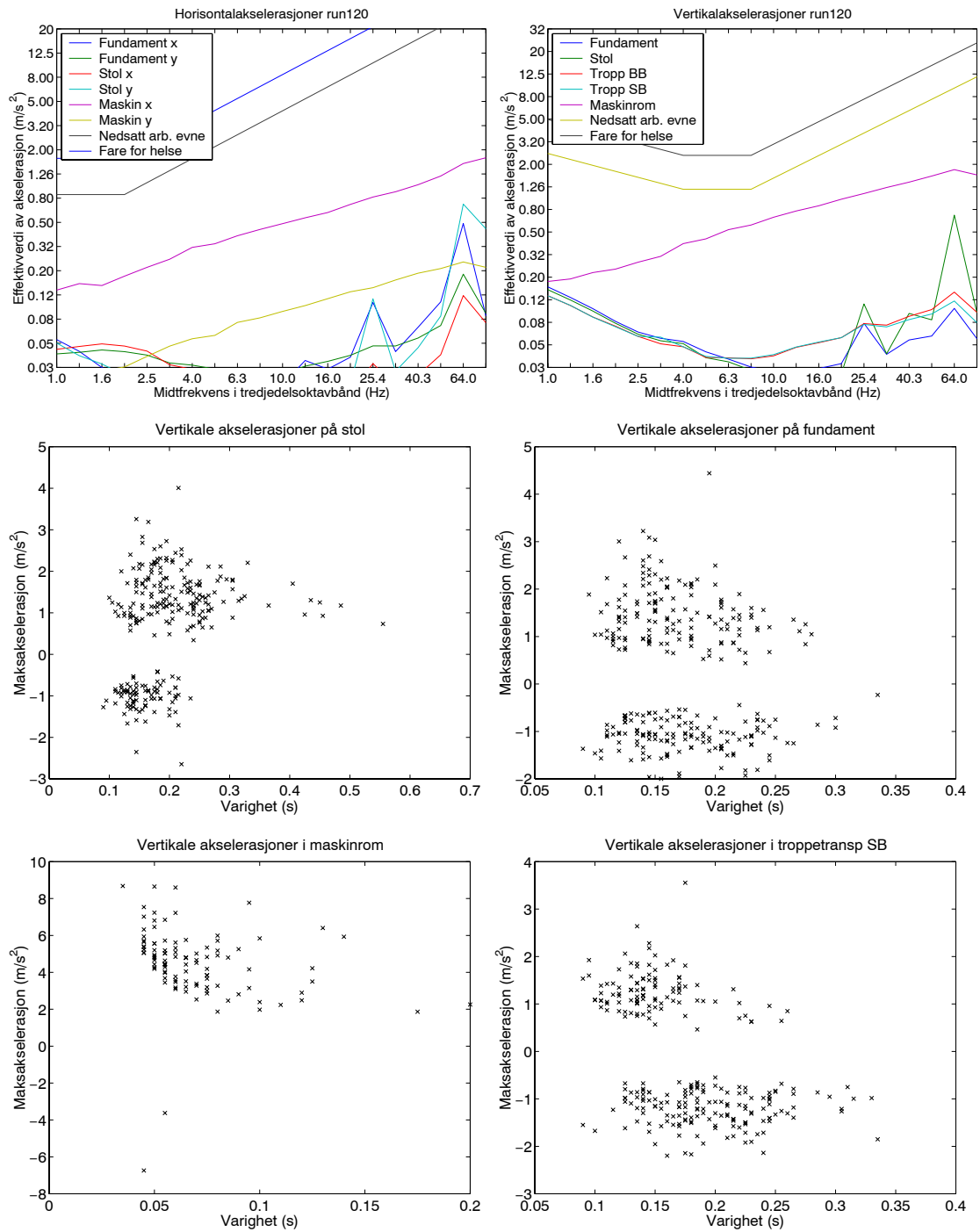




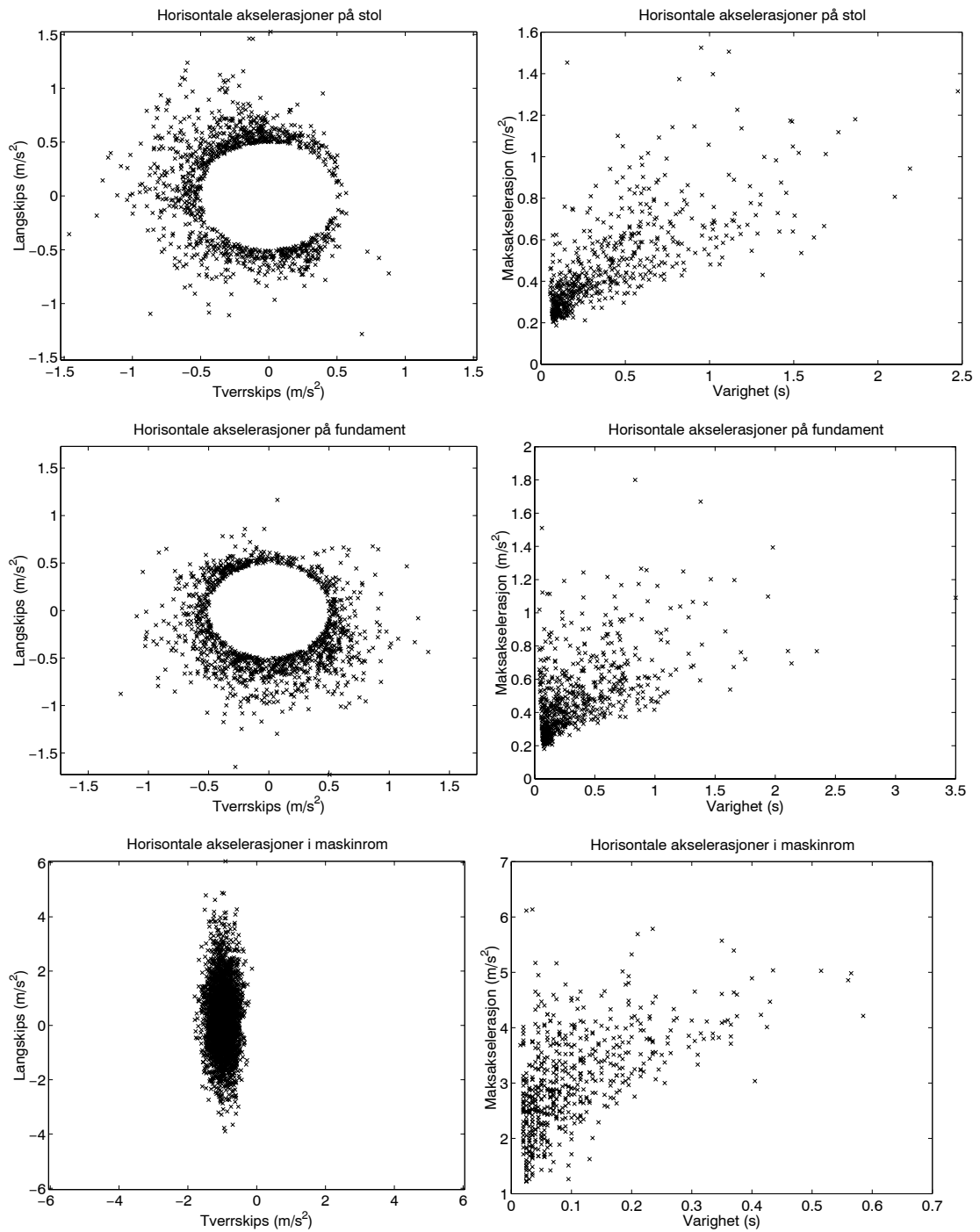
Figur B.9 Run 119: Seastate 2, hastighet 20 kn og møtevinkel 120°. Vibrasjonsspektrum og vertikale støt. Sjø antas på SB side



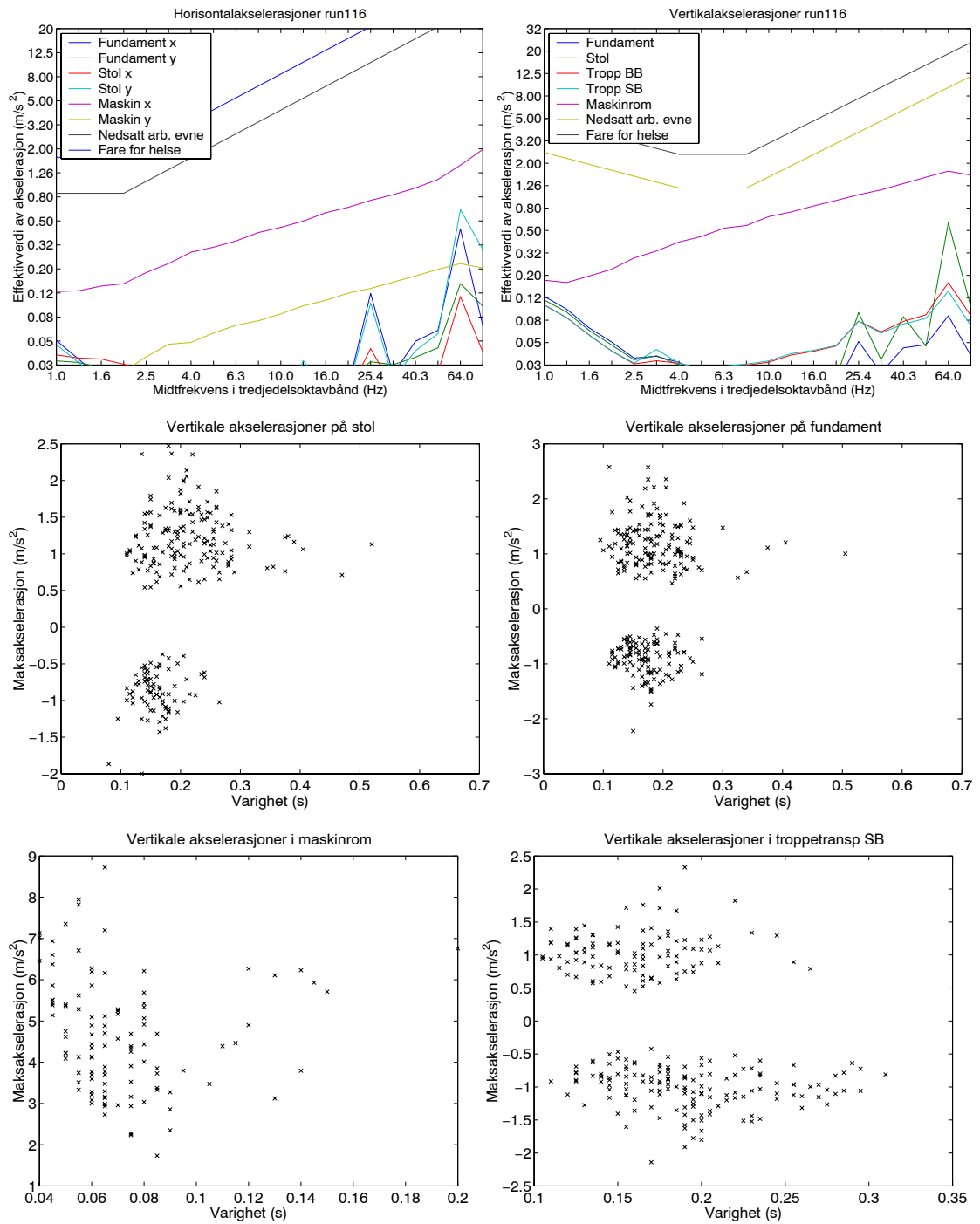
Figur B.10 Run 119: Seastate 2, hastighet 20 kn og møtevinkel 120°. Horisontale støt, retningsdiagram og varighet. Sjø antas på SB side



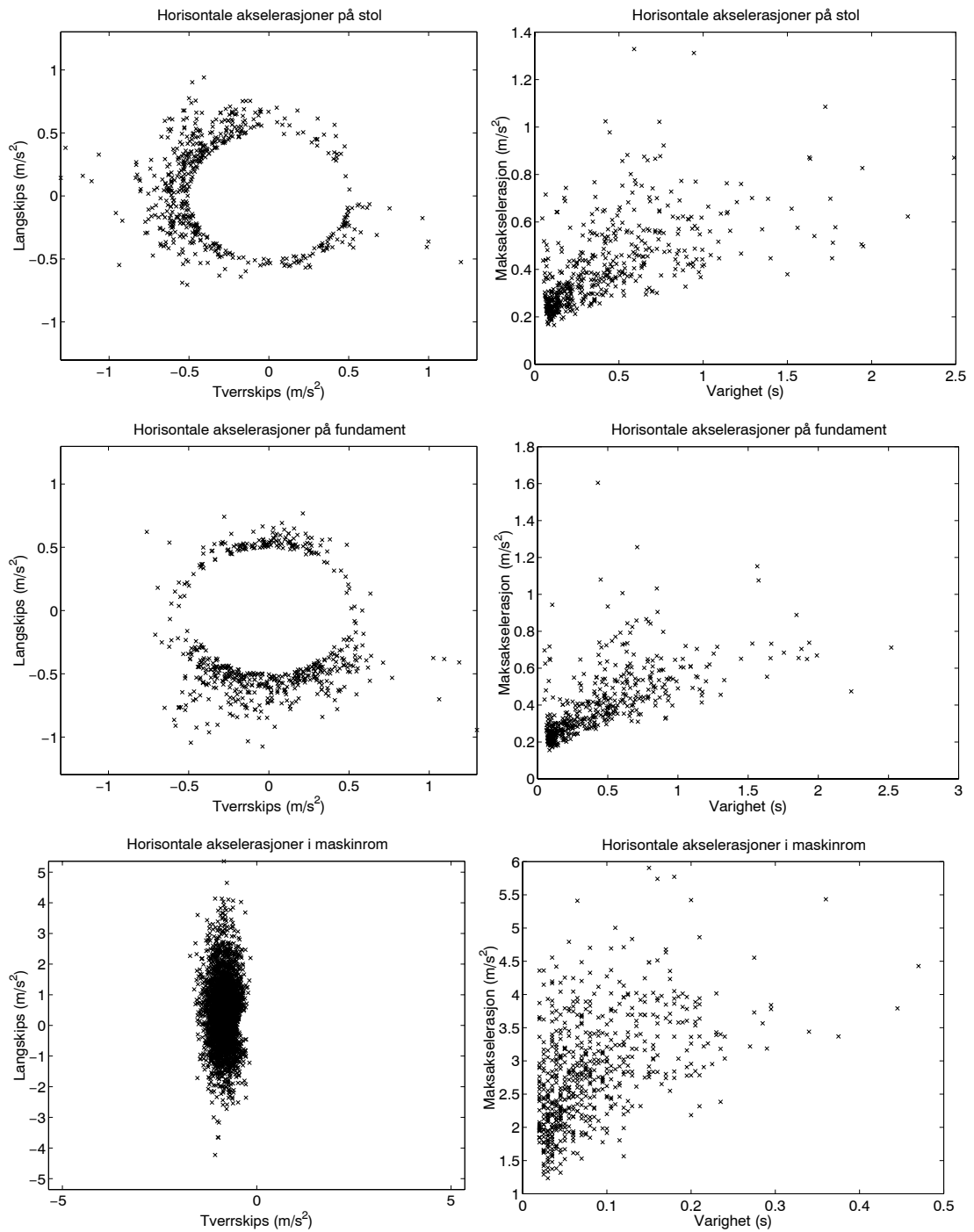
Figur B.11 Run 120: Seastate 2, hastighet 20 kn og møtevinkel 150°. Vibrasjonsspektrum og vertikale støt. Sjø antas på SB side



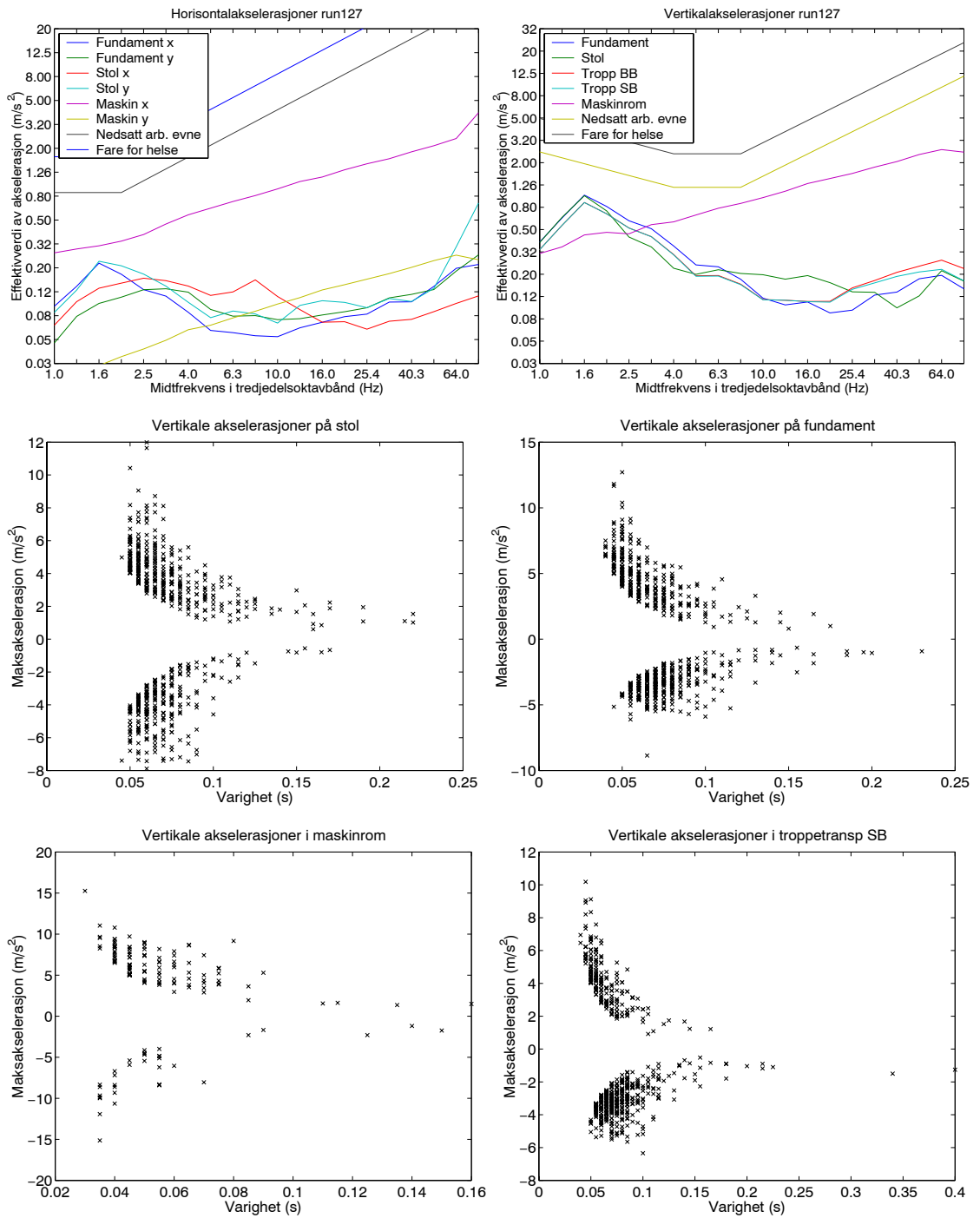
Figur B.12 Run 120: Seastate 2, hastighet 20 kn og møtevinkel  $150^\circ$ . Horisontale støt, retningsdiagram og varighet. Sjø antas på SB side



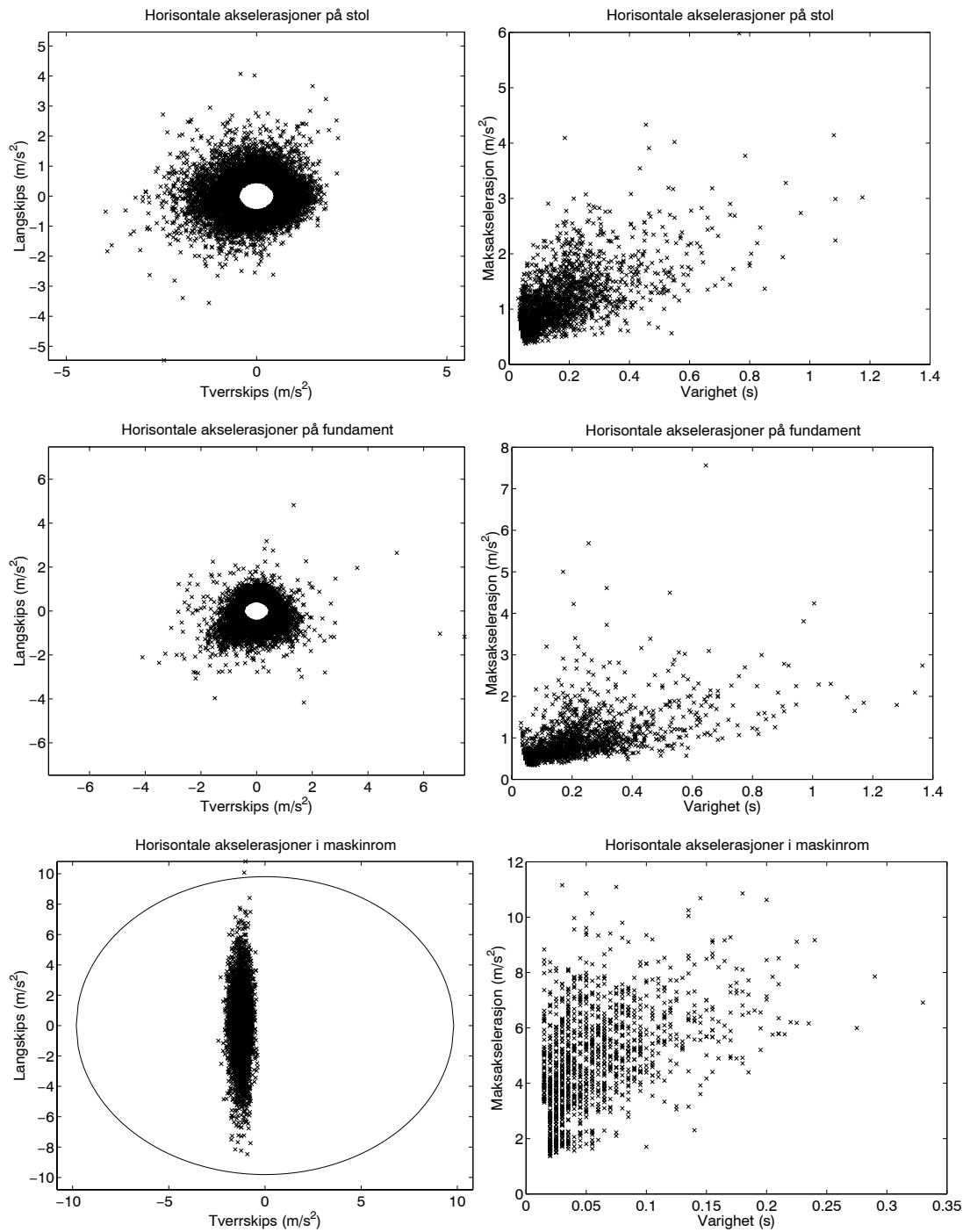
Figur B.13 Run 116: Seastate 2, hastighet 20 kn og møtevinkel 180°. Vibrasjonsspektrum og vertikale støt.



Figur B.14 Run 116: Seastate 2, hastighet 20 kn og møtevinkel 180°. Horisontale støt, retningsdiagram og varighet.

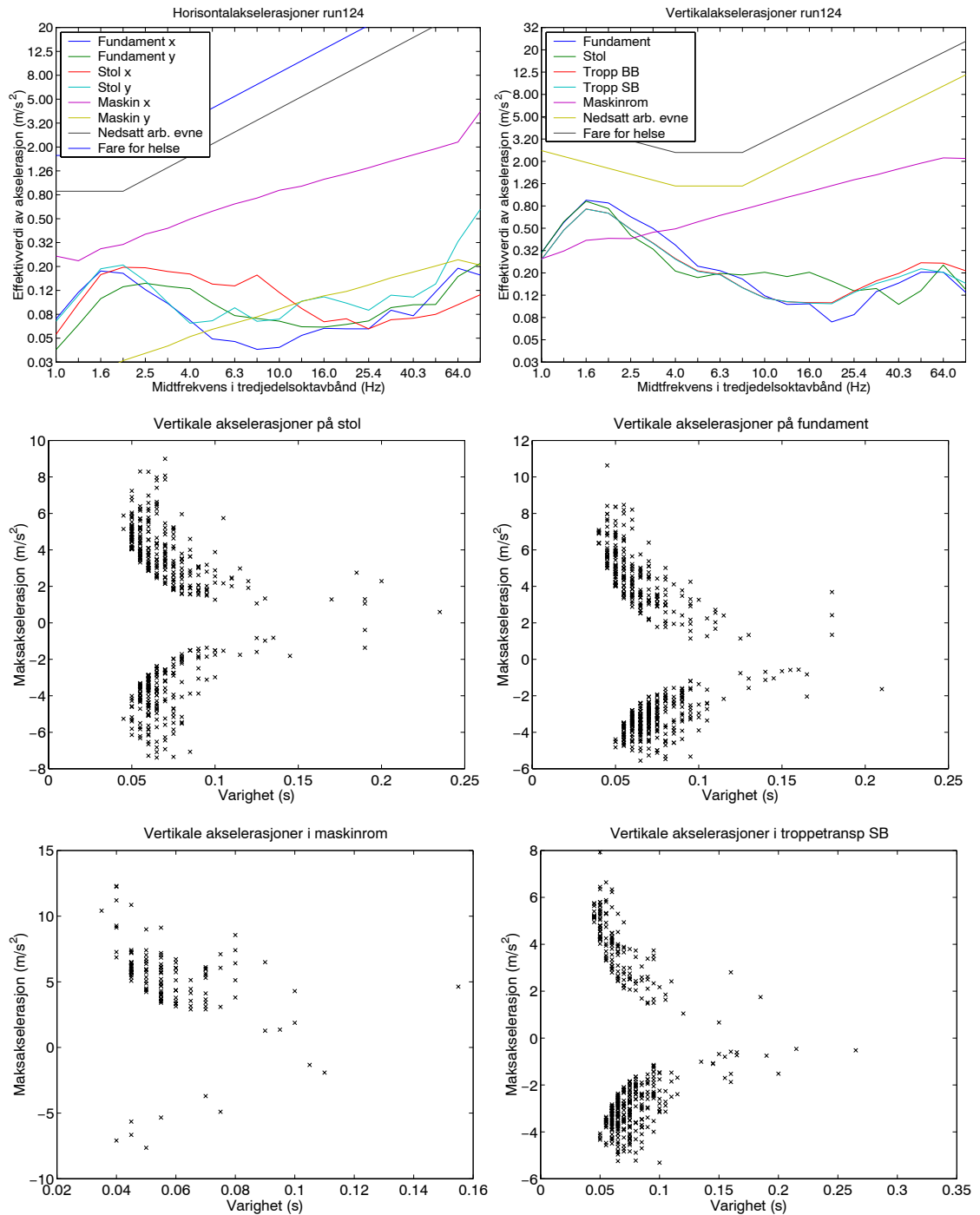


Figur B.15 Run 127: Seastate 2, hastighet 30 kn og møtevinkel 0°. Vibrasjonsspektrum og vertikale støt. Legg merke til økte akselerasjoner i denne serien i forhold til målingene ved 20 knop

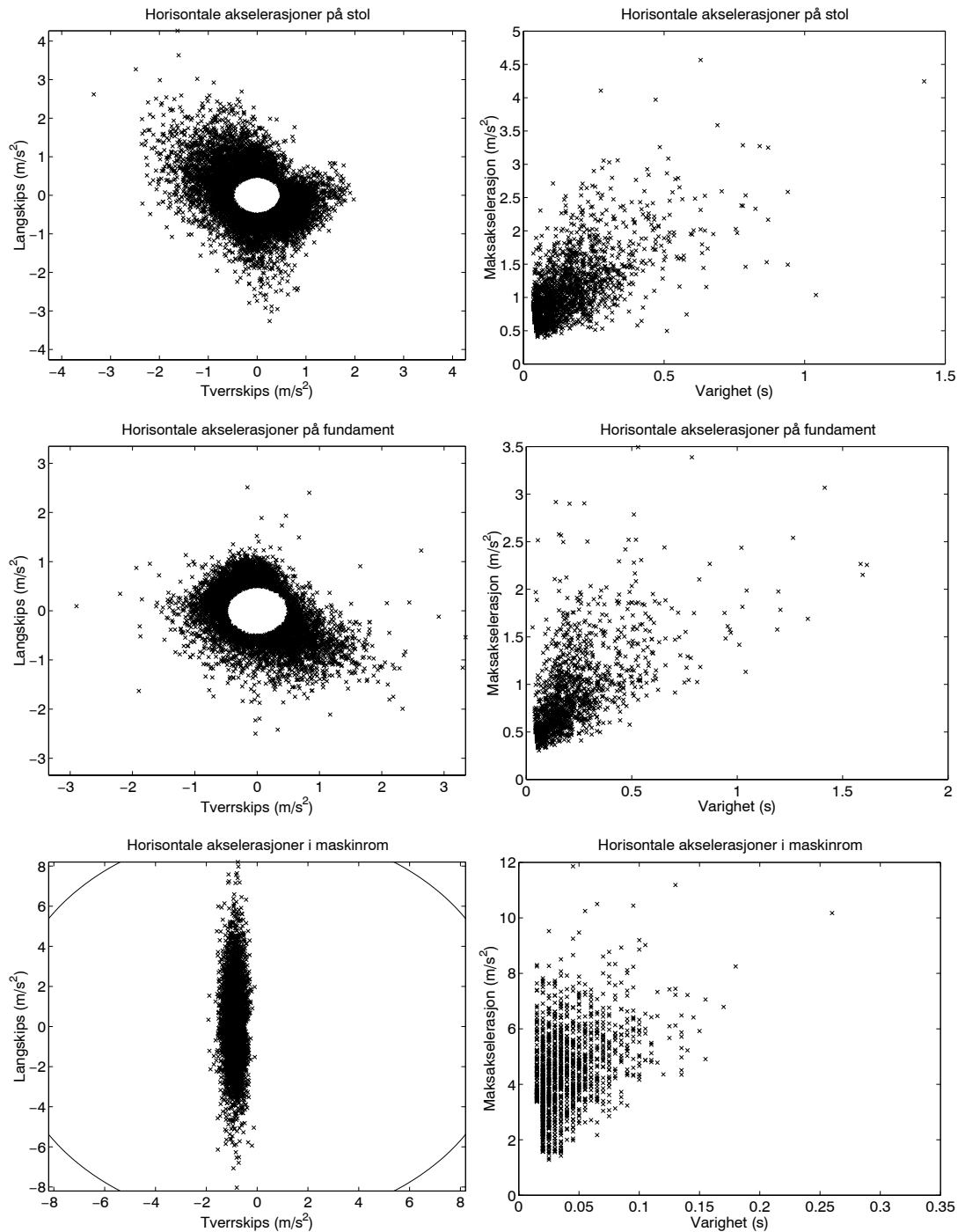


Figur B.16 Run 127: Seastate 2, hastighet 30 kn og møtevinkel 0°. Horisontale støt, retningsdiagram og varighet. Legg merke til økte akselerasjoner i denne serien i forhold til målingene ved 20 knop

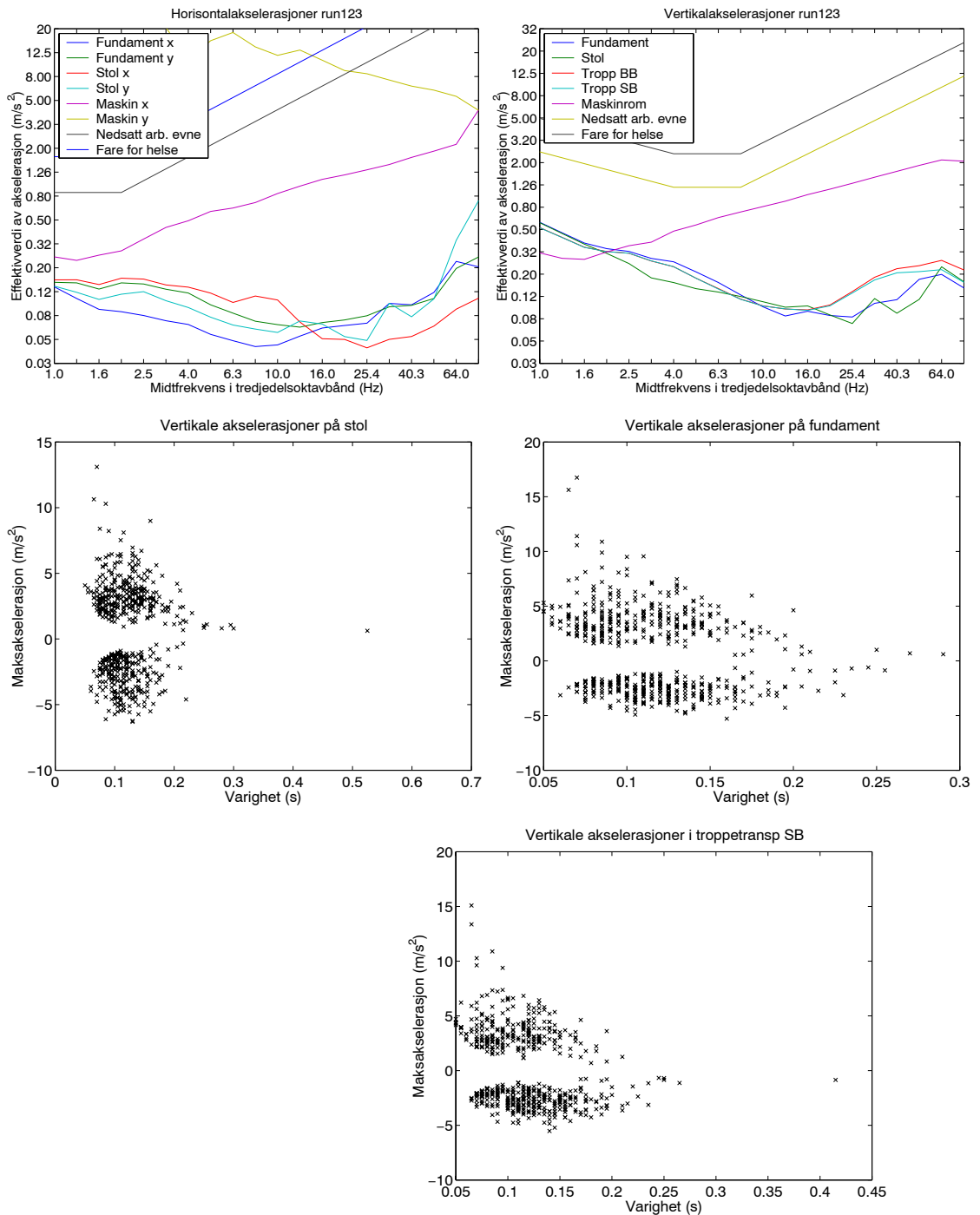




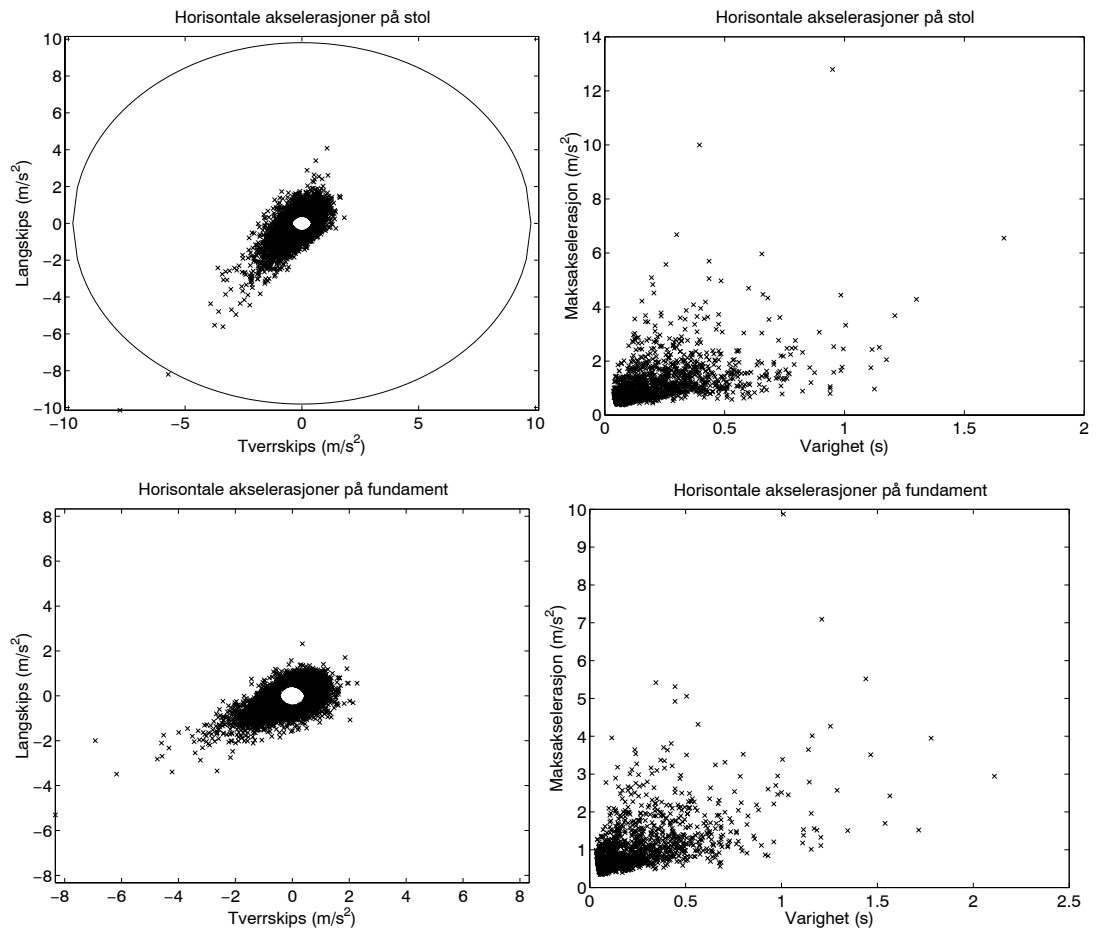
Figur B.17 Run 124: Seastate 2, hastighet 30 kn og møtevinkel 30°. Vibrasjonsspektrum og vertikale støt. Denne målingen bryter trenden. Retningsdiagrammet indikerer at sjøen kommer inn fra BB side, mens den kom inn fra SB side for tilsvarende måling ved 20 kn



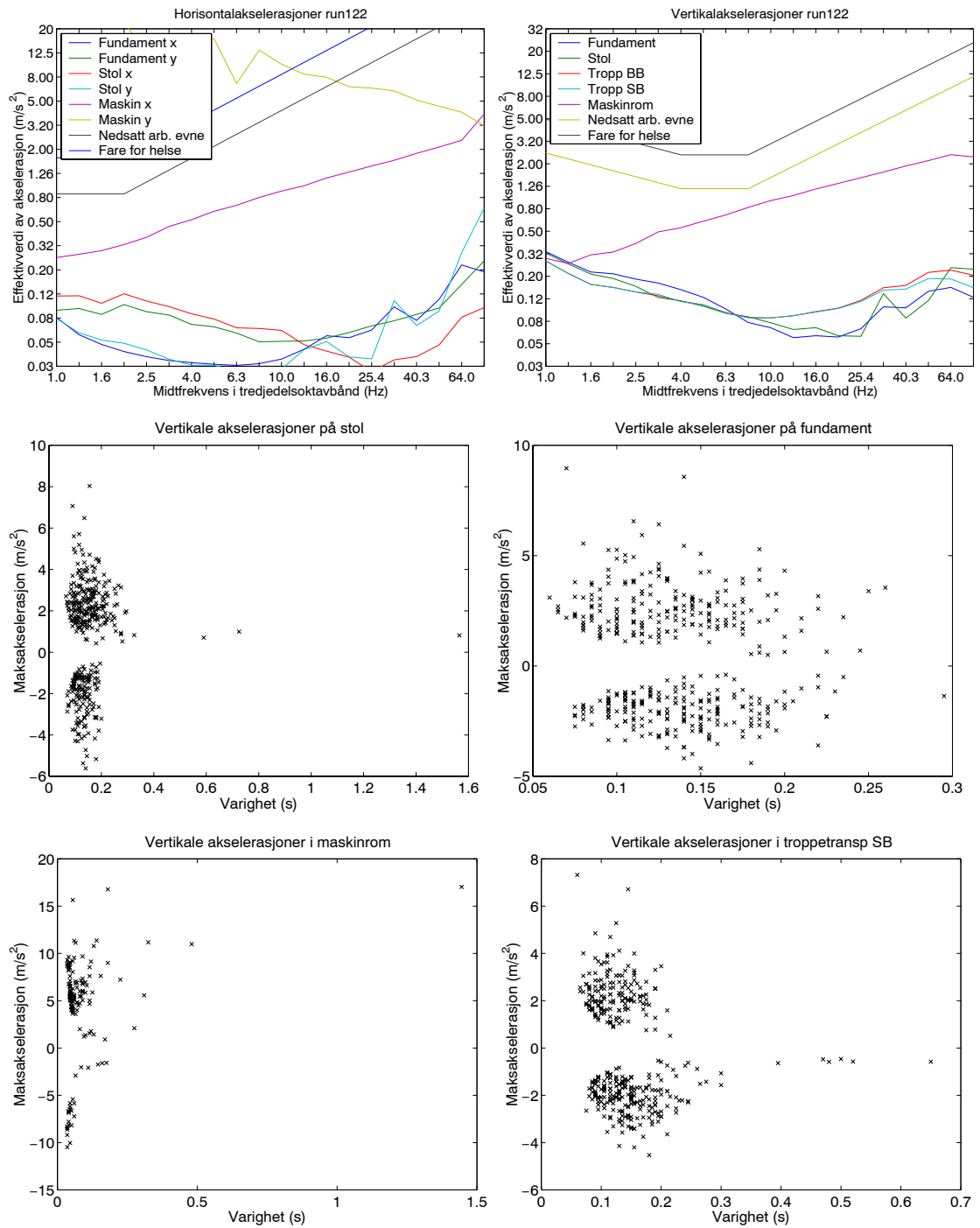
Figur B.18 Run 124: Seastate 2, hastighet 30 kn og møtevinkel 30°. Horisontale støt, retningsdiagram og varighet. Denne målingen bryter trenden. Retningsdiagrammet indikerer at sjøen kommer inn fra BB side, mens den kom inn fra SB side for tilsvarende måling ved 20 kn



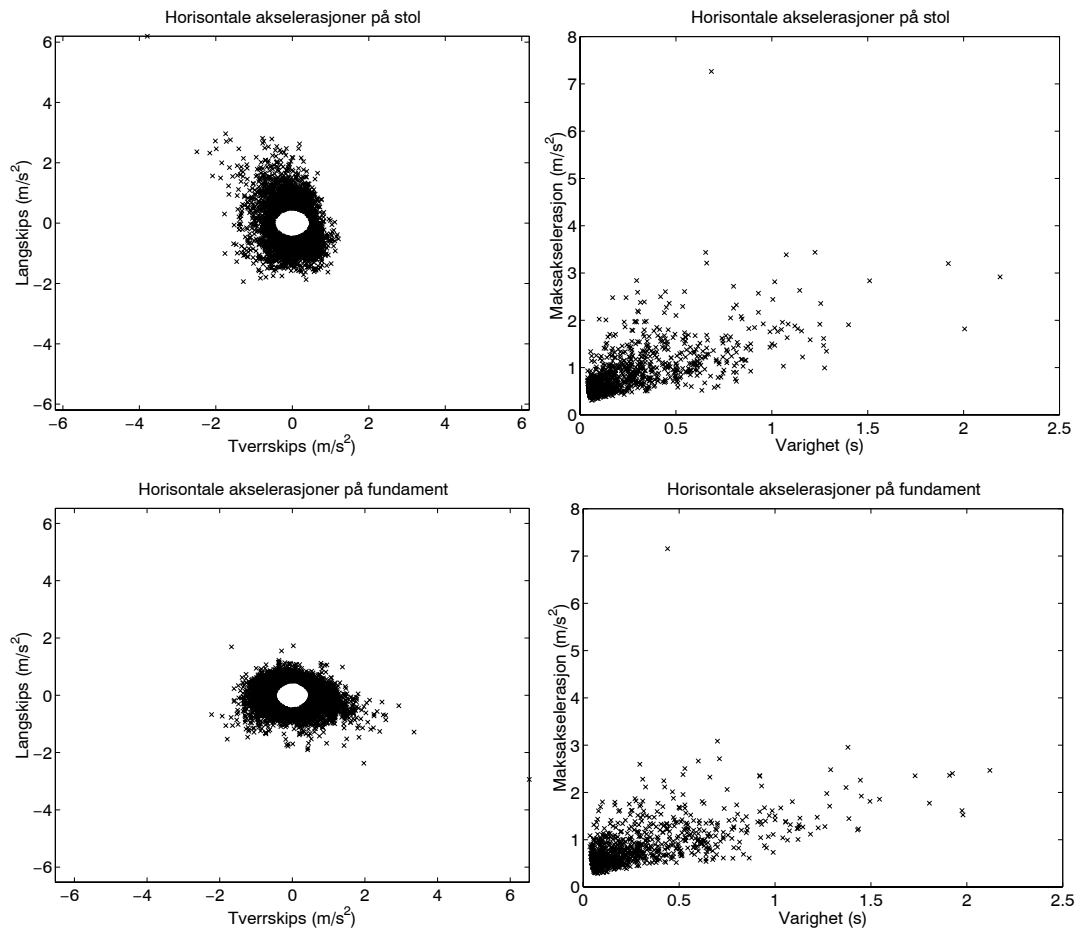
Figur B.19 Run 123: Seastate 2, hastighet 30 kn og møtevinkel 60°. Vibrasjonsspektrum og vertikale støt. Sjø antas på SB side. Vertikalakselerasjon på fundament tangerer 25% av grenseverdi for frittfall livbåt



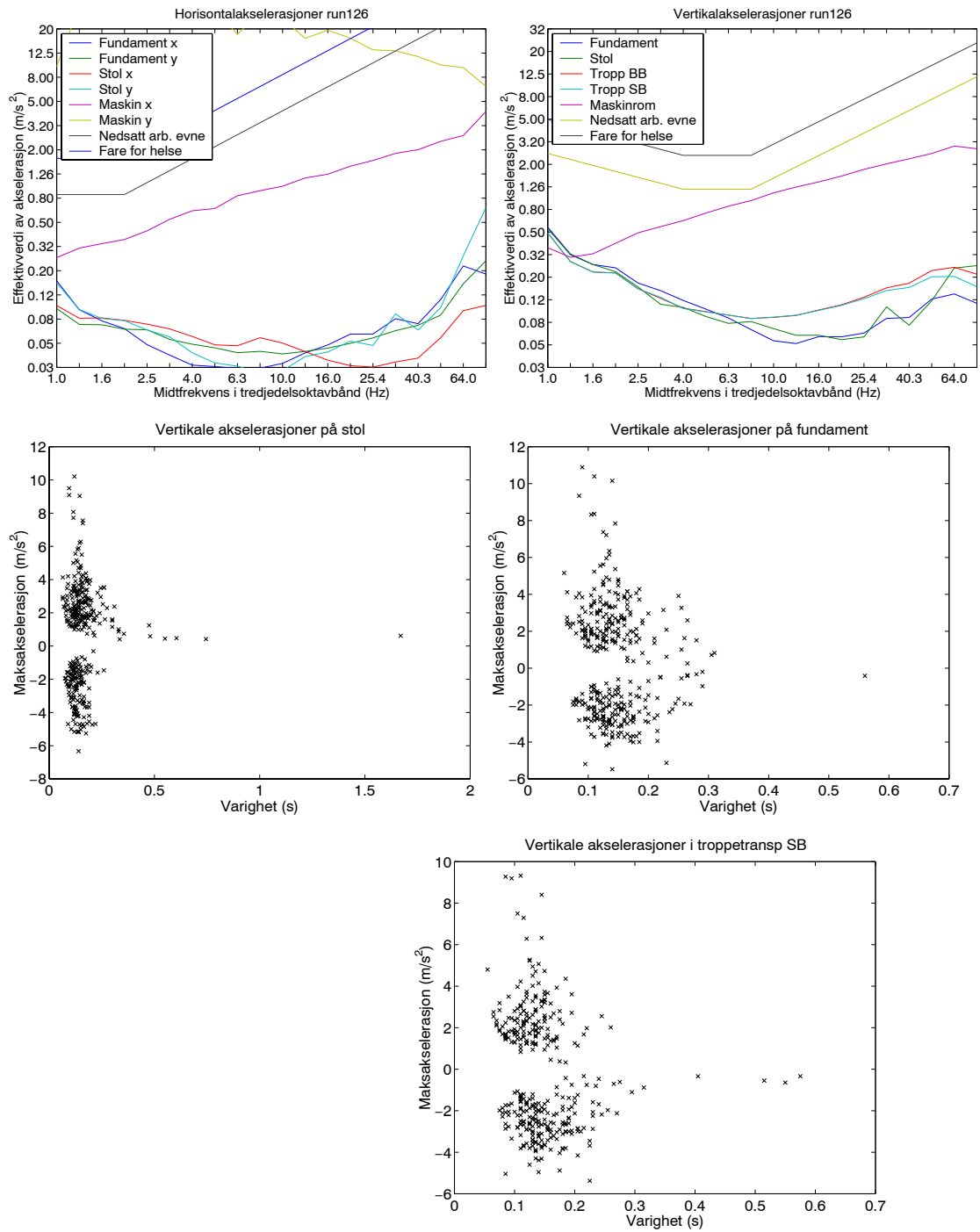
Figur B.20 Run 123: Seastate 2, hastighet 30 kn og møtevinkel  $60^\circ$ . Horisontale støt, retningsdiagram og varighet. Sjø antas på SB side. Vertikalakselerasjon på fundament tangerer 25% av grenseverdi for frittfall livbåt



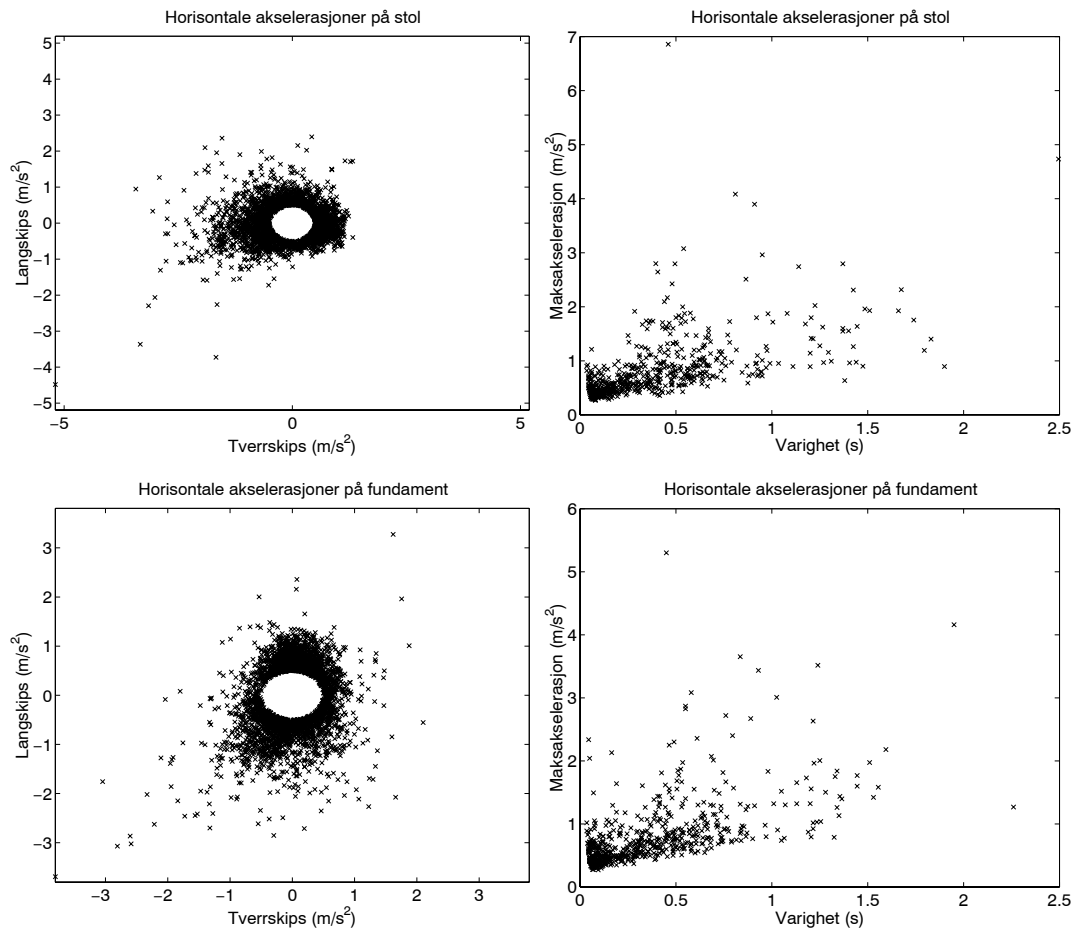
Figur B.21 Run 122: Seastate 2, hastighet 30 kn og møtevinkel 120°. Vibrasjonsspektrum og vertikale støt. Sjø antas på SB side



Figur B.22 Run 122: Seastate 2, hastighet 30 kn og møtevinkel 120°. Horisontale støt, retningsdiagram og varighet. Sjø antas på SB side

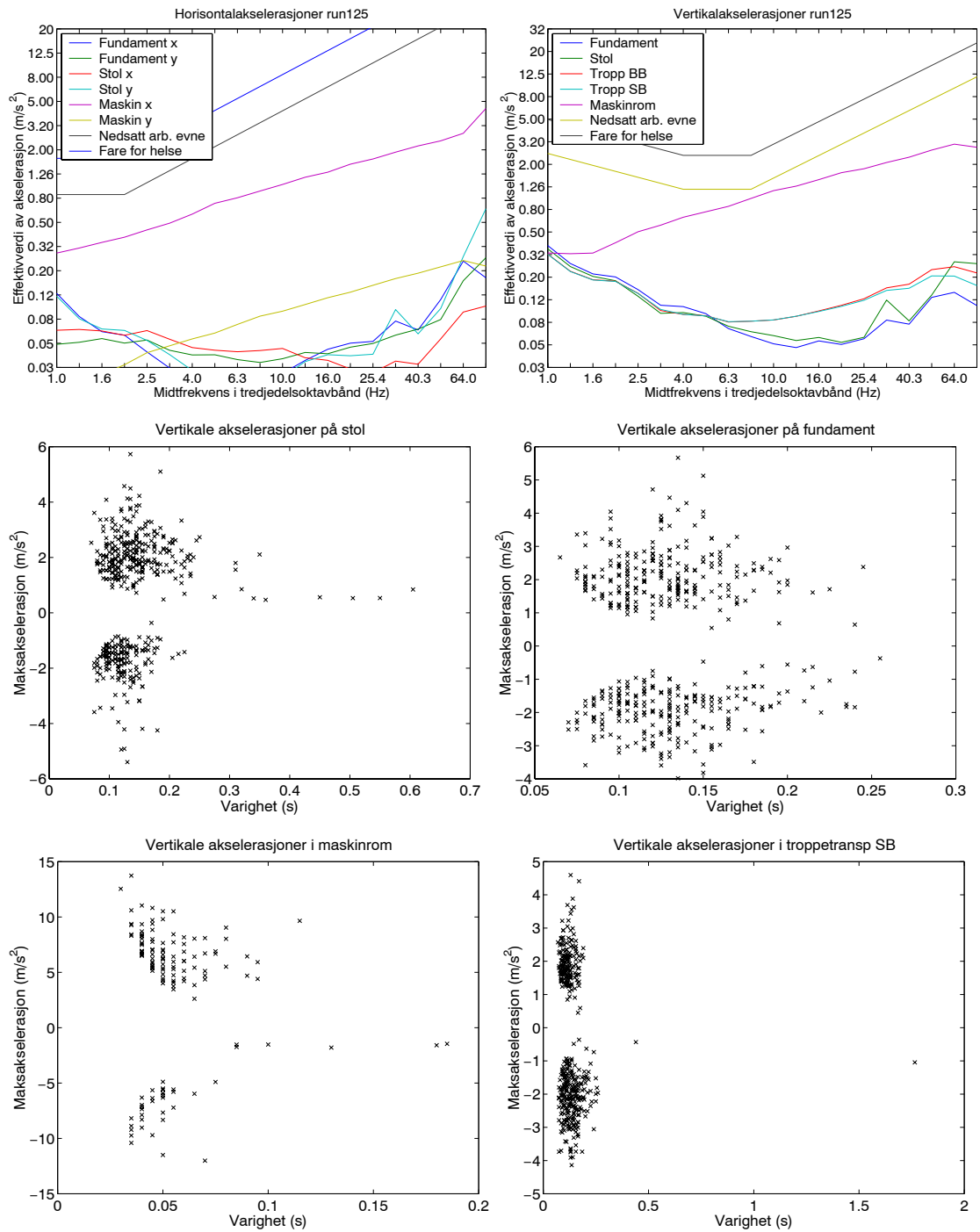


Figur B.23 Run 126: Seastate 2, hastighet 30 kn og møtevinkel 150°. Vibrasjonsspektrum og vertikale støt.

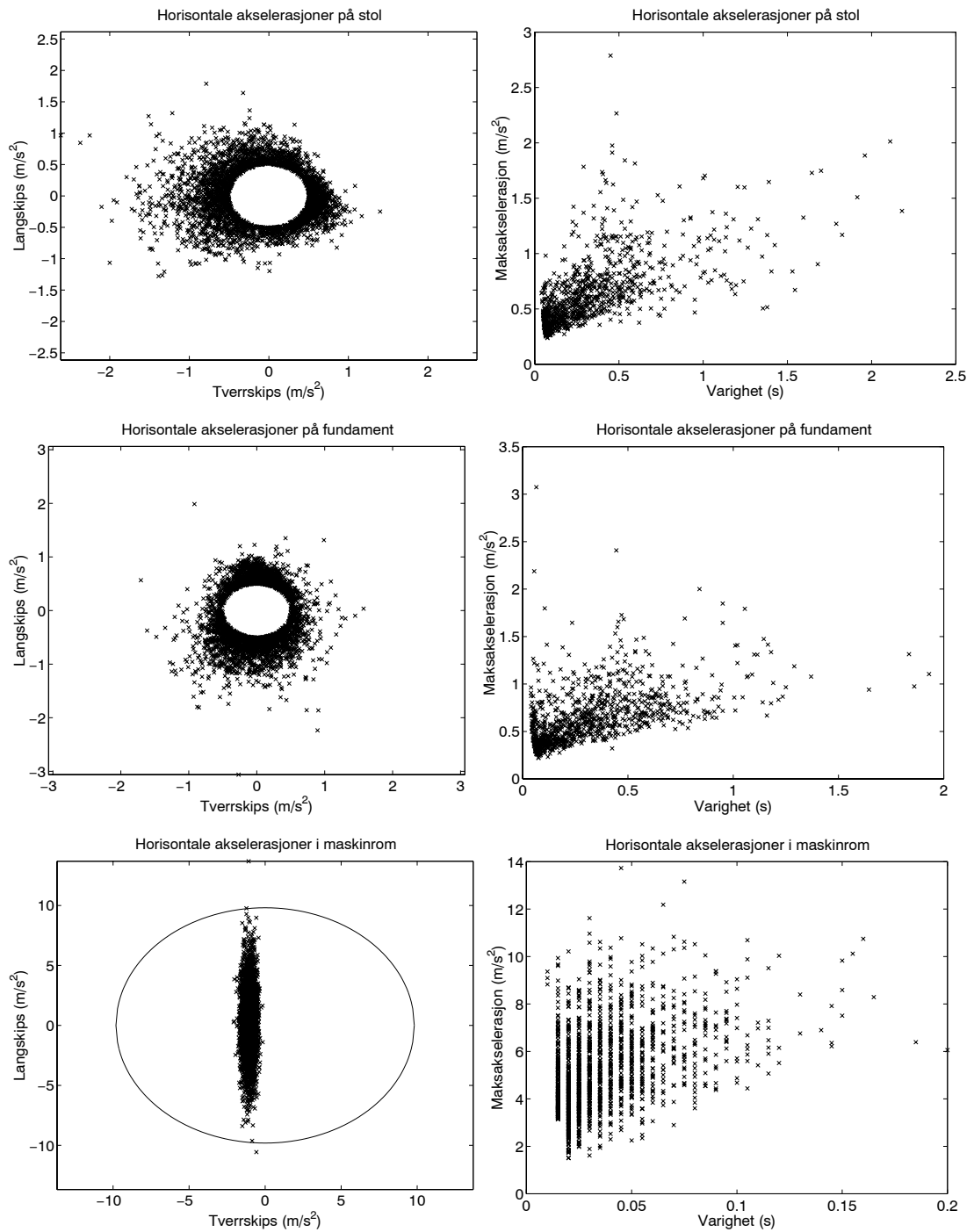


Figur B.24 Run 126: Seastate 2, hastighet 30 kn og møtevinkel 150°. Horisontale støt, retningsdiagram og varighet.

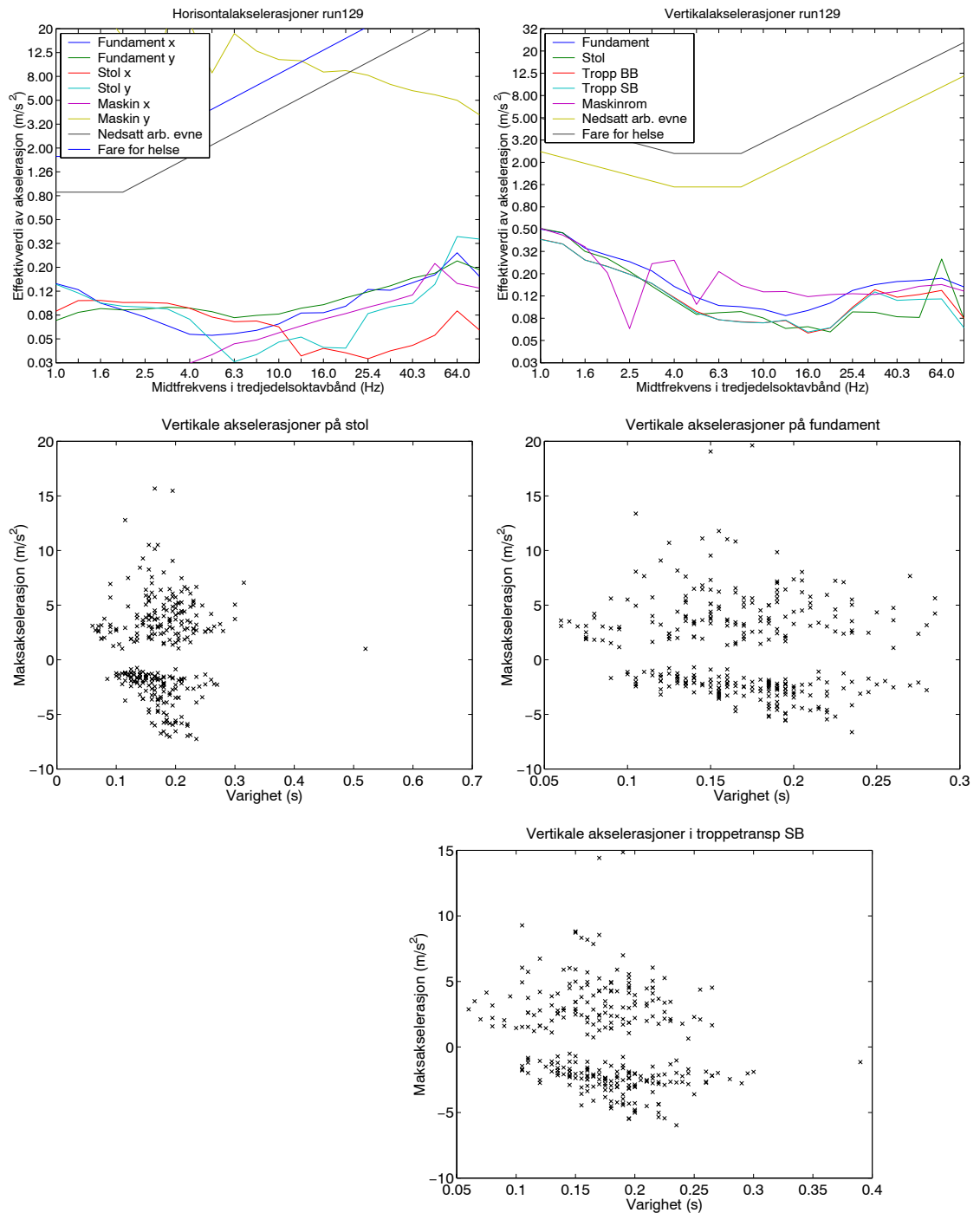




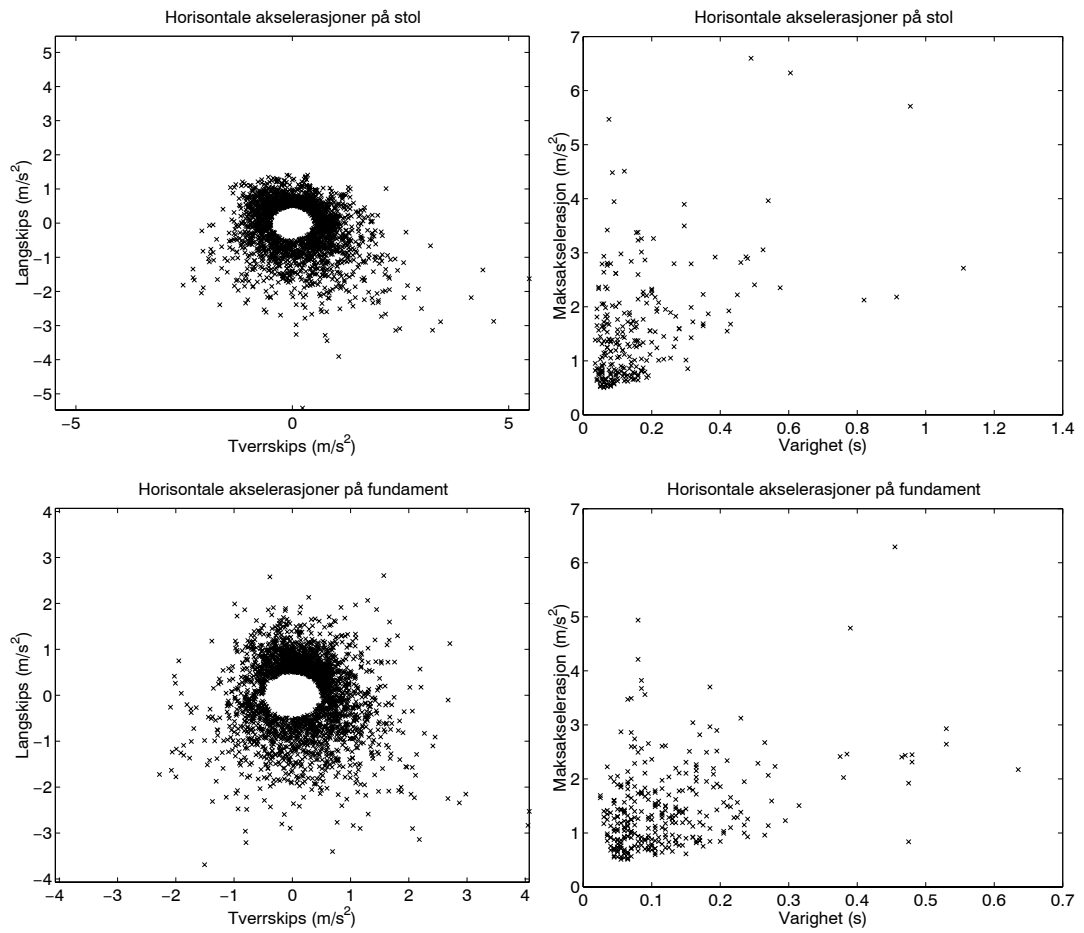
Figur B.25 Run 125: Seastate 2, hastighet 30 kn og møtevinkel 180°. Vibrasjonsspektrum og vertikale støt.



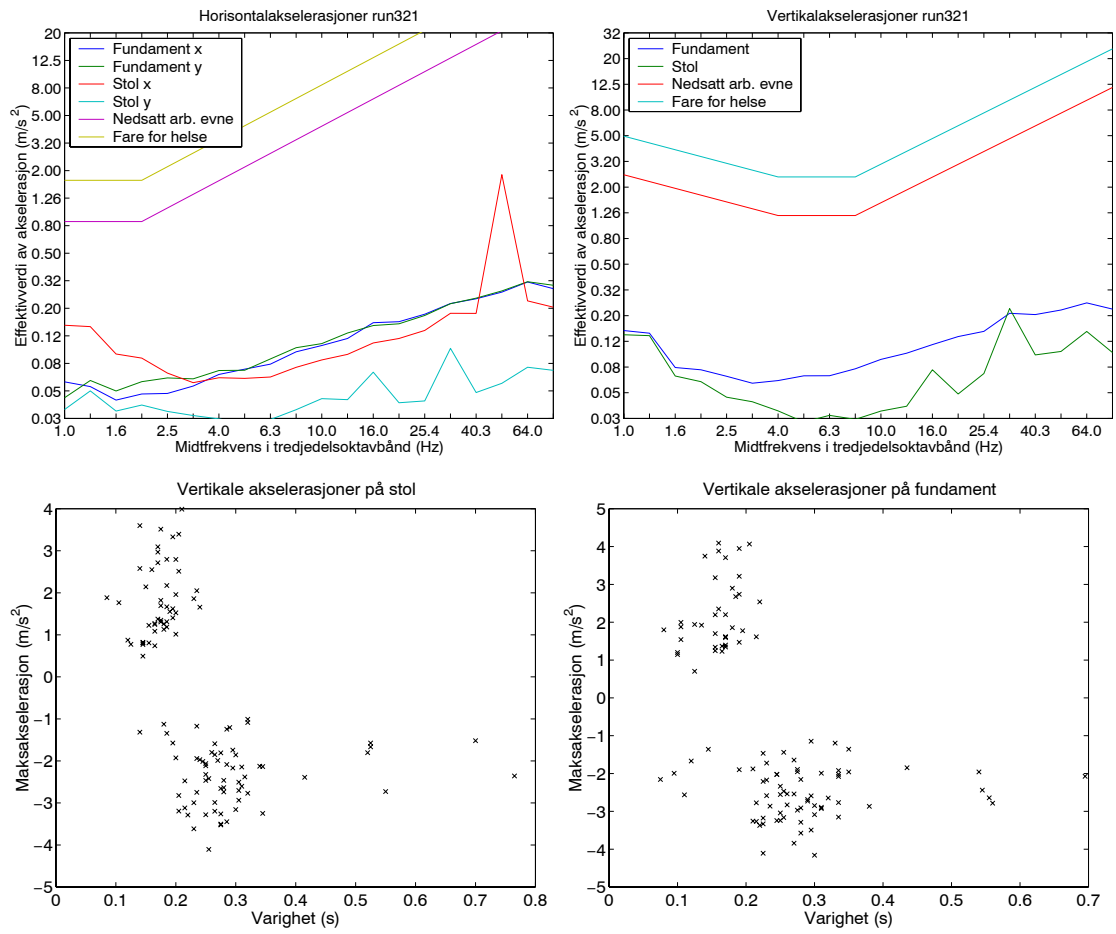
Figur B.26 Run 125: Seastate 2, hastighet 30 kn og møtevinkel  $180^\circ$ . Horisontale støt, retningsdiagram og varighet.



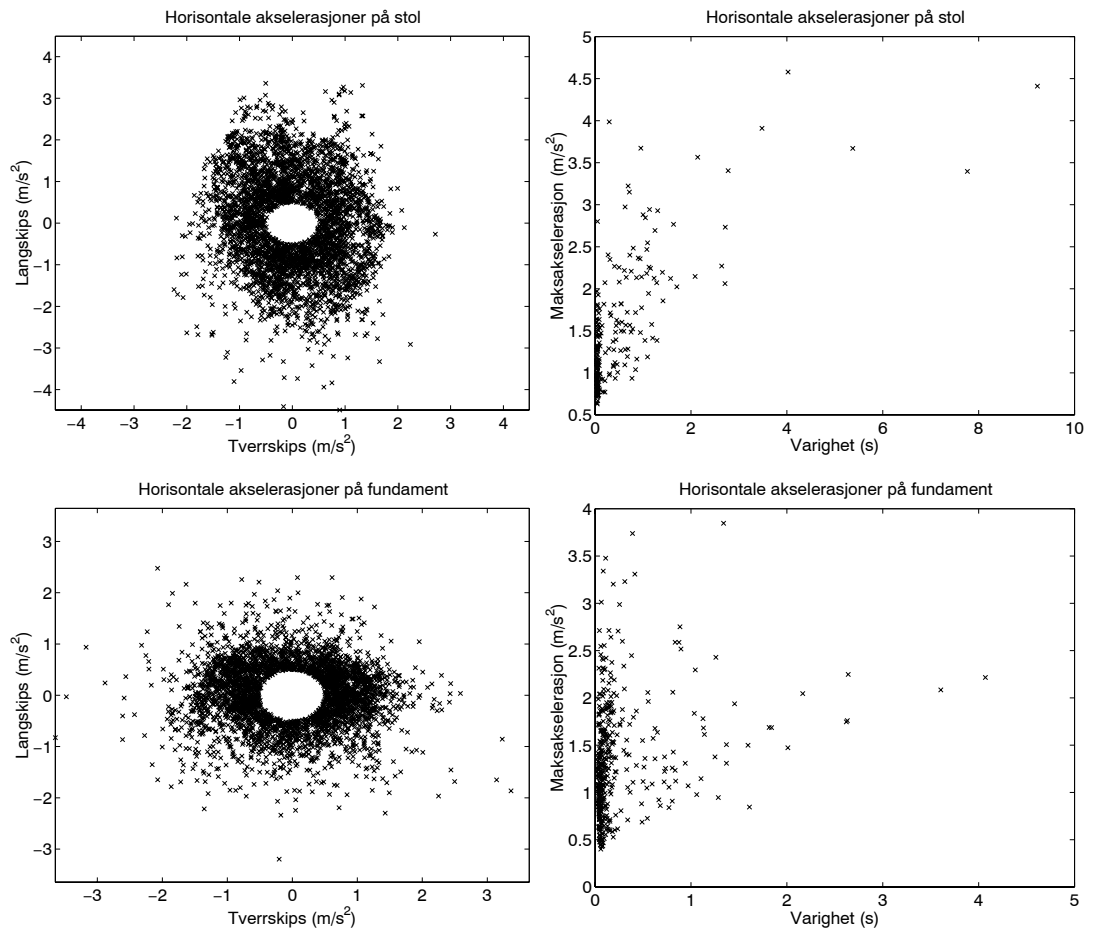
Figur B.27 Run 129: Seastate 4, hastighet 20 kn og møtevinkel  $0^\circ$ . Vibrasjonsspektrum og vertikale støt. Fra tokt utenfor Lista. Her observeres store vertikale akselerasjoner, mens de horisontale akselerasjonene er mer moderate



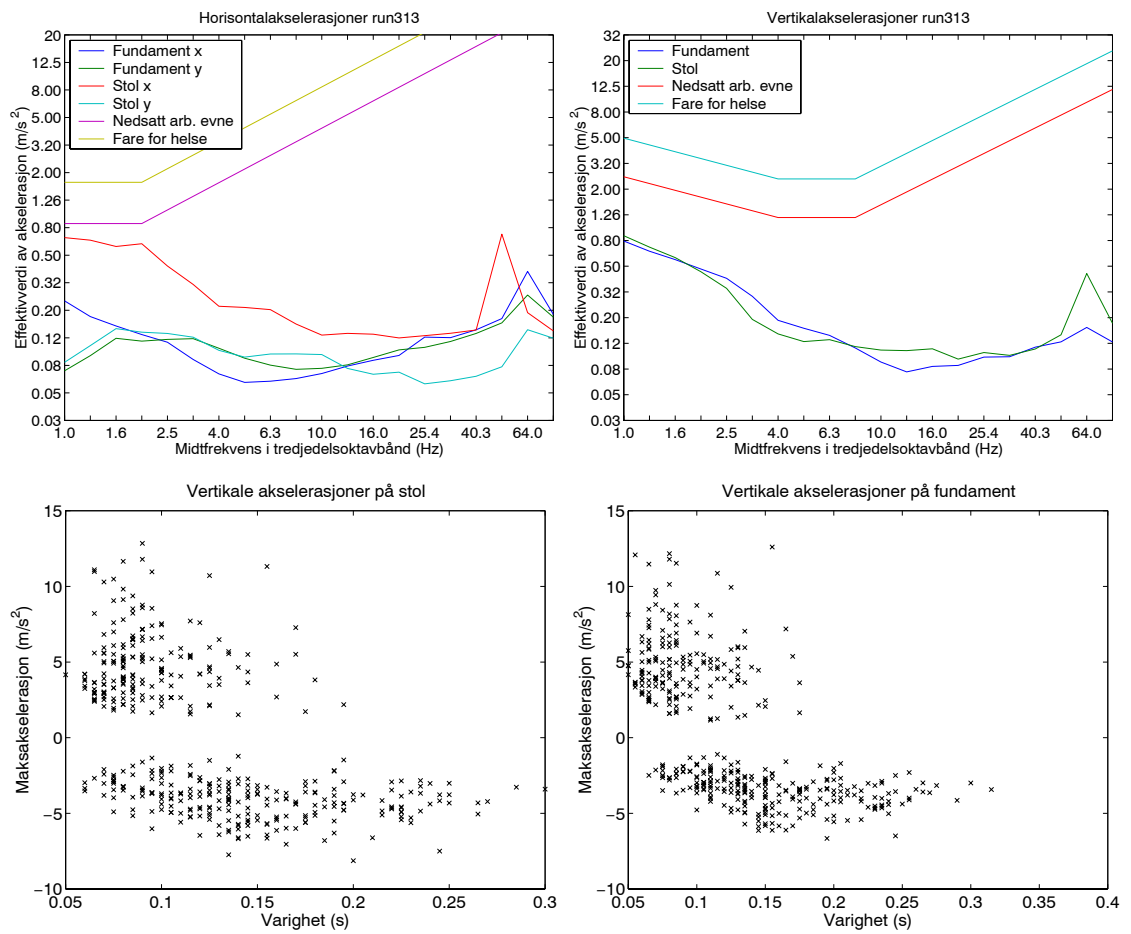
Figur B.28 Run 129: Seastate 4, hastighet 20 kn og møtevinkel  $0^\circ$ . Horizontale støt, retningsdiagram og varighet. Fra tokt utenfor Lista. Her observeres større vertikale akselerasjoner, mens de horisontale akselerasjonene er mer moderate



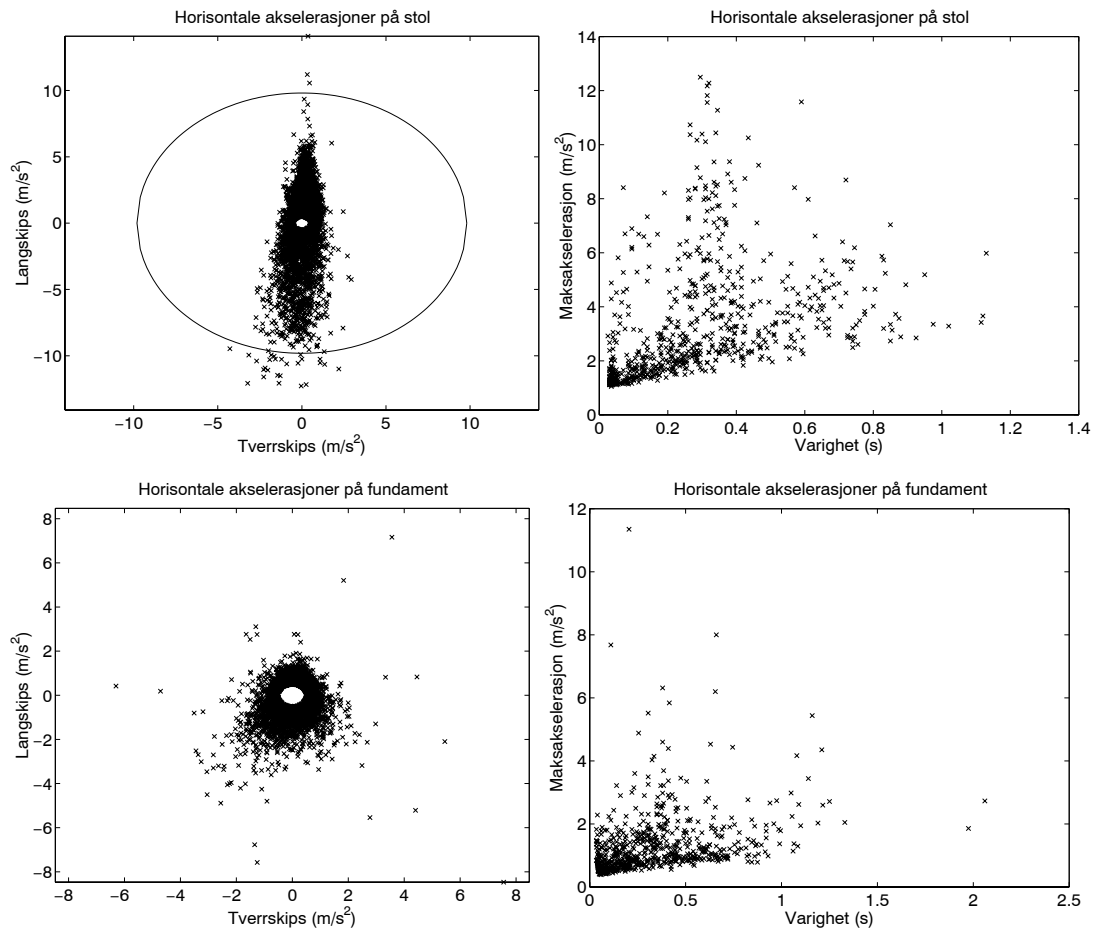
Figur B.29 Run 321: Seastate 3, hastighet 5 kn og møtevinkel  $30^\circ$ . Vibrasjonsspektrum og vertikale støt.



Figur B.30 Run 321: Seastate 3, hastighet 5 kn og møtevinkel 30°. Horisontale støt, retningsdiagram og varighet.

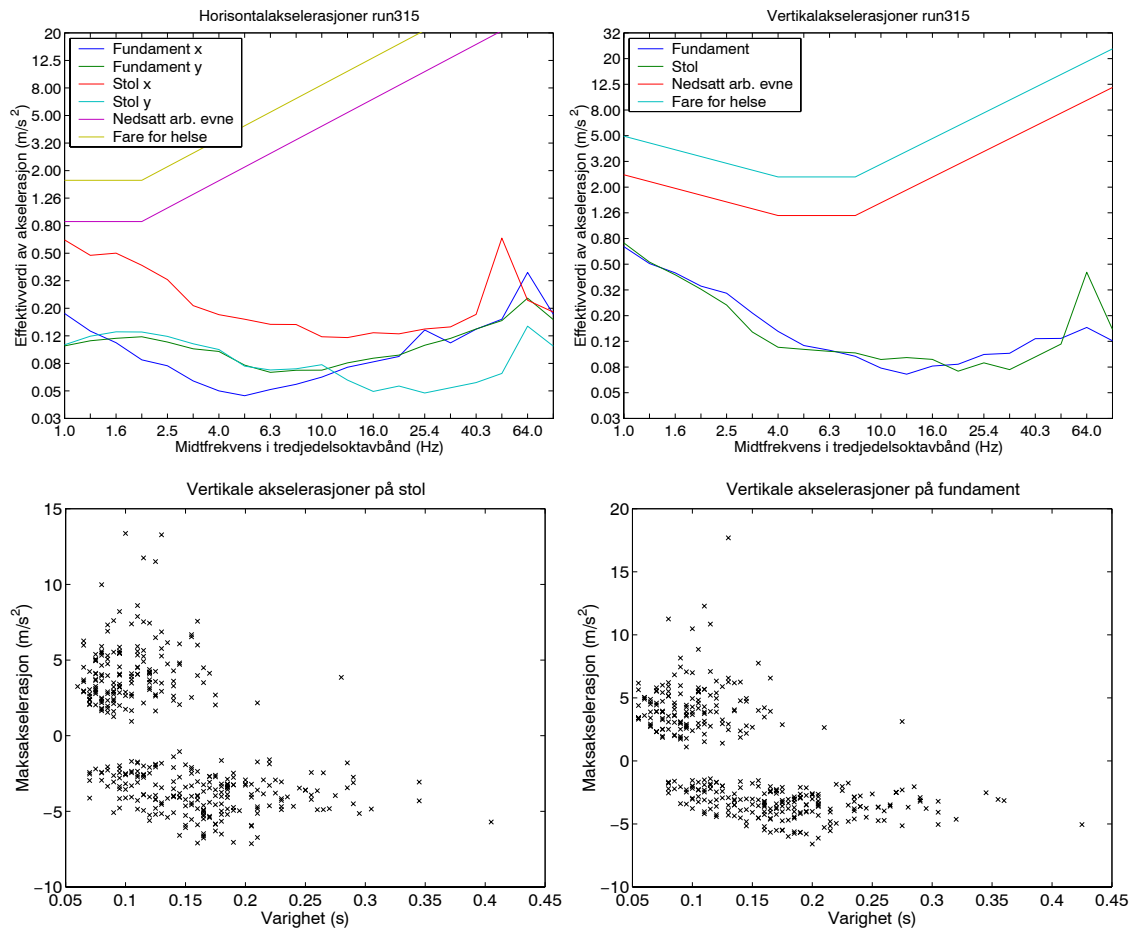


Figur B.31 Run 313: Seastate 3, hastighet 20 kn og møtevinkel 0°. Vibrasjonsspektrum og vertikale støt.

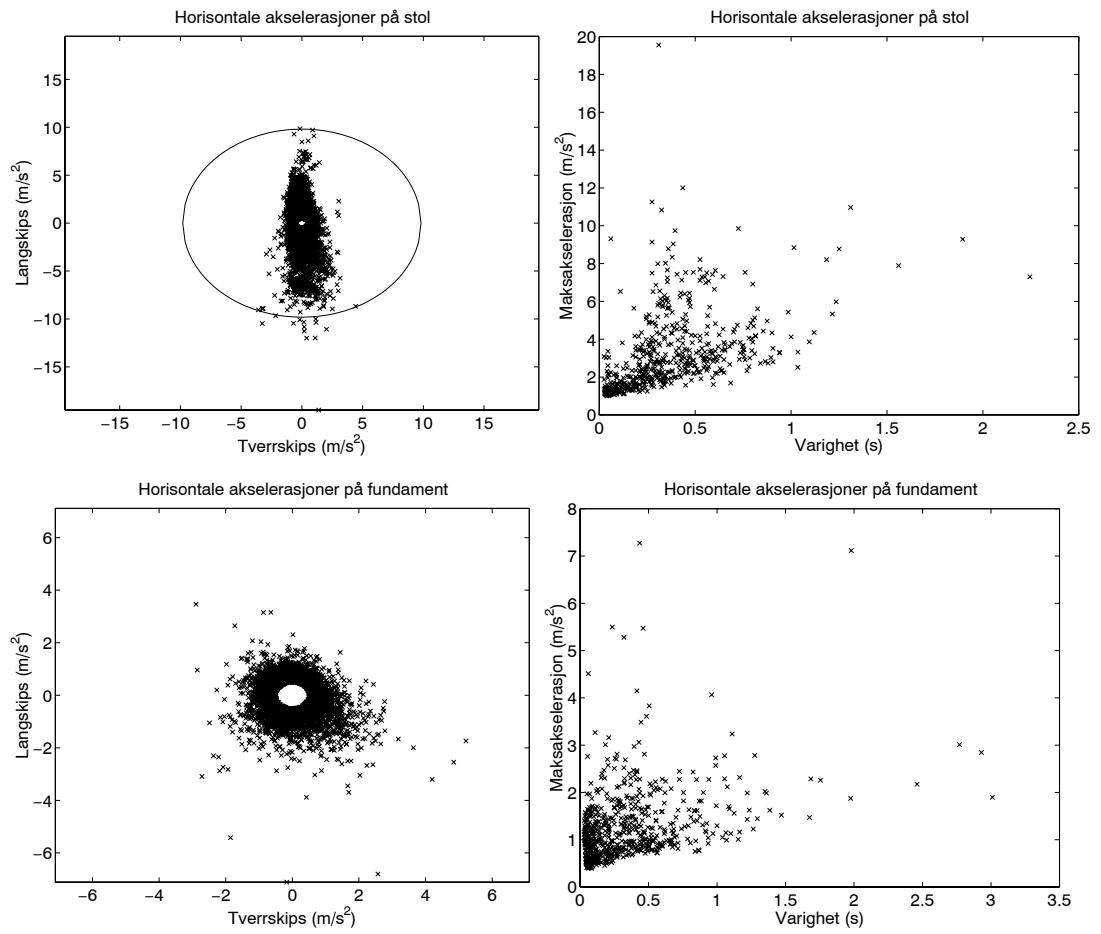


Figur B.32 Run 313: Seastate 3, hastighet 20 kn og møtevinkel 0°. Horisontale støt, retningsdiagram og varighet.

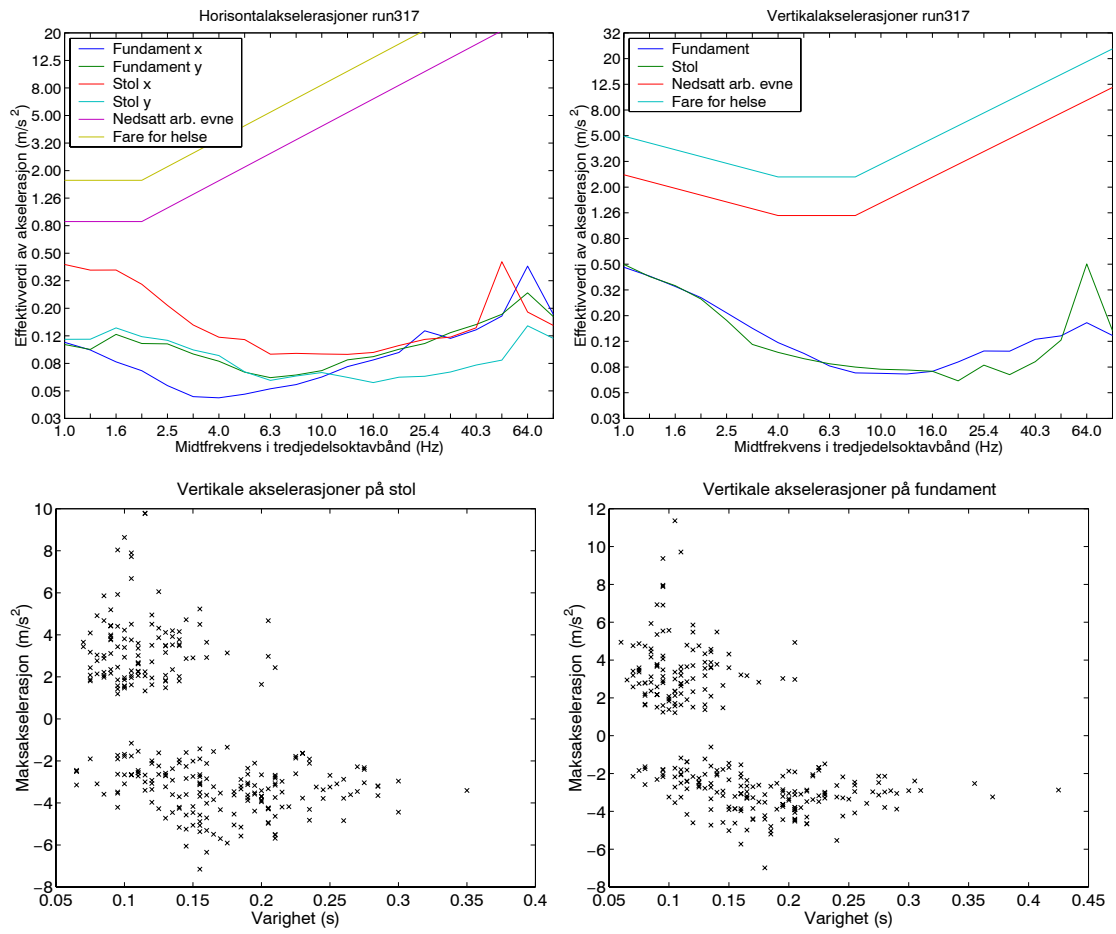




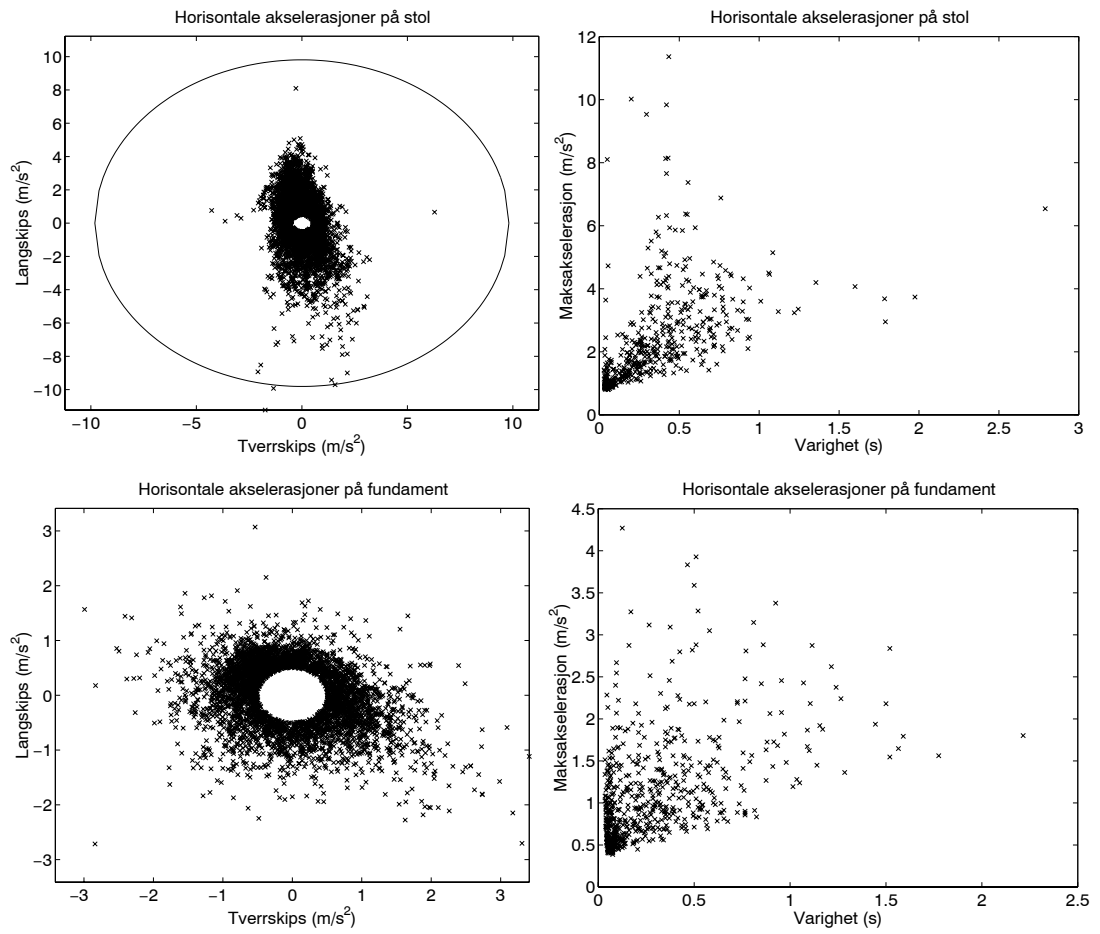
Figur B.33 Run 315: Seastate 3, hastighet 20 kn og møtevinkel 30°. Vibrasjonsspektrum og vertikale støt.



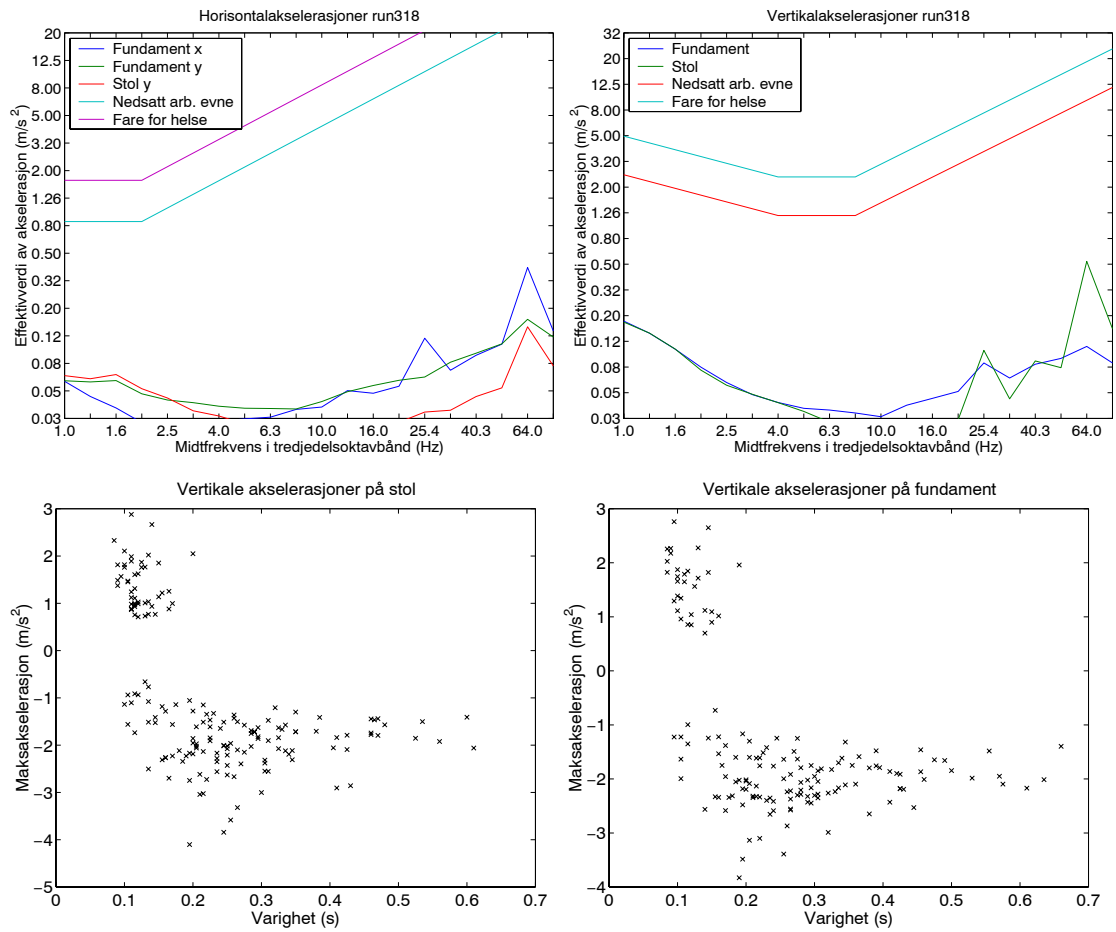
Figur B.34 Run 315: Seastate 3, hastighet 20 kn og møtevinkel 30°. Horisontale støt, retningsdiagram og varighet.



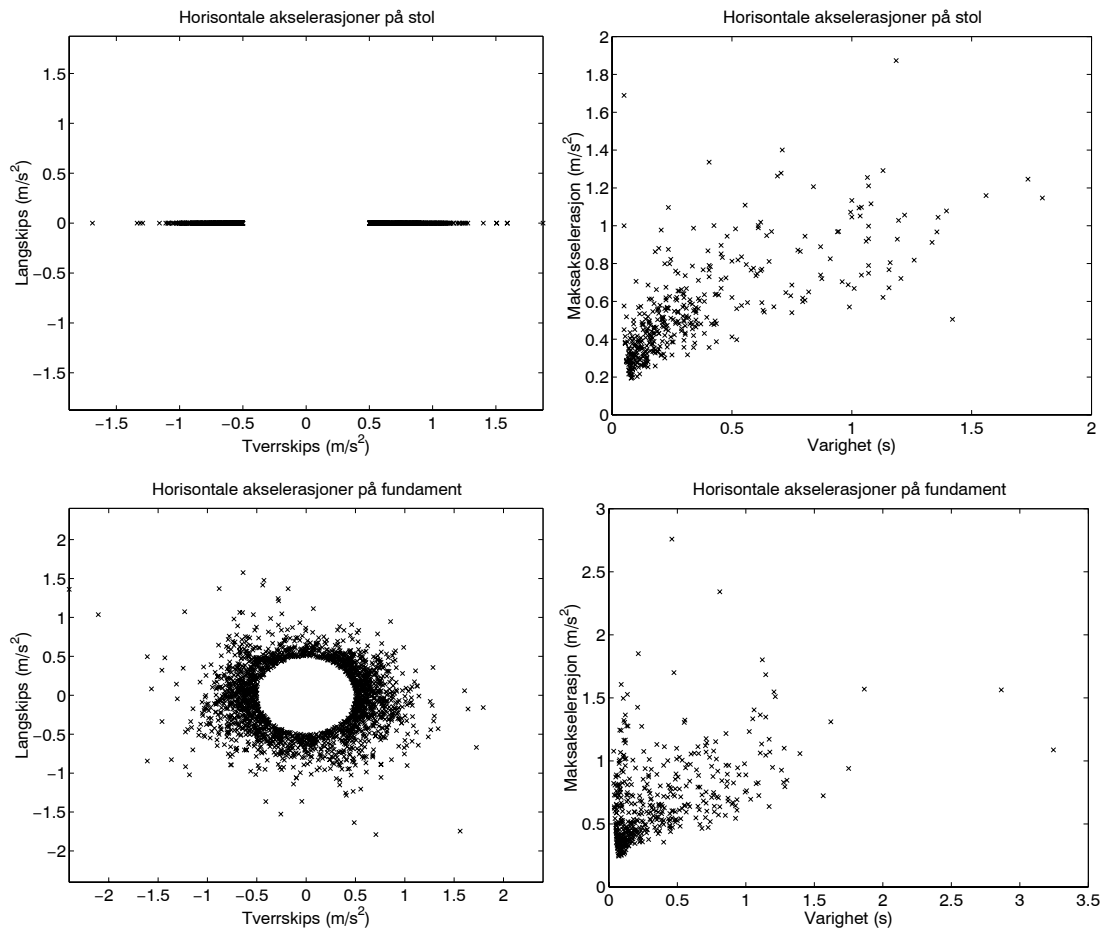
Figur B.35 Run 317: Seastate 3, hastighet 20 kn og møtevinkel  $60^\circ$ . Vibrasjonsspektrum og vertikale støt.



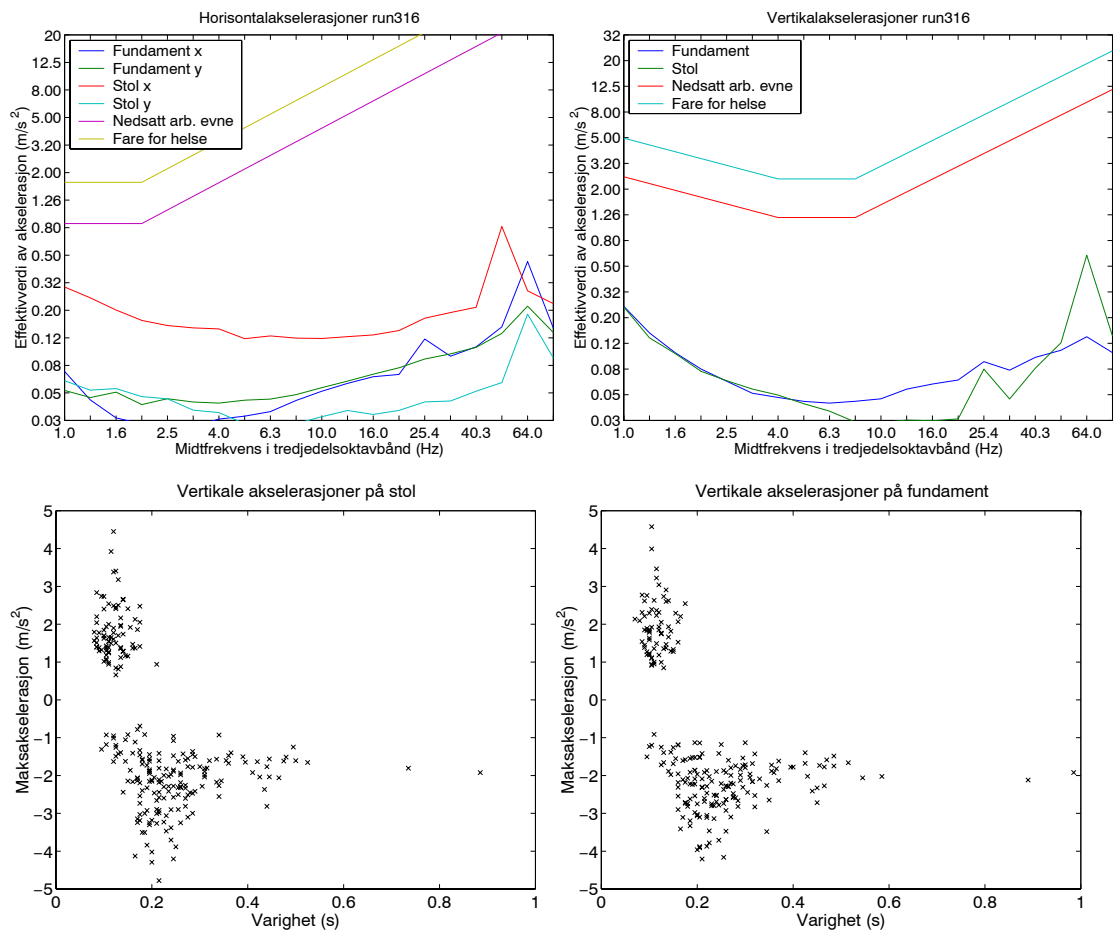
Figur B.36 Run 317: Seastate 3, hastighet 20 kn og møtevinkel 60°. Horisontale støt, retningsdiagram og varighet.



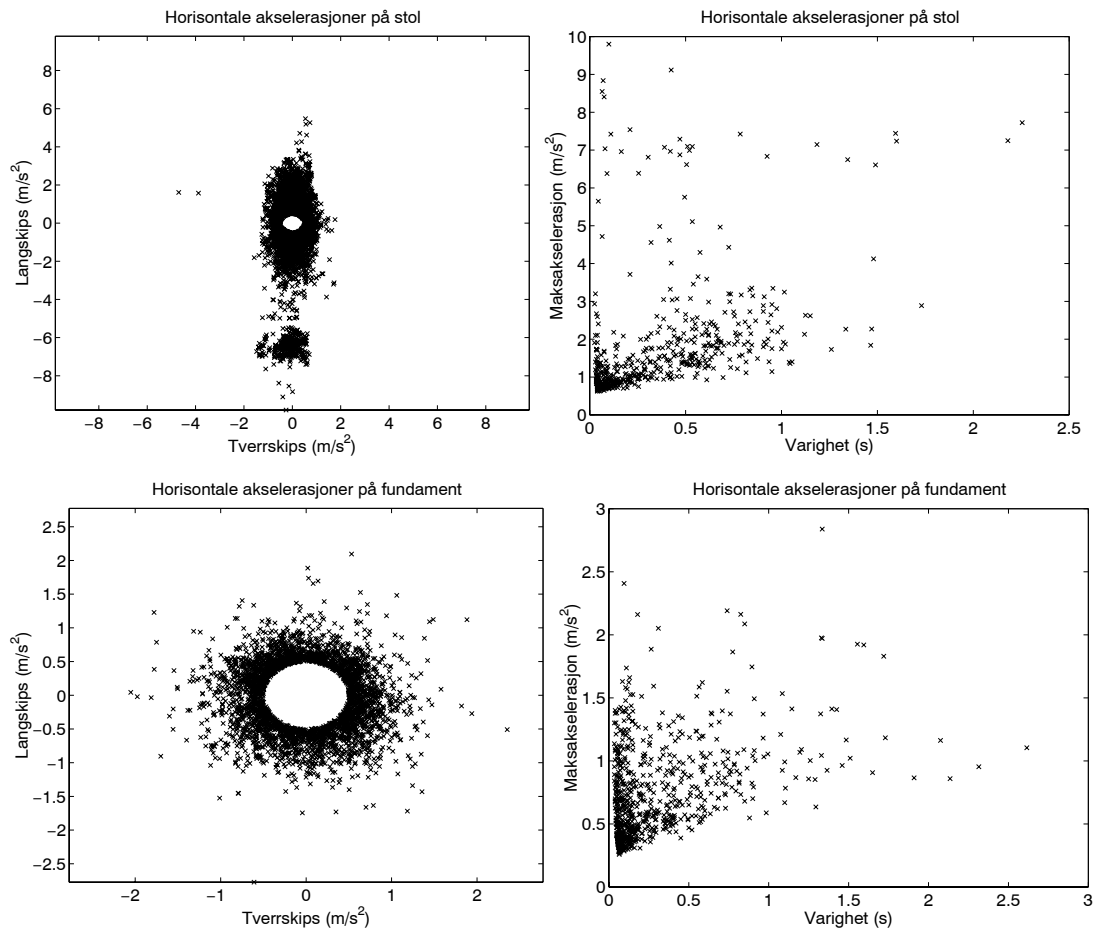
Figur B.37 Run 318: Seastate 3, hastighet 20 kn og møtevinkel 120°. Vibrasjonsspektrum og vertikale støt.



Figur B.38 Run 318: Seastate 3, hastighet 20 kn og møtevinkel 120°. Horisontale støt, retningsdiagram og varighet.

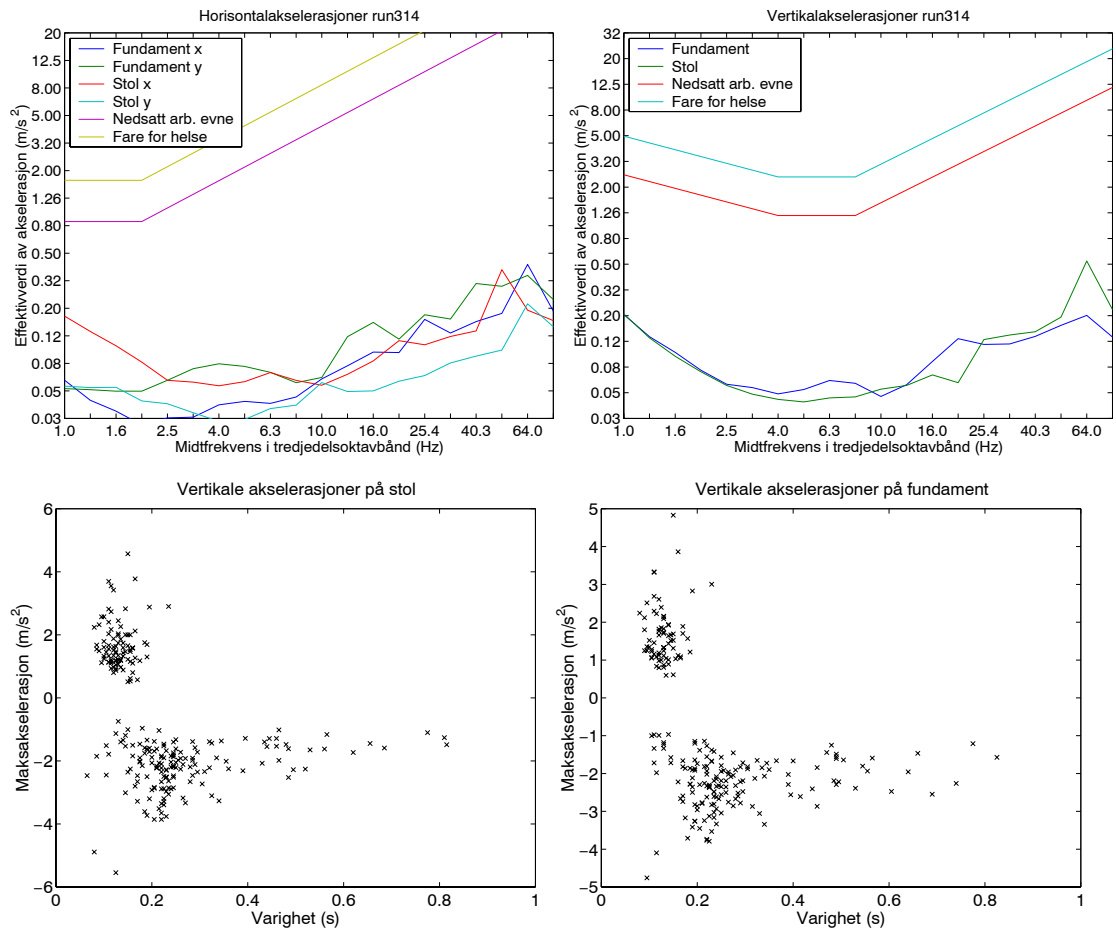


Figur B.39 Run 316: Seastate 3, hastighet 20 kn og møtevinkel  $150^\circ$ . Vibrasjonsspektrum og vertikale støt.

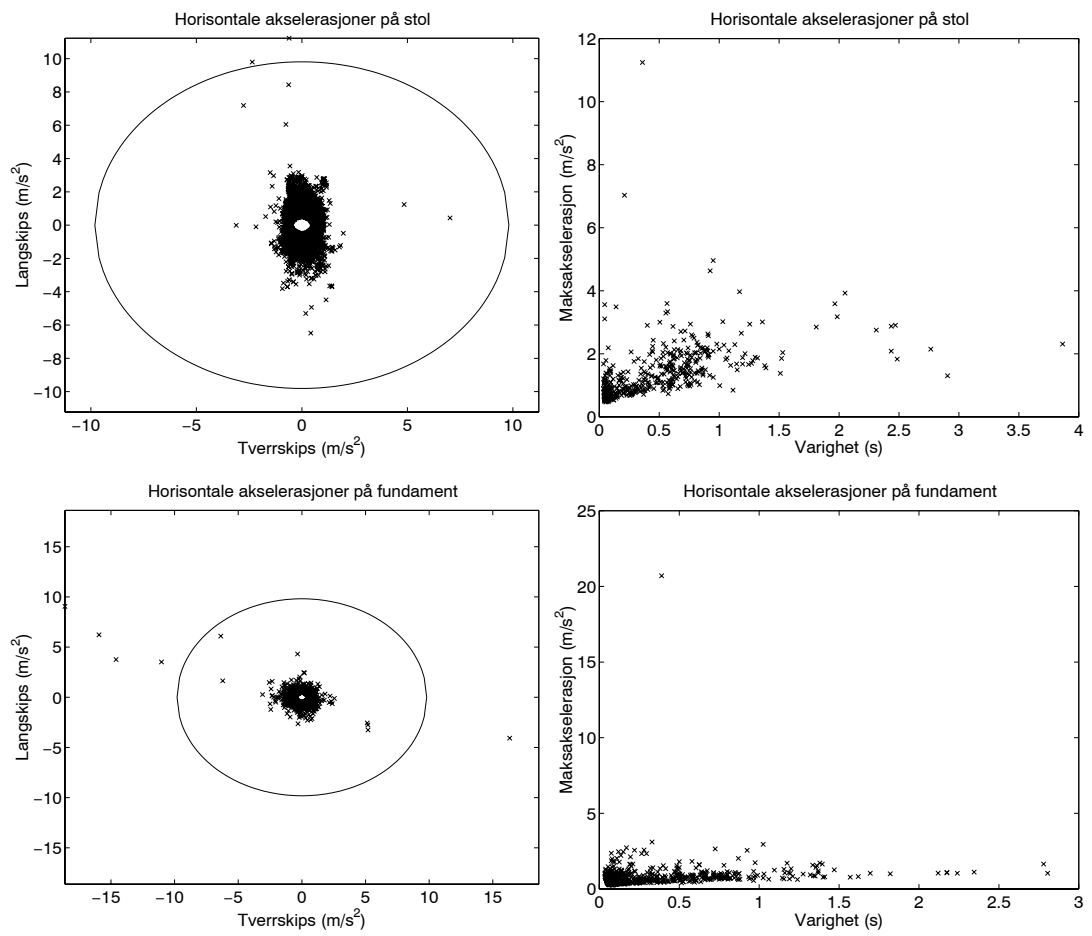


Figur B.40 Run 316: Seastate 3, hastighet 20 kn og møtevinkel 150°. Horisontale støt, retningsdiagram og varighet.

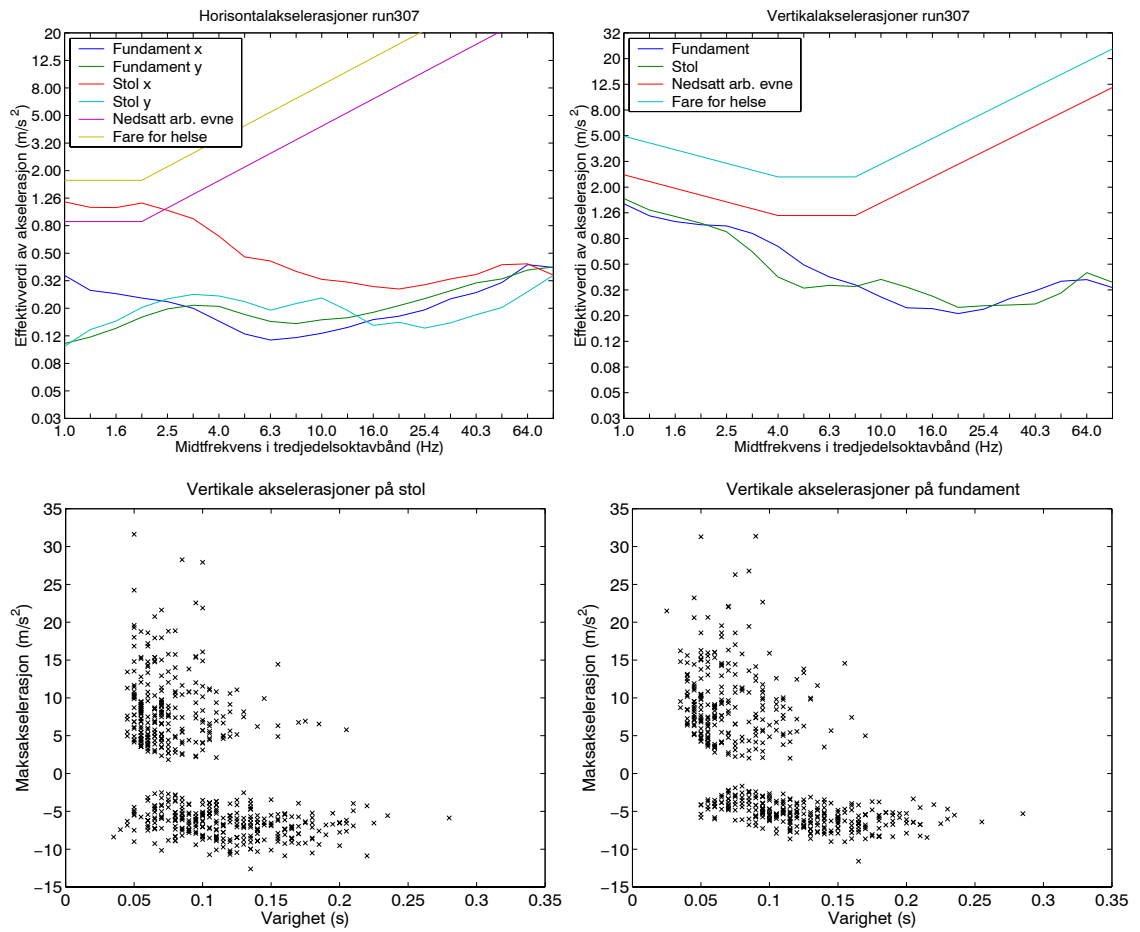




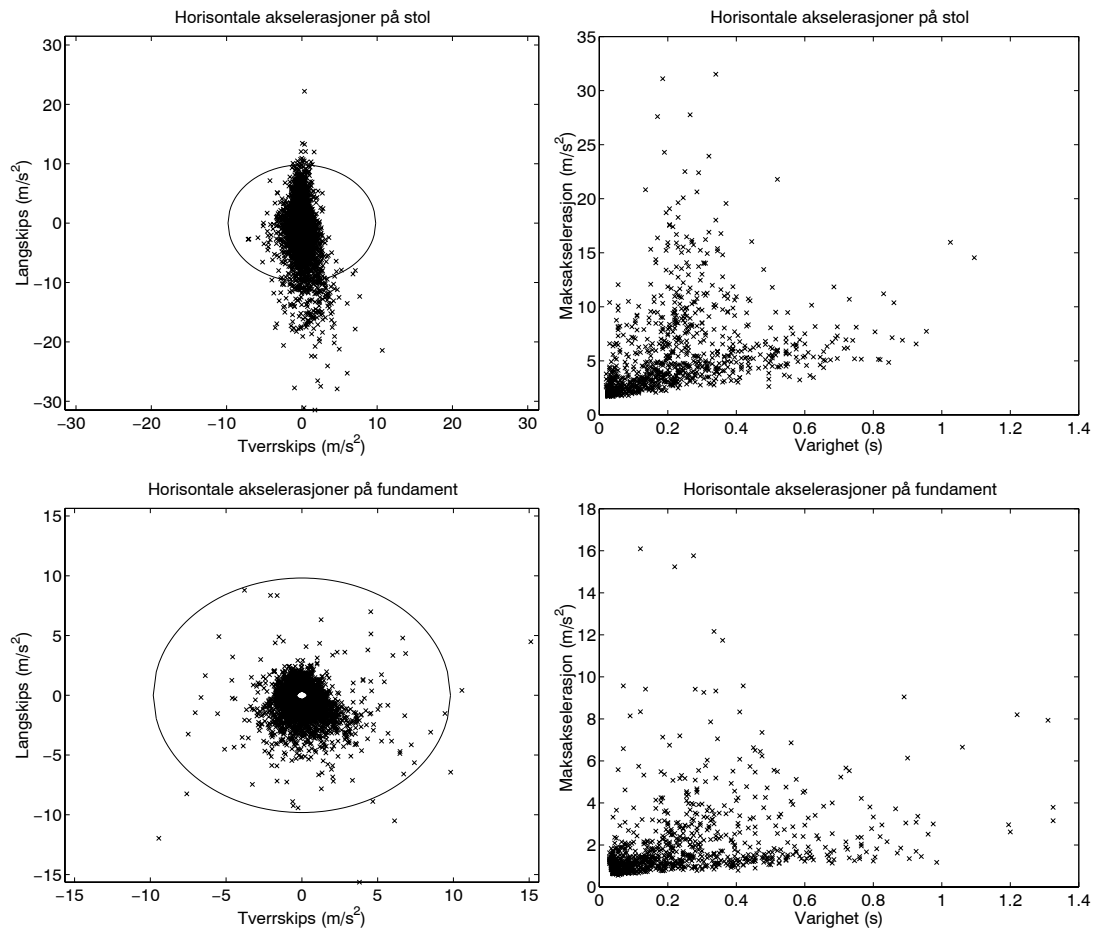
Figur B.41 Run 314: Seastate 3, hastighet 20 kn og møtevinkel  $180^\circ$ . Vibrasjonsspektrum og vertikale støt.



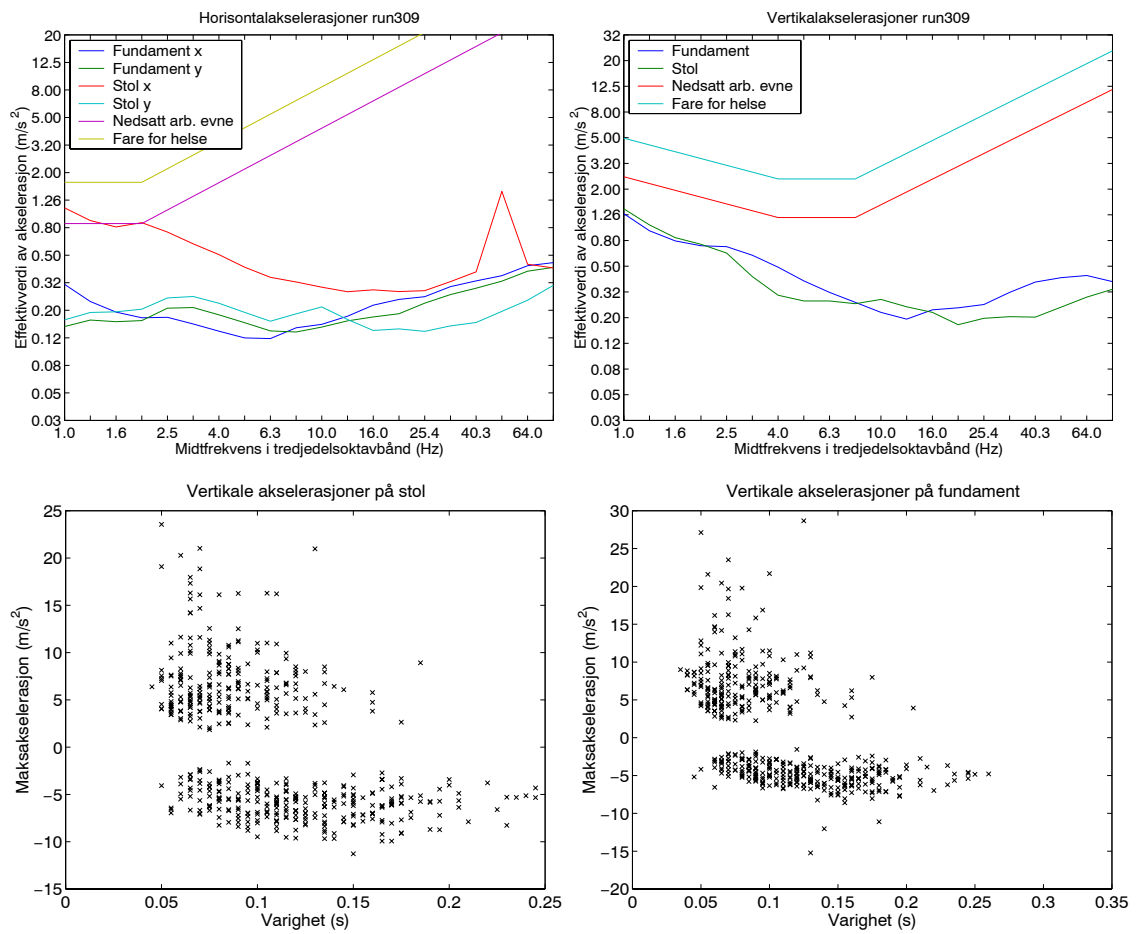
Figur B.42 Run 314: Seastate 3, hastighet 20 kn og møtevinkel 180°. Horisontale støt, retningsdiagram og varighet.



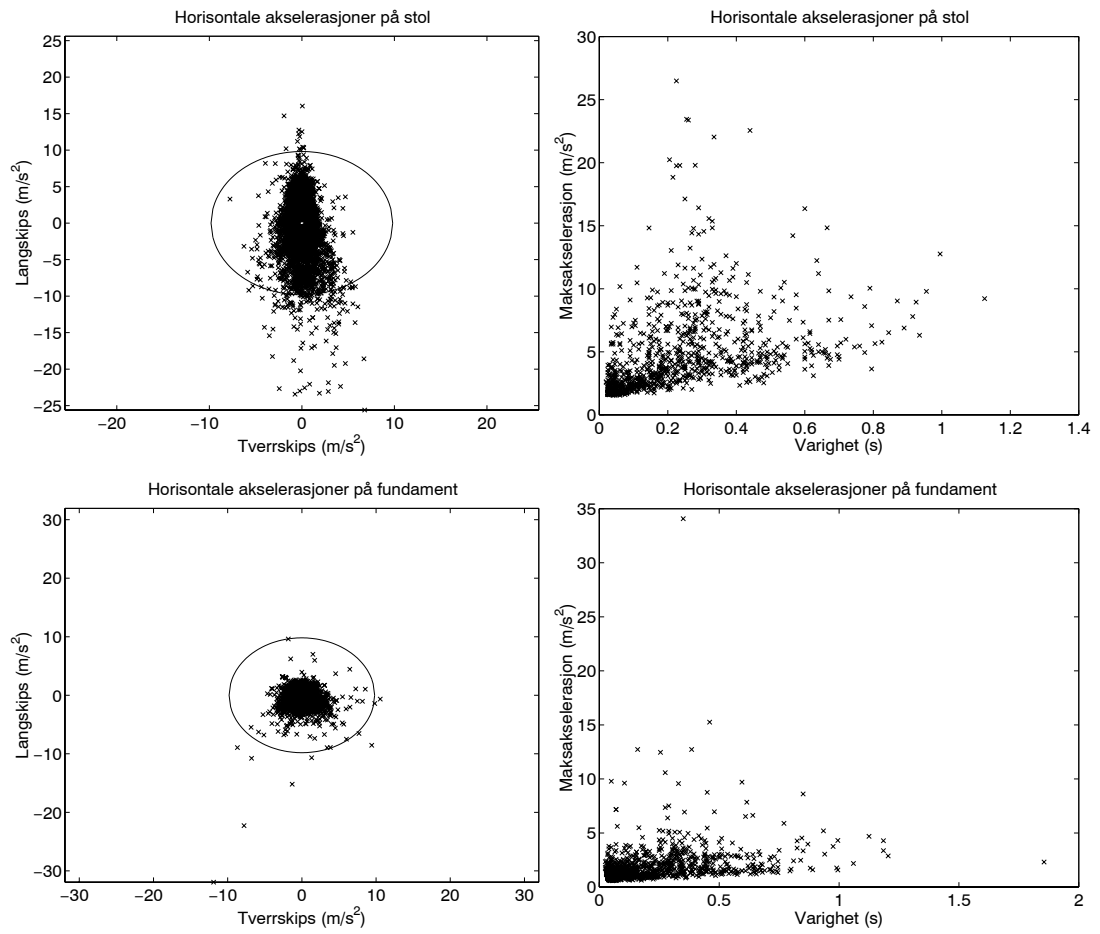
Figur B.43 Run 307: Seastate 3, hastighet 30 kn og møtevinkel  $0^\circ$ . Vibrasjonsspektrum og vertikale støt.



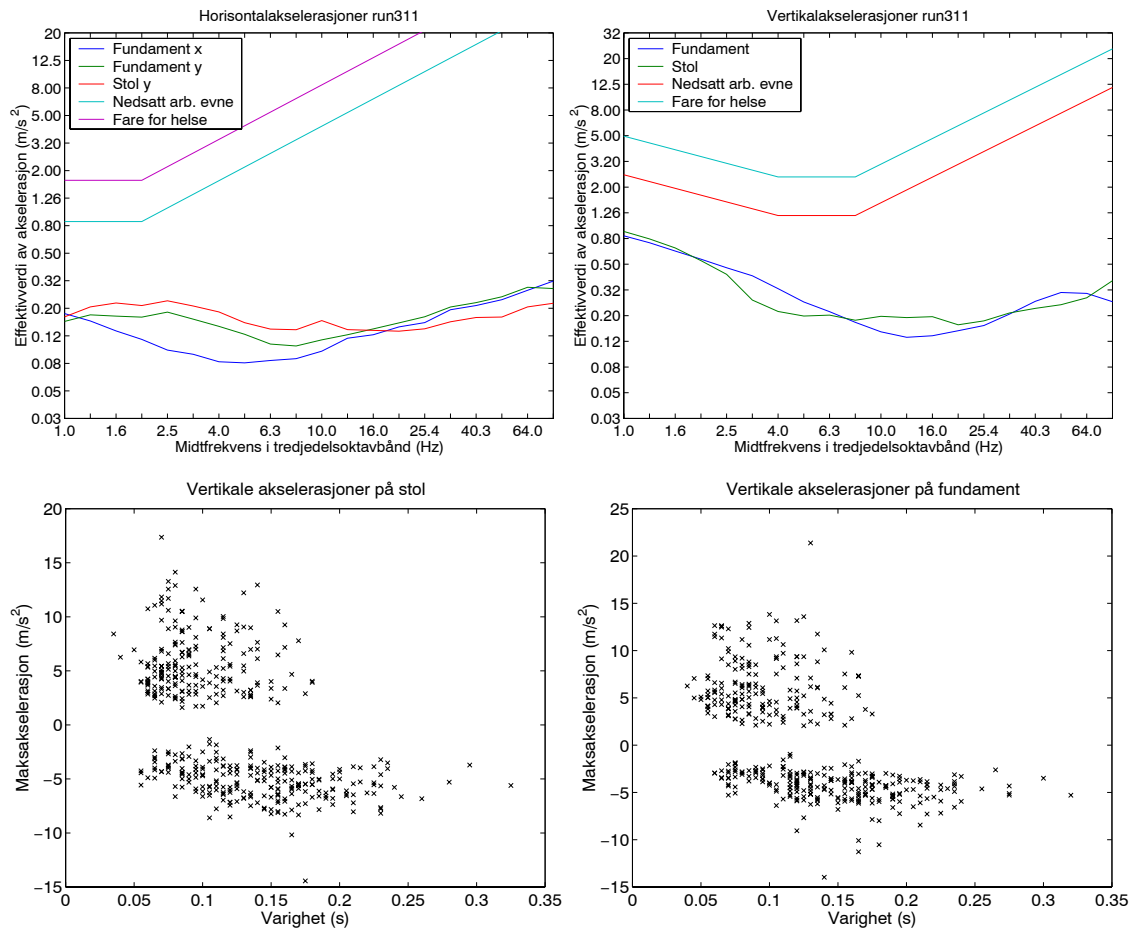
Figur B.44 Run 307: Seastate 3, hastighet 30 kn og møtevinkel 0°. Horisontale støt, retningsdiagram og varighet.



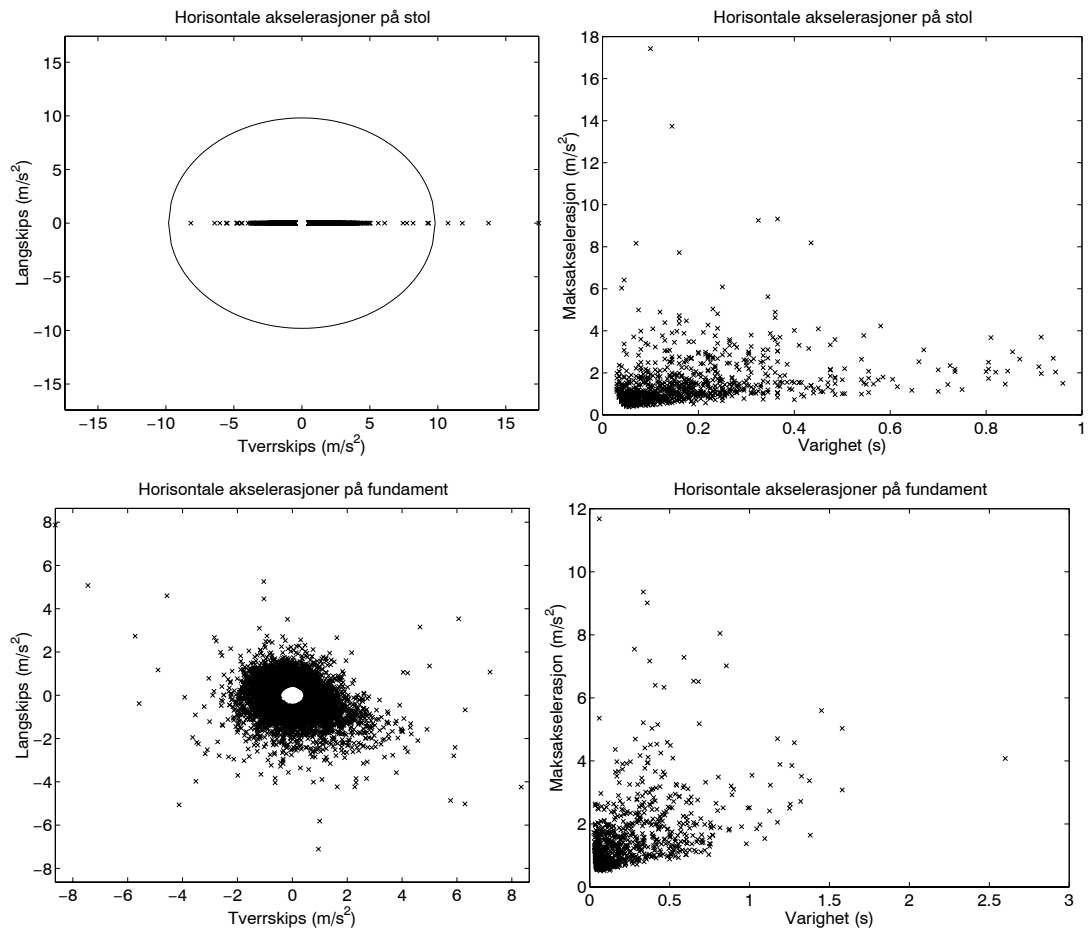
Figur B.45 Run 309: Seastate 3, hastighet 30 kn og møtevinkel  $30^\circ$ . Vibrasjonsspektrum og vertikale støt.



Figur B.46 Run 309: Seastate 3, hastighet 30 kn og møtevinkel 30°. Horisontale støt, retningsdiagram og varighet.

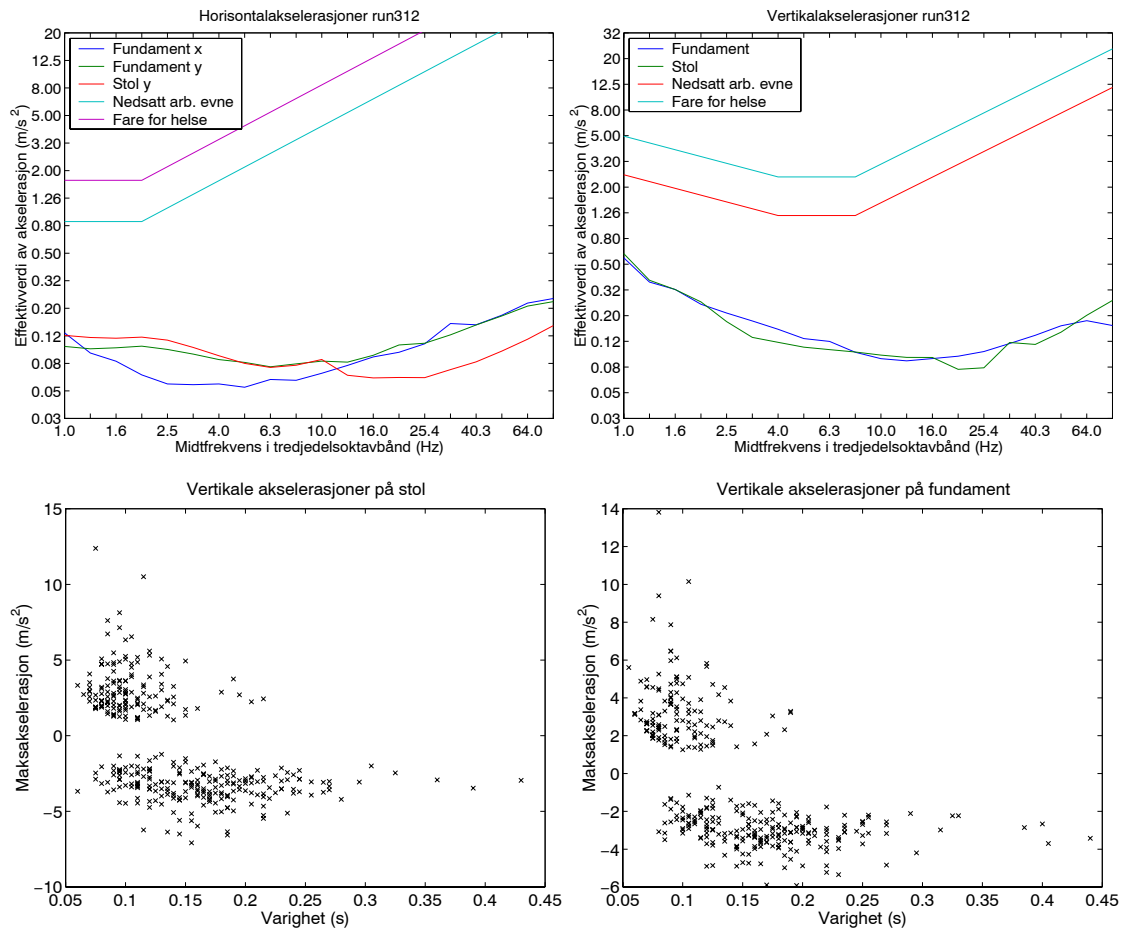


Figur B.47 Run 311: Seastate 3, hastighet 30 kn og møtevinkel 60°. Vibrasjonsspektrum og vertikale støt.

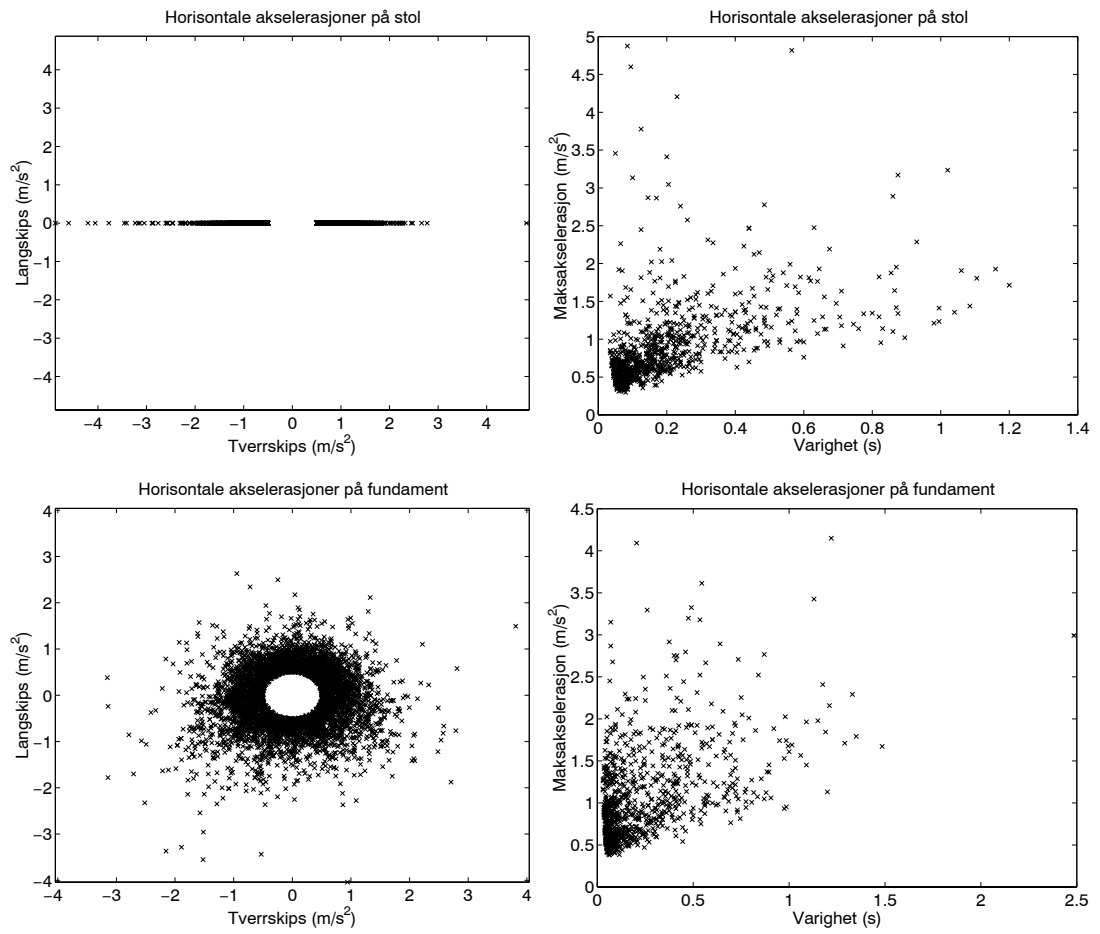


Figur B.48 Run 311: Seastate 3, hastighet 30 kn og møtevinkel  $60^\circ$ . Horisontale støt, retningsdiagram og varighet.

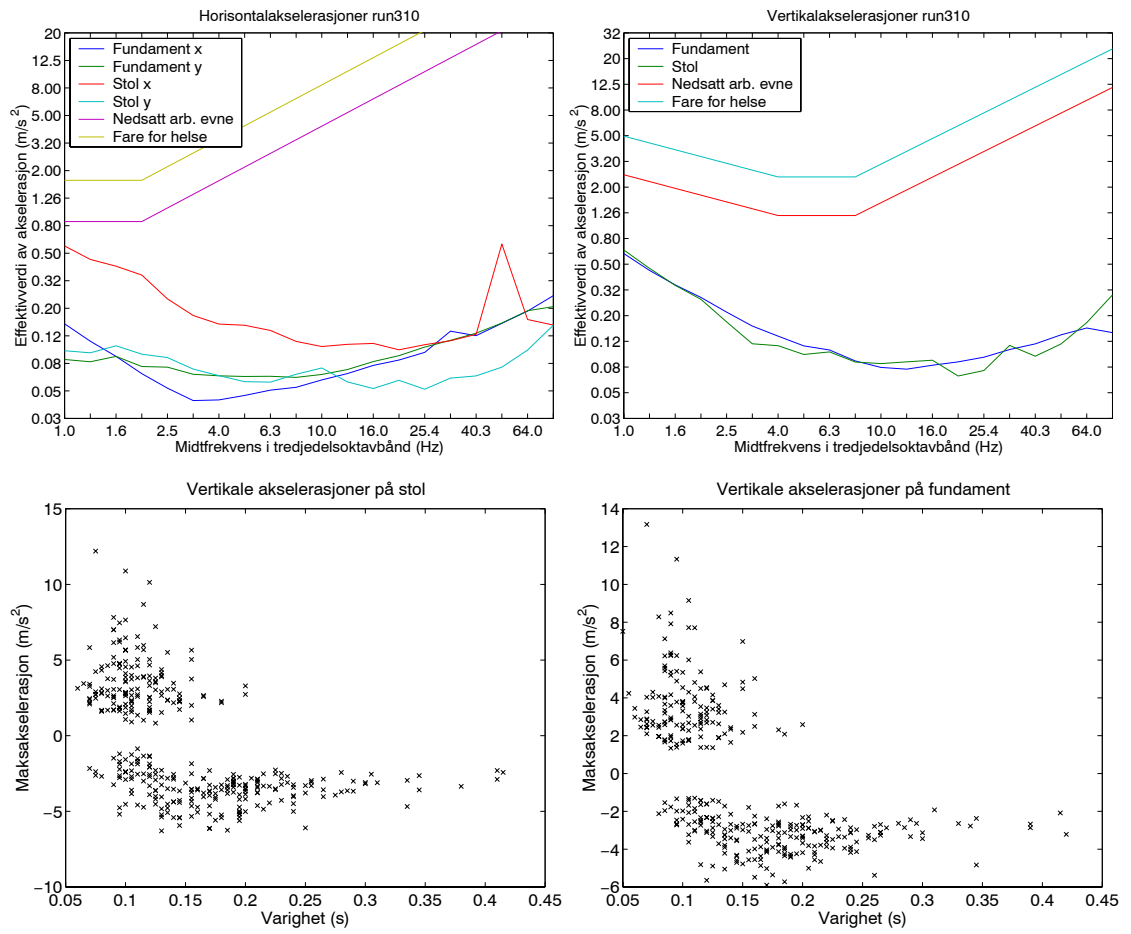




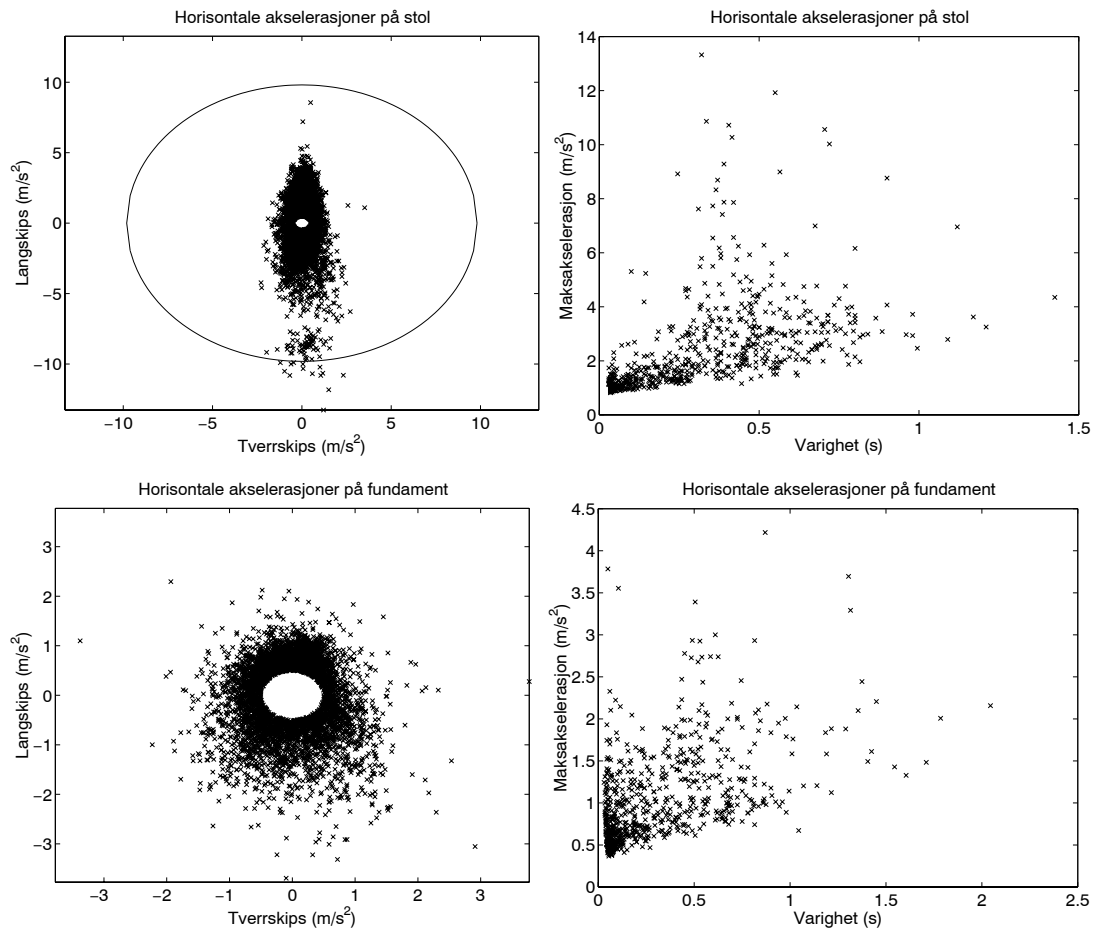
Figur B.49 Run 312: Seastate 3, hastighet 30 kn og møtevinkel 120°. Vibrasjonsspektrum og vertikale støt.



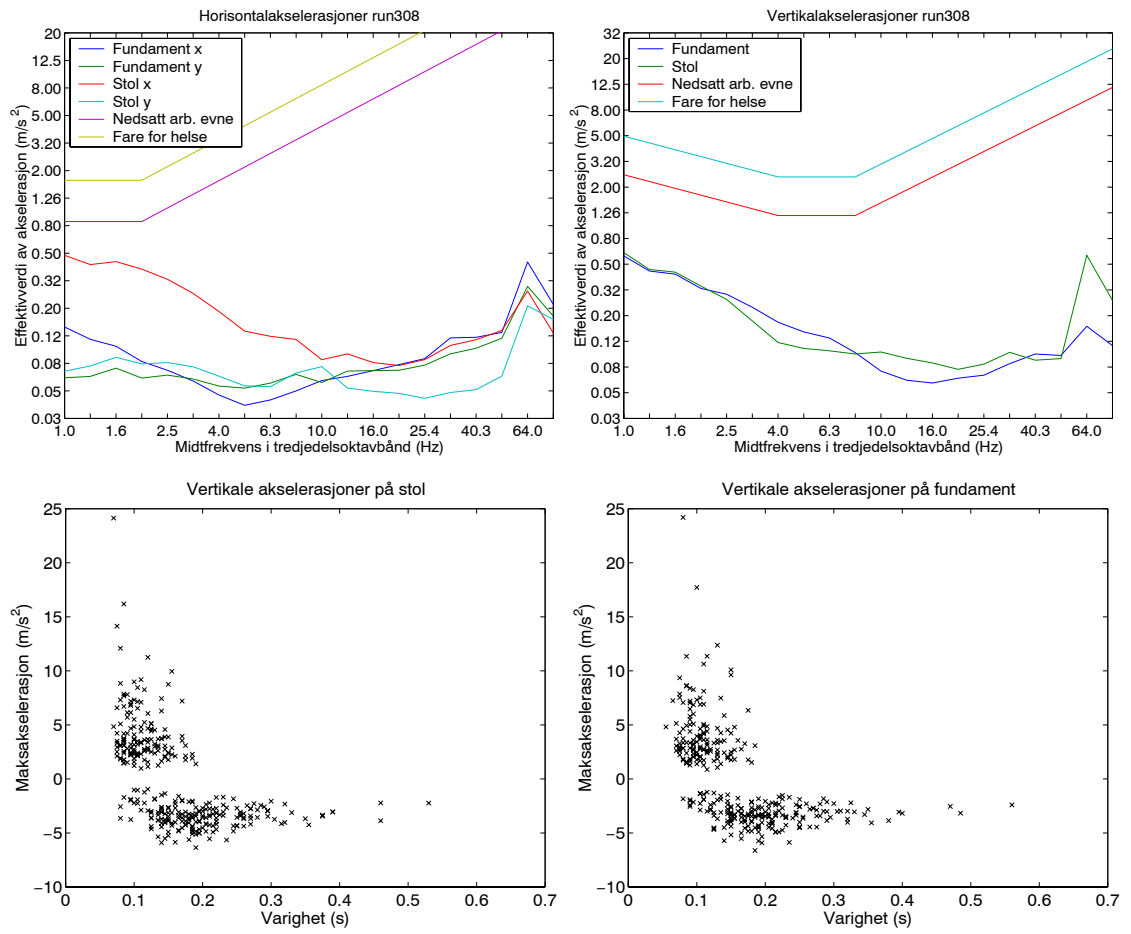
Figur B.50 Run 312: Seastate 3, hastighet 30 kn og møtevinkel  $120^\circ$ . Horisontale støt, retningsdiagram og varighet.



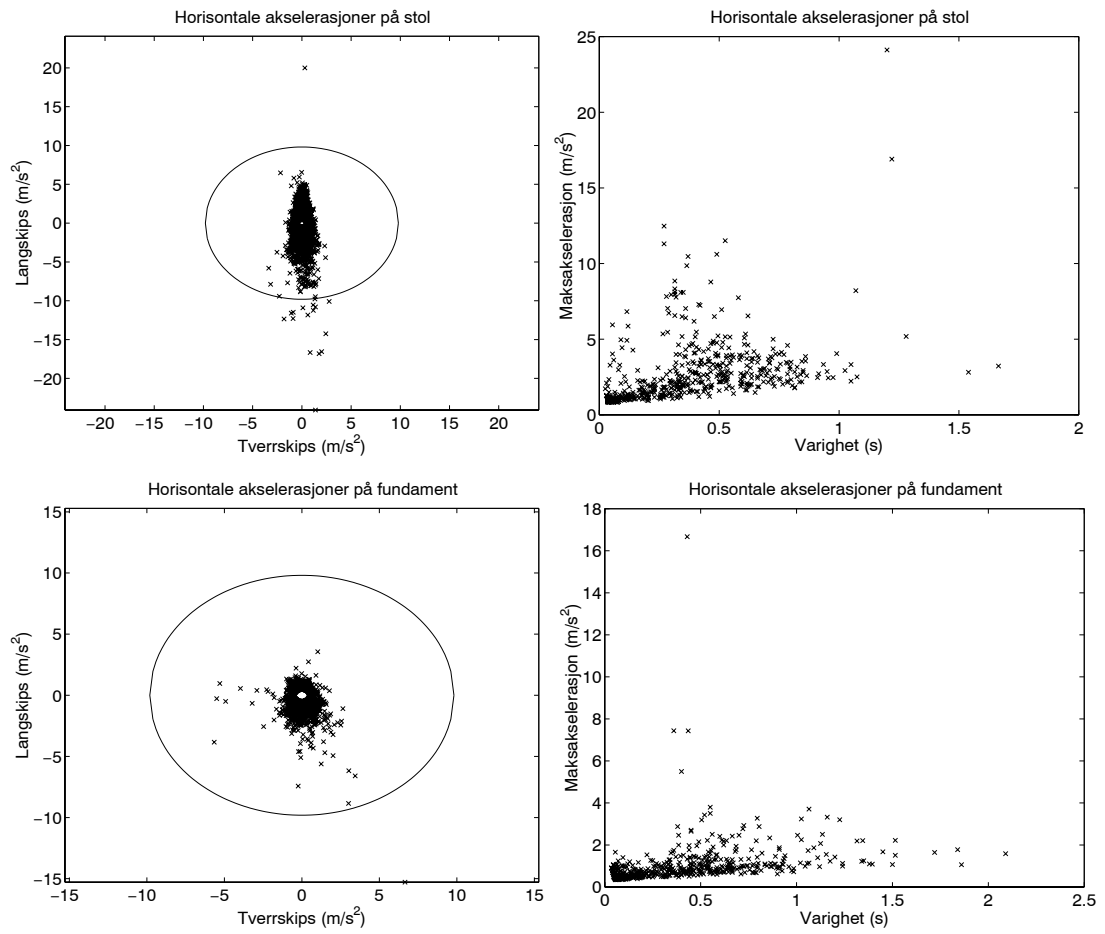
Figur B.51 Run 310: Seastate 3, hastighet 30 kn og møtevinkel  $150^\circ$ . Vibrasjonsspektrum og vertikale støt.



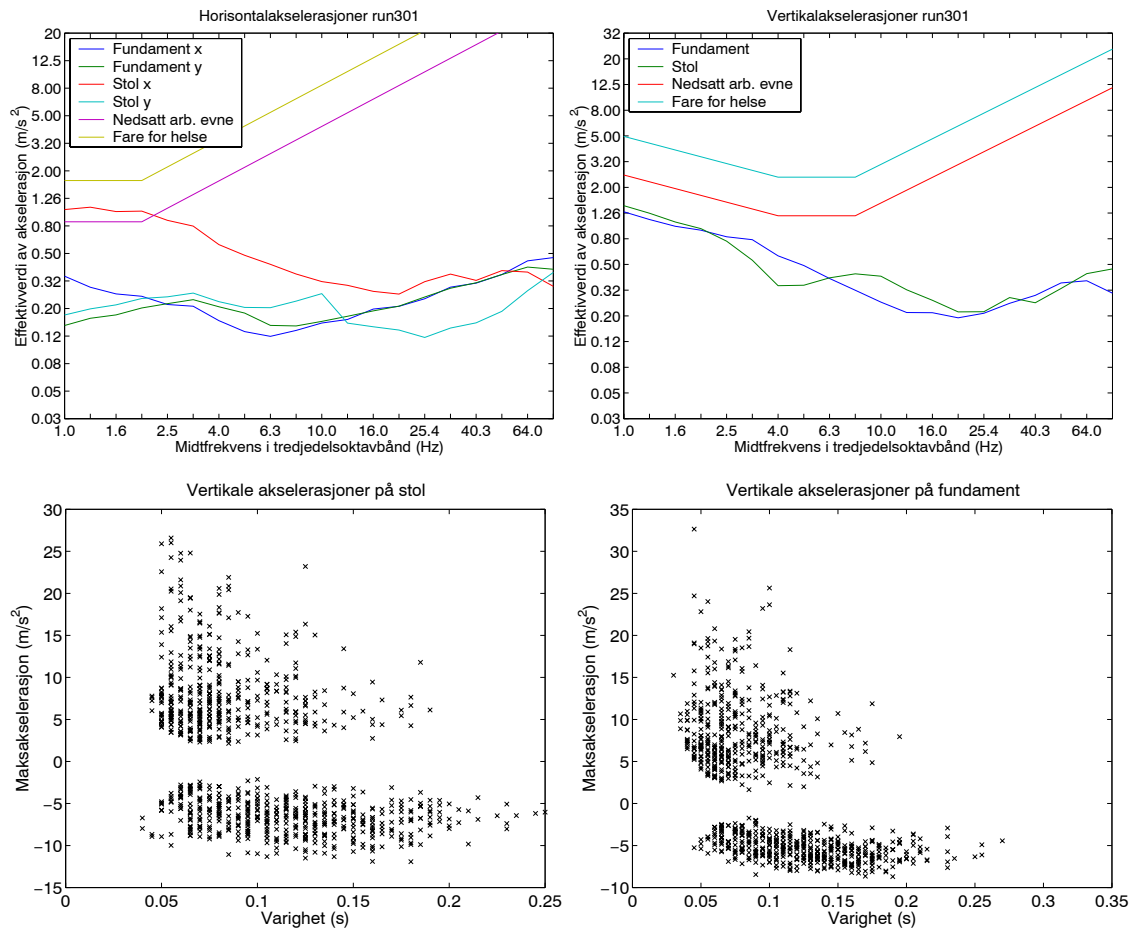
Figur B.52 Run 310: Seastate 3, hastighet 30 kn og møtevinkel 150°. Horisontale støt, retningsdiagram og varighet.



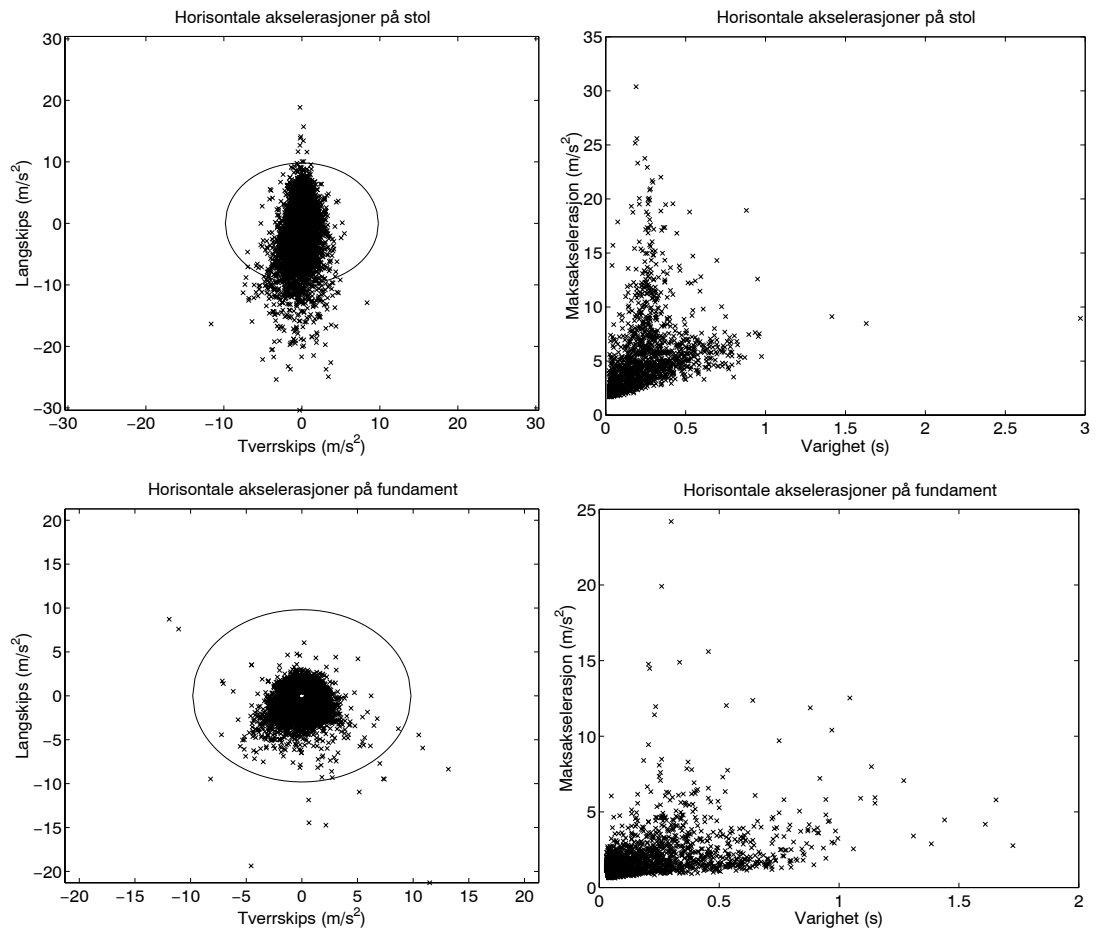
Figur B.53 Run 308: Seastate 3, hastighet 30 kn og møtevinkel 180°. Vibrasjonsspektrum og vertikale støt.



Figur B.54 Run 308: Seastate 3, hastighet 30 kn og møtevinkel 180°. Horisontale støt, retningsdiagram og varighet.

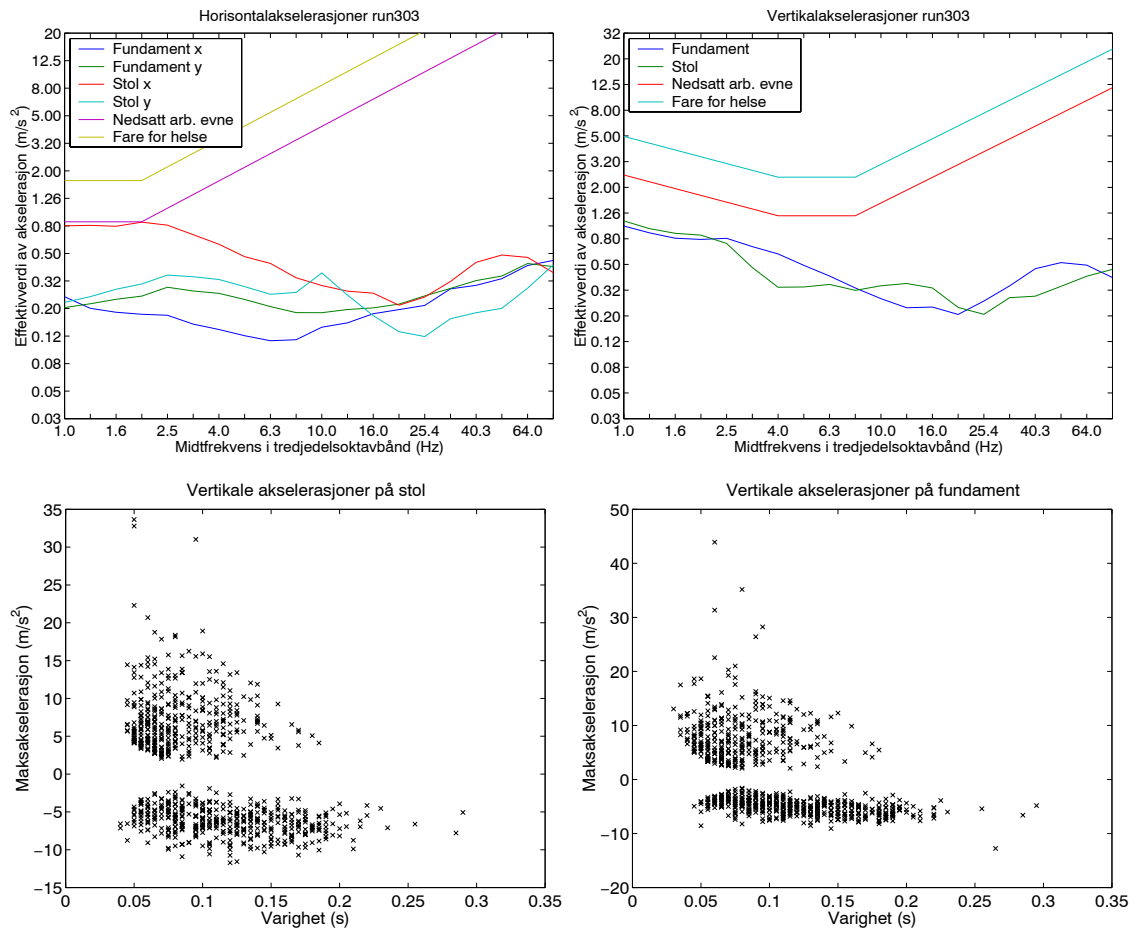


Figur B.55 Run 301: Seastate 3, hastighet 38 kn og møtevinkel 0°. Vibrasjonsspektrum og vertikale støt. Vertikalakselerasjon på stol overstiger 25% av grenseverdi for frittfall livbåt med ca 10m/s

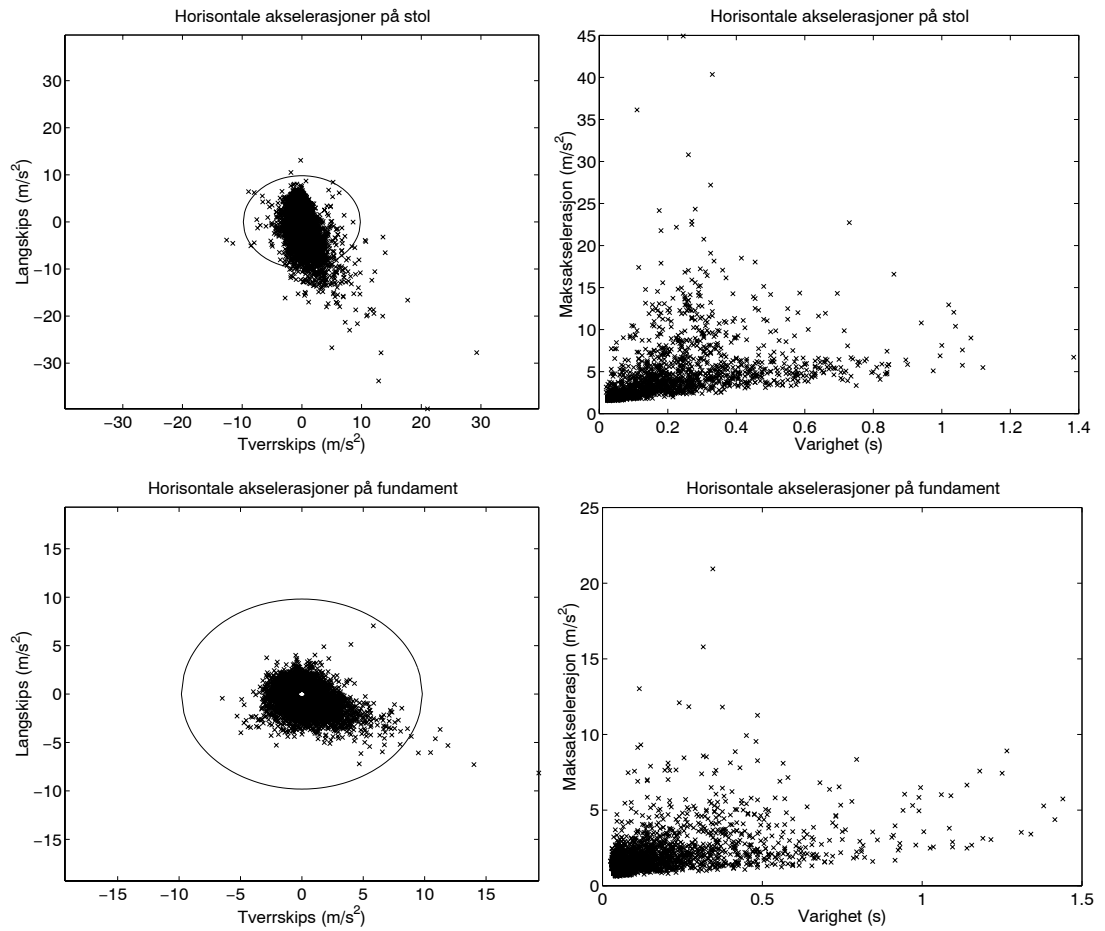


Figur B.56 Run 301: Seastate 3, hastighet 38 kn og møtevinkel 0°. Horisontale støt, retningsdiagram og varighet. Vertikalakselerasjon på stol overstiger 25% av grenseverdi for frittfall livbåt med ca 10m/s

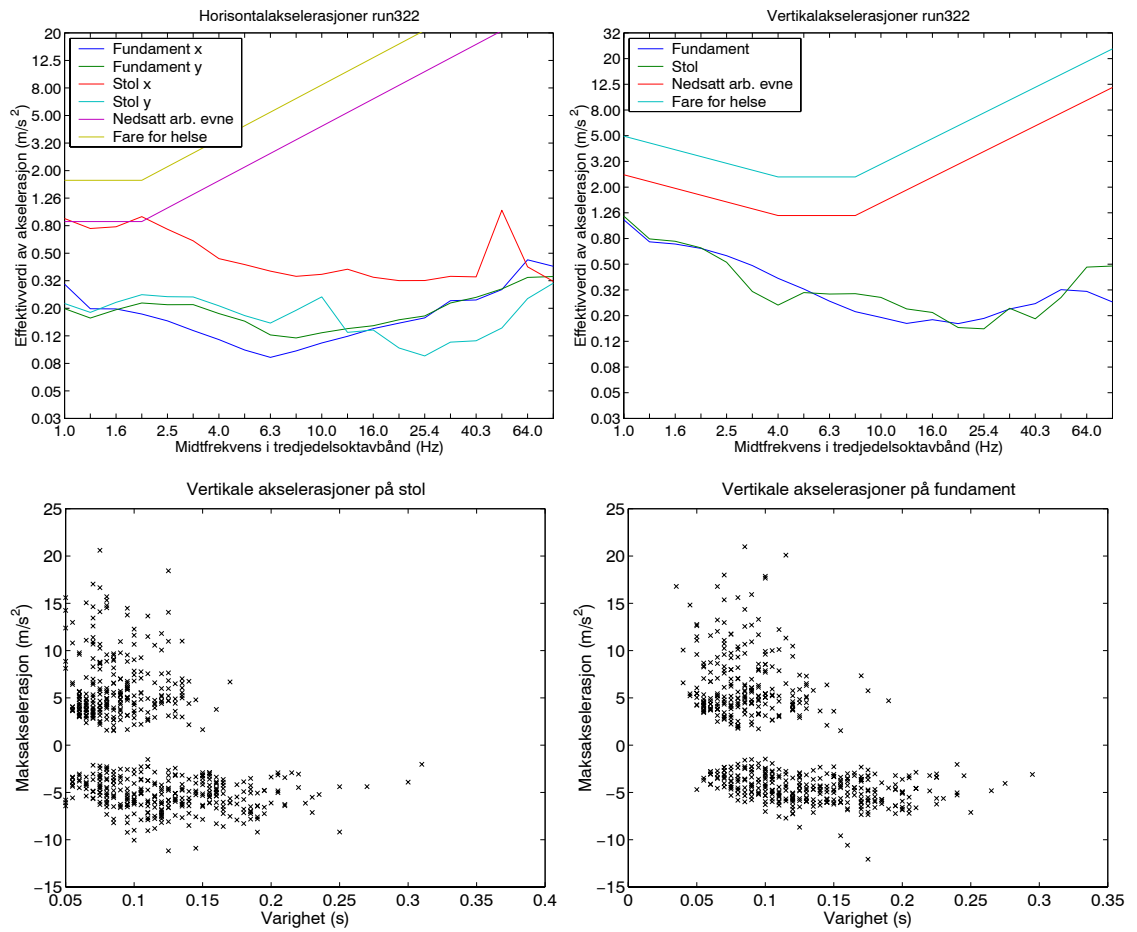




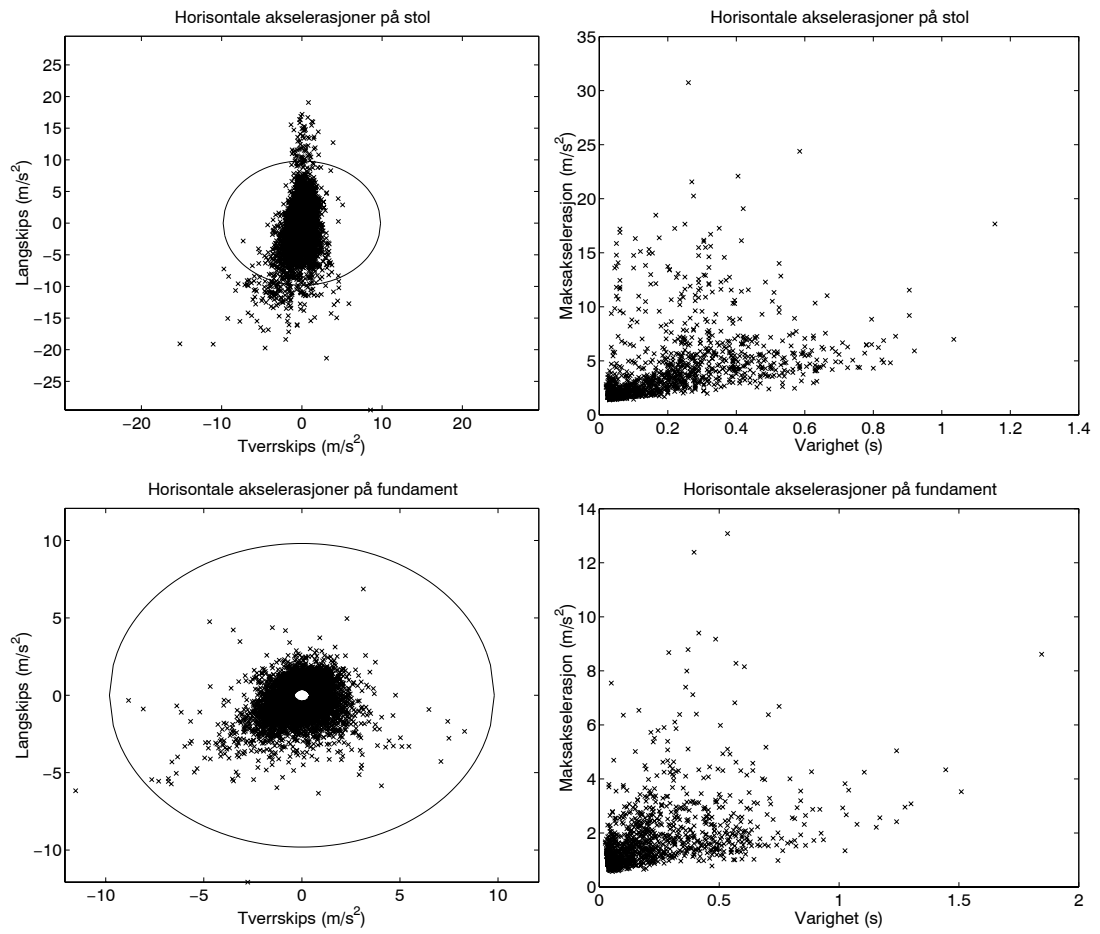
Figur B.57 Run 303: Seastate 3, hastighet 38 kn og møtevinkel 30°. Vibrasjonsspektrum og vertikale støt. Vertikalakselerasjon på stol tangerer 50% av grensverdi for frittfall livbåt. Også betydelige horisontalakselerasjoner på stol



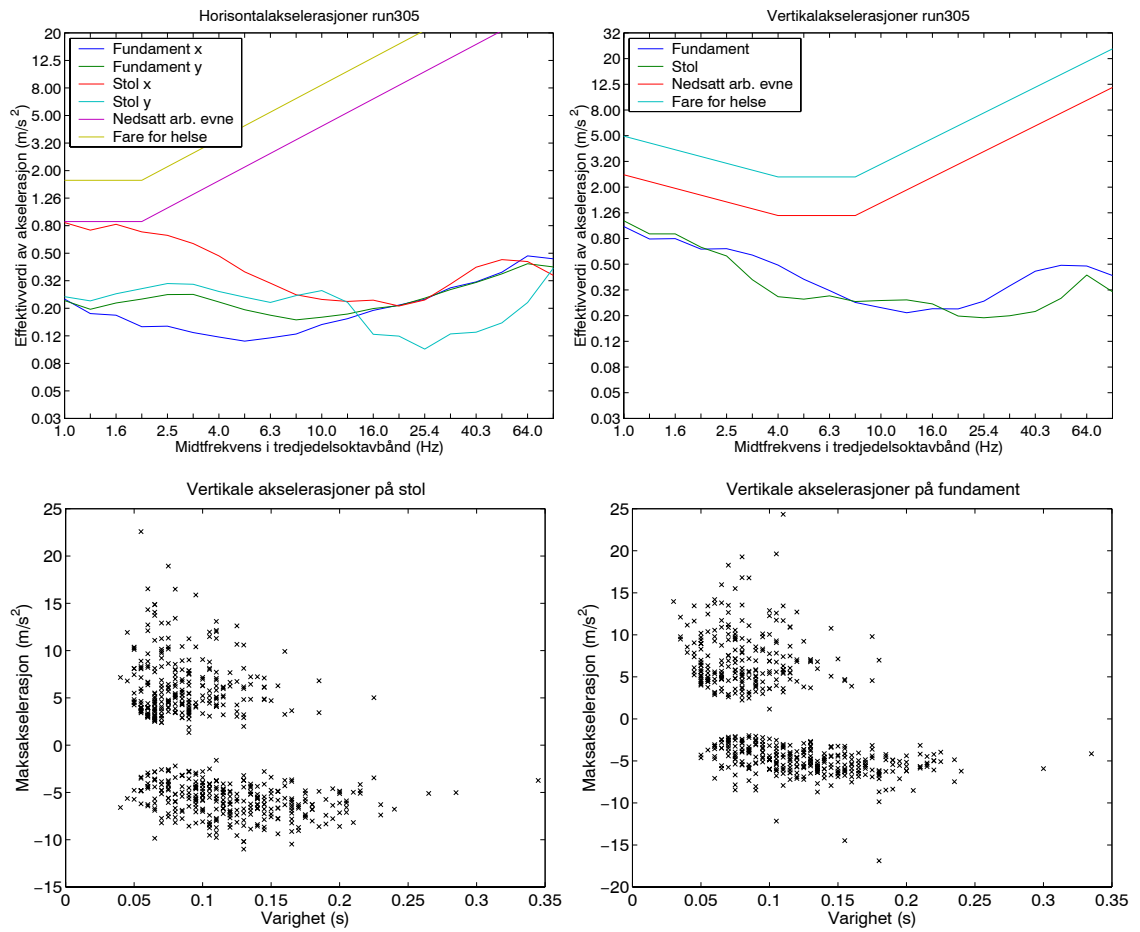
Figur B.58 Run 303: Seastate 3, hastighet 38 kn og møtevinkel 30°. Horisontale støt, retningsdiagram og varighet. Vertikalakselerasjon på stol tangerer 50% av grenseverdi for frittfall livbåt. Også betydelige horisontalakselerasjoner på stol



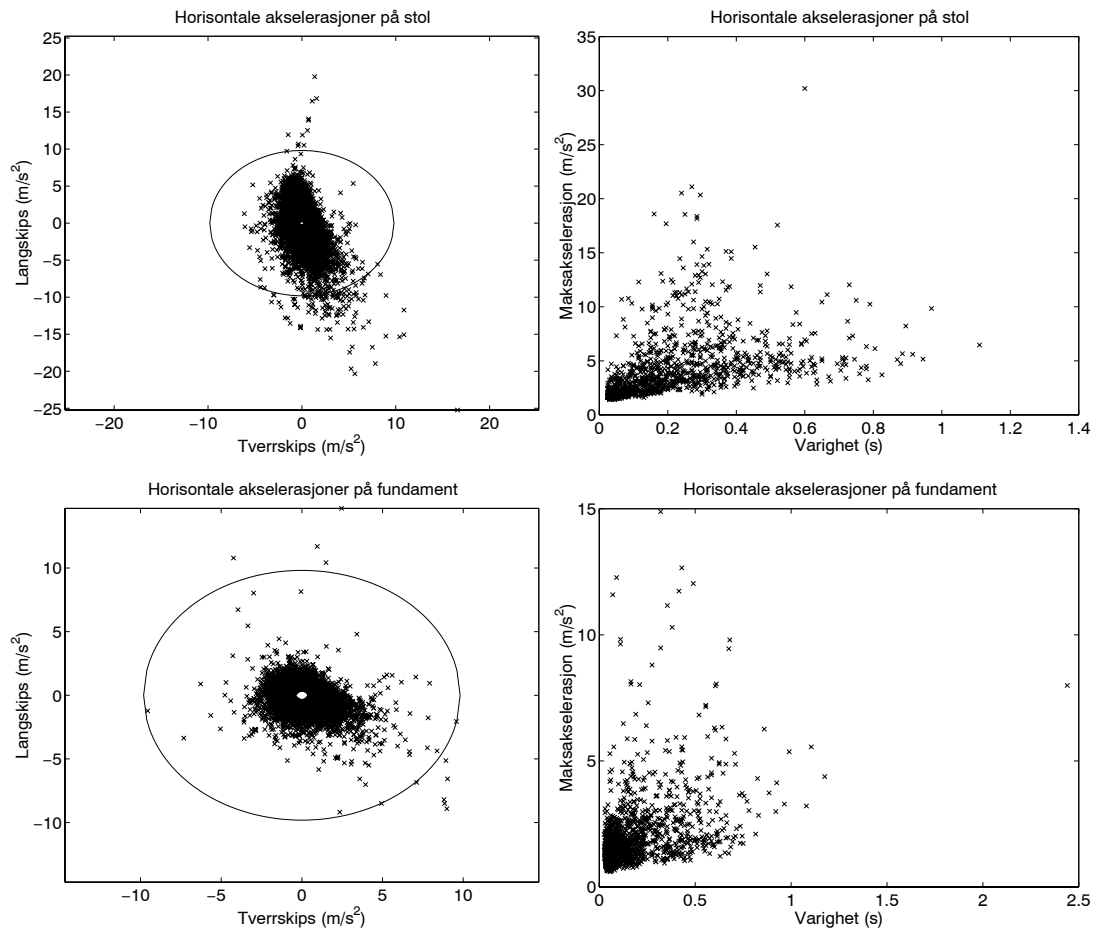
Figur B.59 Run 322: Seastate 3, hastighet 40 kn og møtevinkel  $30^\circ$ . Vibrasjonsspektrum og vertikale støt.



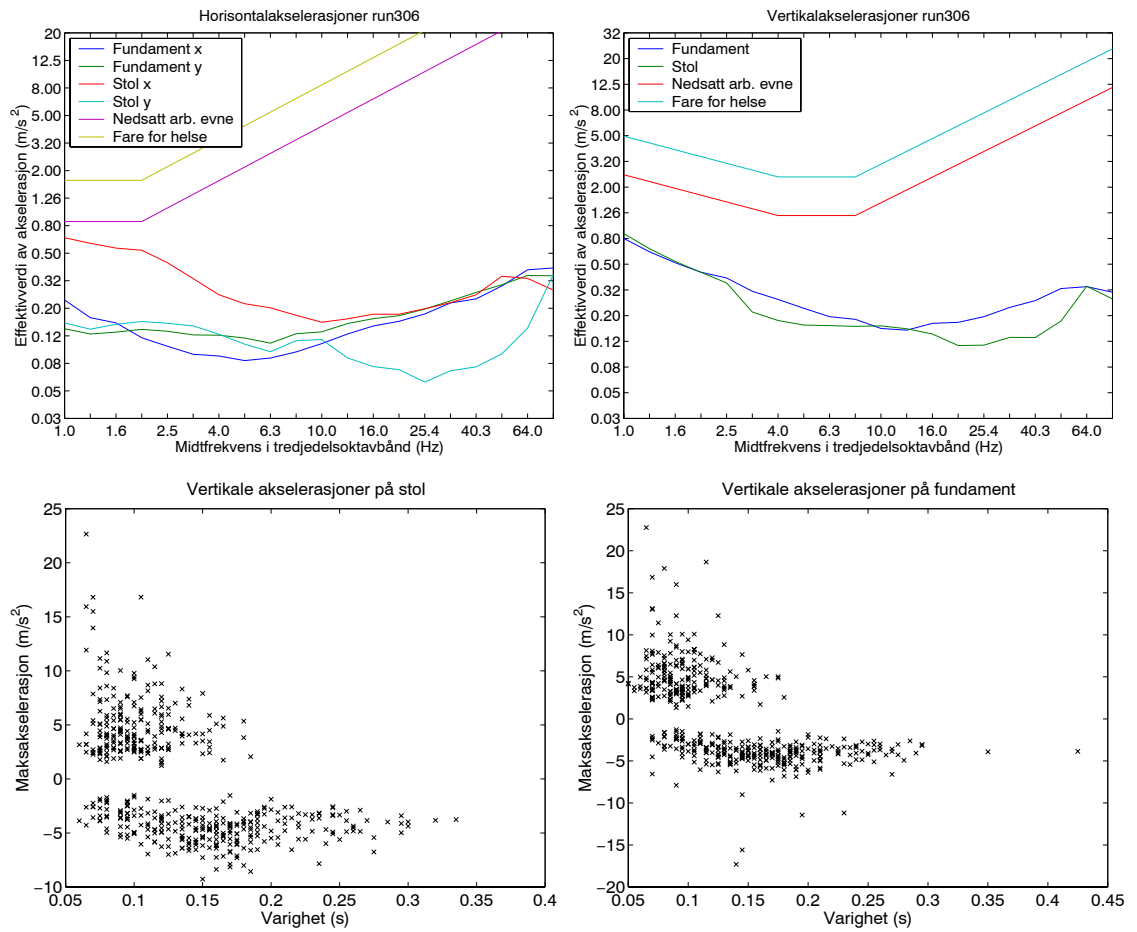
Figur B.60 Run 322: Seastate 3, hastighet 40 kn og møtevinkel 30°. Horisontale støt, retningsdiagram og varighet.



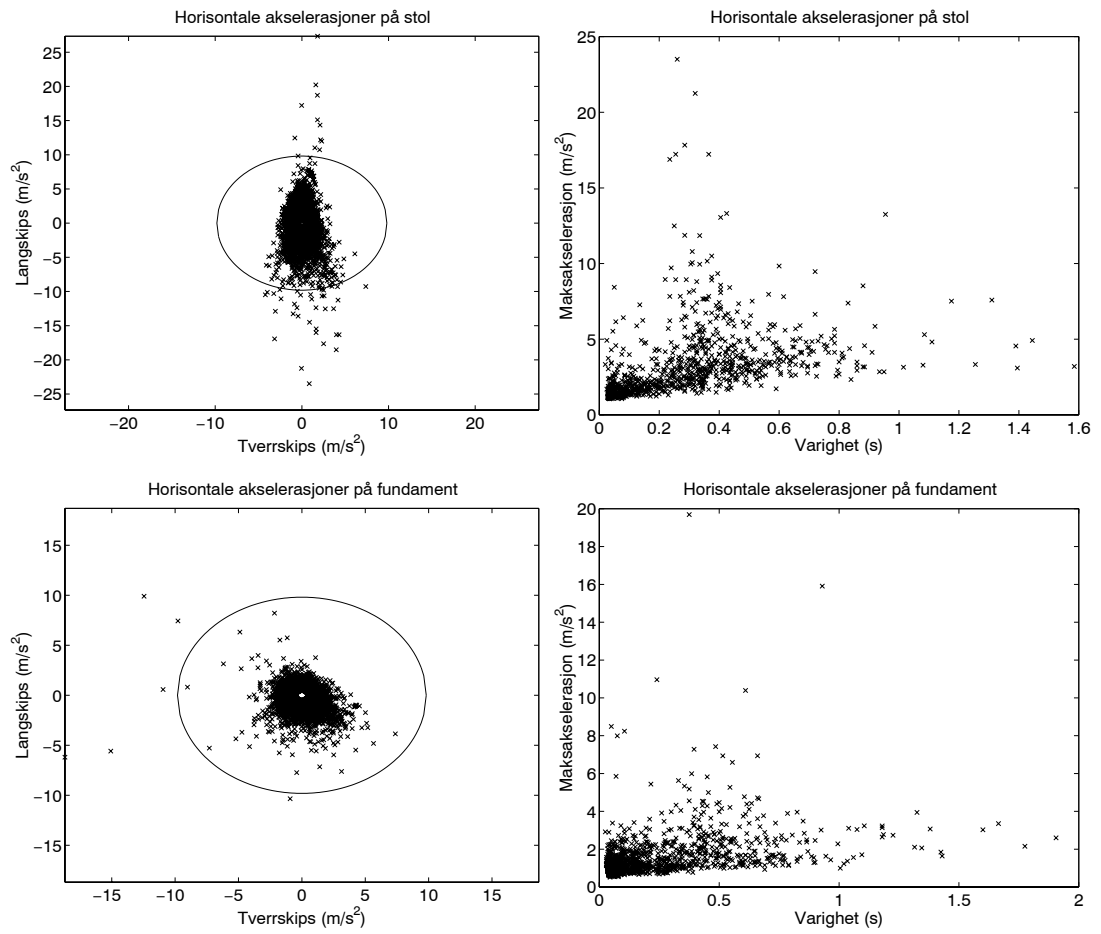
Figur B.61 Run 305: Seastate 3, hastighet 38 kn og møtevinkel 60°. Vibrasjonsspektrum og vertikale støt.



Figur B.62 Run 305: Seastate 3, hastighet 38 kn og møtevinkel 60°. Horisontale støt, retningsdiagram og varighet.

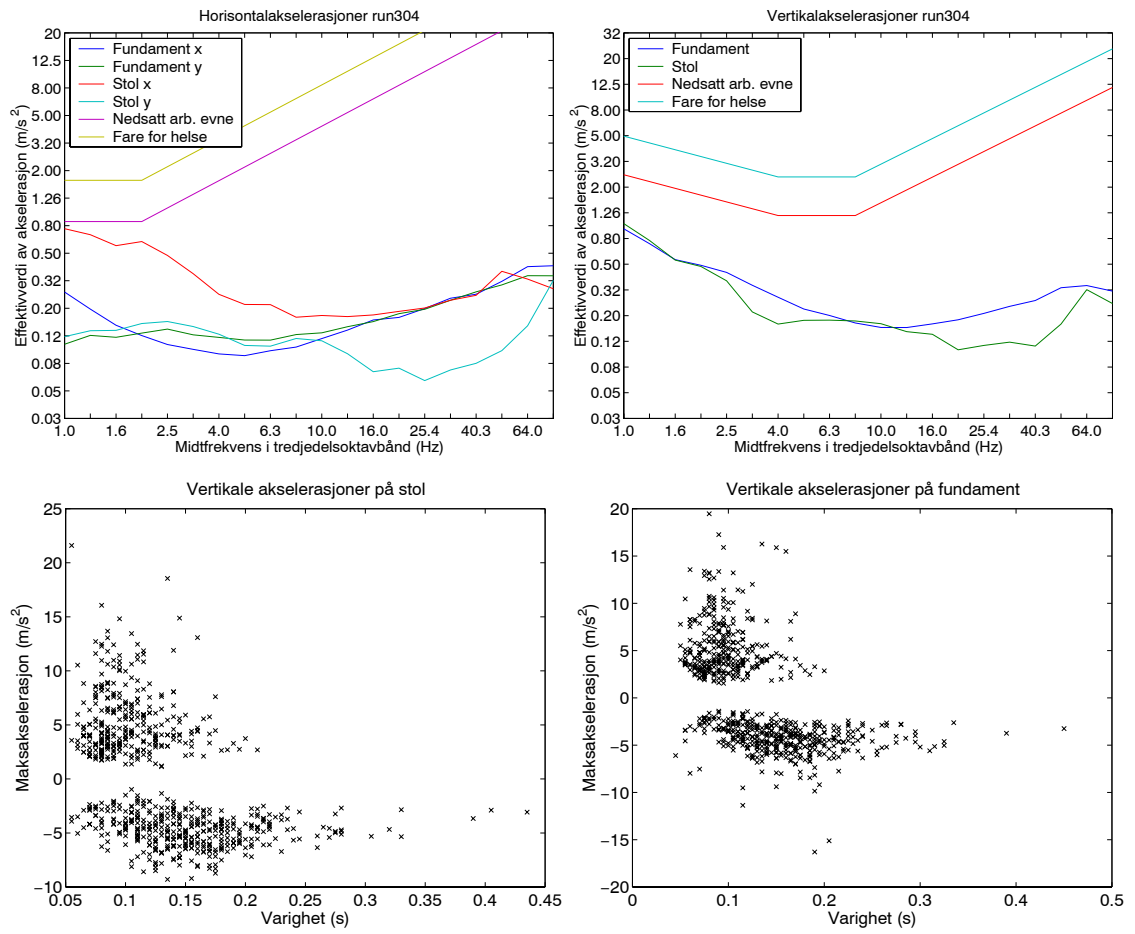


Figur B.63 Run 306: Seastate 3, hastighet 38 kn og møtevinkel  $120^\circ$ . Vibrasjonsspektrum og vertikale støt.

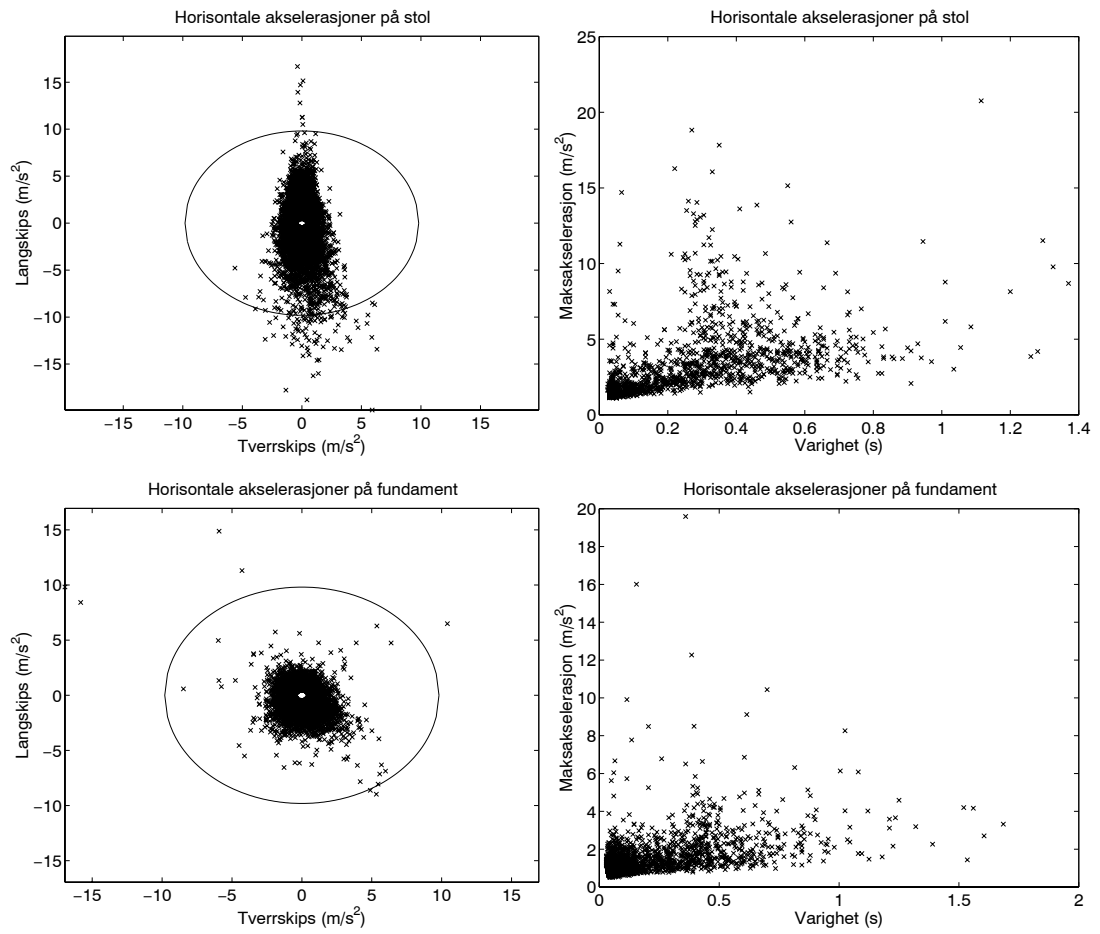


Figur B.64 Run 306: Seastate 3, hastighet 38 kn og møtevinkel  $120^\circ$ . Horisontale støt, retningsdiagram og varighet.

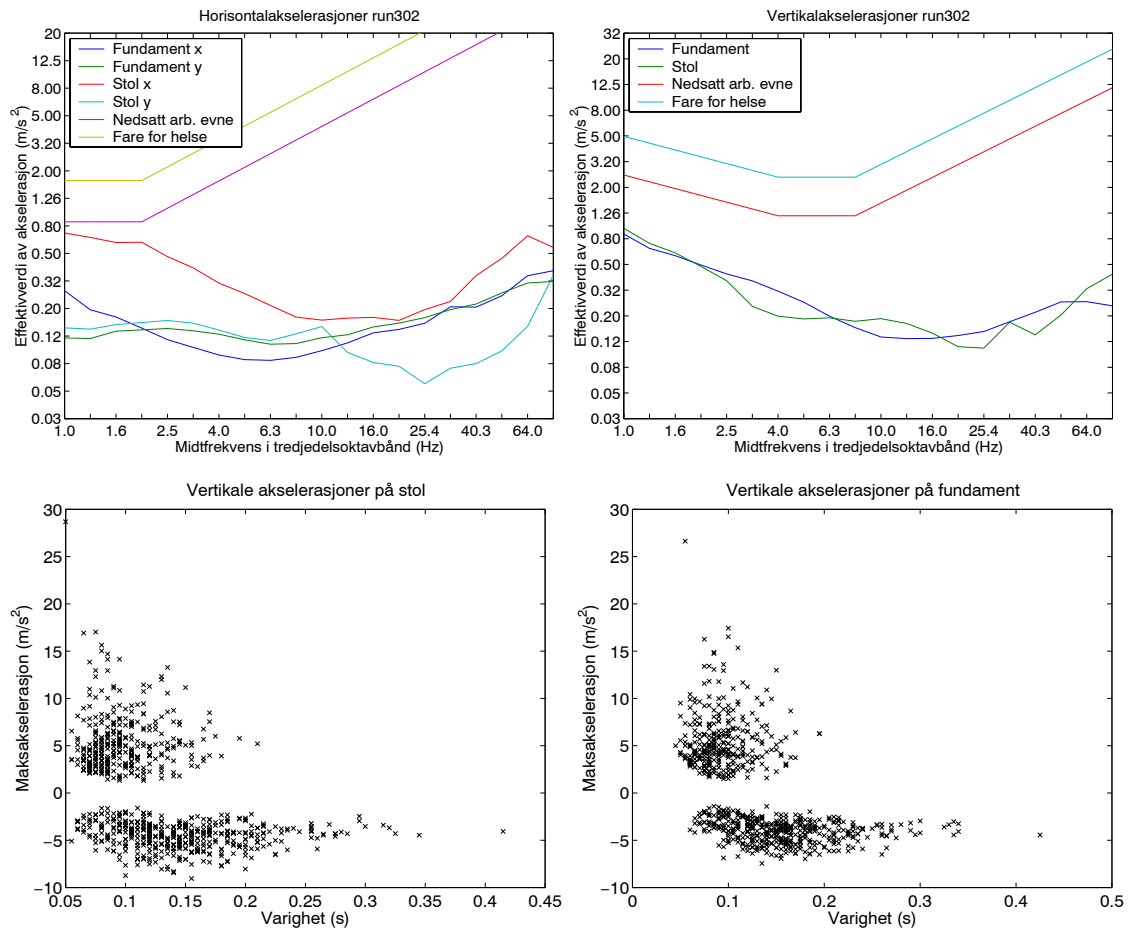




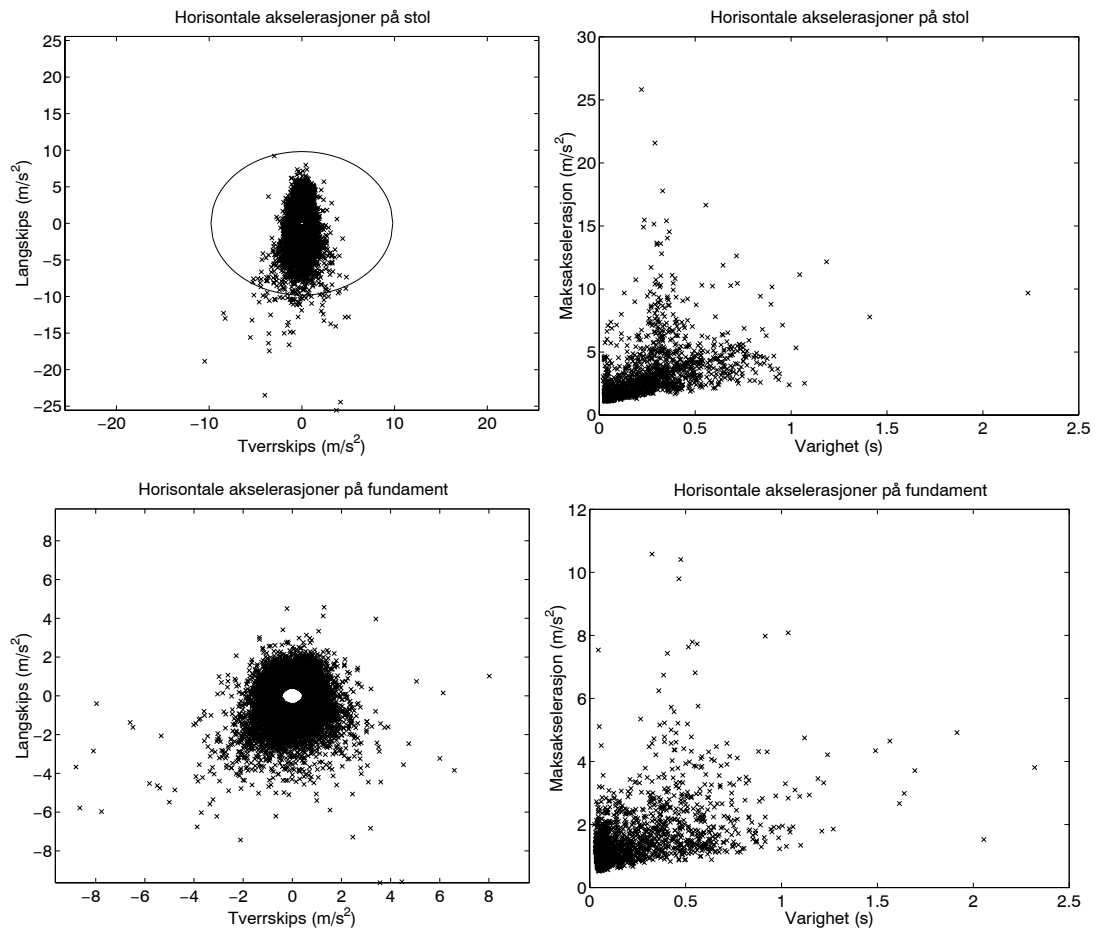
Figur B.65 Run 304: Seastate 3, hastighet 38 kn og møtevinkel  $150^\circ$ . Vibrasjonsspektrum og vertikale støt.



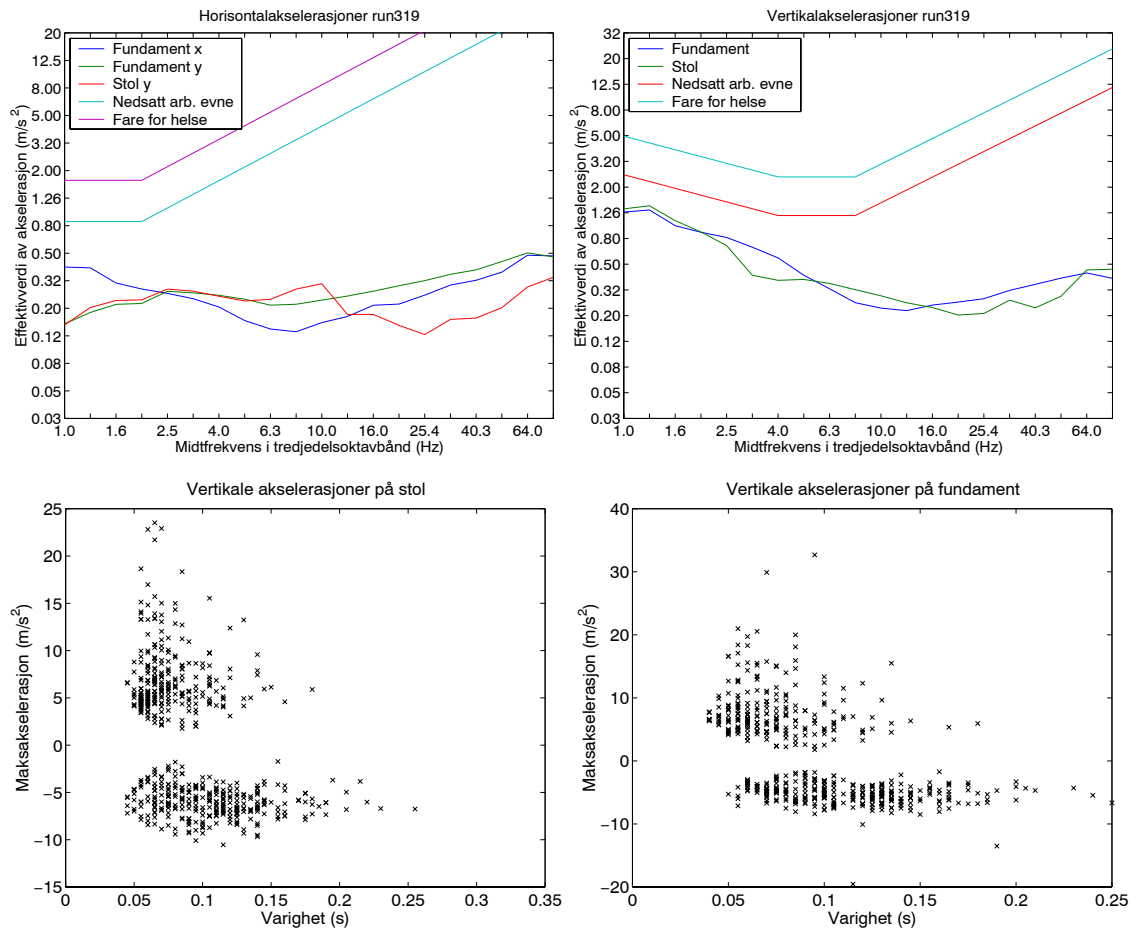
Figur B.66 Run 304: Seastate 3, hastighet 38 kn og møtevinkel 150°. Horisontale støt, retningsdiagram og varighet.



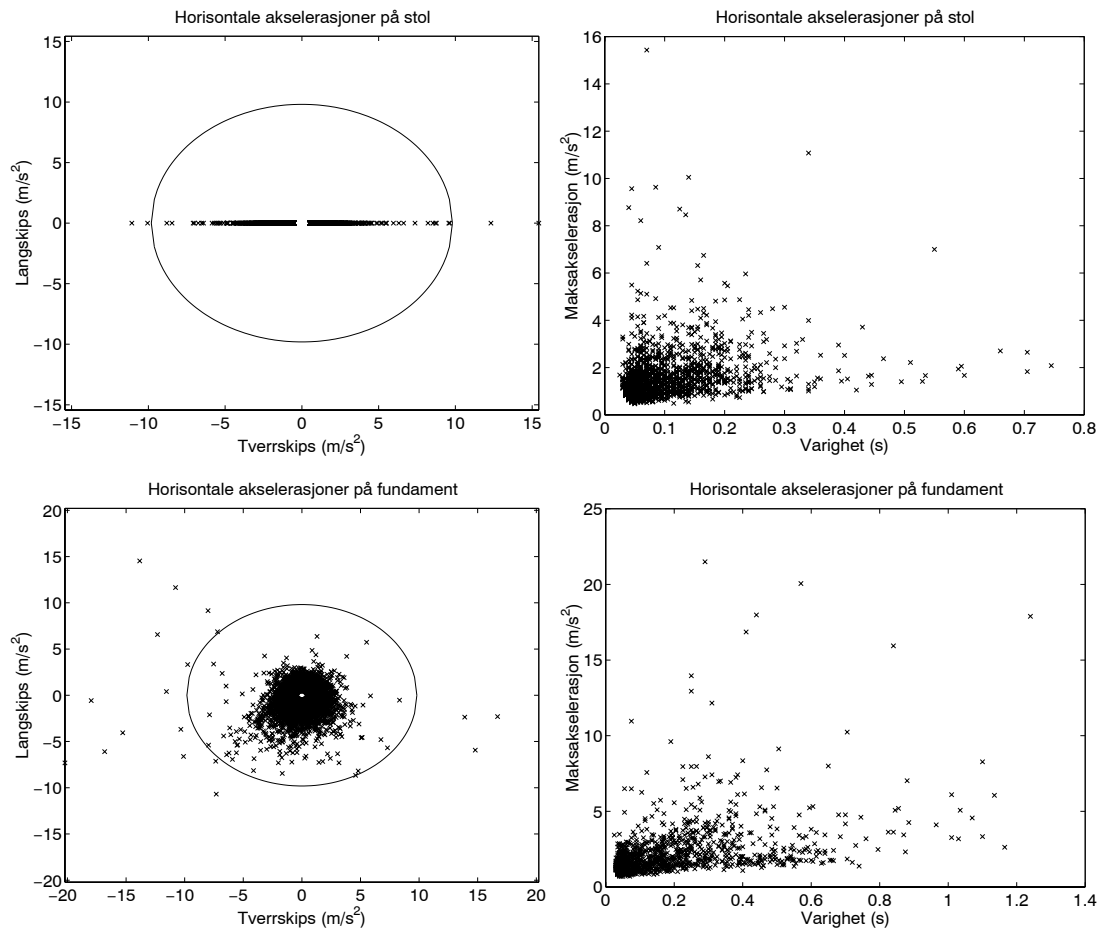
Figur B.67 Run 302: Seastate 3, hastighet 38 kn og møtevinkel  $180^\circ$ . Vibrasjonsspektrum og vertikale støt. Vertikalakselerasjon på stol tangerer 25% av grensverdi for frittfall livbåt selv med sjøen inn aktenfra



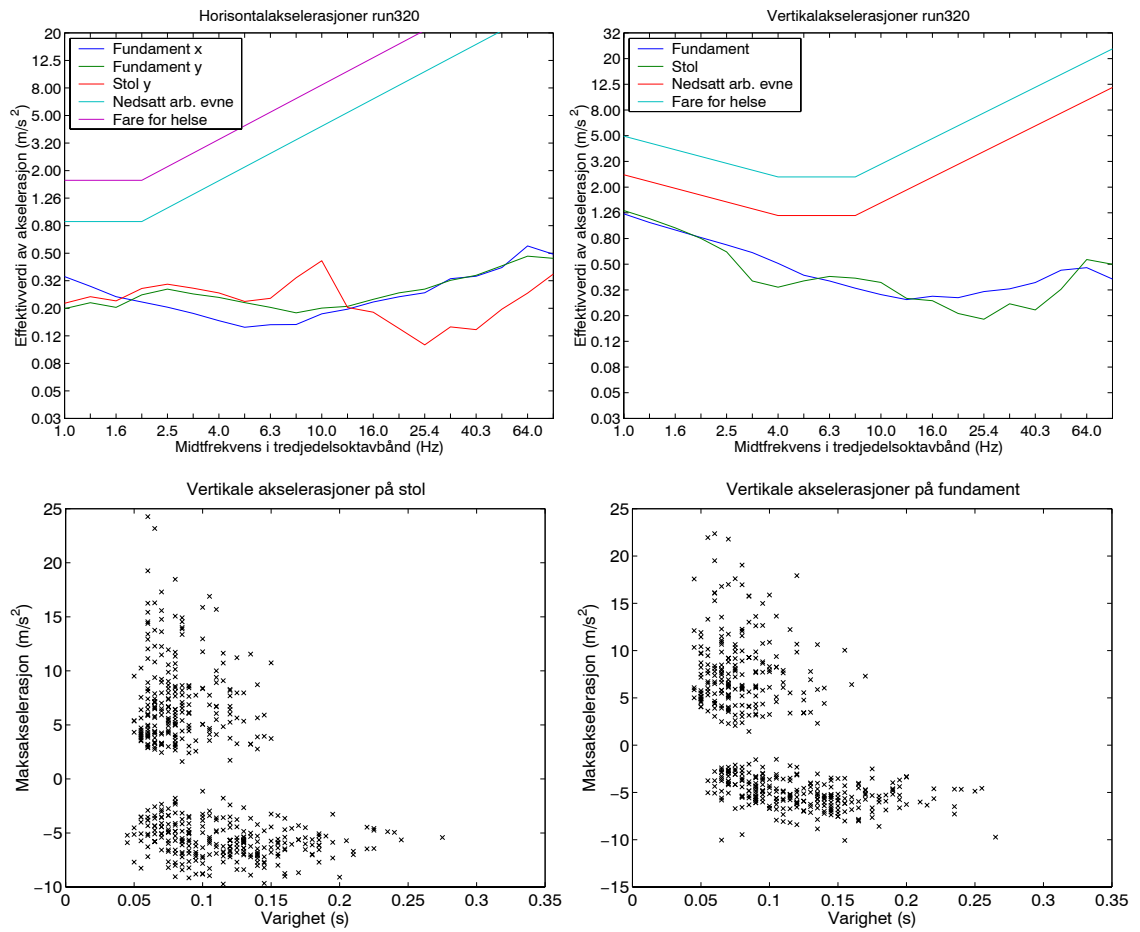
Figur B.68 Run 302: Seastate 3, hastighet 38 kn og møtevinkel  $180^\circ$ . Horisontale støt, retningsdiagram og varighet. Vertikalakselerasjon på stol tangerer 25% av grenseverdi for frittfall livbåt selv med sjøen inn aktenfra



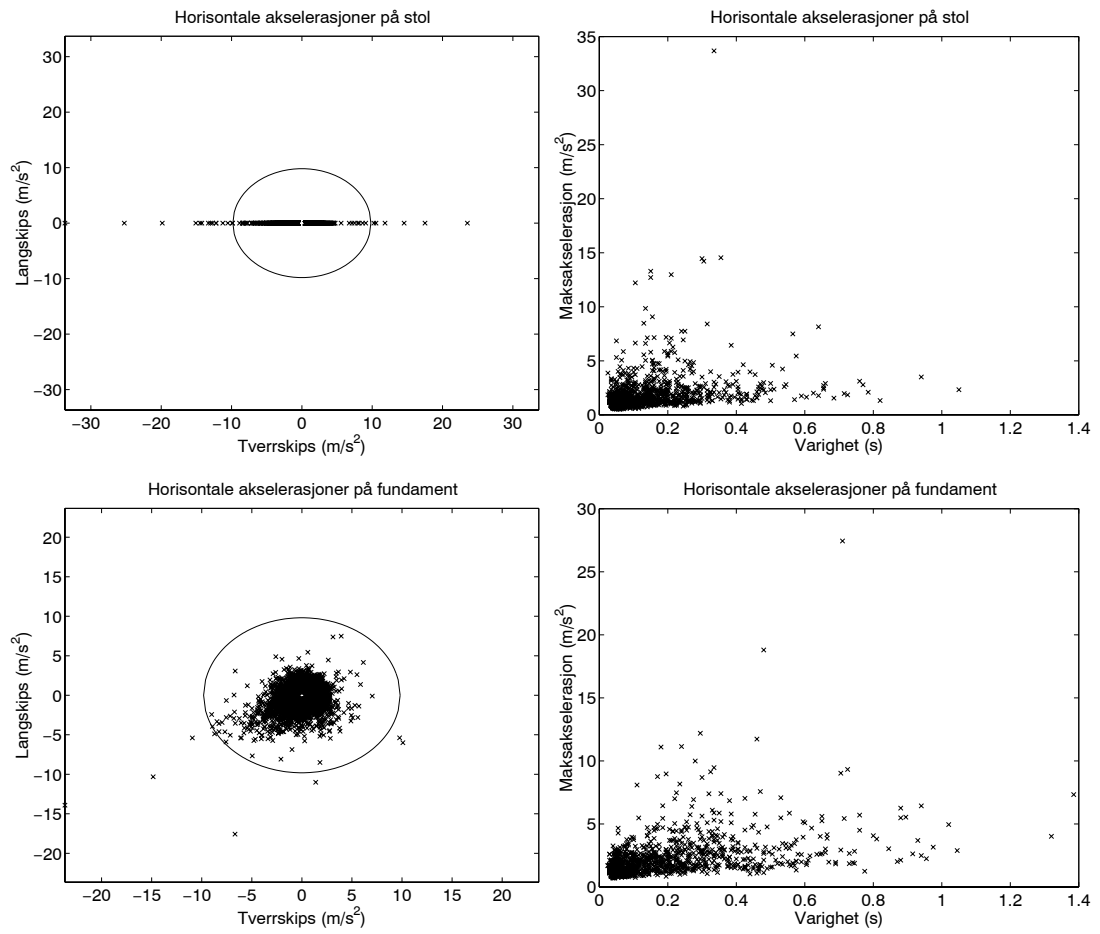
Figur B.69 Run 319: Seastate 3, hastighet 40 kn og møtevinkel 0°. Vibrasjonsspektrum og vertikale støt. Trim baug ned



Figur B.70 Run 319: Seastate 3, hastighet 40 kn og møtevinkel 0°. Horisontale støt, retningsdiagram og varighet. Trim baug ned

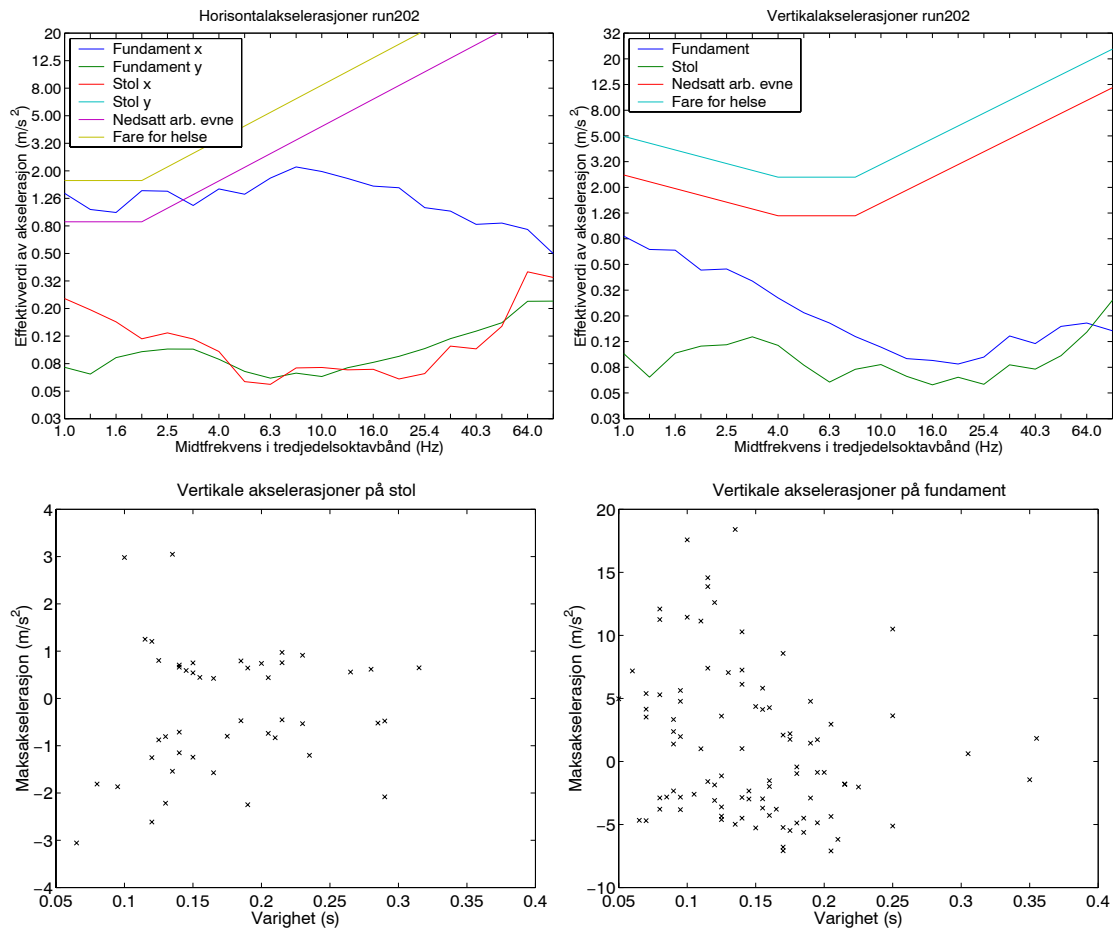


Figur B.71 Run 320: Seastate 3, hastighet 40 kn og møtevinkel 30°. Vibrasjonsspektrum og vertikale støt. Trim 10-15 deg

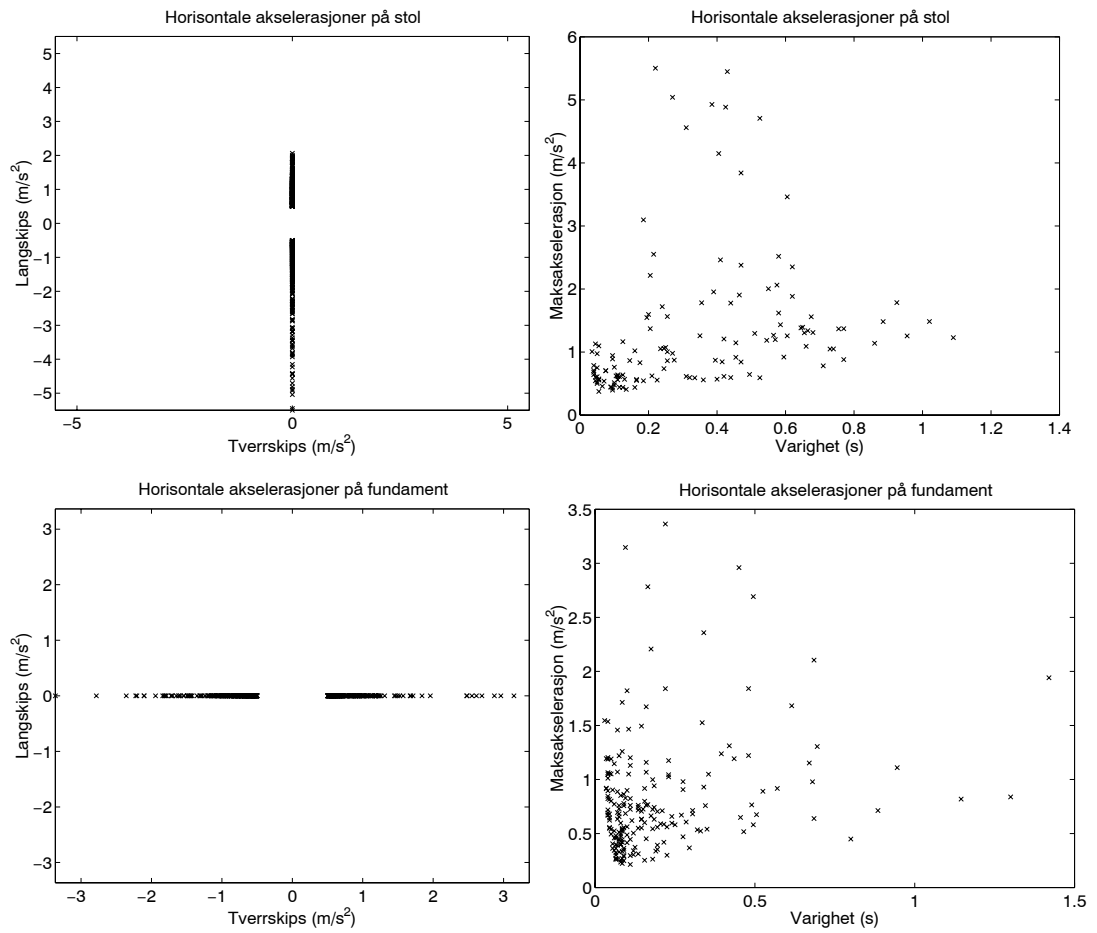


Figur B.72 Run 320: Seastate 3, hastighet 40 kn og møtevinkel 30°. Horisontale støt, retningsdiagram og varighet. Trim 10-15 deg

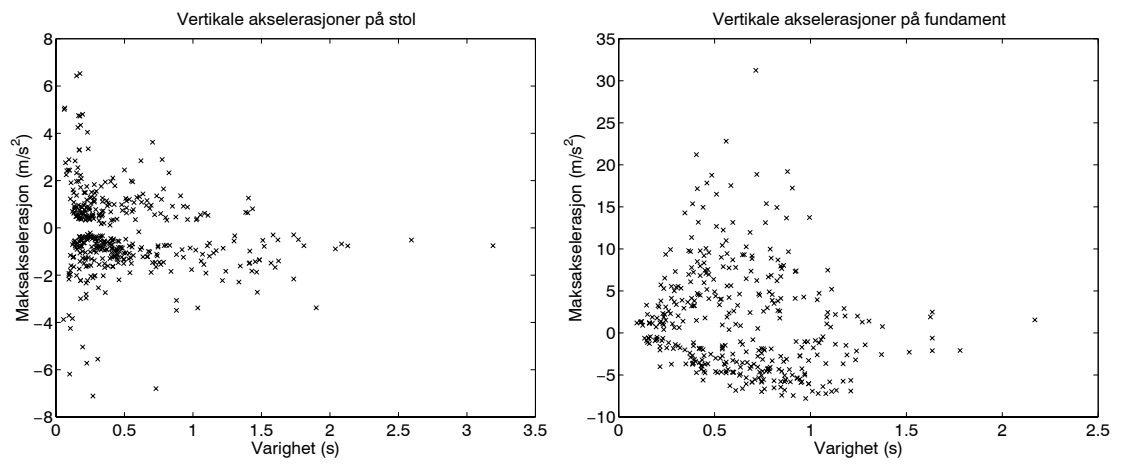




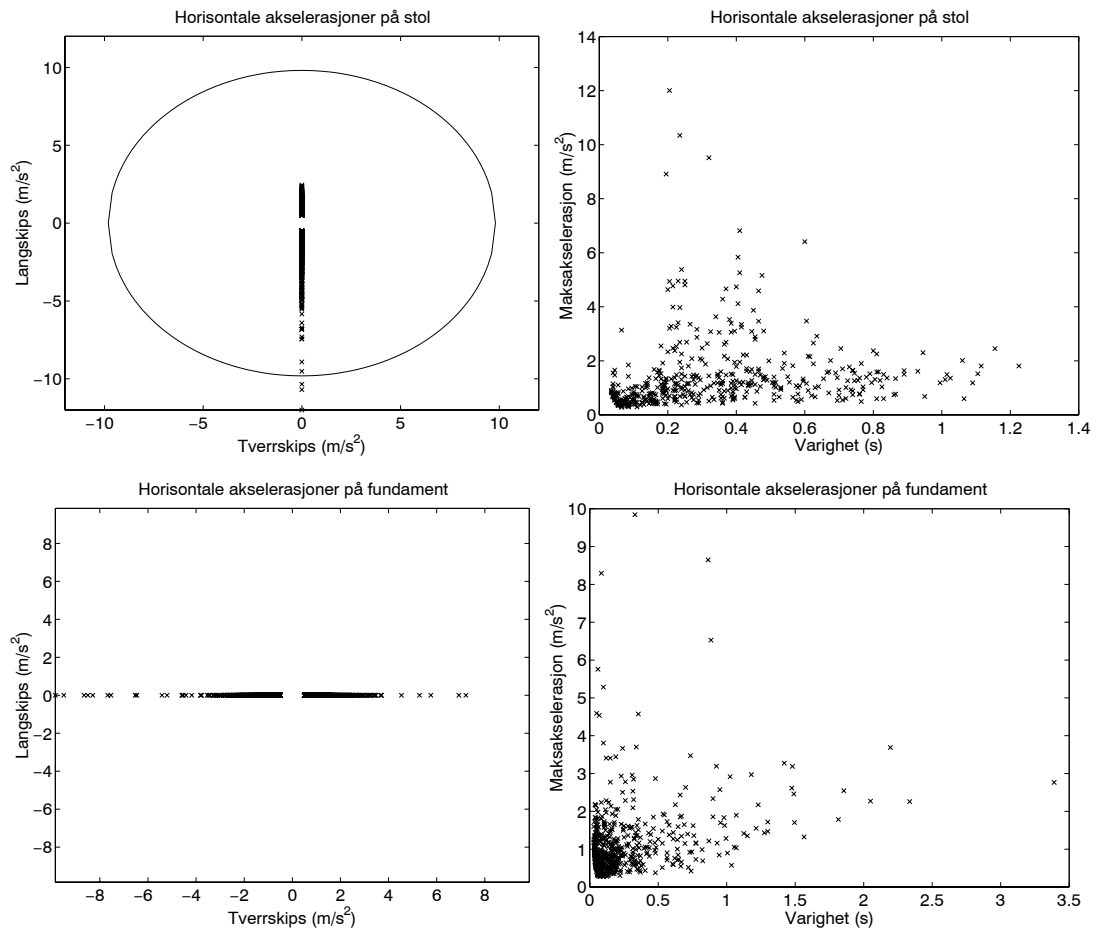
Figur B.73 Run 202: Seastate 4, hastighet 40 kn og møtevinkel 0°. Vibrasjonsspektrum og vertikale støt. Meget stor forskjell mellom vertikalakselerasjon på stol og fundament



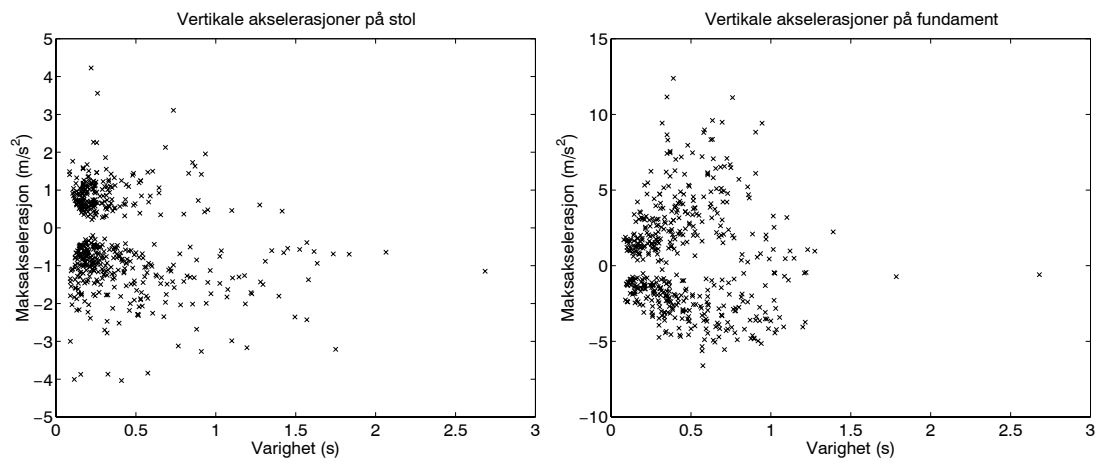
Figur B.74 Run 202: Seastate 4, hastighet 40 kn og møtevinkel 0°. Horisontale støt, retningsdiagram og varighet. Meget stor forskjell mellom vertikalakselerasjon på stol og fundament



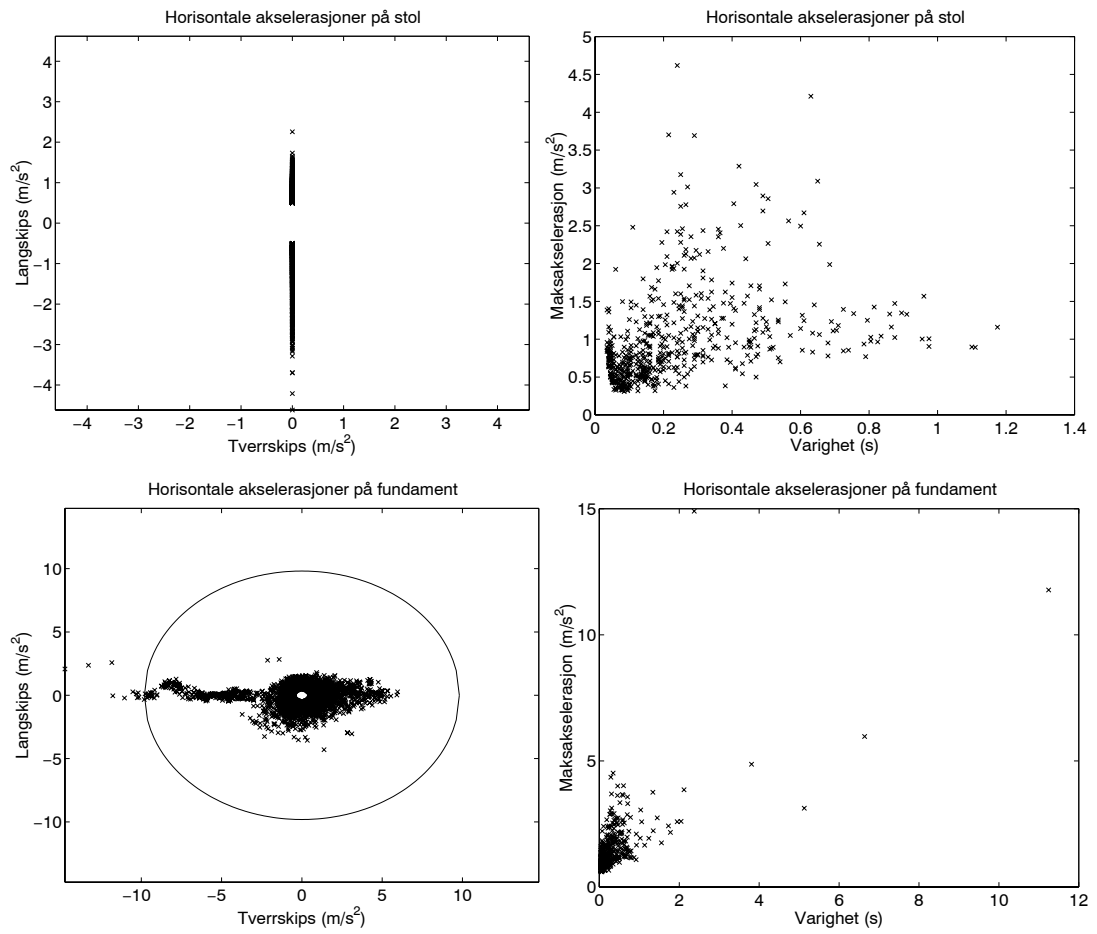
Figur B.75 Run 225: Seastate 4, hastighet 40 kn og møtevinkel 30°. Vibrasjonsspektrum og vertikale støt.



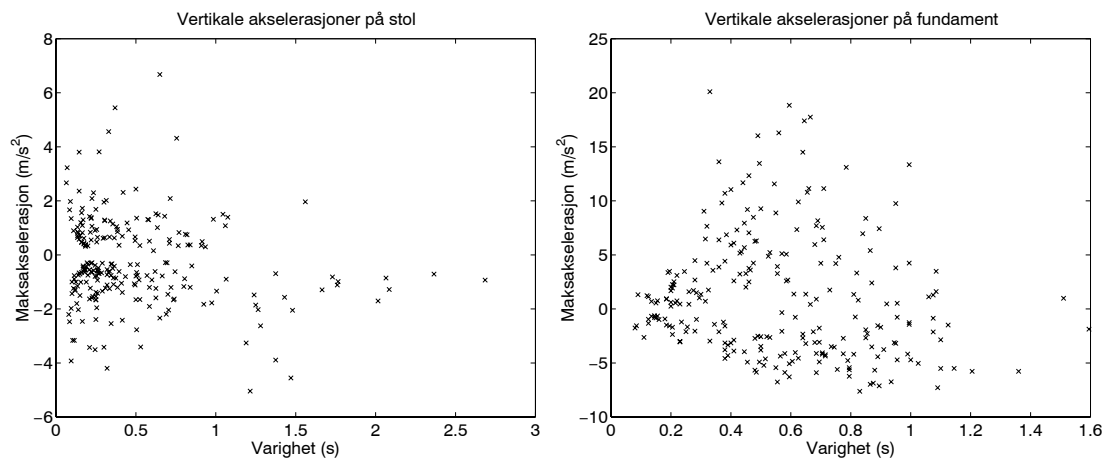
Figur B.76 Run 225: Seastate 4, hastighet 40 kn og møtevinkel  $30^\circ$ . Horisontale støt, retningsdiagram og varighet.



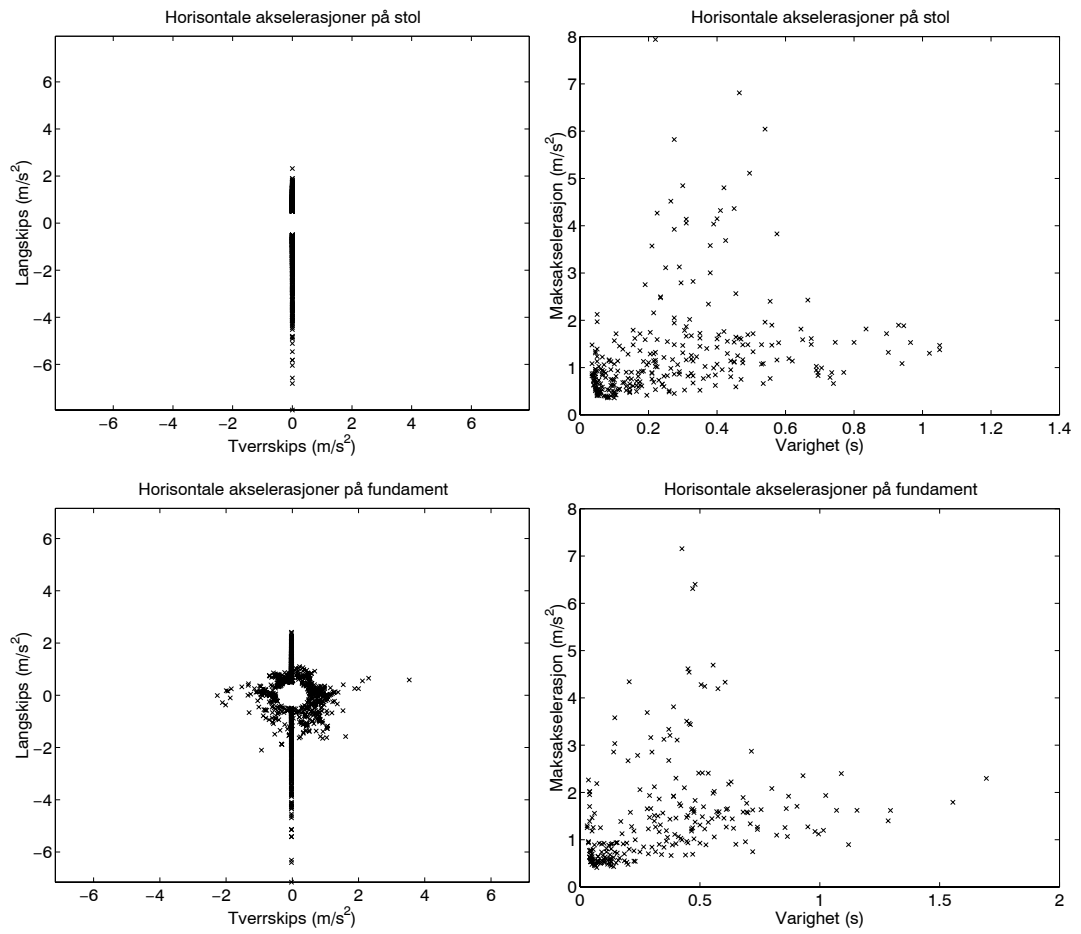
Figur B.77 Run 228: Seastate 4, hastighet 40 kn og møtevinkel 150°. Vibrasjonsspektrum og vertikale støt.



Figur B.78 Run 228: Seastate 4, hastighet 40 kn og møtevinkel  $150^\circ$ . Horisontale støt, retningsdiagram og varighet.

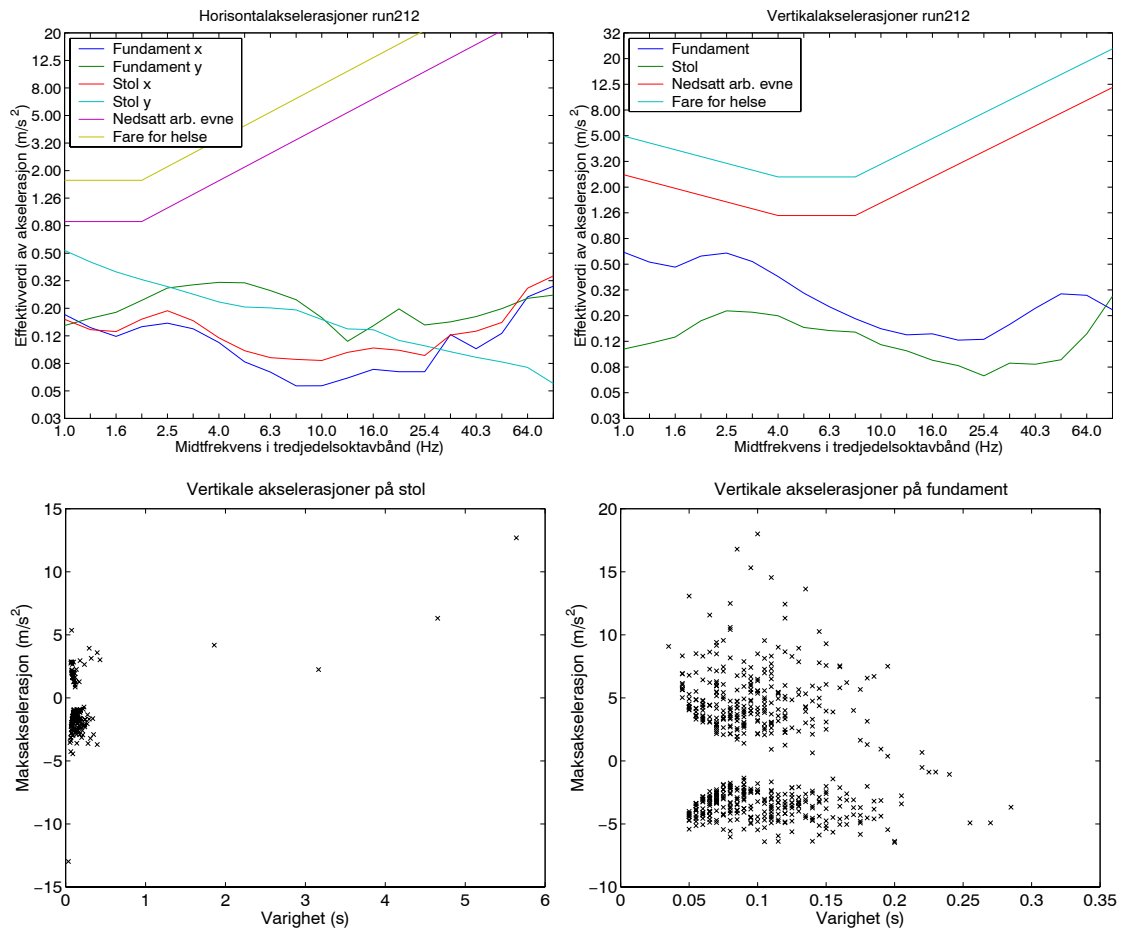


Figur B.79 Run 230: Seastate 4, hastighet 40 kn og møtevinkel 60°. Vibrasjonsspektrum og vertikale støt.

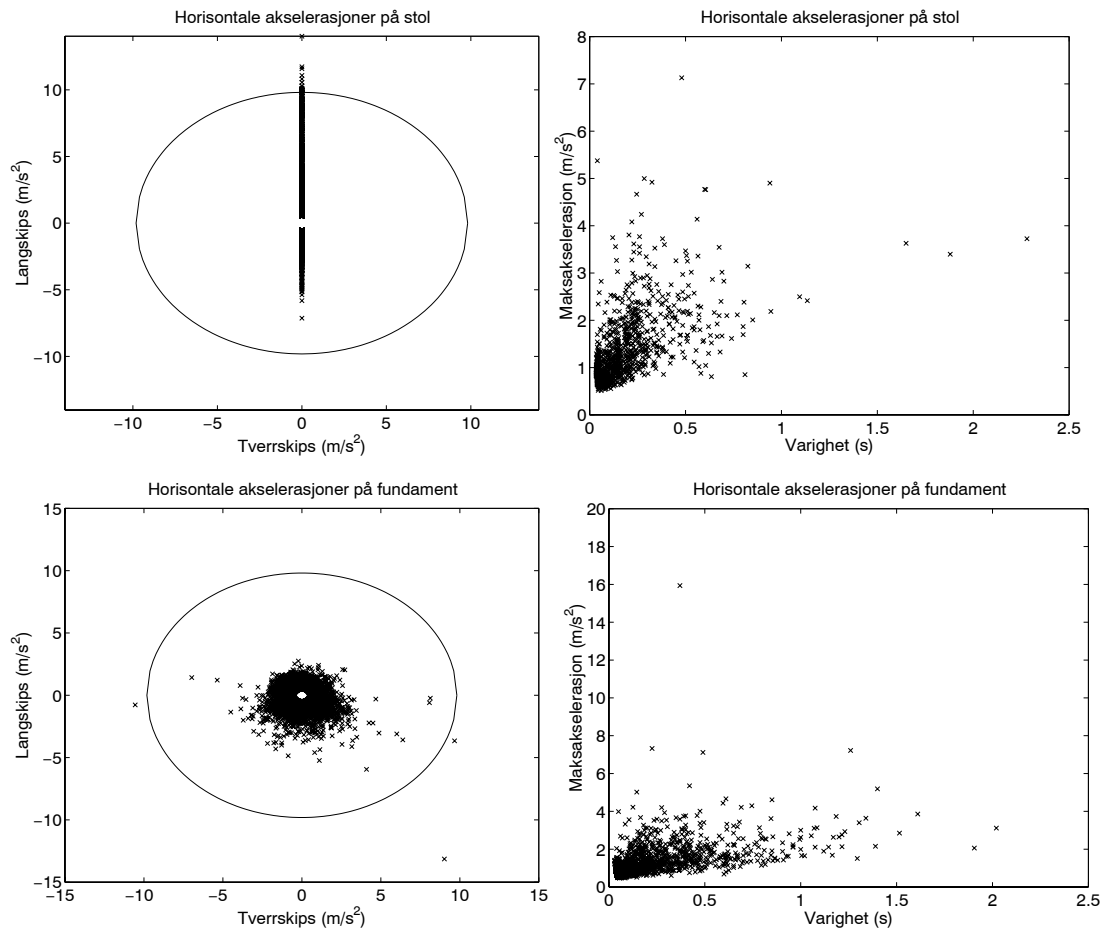


Figur B.80 Run 230: Seastate 4, hastighet 40 kn og møtevinkel 60°. Horisontale støt, retningsdiagram og varighet.

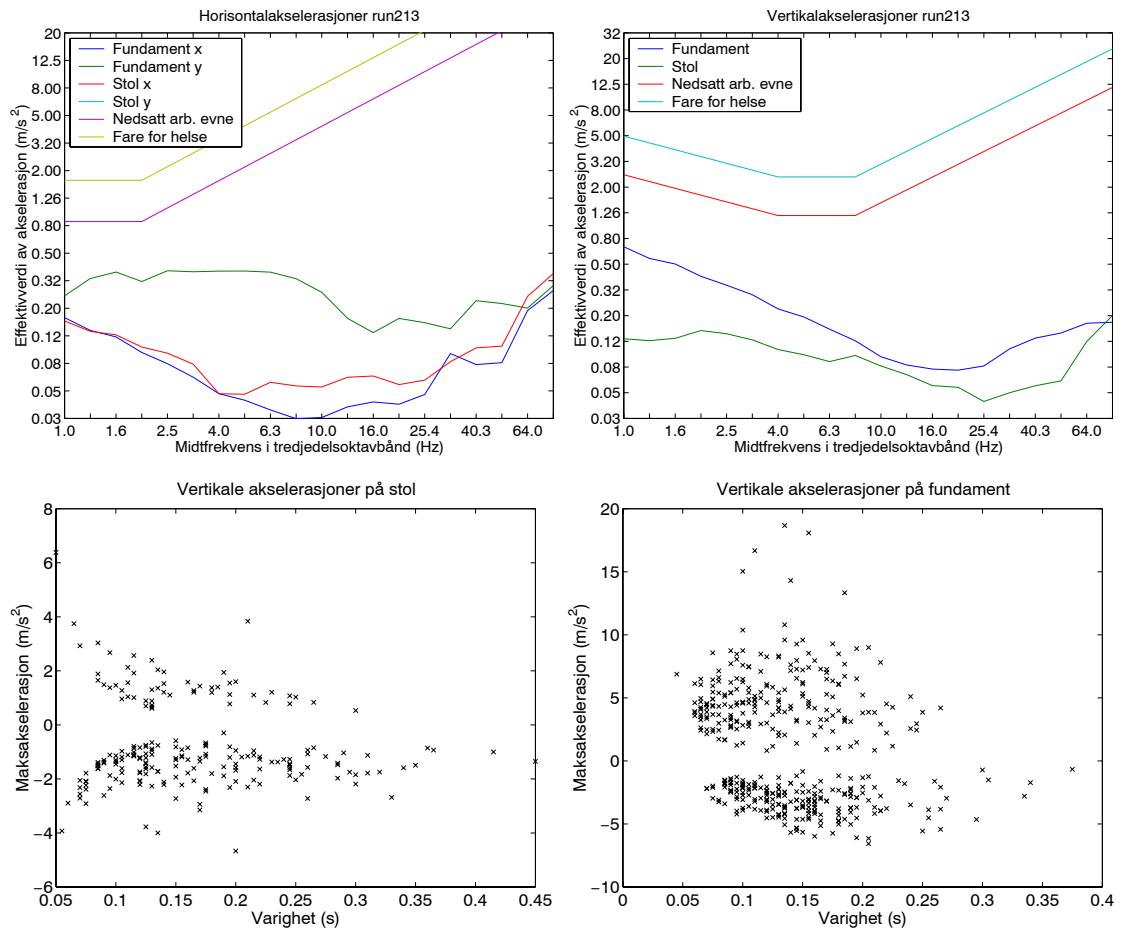




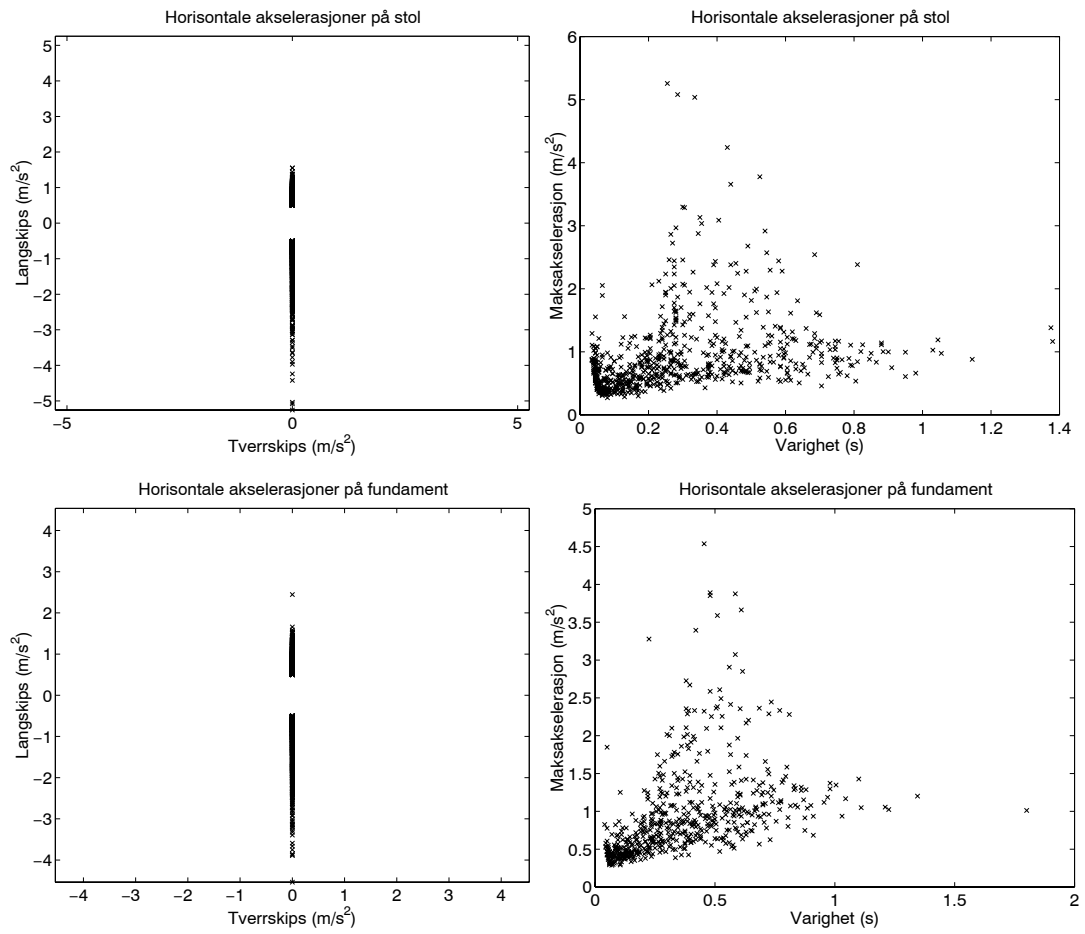
Figur B.81 Run 212: Seastate 4, hastighet 40 kn og møtevinkel 120°. Vibrasjonsspektrum og vertikale støt.



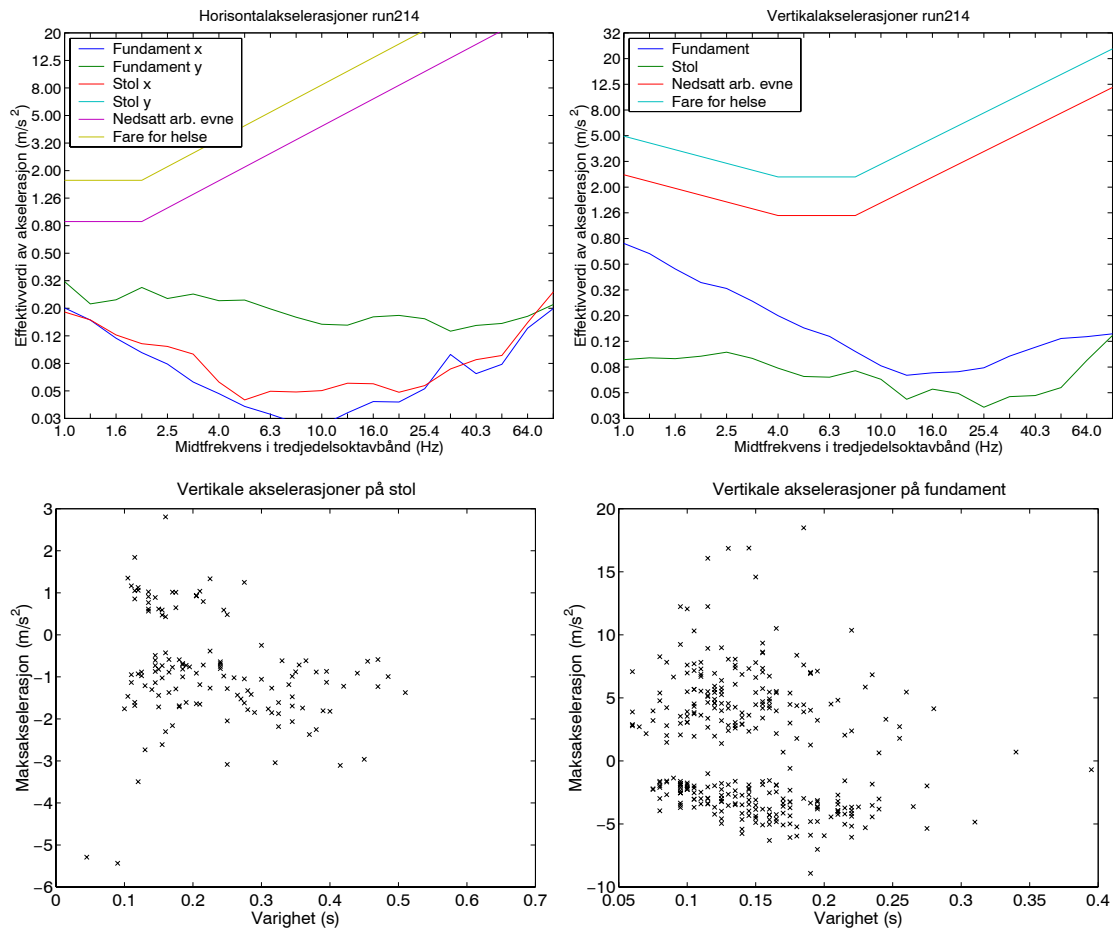
Figur B.82 Run 212: Seastate 4, hastighet 40 kn og møtevinkel  $120^\circ$ . Horisontale støt, retningsdiagram og varighet.



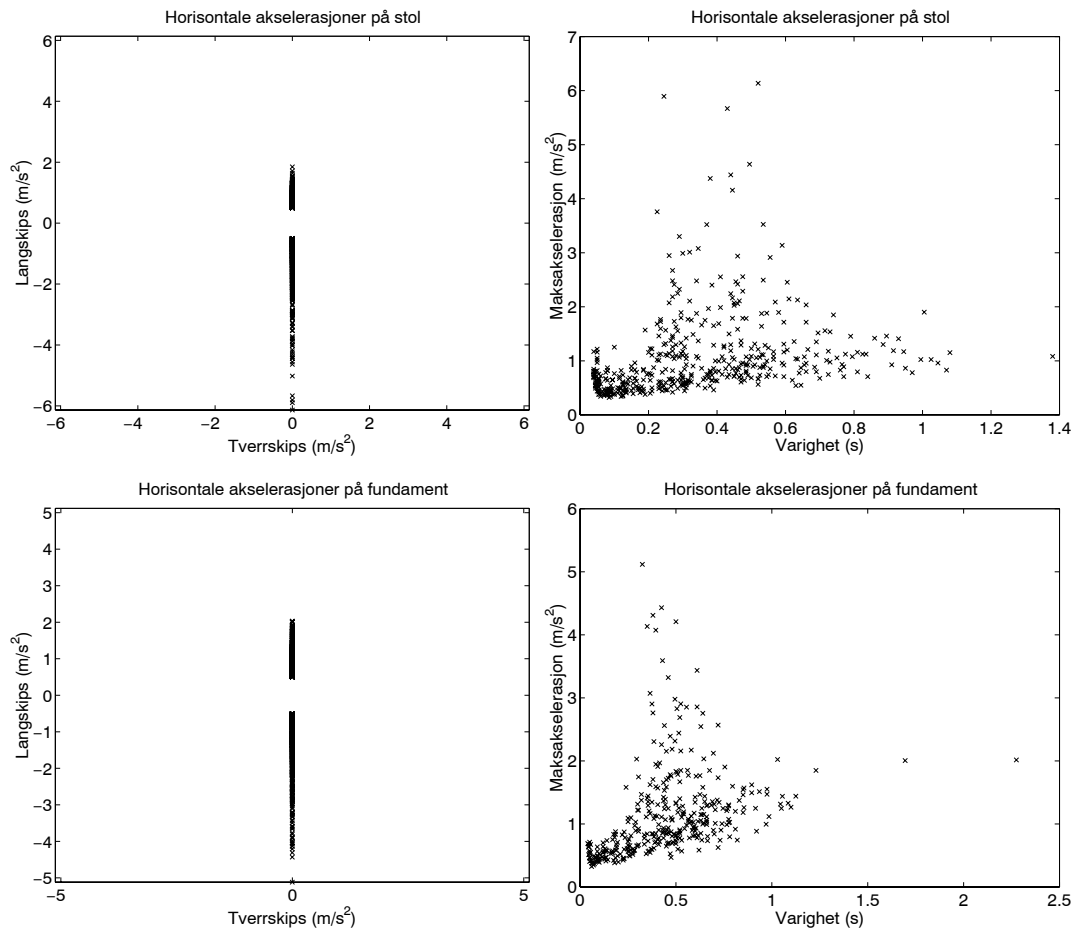
Figur B.83 Run 213: Seastate 4, hastighet 30 kn og møtevinkel  $0^\circ$ . Vibrasjonsspektrum og vertikale støt.



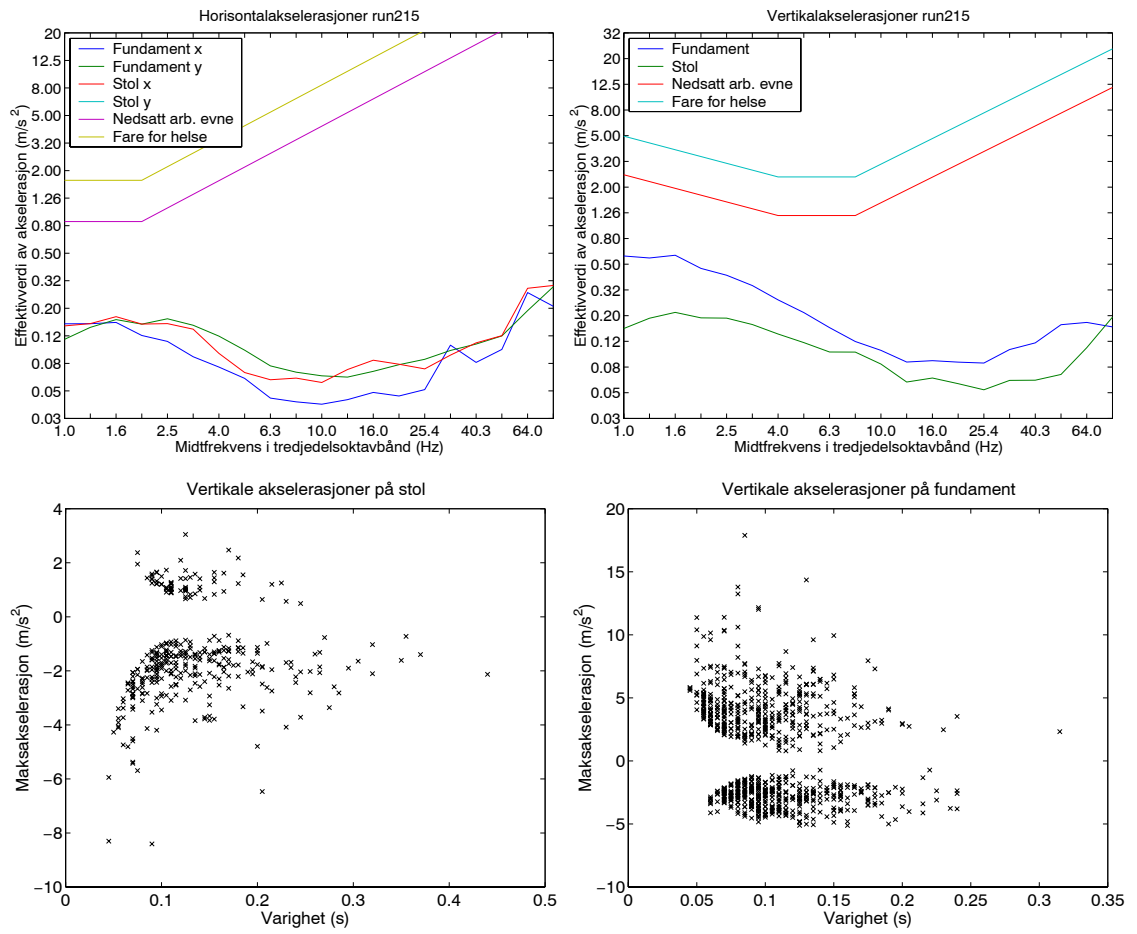
Figur B.84 Run 213: Seastate 4, hastighet 30 kn og møtevinkel  $0^\circ$ . Horizontale støt, retningsdiagram og varighet.



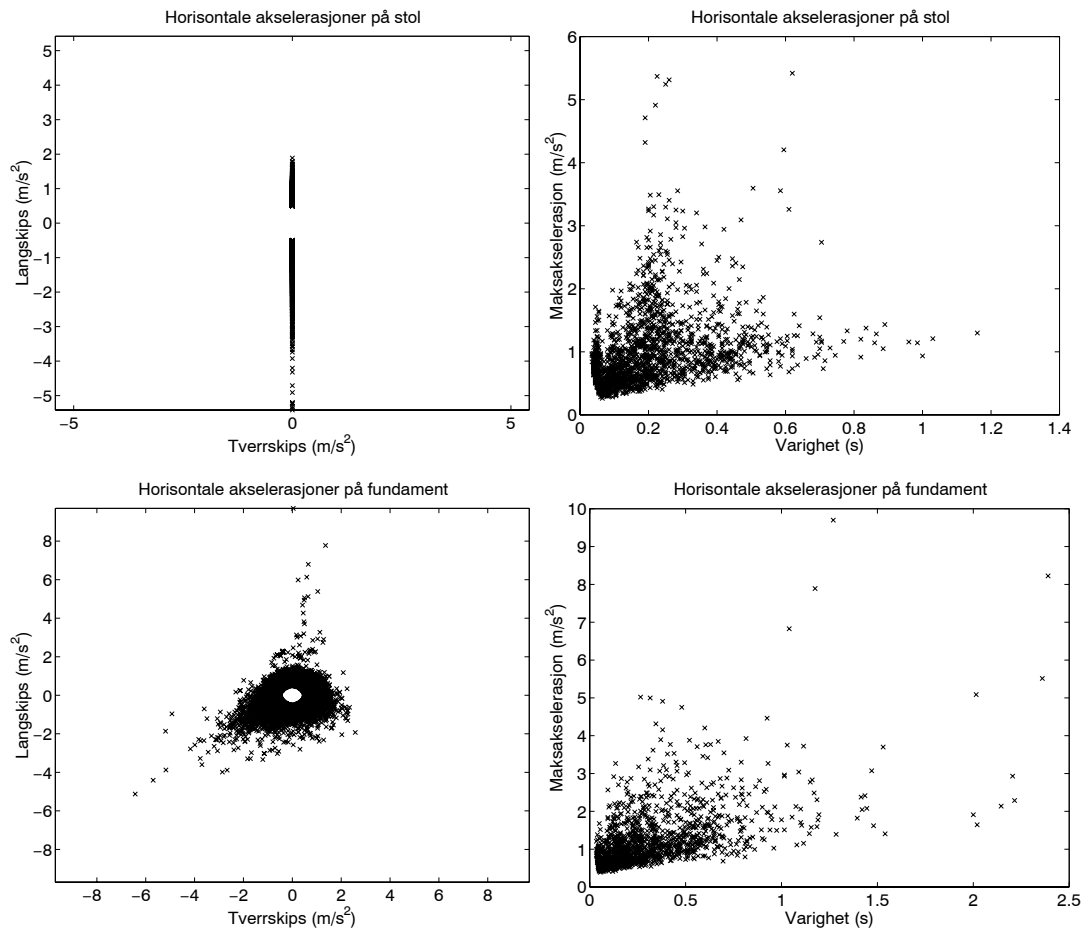
Figur B.85 Run 214: Seastate 4, hastighet 30 kn og møtevinkel 30°. Vibrasjonsspektrum og vertikale støt.



Figur B.86 Run 214: Seastate 4, hastighet 30 kn og møtevinkel 30°. Horisontale støt, retningsdiagram og varighet.



Figur B.87 Run 215: Seastate 4, hastighet 30 kn og møtevinkel 150°. Vibrasjonsspektrum og vertikale støt.



Figur B.88 Run 215: Seastate 4, hastighet 30 kn og møtevinkel 150°. Horisontale støt, retningsdiagram og varighet.



**C DATA-CD**

En CD-ROM er laget i tilknytning til rapporten, og inneholder følgende:

- Et elektronisk eksemplar av rapporten i Adobe PDF format
- Data på Matlab binærformat samplet ved 200Hz, som er brukt som utgangspunkt for alle analysene
- Matlab-script brukt til å gjennomføre analysene
- Alle figurene som er benyttet i rapporten

Kopi av CD-en kan fås ved henvendelse til Arkiv på FFIE.

## FORDELINGSLISTE

**FFIE**
**Dato:** 10 september 2001

RAPPORTTYPE (KRYSS AV) <input checked="" type="checkbox"/> RAPP <input type="checkbox"/> NOTAT <input type="checkbox"/> RR	RAPPORT NR. 2001/04408	REFERANSE FFIE/793/116	RAPPORTENS DATO 10 september 2001
RAPPORTENS BESKYTTELSESGRAD  UGRADERT		ANTALL EKS UTSTEDT  40	ANTALL SIDER  115
RAPPORTENS TITTEL MÅLINGER AV AKSELERASJONER PÅ STRIDSBÅT 90N		FORFATTER(E) SAGVOLDEN Geir, PRAN Karianne, WANG Gunnar	
FORDELING GODKJENT AV FORSKNINGSSJEF:		FORDELING GODKJENT AV AVDELINGSSJEF:	

### EKSTERN FORDELING

### INTERN FORDELING

ANTALL	EKS NR	TIL	ANTALL	EKS NR	TIL
10		OK Steinar Nilsen SFK/P-PPG 06 Boks 3 K-6 Haakonvern 5886 BERGEN	14		FFI-Bibl
1		SJKE Postboks 24 Haakonvern 5886 BERGEN	1		Adm direktør/stabssjef
			1		FFIE
			1		FFISYS
			1		FFIBM
			1		Geir Sagvolden, FFIE
			1		Gunnar Wang, FFIE
			1		Karianne Pran, FFIE
			1		Eirik Svinsås, FFIBM
			7		Arkiv-FFIE
					FFI-vev

FFI-K1

Retningslinjer for fordeling og forsendelse er gitt i Oraklet, Bind I, Bestemmelser om publikasjoner for Forsvarets forskningsinstitutt, pkt 2 og 5. Benytt ny side om nødvendig.