



Forsuaret

Bacheloroppgave

OPG3301

Predefinert informasjon

Startdato:	26-11-2021 09:00	Termin:	2021 HØST
Sluttdato:	10-12-2021 20:00	Vurderingsform:	Norsk 6-trinns skala (A-F)
Eksamensform:	Oppgave		
Flowkode:	1627 OPG3301 1 O 2021 HØST		
Intern sensor:	Gisle Strand		

Deltaker

Naun:	Sander Bakke Suarstad
Kandidatnr.:	
FHS-id:	ssuarstad@mil.no, sasuarstad@mil.no

Gruppe

Gruppenavn:	Suarstad & Rød
Gruppenummer:	6
Andre medlemmer i gruppen:	Andreas Rød



Sjøkrigsskolen

Bacheloroppgave

Sjøkrigsskolens sjokkmaskin

Hvordan er maskinens karakteristikk? Kan høyhastighetskamera være et nyttig verktøy ved sjokktesting?

av

Sander B. Svarstad

Andreas Rød

Levert som en del av kravet til graden:

BACHELOR I MILITÆRE STUDIER MED FORDYPNING I LEDELSE – MARINE-
INGENIØR MASKINFAG

Antall ord: 6077

Innlevert: Des 2021

Godkjent for offentlig publisering

Publiseringsavtale

En avtale om elektronisk publisering av bachelor/prosjektoppgave

Kadetten(ene) har opphavsrett til oppgaven, inkludert rettighetene til å publisere den.

Alle oppgaver som oppfyller kravene til publisering vil bli registrert og publisert i Bibsys Brage når kadetten(ene) har godkjent publisering.

Oppgaver som er graderte eller begrenset av en inngått avtale vil ikke bli publisert.

Vi gir herved Sjøkrigsskolen rett til å gjøre denne oppgaven tilgjengelig elektronisk, gratis og uten kostnader	<input checked="" type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nei
Finnes det en avtale om forsinket eller kun intern publisering? (Utfyllende opplysninger må fylles ut)	<input type="checkbox"/> Ja	<input checked="" type="checkbox"/> Nei
Hvis ja: kan oppgaven publiseres elektronisk når embargoperioden utløper?	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nei

Plagiaterklæring

Vi erklærer herved at oppgaven er mitt eget arbeid og med bruk av riktig kildehenvisning.

Vi har ikke nyttet annen hjelp enn det som er beskrevet i oppgaven.

Vi er klar over at brudd på dette vil føre til avvisning av oppgaven.

Dato: 10.12.2021

Sander B. Svarstad

Kadett navn

Sander B. Svarstad

Andreas Rød

Kadett navn

Andreas Rød

Forord

Oppgaven omhandler karakteristikken til sjokktestingsmaskinen på sjøkrigsskolen. Oppgaven er en del av kravet til graden bachelor i militære studier med fordypning i maskinfag. Arbeidet er utført fra 1. september 2021 til 10. desember 2021.

Vår oppgave rettes mot personell med generell kompetanse innen maskinfag, som ønsker å tilegne seg kunnskap om sjokkmaskinen på sjøkrigsskolen. Videre ønsker vi at oppgaven resulterer i økt bruk av maskinen, da den kan bidra til gode resultat og reduserte kostnader sammenlignet med eksterne leverandører.

Vi vil rette en stor takk til vår veileder, Gisle Strand, som gjennom perioden har bidratt med blant annet informasjonsinnhenting og gode innvendinger. I perioden har Gisle vært opptatt med undervisning, kursplanlegging og andre bacheloroppgaver. På tross av dette har Gisle alltid møtt oss med en imøtekommende og hjelpsom innstilling.

Bergen, Sjøkrigsskolen, 10.12.2021

(Signatur)

Sander B. Sverstad

(Signatur)

Andreas Rød

Sammendrag

Oppgaven er en eksplorerende studie som omhandler Sjøkrigsskolen sjokkmaskin. Maskin har blitt viet lite oppmerksomhet de siste 30 årene, men har tidligere blitt brukt til blant annet testing av lim, høyfaste stekkbolter og sammenligning av ulike typer sjokk- og vibrasjonsdempere.

Studie tar for seg grunnleggende teori innen sjokk, etterfulgt av sjokkmaskinens virkemåte. Videre ble relevant måleutstyr skolen hadde tilgjengelig, henholdsvis høyhastighetskamera og akselerometer studert nærmere. Det er utledet hvordan utstyret fungerer, og hva som kan utbedres for å være nyttigere ved videre bruk. Ved å sammenligne resultater fra flere forsøk med ulik fallhøyde vurderes det i hvilken grad utstyret er egnet for dette bruksområdet. Ut ifra resultatene gjøres det også vurderinger av maskinens sjokkspekter og evne til å gjennomføre konsistente forsøk.

Arbeidet har ført til viktige funn knyttet til maskinens karakteristikk. Sammenligning av forsøkene viste at fiksturplaten og loddet traff hverandre ulikt, maksimalt sjokk varierte i stor grad, og samsvarende vibrasjoner ble målt kort tid etter loddet ble sluppet. Tross mange observasjoner som antydte inkonsistens mellom forsøkene, ble sjokk-spekteret tilnærmet likt i hvert forsøk. Ved sjokktesting vurderes sjokkspekteret og sjokkets alvorlighetsgrad som de viktigste faktorene. Inkonsistens mellom forsøkene svekker altså nødvendigvis ikke maskinens evne til å gjennomføre gode sjokktester.

Hvorvidt høyhastighetskameraet er nyttig under sjokktesting er avhengig av anvendelsen av ressursen. Kameraet har stor nytte når det brukes som visuell støtte, men er unøyaktig dersom det selvstendig brukes til beregning av sjokkrespons.

Dersom oppgaven vekker interesse hos andre marineingeniører, syntes vi at en naturlig vei videre er sammenligning av maskinens sjokk-spekter med STANAG 4142, eller konstruksjon av fleksibel sjokkkrigg.

Innholdsfortegnelse

Forord	i
Sammendrag.....	ii
Innholdsfortegnelse.....	iii
Figurer	v
Nomenklatur / Forkortelser / Symboler	vi
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn for oppgaven	1
1.2 Mål.....	1
1.3 Problemstilling	1
1.4 Avgrensninger	1
1.5 Metode	2
1.6 Struktur	2
2 Teori.....	3
2.1 Teori bak sjokkmaskinen.....	3
2.2 Ulike typer sjokk og sjokkrespons	5
2.3 Sjokkmaskinens virkemåte	7
3 Forskningsdesign	9
3.1 Akselerometerets oppsett.....	9
3.1.1 Akselerometer.....	9
3.1.2 Signalforsterker	11
3.1.3 Oscilloskop	11
3.2 Kameraoppsett	12
3.2.1 Kamera	12
3.2.2 Photron Fastcam Viewer (PFV)	12
3.2.3 Photron Fastcam Analysis (PFA)	13
3.2.4 Kamera-innstillinger.....	14
3.2.5 Analyse av data.....	15
3.2.6 Behandling av data	15
4 Resultater og analyse.....	17
4.1 Status sjokkmaskin	17
4.2 Utførelse av forsøk	18
4.3 Kamera resultater.....	18
4.3.1 100 mm fallhøyde - forsøk 1	19

4.3.2	100 mm fallhøyde - forsøk 2.....	19
4.3.3	200 mm fallhøyde	20
4.3.4	300 mm fallhøyde	21
4.4	Akselerometer resultater	21
4.4.1	Hvordan lese av oscilloskopet	22
4.4.2	Analyse av signaler	23
4.4.3	Akselerasjon-økning versus fallhøyde	24
5	Drøfting.....	25
5.1	Klarer sjokkmaskinen å gjenskape forsøk på en konsistent måte?.....	25
5.1.1	Analyse av sjokkmaskinens evne til å gjenskape konsistente akselerasjonstopper	25
5.1.2	Visuell likhet mellom forsøkene	26
5.1.3	Hva er maskinens sjokk-karakteristikk?	27
5.2	Er høyhastighetskamera gunstig å bruke som instrumentering ved sjokktesting?	27
5.3	Videre bruk av sjokkmaskinen.....	28
6	Avslutning.....	29
	Referanseliste.....	30
	Vedlegg	31
6.1	Vedlegg A – Prosedyre for bruk av Sjokkmaskin	31
6.2	Vedlegg B – Datasett 100mm fallhøyde - forsøk 1	31
6.3	Vedlegg C – Datasett 100 mm fallhøyde - forsøk 2	31
6.4	Vedlegg D – Datasett 200 mm fallhøyde.....	31
6.5	Vedlegg E – Datasett 300 mm fallhøyde	31

Figurer

Figur 2.1- Illustrasjon av ulike typer sjokk. (Harris & Piersol, 2002, 23.4).....	5
Figur 2.2 - Viser systemets respons på de ulike sjokkene i figur 2.1. (Harris & Piersol, 2002, 23.4)	6
Figur 2.3 - Eksempel oscillerende sjokkrespons. (Harris & Piersol, 2002, 23.13)....	7
Figur 2.4 - Illustrasjonen viser innfestingsmetode for test i kompresjon og skjær. (Heradstveit, 1985).....	8
Figur 3.1 – Oppsett på maskinlab	9
Figur 3.2 – Prinsippskisse B12 Akselerometer (HBM, 2000, s. 13)	10
Figur 3.3 - Flattjernfeste for akselerometer og template tracker	10
Figur 3.4 – Forsterkerinstillingene under forsøkene.....	11
Figur 3.5 - Illustrasjon av kameraets oppsett under forsøkene.	12
Figur 3.6 - Illustrasjonsbilde PFV	13
Figur 3.7 - Illustrasjonsbilde tracking i PFA	14
Figur 3.8 - Illustrasjon glidende gjennomsnitt (Lysø, 2003)	16
Figur 4.1 - Diagram for absolutt akselerasjon ved 100mm fallhøyde - forsøk 1.....	19
Figur 4.2 - Diagram for absolutt akselerasjon ved 100 mm fallhøyde - forsøk 2....	19
Figur 4.3 - Diagram for absolutt akselerasjon ved 200 mm fallhøyde	20
Figur 4.4 - Diagram for absolutt akselerasjon ved 300mm fallhøyde.	21
Figur 4.5 – Oscilloskopavlesning 100mm test 1.....	22
Figur 4.6 - Oscilloskopavlesning 100mm test 1	23
Figur 4.7 - Oscilloskopavlesning 200mm.....	23
Figur 4.8 - Oscilloskopavlesning 100 mm forsøk 1.....	24
Figur 4.9 - Oscilloskopavlesning 200mm.....	24
Figur 5.1 – Oscilloskopavlesning 100mm forsøk 1	25
Figur 5.2 - Oscilloskopavlesning 100mm forsøk 2.....	26
Figur 5.3 - Sammenligning av sjokkarakteristikk.....	27

Nomenklatur / Forkortelser / Symboler

FIKSTURPLATE Aluminiumplaten i sjokkmaskinen som simulerer skroget. I denne platen kan en rigg monteres.

MPOS – Antall millisekunder etter triggerfunksjon er utløst i oscilloskop.

PFV - Photron Fastcam Viewer – Programvare for å operere Photron høyhastighetskamera

PFA - Photron Fastcam Analysis – Programvare for å analysere objekters bevegelse i høyhastighetsopptak

PPI - Pixels Per Inch

RESTSJOKK - Den andelen av akselerasjon som blir overført til utstyr over sjokkdemperne.

SJOKK - Momentan endring i posisjon, hastighet og akselerasjon

SJOKKRESPONSSPEKTER- Systemets respons på et sjokk

TEMPLATE TRACKER - Svart og gult rundt klistermerke som brukes til å følge objekter med høyhastighetskamera i forbindelse med kollisjonstesting.

1 Innledning

1.1 Bakgrunn for oppgaven

Bakgrunnen for valg av oppgaven er dens relevans knyttet til fremtidig tjeneste Sjøforsvaret, samt manglende oppmerksomhet rettet mot sjokkmaskinen på Sjøkrigsskolen de siste tiårene.

Som maskinoffiser i marinen er kjennskap til sjokk viktig. Gjennom oppgaven vil vi øke vår forståelse rundt hvorfor komponenter er innfestet slik dem er, og hvordan et sjokk påvirker komponenter i fartøyet.

Sjokkmaskinen kan bidra til intern testing av komponenter i marinen, men det krever synliggjøring av dens karakteristikk. Sist dokumenterte rapport av bruk ble gjort i juni 1985. Fungerer maskinen i det hele tatt?

1.2 Mål

Gjennom vårt vitenskapelige arbeid søker vi økt innsikt og forståelse for sjokkmaskinens virkemåte og karakteristikk, samt kartlegge hvorvidt høyhastighetskamera egner seg til analyse av sjokktesting.

1.3 Problemstilling

Kadettene skal i bachelorperioden bli kjent med sjokkmaskinen på sjøkrigsskolen, i den hensikt å svare på følgende spørsmål:

- Hvordan er karakteristikken til sjokkmaskinen?
- Kan høyhastighetskamera være et nyttig hjelpemiddel til analyse av sjokktesting?

1.4 Avgrensninger

Vi har grunnet lite brukserfaring, forkunnskaper og økonomi valgt å begrense oss til bruk av allerede eksisterende måleutstyr ved Sjøkrigsskolen. Dette inkluderer høyhastighetskamera med tilhørende programvare og akselerometer, oscilloskop og frekvensforsterker fra tidligere forsøk på Sjøkrigsskolen.

1.5 Metode

Tidlig i bachelorperioden ble det etablert en fremdriftsplan med 3 faser og tidsfrister. Planen ble delt inn i følgende faser:

Fase 1:

Innhenting av dokumentasjon og relevant teori parallelt med kartlegging av sjokkmaskinens funksjonalitet og anskaffelse av nødvendige deler.

Fase 2:

Gjennomføring av forsøk med oscilloskop og høyhastighetskamera. Optimalisere oppsett og innstillinger, før gjeldende forsøk gjennomføres.

Fase 3:

Analyse og drøfting av resultater.

1.6 Struktur

Oppgaven starter med å introdusere teorien bak sjokktesting og sjokkmaskinens virkemåte. Videre presenteres måleverktøyenes funksjon og hvordan forsøkene metodisk ble utført.

Etter at leseren er kjent med forsøkernes resultat diskuteres og analyseres tilhørende data. I denne delen blir visuelle funn, akselerometermålinger og datasett fra høyhastighetskamera analysert og drøftet.

Avslutningsvis oppsummeres arbeidet, og resultatene sammenfattes.

2 Teori

2.1 Teori bak sjokkmaskinen

Dette delkapittelet beskriver maskinens teoretiske virkemåte. Hvordan maskinen opereres ser vi nærmere på i del 3.3.

Et mekanisk sjokk er en ikke-periodisk eksitasjon (f.eks. en bevegelse av fundament eller en påført kraft) av et mekanisk system. Det kjennetegnes av å skje plutselig, være alvorlig og forårsaker vanligvis betydelige relative forskyvninger i systemet. (Harris & Piersol, 2002, 26.1)

En sjokktestmaskin er en mekanisk innretning som påfører et mekanisk sjokk på utstyret som testes. Det finnes mange ulike typer maskiner for sjokk og vibrasjonstesting. Hvilken maskin man tar i bruk kommer an på hva man skal teste, hva man ønsker å kartlegge og hvilke forhold komponenten skal utsettes for. Et påført sjokk har som regel til hensikt å simulere det miljøet komponenten senere skal brukes i.

Falltestmaskinen på Sjøkrigsskolen skiller seg ut fra lignende maskiner gjennom sin evne til å simulere et skrog som blir utsatt for en undervannseksplisjon, med to pulser. Maskinens dempere og fiksturplate er hovedvirkemidlene til dette, da fiksturplaten simulerer skroget, og demperne gir en tilnærming av vannets treghet.

Utgangsposisjonen er at loddet er løftet opp til ønsket fallhøyde. Når utløseren aktiveres frikobles loddet og faller i tilnærmet fritt fall frem til det treffer fiksturplaten. Loddets fallhastighet er uavhengig av massen. Friksjon i føringene og luftmotstand neglisjeres. Loddets potensielle energi er ved en gitt fallhøyde:

$$E_p = mgh \quad 2.1$$

Den potensielle energien før en hendelse er i henhold til bevaringslovene for energi lik den kinetiske energien etter hendelsen:

$$E_p = E_k \quad 2.2$$

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad 2.3$$

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 \quad 2.4$$

Loddets hastighet ved sammenstøtet kan derfor beskrives ved:

$$v = \sqrt{2gh} \quad 2.5$$

Energien avgitt til fiksturplaten i sammenstøtet beregnes ved:

$$W_{Net} = \frac{1}{2}mv_{etter}^2 - \frac{1}{2}mv_{før}^2 \quad 2.6$$

Sammenstøtet mellom loddet og fiksturplaten kan sies å være et tilnærmet elastisk støt. Loddet og fiksturplatenes fart etter sammenstøtet kan dermed beskrives ved bevaring av bevegelsesmengde:

hvis $m_{lodd} \gg m_{plate}$:

$$v_{lodd,1} = \frac{(m_{lodd} - m_{plate})}{(m_{lodd} + m_{plate})} v_{lodd,0} \approx \frac{m_{lodd}}{m_{lodd}} v_{lodd,0} = v_{lodd,0} \quad 2.7$$

$$v_{plate,1} = \frac{2m_{lodd}}{(m_{lodd} + m_{plate})} v_{lodd,0} \approx \frac{2m_{lodd}}{m_{lodd}} v_{lodd,0} = 2v_{lodd,0} \quad 2.8$$

$v_0 =$ før sammenstøt

$v_1 =$ etter sammenstøt

Sjokk kan oppstå i flere former med ulike akselerasjons-, farts, og forflytningsforløp.

Matematisk kan forløpene uttrykkes ved:

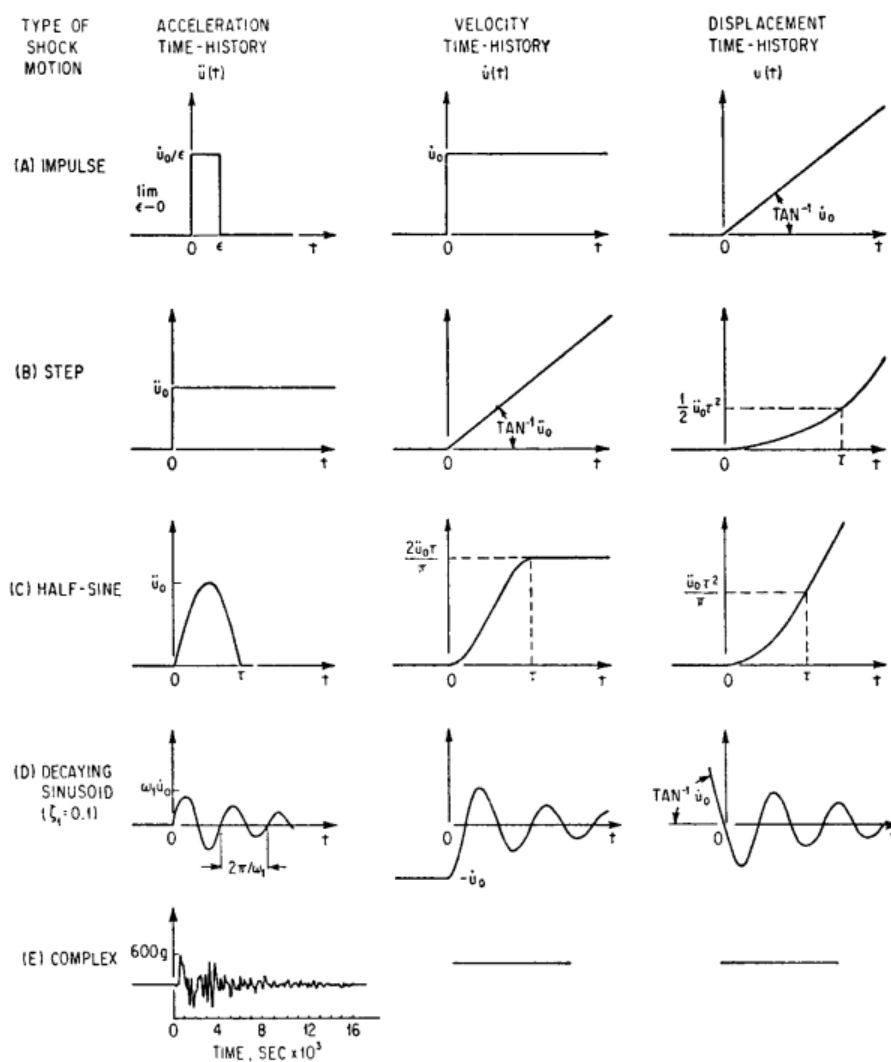
$$u(t) = \dot{u}_0 t \quad [t > 0] \tag{2.9}$$

$$\dot{u}(t) = \dot{u}_0 \quad [t > 0] \tag{2.10}$$

$$\ddot{u}(t) = \dot{u}_0 \delta(t) \tag{2.11}$$

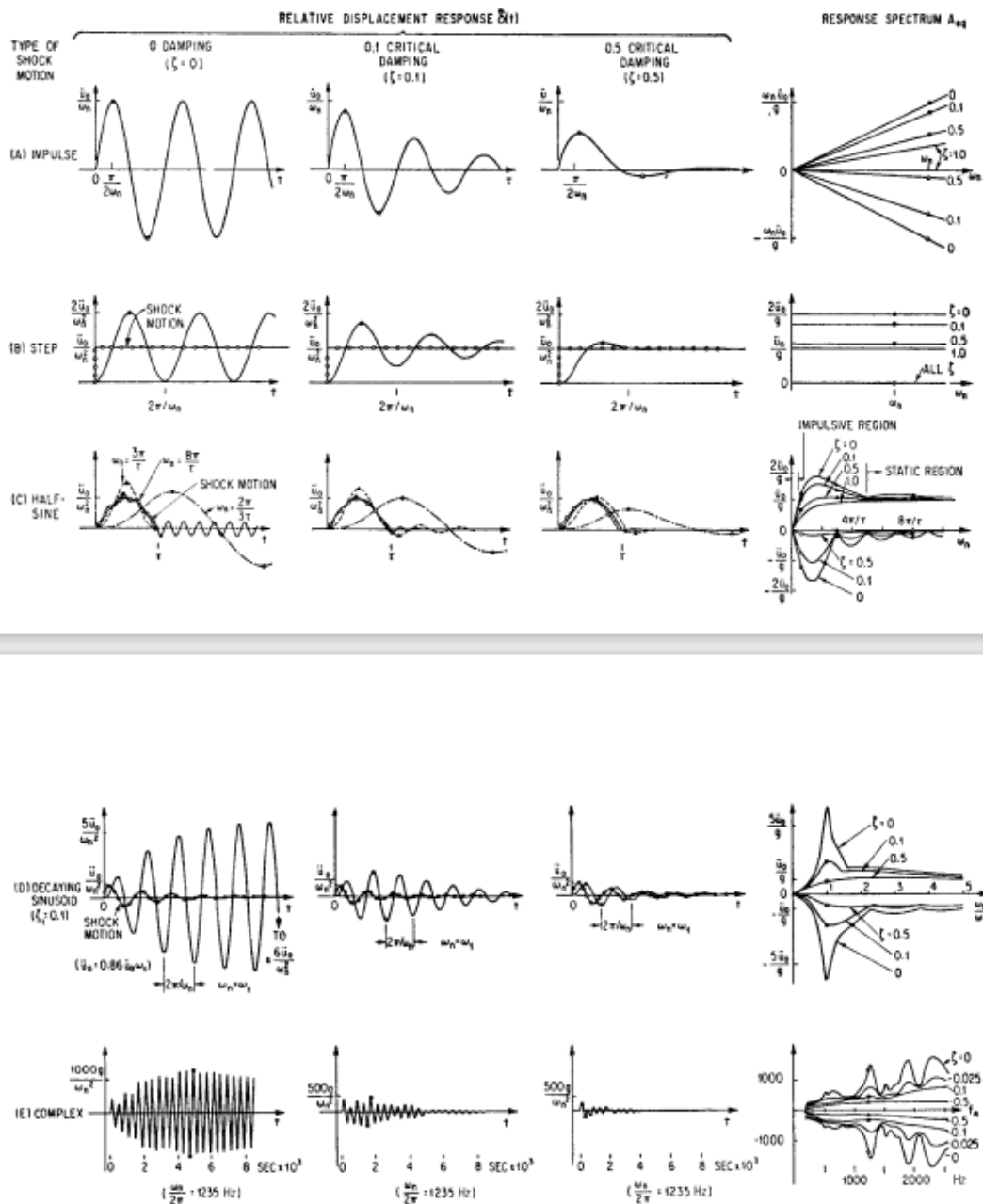
2.2 Ulike typer sjokk og sjokkrespons

Illustrasjonen under viser en skjematisk fremstilling av fem ulike sjokkforløp.



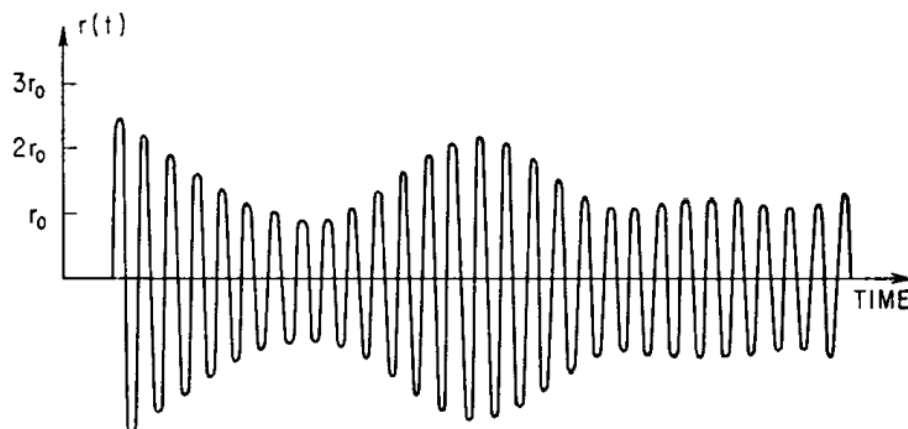
Figur 2.1- Illustrasjon av ulike typer sjokk. (Harris & Piersol, 2002, 23.4)

Systemets respons på et sjokk kan uttrykkes som et tidsforløp av parametere som beskriver sjokkets bevegelser, dette kalles sjokkresponsspekter. De viktigste parameterne, som alle kan bestemmes direkte fra målinger er: absolutt forflytning, relativ forflytning, absolutt fart, relativ fart og absolutt akselerasjon. (Harris & Piersol, 2002, 23.12)



Figur 2.2 - Viser systemets respons på de ulike sjokkene i figur 2.1. (Harris & Piersol, 2002, 23.4)

Enkle strukturer med lite damping, som er utsatt for oscillerende sjokk er ofte sinusformet ved strukturens naturlige frekvens. Utviklingen av den oscillerende responsen varierer relativt sakte som vist i figur 2.3. (Harris & Piersol, 2002, 23.16)



Figur 2.3 - Eksempel oscillerende sjokkrespons. (Harris & Piersol, 2002, 23.13)

Teoretisk beregning av sjokkrespons er meget komplekst. Det er vanskelig å avgjøre korrelasjon mellom målte resultater og teoretiske beregninger ved å sammenligne tidsforløp, da beregningene krever at alle faktorer tas hensyn til. Oppnåelse av samsvarende sjokk-karakteristikk er dog meget viktig, da det sier noe om evnen til å gjenskape de faktiske sjokkforholdene utstyret utsettes for. Dersom sjokk-karakteristikken og alvorlighetsgraden er samsvarende, er ikke de nøyaktige forholdene avgjørende sett opp mot testens suksess. (Harris & Piersol, 2002)

2.3 Sjokkmaskinens virkemåte

Delkapittelet omfatter maskinens sentrale komponenter og hvordan sjokkmaskinen opereres i praksis.

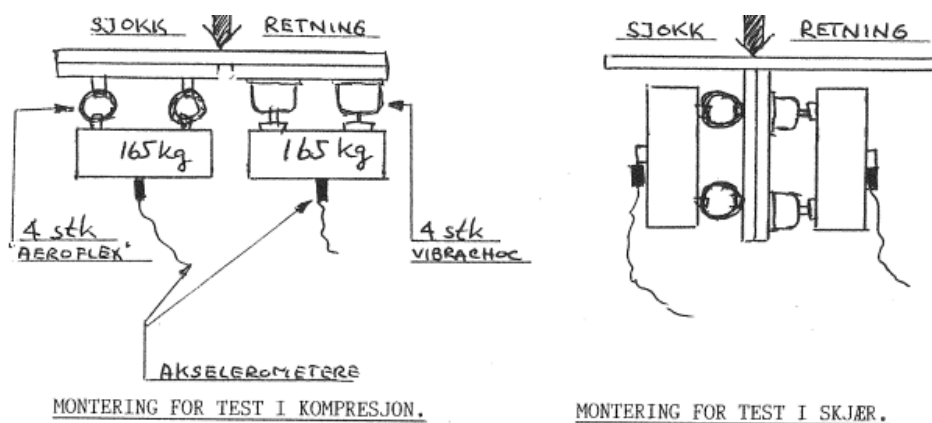
For å øke sikkerheten rundt bruken av sjokkmaskinen ble det gjennomført en risikovurdering av prosessen. Det ble da etablert en trinnvis prosedyre, som har til hensikt å minimere sannsynlighet for menneskelige feil. Prosedyren ligger vedlagt i sin helhet som Vedlegg A.

Loddet løftes til ønsket fallhøyde av et hydraulisk stempel drevet av en hydraulikkpumpe. Når loddet er i posisjon, utløses loddet med to pneumatiske ventiler, som må aktiveres samtidig. Ventilene åpner den pneumatiske koblingen, slik at loddet faller mot fiksturplaten. Under fallet sikrer maskinens fire ruller at loddet faller sentrert.

Lufttilførselen til låsemekanismen mellom loddet og fiksturplaten går via to pneumatiske ventiler med rullespak. Ventilene åpner når loddet og fiksturplaten kommer i kontakt med hverandre, fordi rullen blir tvunget i åpen posisjon av platen. Ventilenes hensikt er ikke bekreftet, men det gir ikke mening at de er en sikkerhetsfunksjon, da de ikke kan forhindre at fiksturplaten slippes utilsiktet. Vi antar derfor at deres funksjon er å låse fiksturplaten fast til loddet underveis i fallet. Dette gir mening da låsemekanismen er utstyr med en pneumatisk akkumulator, for å kunne operere svært hurtig. På den andre siden er det usikkert om den er hurtig nok, ettersom kontakten mellom loddet og fiksturplaten kun varer i få millisekund.

Undersiden av fiksturplaten er dekket av M16 innvendige gjenger med 100mm avstand senter-senter. Hensikten med konstruksjonen er å muliggjøre en rekke innfestingsmetoder av sjokkrikk, uten å ødelegge fiksturplatens mekaniske egenskaper av betydelig grad. Begrensende mål for rigginnfestning er 1000x1000mm senter-senter.

Hvordan riggen festes i fiksturplaten er avhengig av hvilke mekaniske egenskaper som testes.



Figur 2.4 - Illustrasjonen viser innfestingsmetode for test i kompresjon og skjær. (Heradstveit, 1985)

3 Forskningsdesign

Kartlegging av sjokkmaskinens karakteristikk ble i stor grad gjort gjennom analyse av forsøk. Sentrale hjelpemiddel var oscilloskop, høyhastighetskamera, forsterker og akselerometer. Kapittelet viser måleapparatenes virkemåte og hvordan data ble avlest.



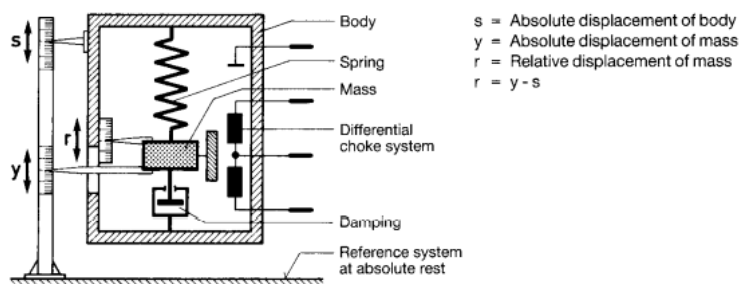
Figur 3.1 – Oppsett på maskinlab

3.1 Akselerometerets oppsett

3.1.1 Akselerometer

Oppgaven baserer seg på å benytte tilgjengelig utstyr på skolen. Ved nærmere undersøkelser viste det seg at skolen hadde et utvalg av akselerometer liggende. Akselerometrene på skolen baserer seg på forskjellig teknologi og har ulike målområder. Felles for alle er at det kreves signalbehandlingsutstyr mellom akselerometeret og avlesningsutstyret. Signalbehandlingsutstyret som var tilgjengelig samsvarte kun med teknologien som benyttes av HBM B12/2000 akselerometeret. Valget falt derfor på å bruke dette til tross for manglende dokumentasjon og et målområde større enn ønskelig.

Prinsippet bak B12 baserer seg på seismisk vibrasjon, i langsgående retning. Akselerometeret sender ut et elektrisk signal (mV) via en spole, som kommer av posisjonsendring til den innfestede massen i akselerometerhuset. Massens relative posisjonsendring er proporsjonal med akselerasjonen. (Hottinger Baldwin Messtechnik, 2000, s.13)



Figur 3.2 – Prinsippskisse B12 Akselerometer (HBM, 2000, s. 13)



Figur 3.3 - Flattjernfeste for akselerometer og template tracker

B12/2000 akselerometer avhenger av en forsterker, for å kunne sende ut signal. Spolene i akselerometeret danner en induktiv halvbro, men akselerometeret kan ikke danne Wheatstone-bro, som er nødvendig for signaldannelse. Wheatstone-broen er balansert når massens posisjon er uendret, men blir ubalansert av massens posisjonsendring. Den målte endringen i broen er proporsjonal med massens posisjonsending og derfor også akselerasjonen. (Hottinger Baldwin Messtechnik, 2000, s.13)

3.1.2 Signalforsterker

Forsterkeren brukt med vårt akselerometer var av type HBM KWS 3073. Forsterkeren sender ut et 5V signal med frekvens på 5KhZ til vårt akselerometer. Når spolene fra forsterkeren kobles sammen med akselerometeret dannes en Wheatstone-bro, som gir signal. Dokumentasjonen til forsterkeren er utilgjengelig. Bildet under viser hvilke innstillinger som ble bruk til å få tilfredsstillende signaler til oscilloskopet.



Figur 3.4 – Forsterkerinnstillingene under forsøkene

3.1.3 Oscilloskop

Oscilloskopet som ble benyttet var av type Tektronix TDS 210. Hensikten med oscilloskopet er å lese av signalene som blir sendt fra akselerometeret og forsterkeren. Metoden vi brukte for å lese av signalene ved selve sjokket var å aktivere en bildefrysingsfunksjon (Trigger), som ble utløst når signalet overgikk en gitt grense. Hvordan vi brukte og leste av datasett fra oscilloskopet kan leses mer om i kapittel 5.3.

3.2 Kameraoppsett

3.2.1 Kamera

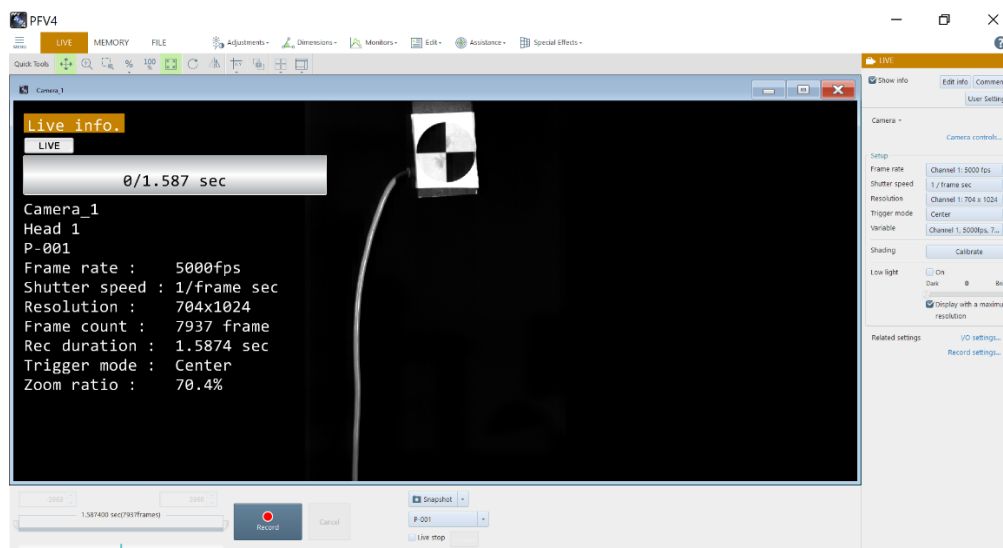
Høyhastighetskameraet er av typen Photron Fastcam SA1.1. Sjøkkmaskinen står på et eget forsterket fundament i gulvet som er fysisk adskilt fra resten av gulvet. Kameraet var under forsøkene montert på et trefot kamerastativ plassert utenfor dette fundamentet, for å redusere forplantninger av vibrasjoner fra sjokkmaskinen til kameraet via gulvet.



Figur 3.5 - Illustrasjon av kameraets oppsett under forsøkene.

3.2.2 Photron Fastcam Viewer (PFV)

Kameraet opereres ved hjelp av den tilhørende programvaren Photron Fastcam Viewer installert på en tilkoblet pc. Kameraet har en maksimal oppløsning på 1024 x 1024 piksler og en maksimal bildefrekvens på 675 000 bilder i sekundet. Kombinasjon av oppløsning og bildefrekvens begrenses av skrivehastigheten til det interne minnet i kameraet som har en kapasitet på omtrent 700 MB/s noe som tilsvarer 5400 fps v/1024x1024 piksler oppløsning. Opptakets maksimale varighet begrenses av kapasiteten til kameraets interne minne og er på omtrent 1 sekund ved maks bildefrekvens versus oppløsning.



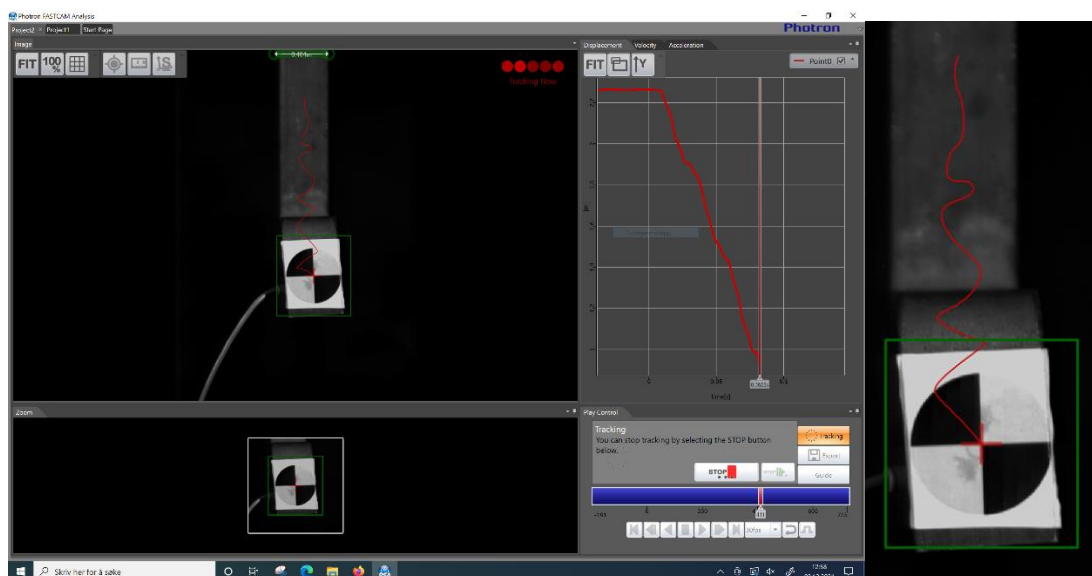
Figur 3.6 - Illustrasjonsbilde PFV

3.2.3 Photron Fastcam Analysis (PFA)

For å analysere opptakene har vi brukt programvaren Photron Fastcam Analysis, som automatisk kan spore objekters bevegelse ved hjelp enten template trackers eller masse-senter. Template trackers ble benyttet, da Photron anbefaler den metoden for objekter som ikke roterer. (Photron, 2017)

Hvert bilde representerer et datapunkt med trackerens koordinater og tidsforløp. Ved å gi programvaren en kjent lengde, kan antall millimeter per piksel beregnes. Husk at kameraets posisjon ikke kan endres dersom forholdstallet brukes. Basert på forflytning per tid beregnes objektets hastighet og akselerasjon i hhv. mm/s og mm/s². Dataene kan leses av som en graf i selve programmet eller eksporteres som et datasett. Nøyaktigheten til trackerens posisjon er begrenset til størrelsen av en piksel. Økt avstand mellom pikslene gir større feilmargin. Pikseltetthet måles i Pixels Per Inch (PPI), og bestemmes av kameraets oppløsning og avstand til objektet. For å få minst mulig feilmargin ble det benyttet maksimal oppløsning kombinert med liten avstand mellom kameraet og maskinen. Feilmarginen på posisjonsavlesningen under forsøkene er +/- 0,5 multiplisert med pikselstørrelsen.

Forsøkene er filmet med 704x1024 oppløsning, på et 180 x 260 mm område. Pikselstørrelsen er 0,2557 mm, som gir +/- 0,128 mm feilmargin.



Figur 3.7 - Illustrasjonsbilde tracking i PFA

3.2.4 Kamera-innstillinger

Ved valg av kamerainnstillinger er bildefrekvens og lukkertid viktigst. Øvrige innstillingene settes ut ifra disse. Forskjellige innstillinger ble testet, for å avgjøre hvilke som gav de beste resultatene. Følgende innstillinger ble brukt under forsøkene:

- Bildefrekvens: 5000 FPS
- Lukkertid: 1/5000
- Oppløsning: 704 x 1024
- Utløser: S/W Trigger, Center
- Objektiv: Nikon 24-85 mm 1:2,8 - 4
- Zoom: 85 mm
- Blønder: 1:4
- Ekstern belysning: 2 stk. kraftige LED-lamper

Bildefrekvens og lukkertid fra innstillingene over var tilstrekkelig for å få nok datapunkter og unngå bevegelsesuskarphet. Oppløsningen ble satt lavere enn maksimalt, fordi det ikke var nødvendig å ha med alle pikslene i bredden. Utløseren er en programvareutløser integrert i PFV, som utløser på endringer i hvitbalansen sammenlignet med referansebilder tatt i forkant. Center innstillingen betyr at tidspunktet utløseren aktiveres vil være i midten av det lagrede opptaket. Den eksterne belysningen ble satt opp på 2-3 meter avstand for å belyse et passe stort område og med 45 graders vinkel for å unngå gjenskin.

3.2.5 Analyse av data

Datasettet PFA plotter kan vises som grafer direkte i programmet, eller eksporteres til eksterne program. Grafene ble vurdert i PFA, Geogebra og Excel, der Excel ble valgt grunnet programmets fleksibilitet.

En svakhet med metoden er dens evne til å bestemme posisjonen nøyaktig. Hastighet-tid og akselerasjon-tid grafene påvirkes mest av dette. Eksempelet under forklarer hvorfor.

3.2.5.1 Eksempel

En gjenstand faller vertikalt i konstant hastighet, og blir analysert i FPA med template tracker. Fra første til andre bilde beveger trackeren seg en piksel, mens den fra bilde to til tre beveger seg mindre enn en halv piksel. FPA tyder da at gjenstanden ikke har beveget seg. Dersom FPA kalkulerer hastigheten til gjenstanden, vil den måle høy hastighet fra bilde en til to, mens hastigheten vil være null fra bilde to til tre. FPA bruker det upresise posisjon-tid datasettet videre til å derivere gjenstandens hastighet og akselerasjon. Resultatet blir da at FPA tror akselerasjonen og hastigheten endrer seg, men realiteten er at akselerasjonen er null, og hastigheten konstant.

3.2.6 Behandling av data

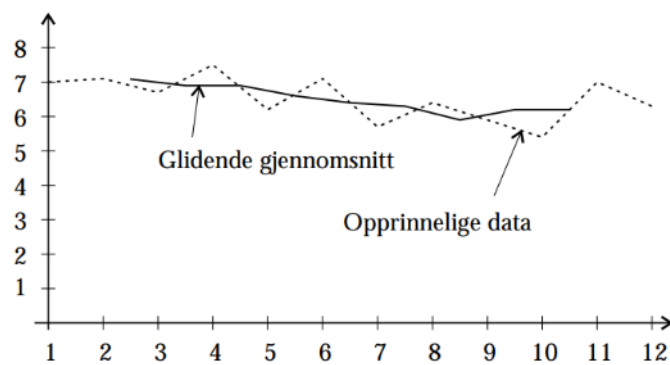
Som illustrert i eksempelet ovenfor vil farts- og spesielt akselerasjonskurvene kunne inneholde relativt store feilaktige utslag. Konsekvensene er at det blir vanskelig å avgjøre trenden i datamaterialet. Det finnes forskjellige metoder å forenkle dataene, hvorav regresjon og glidende gjennomsnitt ble metodene vi målte opp mot hverandre.

Regresjon i Excel resulterte i et justert R-kvadrat på 0.74. Resultatet viser manglende korrelasjonen mellom grafen og regresjonen, da vinklene mellom regresjonen og grafen er for stor. Regresjonen viste heller ikke trenden på en god visuell måte.

Glidende gjennomsnitt beregnes ved å ta middelverdien av et visst antall datapunkter i et tidsrom. Det første gjennomsnittet starter ved det første datapunktet, det andre gjennomsnittet starter ved det andre datapunktet osv. Antall datapunkt det tas gjennomsnitt kan variere. Det er viktig at svingningene i det opprinnelige datasettet blir redusert til en tydelig trend, samtidig som datasettets viktige detaljer ikke blir fjernet.

Metoden justerer unaturlige amplituder, og bidrar til glattere kurver. På den andre siden medfører metoden økt sannsynlighet for feilaktig avskjæring av sentrale data, da det er mulig at toppunkt i akselerasjon blir fjernet.

Glidende gjennomsnitt ble valgt til fremvisning av data. Opprinnelige rådata er også presentert, for å vise viktige toppunkt i lag med trender.



Figur 3.8 - Illustrasjon glidende gjennomsnitt (Lysø, 2003)

4 Resultater og analyse

Vi har i bachelorperioden gjort oss kjent med sjokkmaskinen på Sjøkrigsskolen. Gjennom perioden har mange praktiske problemer blitt fikset, mens andre problemer ikke lot seg løse. I resultat delen kommentarers funn som ble gjort i det praktiske arbeidet, etterfulgt av tekniske data.

4.1 Status sjokkmaskin

I starten av arbeidet var det ikke fysisk mulig å operere sjokkmaskinen. Systemet manglet slanger, ventiler og generelt vedlikehold. Nye komponenter ble anskaffet, hydraulikksylindren smurt, rust ble fjernet og grove målinger av maskinens oppretting ble gjennomført.

Tidligere erfaringer viste hvor store påkjenninger sjokktesting har hatt på maskinlabens gulv. For å hindre videre oppsprekking av gulvet ble maskinens fundament isolert fra resten av gulvet, ved å slipe et kvadrat rundt maskinen.

Den hydrauliske sylindren fungerte ikke optimalt da hydraulikken først ble startet opp. Grunnet mindre rustbelegg gled ikke sylindren jevnt, og hydraulikkpumpen jobbet hardt og ujevnt.

Ved fjerning av rust fra sylindere er det viktig å tenke på at overflateruheten og dens toleranser. Sylindren må behandles fint, og ikke pusses med smergel. Sylindren ble oljet ned og pusset forsiktig med en ren fille. Etter fullført rengjøring ble en oljefilm lagt på sylindren. Både sylindren og hydraulikkpumpen gikk mye finere neste dag.

Loddet er ikke sentrert i forhold til resten av maskinen. Observasjonen ble gjort ved visuell kontroll av maskinens ruller. Rullen nærmest hydraulikkpumpen bevegde seg ikke fritt, grunnet manglende klaring. En annen observasjon som underbygger påstanden, er forskjellig avstand fra lodd til fiksturplate når loddet er i fallposisjon. Etter gjentatte mål fra hvert hjørne av loddet før utført forsøk, var det alltid 5mm mindre klaring ved hjørnet nærmest hydraulikkpumpen. Årsaken er trolig friksjon mellom rullen og sylindren. Feilen kunne ikke repareres enkelt, det ble derfor besluttet at forsøkene gjennomføres uten utbedring.

I kapittel 3.1 ble de pneumatiske ventilene med rullepak omtalt. Ved gjennomførelse av forsøket med opprinnelige rulleventilene, holdt ikke loddet og fiksturplaten sammen

grunnet lekkasjer. Det ble derfor besluttet å bytte dem ut med nye ventiler. De nye ventilene fjernet lekkasjer, men trykkfallet i rørene var sannsynligvis for stort til at låsemekanismen lot seg operere. Forsøkene ble derfor gjennomført uten ventilene. Låsemekanismen fungerte da tilfredsstillende.

4.2 Utførelse av forsøk

Forsøkene ble gjennomført med tre ulike fallhøyder, 100 mm, 200 mm og 300mm. Fallhøyden har ± 5 mm toleranse, målt fra sylindren nærmest hydraulikkpumpen. Med 100 mm fallhøyde ble det gjennomført to forsøk, for å vurdere maskinen og kameraets evne til å presentere konsistente data. Et av forsøkene fra 100 mm ble gjennomført kun med akselerometer, de øvrige ble gjennomført med både høyhastighetskamera og akselerometer.

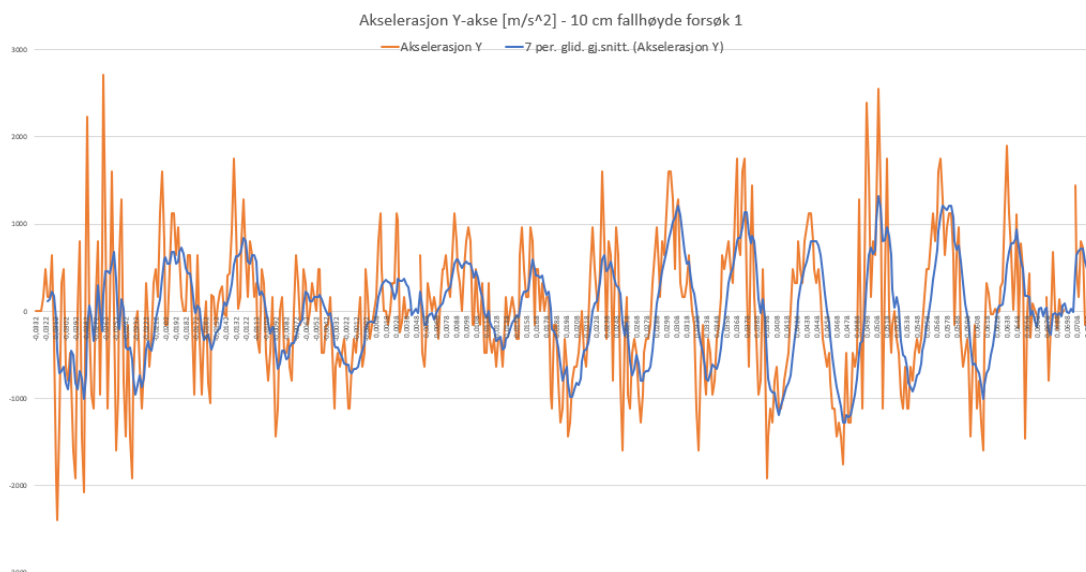
Akselerometerets rolle i forsøkene er å verifisere hvorvidt kameraet presenterer datasettet korrekt og evaluere forsøkernes likhet.

Deler som testes i sjokkmaskinen skal festet i en fastmontert rigg i fiksturplaten. For å simulere virkningen av rigg, ble det benyttet konstruksjonsståls-feste til akselerometer og template-tracker. Hensikten med festeanordningen er å gjøre forsøket virkelighetsnært. Dersom målinger av fiksturplaten blir gjennomført uten rigg, vil ikke resultere ta hensyn til innfestningens svingninger, egenfrekvens og demping.

4.3 Kamera resultater

Datasettene fra PFA er importert til Excel, for å lage diagrammer som gir bedre visuell presentasjon av dataene. Datasettene i sin helhet ligger vedlagt. Resultatene fokuserer kun på dataene i y-aksen da det er her verdiene er størst. Tidsintervallet er fra første sammenstøt til trackeren forsvinner ut av bildet, omtrent 13 cm forflytning. Intervallet avhenger av fallhøyden, fordi økt fallhøyde gir økt hastighet. Målet beveger seg i negativ y-retning i koordinatsystemet. Negative akselerasjonsverdier vil derfor bidra til fartsøkning.

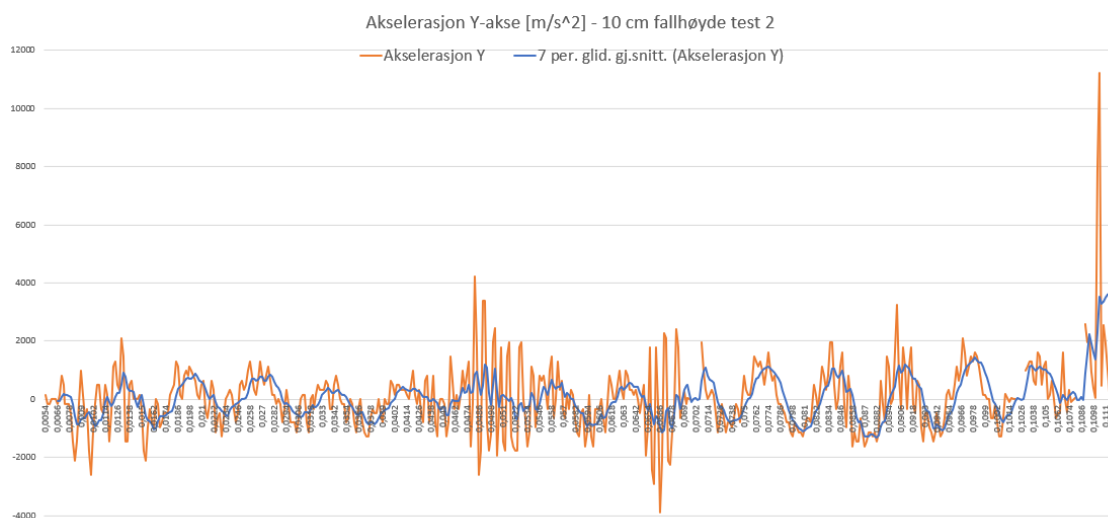
4.3.1 100 mm fallhøyde - forsøk 1



Figur 4.1 - Diagram for absolutt akselerasjon ved 100mm fallhøyde - forsøk 1

Sammenstøtet inntreffer ved $t=-0,32$. I sammenstøtet er det Amplituder på over 2000 m/s^2 og glidende gjennomsnitt på 900 m/s^2 . På grunn av analyseverktøyets tidligere nevnte virkemåte, er maksimal akselerasjon sannsynligvis lavere enn amplitudene gir uttrykk for. Videre vises oppbremsing, etterfulgt av at flattjernet begynner å svinge med egenfrekvensen. Fra omtrent midt i diagrammet tiltar akselerasjonsverdiene. Økningen skjer trolig fordi defleksjonen øker samtidig som jernet svinger med den samme frekvensen, noe som fører til hurtigere fartsendringer.

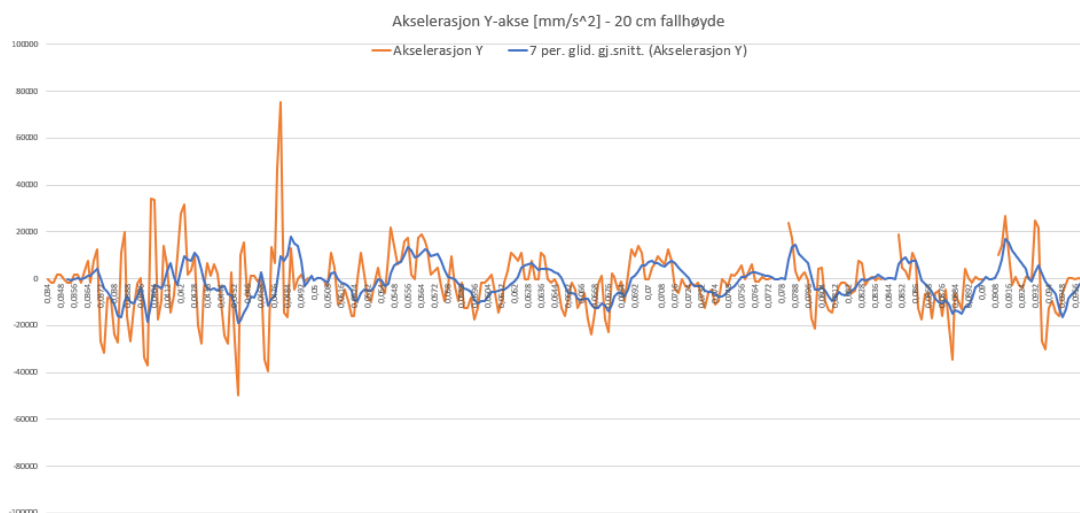
4.3.2 100 mm fallhøyde - forsøk 2



Figur 4.2 - Diagram for absolutt akselerasjon ved 100 mm fallhøyde - forsøk 2

Sammenstøtet inntreffer ved $t = 0,082$. De store utslagene midt i diagrammet er uforventet og nærmere inspeksjon av videoen gir ingen forklaring på hvorfor utslagene forekommer. Signalene tolkes derfor som støy. Akselerasjonsverdiene øker i andre halvdel, slik som i forsøk 1. Den siste høye positive amplituden er støy.

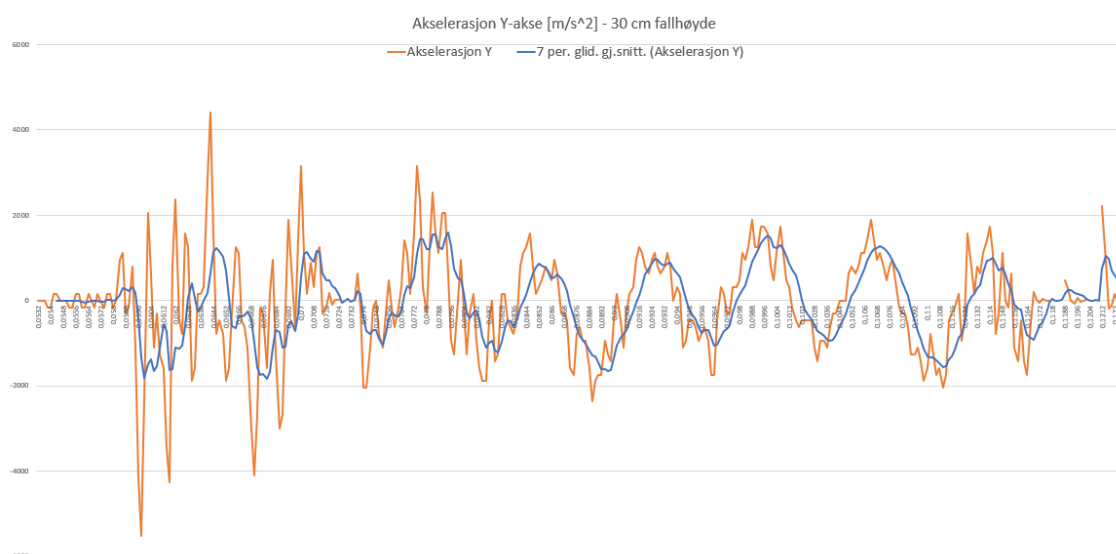
4.3.3 200 mm fallhøyde



Figur 4.3 - Diagram for absolutt akselerasjon ved 200 mm fallhøyde

Sammenstøtet inntreffer ved $t = 0,037$. I sammenstøtet er det Amplituder på over 3000 m/s^2 og glidende gjennomsnitt på 1600 m/s^2 . Omtrent 50 % økning sammenlignet med forsøkene med 100mm fallhøyde. Akselerasjonene avtar noe etter sammenstøtet og flat-tjernet fortsetter å svinge med egenfrekvensen. Trenden med økende akselerasjonen I andre halvdel er mindre tydelig, bortimot fraværende. Den siste negative amplituden er støy.

4.3.4 300 mm fallhøyde



Figur 4.4 - Diagram for absolutt akselerasjon ved 300mm fallhøyde.

Sammenstøtet inntreffer ved $t = 0,0592$. Amplituder på over 4000 m/s^2 i sammenstøtet. Akselerasjonene avtar noe etter sammenstøtet og flattjernet fortsetter å svinge med egenfrekvensen.

4.4 Akselerometer resultater

Resultatene fra akselerometermålingene viser relativ signalendring fra forsøk til forsøk avlest fra oscilloskop, der forholdet mellom inngangssignalet i volt og akselerasjon er proporsjonalt. Ved å avlese akselerometerets sensitivitet fra datablad kan man regne om signalet fra volt til antall g. Omregningen gjøres ved å multiplisere inngangssignalet (mV) med den inverse sensitiviteten (mV/g).

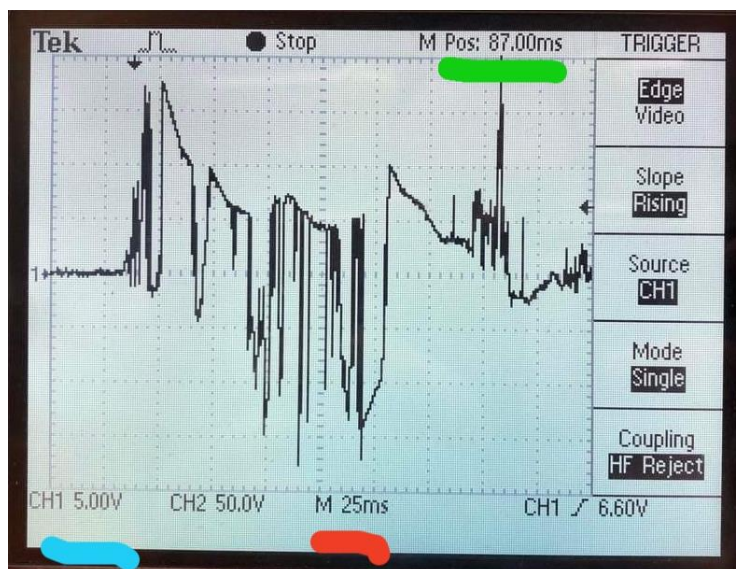
$$mV * \frac{1}{mV/g} = g \quad 4.1$$

Databladet til B12/2000 akselerometer var ikke tilgjengelig, men sensitiviteten kan likevel finnes ved å utsette akselerometeret for en kjent akselerasjon, og kalkulere forholdstallet mellom akselerasjonen og avlest signal. Metoden kan brukes uten andre hjelpemidler, ved å rotere akselerometeret 180° i planet det måles i. Endringen i akselerasjon blir da $2g$, siden akselerometeret måler $-1g$ ved 0° og $1g$ ved 180° . Akselerometerets følsomhet var ikke fin nok til å detektere endringen, og andre hjelpemidler var utenfor budsjettets

rammer. Det ble besluttet å bruke datasettet fra oscilloskopet til å analysere hvordan akselerasjonen endret seg relativt mellom forsøkene, uten å vite hvor stor akselerasjonen er.

4.4.1 Hvordan lese av oscilloskopet

Under presenteres bilder av oscilloskopet, med tilhørende analyse. Kommentarene under det første bildet er mer detaljert, for å skape felles forståelse rundt parameterne betydning.



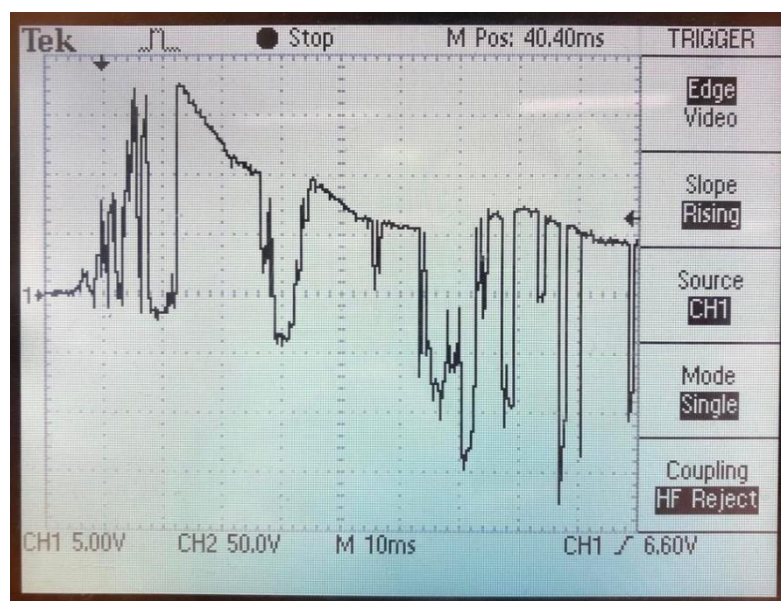
Figur 4.5 – Oscilloskopavlesning 100mm test 1

Den blå markøren viser hvor mange volt det er mellom hver rute i y-retning, den røde viser antall millisekund i x-retning og den grønne viser hvor mange millisekund etter triggeren bildet er sentrert.

Triggerfunksjonen på oscilloskopet ble stilt inn slik at bildefrysningen startet når signalet oversteg 7V. Pilen i det venstre hjørnet markerer når triggeren ble utløst, altså Mpos sitt nullpunkt.

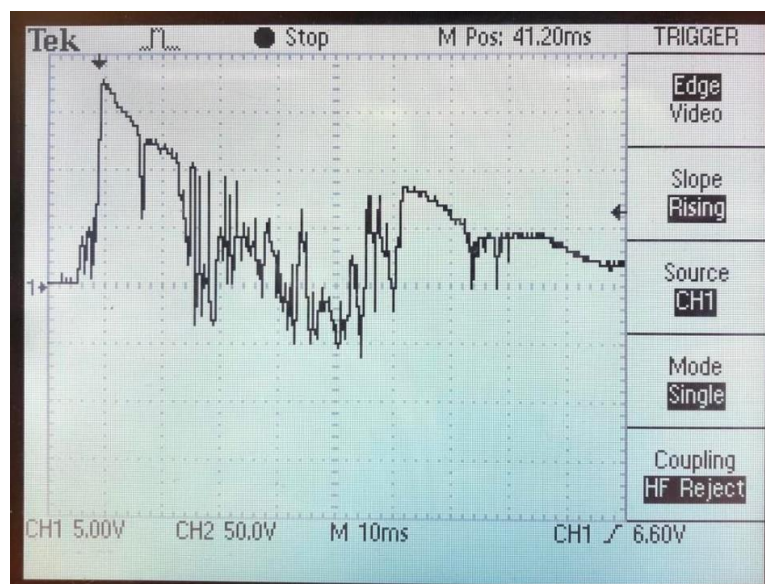
Videre forklares området som blir kommentert ved å angi posisjonens MPos, altså hvor mange millisekund etter triggeren fenomenet oppsto.

4.4.2 Analyse av signaler



Figur 4.6 - Oscilloskopavlesning 100mm test 1

I bildet over vises akselerasjonene som oppsto de første 90ms etter MPos. Utslagene kommer mest sannsynlig ikke av kontakt mellom loddet og fiksturplaten, men fra vibrasjoner videreført etter utløsning (tidligere nevnt i kapittel 5.1). Hypotesen ble testet ved å sammenligne utslagene fra 100mm til 200mm fallhøyde. Hypotesen stemmer hvis signalet ikke endres markant, fordi signalene fra sammenstøt ville hatt stor økning.



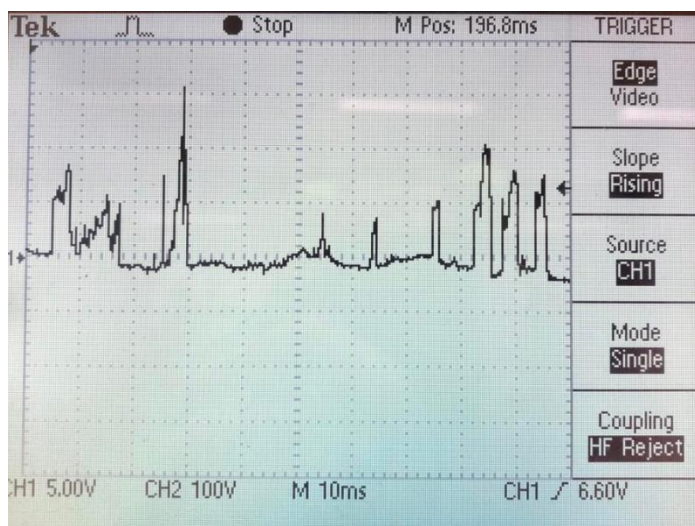
Figur 4.7 - Oscilloskopavlesning 200mm

Det høyeste signalet fra Figur 4.6 er 17,5 V sammenlignet med 17,5 V signal fra Figur 4.7. Hypotesen er korrekt.

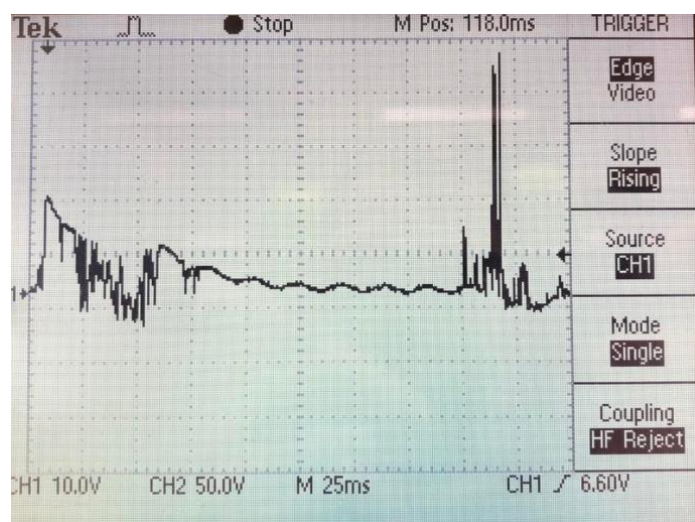
4.4.3 Akselerasjon-økning versus fallhøyde

I denne delen blir akselerasjon-økningen sett opp mot fallhøyden. Kabelen som var tilkoblet akselerometeret tålte ikke sjokket fra 300mm. Sammenligningen begrenses derfor til forsøkene fra 100mm og 200mm.

Bildet under viser resultatet fra 100mm test 1, der det høyeste signalet var 16 V.



Figur 4.8 - Oscilloskopavlesning 100 mm forsøk 1



Figur 4.9 - Oscilloskopavlesning 200mm

Bildet over viser toppunktet fra 200mm testen. Her er det høyeste signalet 47 V. Akselerasjon-økningen fra 100mm test 1 til 200mm er 193.75%. Økningen er ikke fast fra forsøk til forsøk, grunnet inkonsistente akselerasjonstopper.

5 Drøfting

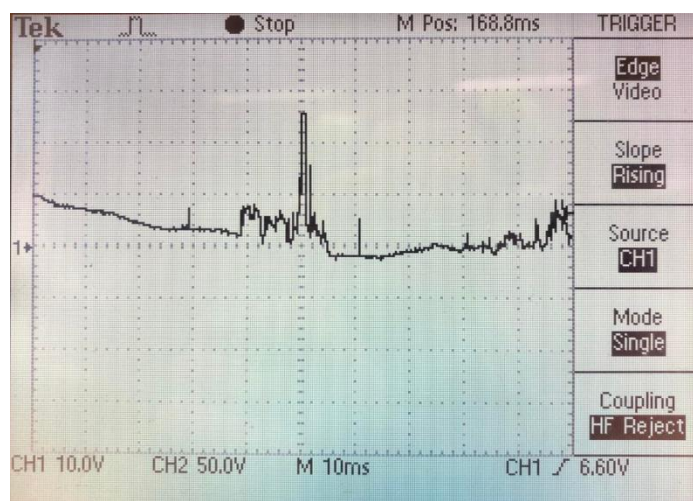
5.1 Klarer sjokkmaskinen å gjenskape forsøk på en konsistent måte?

Spørsmålet besvares ved å studere signalene avlest fra oscilloskop og visuelle funn i gjennomgang av kameraopptak. Målingene fra kamera blir ikke diskutert her, grunnet manglende bevis for metodens troverdighet.

5.1.1 Analyse av sjokkmaskinens evne til å gjenskape konsistente akselerasjonstopper

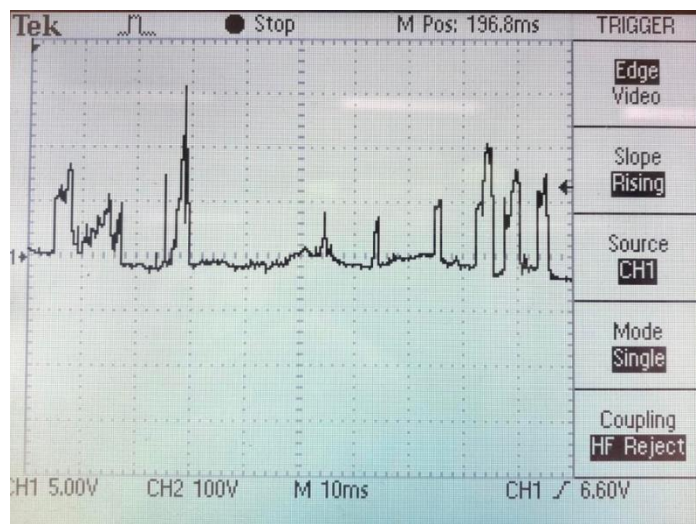
I denne delen skal sjokkmaskinens evne til å gjenskape konsistente akselerasjonstopper evalueres. For å teste maskinen ble det gjennomført to forsøk fra 100mm, der likhet i gjennomførelsen av forsøkene ble vektet høyt.

Kvalitetssikring av testenes troverdighet ble gjennomført ved å måle differansen mellom vibrasjonene de første 90ms etter Mpos. Vibrasjonene som ble målt i kapittel 5.3.2 viste likhet mellom forsøkene. Det ble målt 1% endring fra test 1 til 2, dermed godkjennes testen.



Figur 5.1 – Oscilloskopavlesning 100mm forsøk 1

Toppunktet som blir brukt er plassert i midten, 168ms etter Mpos. Signalet i toppunktet er 25 V.



Figur 5.2 - Oscilloskopavlesning 100mm forsøk 2

Toppunktet er to ruter til venstre for midten, 175ms etter Mpos. Signalet i toppunktet er 16 V.

Analyse basert på toppunktene avlest fra oscilloskop viser at den absolutte akselerasjonsendringen fra test 1 til test 2 er 36%. Endringen er svært stor, og viser at sjokkmaskinen ikke evner å reproducere konsistente akselerasjonstopper.

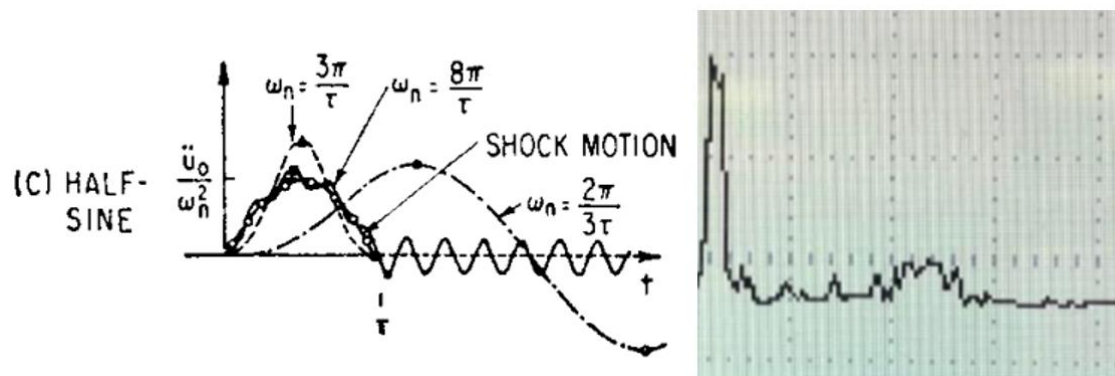
5.1.2 Visuell likhet mellom forsøkene

Studie av opptak i sakte film bidro til funn tilknyttet sjokkmaskinens evne til å gjenskape forsøk på en konsistent måte. Gjennomgang av videoer har vist at fiksturplaten spretter dobbelt i løpet av få millisekund etter første kontakt med loddet. Ved nærmere studie av fenomenet ble det observert at loddet ikke treffer hele platen samtidig, trolig grunnet friksjon mellom ruller og sylindere, og/eller skeivhet i fiksturplaten sine hvileposisjoner før sjokket. Loddet treffer alltid platen nærmest kameraet først.

Bevegelsen var dog ikke konsistent fra høyre til venstre side sett fra kameraet, da fiksturplaten og loddets første kontaktpunkt varierte. Dette er en viktig observasjon grunnet uregelmessigheten det skaper i platen sine svingninger. Observasjonen kan forklare hvorfor målingene av akselerasjonstopp varierer, siden forskjellig treffpunkt vil føre til at maksimal akselerasjon ikke vil skje i et fast punkt.

5.1.3 Hva er maskinens sjokk-karakteristikk?

Sjokkmaskiner har forskjellige sjokk-spekter de utsetter deler for. Det er viktig at sjokk-spekteret samsvarer med miljøet delen skal brukes i. Ved å sammenligne data fra oscilloskopet med kjente sjokk-mønstre fra teorien, kan maskinens sjokk-karakteristikk evalueres.



Figur 5.3 - Sammenligning av sjokkarakteristikk

(Harris & Piersol, 2002, 23.4)

Bildet til venstre viser halvsinus sjokk-spekter, mens bildet til høyre viser data fra forsøk. Likheten mellom bildene er stor, særlig når det kommer til halvsinus-signalet. Svingningene etter signalet viser egenfrekvensen til materialet. Ved å zoomme inn på oscilloskopet ble det observert at grafen gav uttrykk for egenfrekvensen til konstruksjonsstålet, men fine sinusbølger oppsto ikke før 15 ms etter sjokket.

Maskinen har halvsinus sjokk-spekter. Mønsteret passet bra, og andre sjokk-spekter fra teorien var ikke sammenlignbare med våre resultat.

Det ble funnet visuelle og tekniske uregelmessigheter under inspeksjon av sjokkforløpet, men maskinens sjokk-spekter endret seg ikke av nevneverdig grad. Konsistent sjokk-mønster er sentralt for sjokkmaskiner, fordi deler må testes med lignende sjokk-spekter som miljøet de opprinnelig befinner seg i. (Piersol, 2002, 26.2)

5.2 Er høyhastighetskamera gunstig å bruke som instrumentering ved sjokktesting?

Resultatene fra høyhastighetsopptakene er tvetydige. Forsøkene med 100 mm fallhøyde viser tydelige likhetstrekk i både amplitude og frekvens, men forsøk 2 har flere unaturlige

topper. Sammenligning med akselerometer-målingene viser at testenenes målte amplitude-likhet ikke er korrekt, da amplitude-endringen egentlig er 36%.

Ved utføring av sjokktesting bør ikke måleutstyret være avhengig av at forsøkene gjentas for å valideres. Når et enkelt forsøk gjennomføres vil store unaturlige utsalg lett kunne identifiseres, men støy nærliggende faktiske verdier vil være vanskeligere å identifisere, uten å gjennomføre forsøket på nytt.

Kameraets feilmargin etter avlesning i PFA er stor, men vanskelig å fastsette da det ikke foreligger sikre sammenlignbare målinger. På den andre siden gir bruk av kamera godt visuelt inntrykk av sjokkets forløp. Ved å sammenligne opptakene med data fra andre måleinstrumenter kan kameraet forklare uforventede resultater, eller fastsette tidsforløpet mellom hendelser i forsøket. Å ha muligheten til dette bør ikke undervurderes.

5.3 Videre bruk av sjokkmaskinen

Ved videre bruk av sjokkmaskinen anbefaler vi med bakgrunn i resultatene følgende utbedringer:

- Det er hensiktsmessig å anskaffe moderne måleutstyr, som kan tilkobles direkte i PC.
- Luftslanger bør byttes (særlig 6mm slangene).
- Maskinens oppretting bør sjekkes.
- Maskinen bør gjennomgå overhaling.
- Sammenligne maskinens sjokkspekter med sjokkspekter i STANAG 4142

6 Avslutning

Gjennom vår studie av Sjøkrigsskolens sjokkmaskin har vi gjort nødvendige utbedringer, studert og brukt relevante måleinstrumenter, kartlagt maskinens virkemåte og analysert resultater fra gjennomførte forsøk.

Arbeidet har ført til viktige funn tilknyttet maskinens karakteristikk. Sammenligning av forsøkene viste at fiksturplaten og loddet traff hverandre ulikt, maksimalt sjokk varierte i stor grad, og samsvarende vibrasjoner ble målt kort tid etter loddet ble sluppet. Tross mange observasjoner som antydte inkonsistens mellom forsøkene, ble sjokk-spekteret tilnærmet likt hver gjennomføring. Ved sjokktesting vurderes sjokkspekteret og sjokkets alvorlighetsgrad som de viktigste faktorene. Inkonsistens mellom forsøkene svekker altså nødvendigvis ikke maskinens evne til å gjennomføre gode sjokktester.

Høyhastighetskameraets nyttighetsgrad ble evaluert under forsøkene. Sammenligning med datasettet fra akselerometeret viste at grafene fra PFA hadde for stor feilmargin til å selvstendig bli brukt til akselerasjonsmåling. På den andre siden gav kameraet et godt visuelt inntrykk, som bidro til økt forståelse av sjokkforløpet. Kameraet forenkler avlesning fra andre måleinstrument, da tidsendringen i video kan sammenlignes med målinger, for å bekrefte hva som skjer ved utslag.

Hvorvidt høyhastighetskameraet er nyttig under sjokktesting er avhengig av anvendelsen av ressursen. Kameraet har stor nytte når det brukes som visuell støtte, men er unøyaktig dersom det selvstendig brukes til utregning av akselerasjoner.

Dersom oppgaven vekker interesse hos andre marineingeniører, syntes vi at en naturlig vei videre er sammenligning av maskinens sjokk-spekter med STANAG 4142, eller konstruksjon av fleksibel sjokkrigg.

Referanseliste

Hottinger Baldwin Messtechnik (2000) *Mounting Instructions, B12 Acceleration Transducer*, HBM

Hottinger Baldwin Messtechnik, *B12/200 & B12/500 Datasheet*, HBM

Photron (2021) *PFV4 User Manual Revision 2.03*, Photron.com

Photron (2020) *PFA Installation Manual*, Photron.com

Photorn (2017) *Webinar PFA Software Overview*,
<https://www.youtube.com/watch?v=Sg6XXt9W6AM>

Photron (2014) *SAE 1.1 Hardware Manual Revision 1.07E*, Photron.com

Heradstveit, B. O. (1985) *Sammenligning av demper egenskaper*, Sjøkrigsskolen

Harris, C. M., Piersol, A. G. (2002) *Harris`Shock and Vibration Handbook Fifth Edition*, New York, Chicago, San Fransisco, Lisbon, London, Madrid, Mexico City, Milan, New Dahli, San Juan, Seoul, Singapore, Sydney, Toronto: McGraw Hill

Lysø, K. O. (2003) *Matematiske sammenhenger: Statistikk og sannsynlighetsregning*
http://www.matemania.no/fordypning/pdf/statistikk_4_5.pdf

Vedlegg

- 6.1 Vedlegg A – Prosedyre for bruk av Sjøkkmaskin**
- 6.2 Vedlegg B – Datasett 100mm fallhøyde - forsøk 1**
- 6.3 Vedlegg C – Datasett 100 mm fallhøyde - forsøk 2**
- 6.4 Vedlegg D – Datasett 200 mm fallhøyde**
- 6.5 Vedlegg E – Datasett 300 mm fallhøyde**