

SIMLab – Structural Impact Laboratory

Faggruppa SIMLab består for tida av:

- 7 faste vitenskapelig ansatte: Vegard Aune, Tore Børvik, Arild Holm Clausen, Miguel Costas, Odd Sture Hopperstad, Magnus Langseth og David Morin
- 3 professor II (20% deltidsstilling): Cato Dørum, Ole Runar Myhr og Erling Østby
- Ca 15 PhD-kandidater
- Ca 10 postdoc/forskere

Forskningsfeltet til gruppa er oppførsel og modellering av materialer, komponenter og konstruksjoner utsatt for dynamisk last. Aktuelle materialer er metaller, polymerer og glass, samt til en viss grad betong og kompositter.

Vår rolle er å utvikle modeller og metoder som industrien kan benytte i sine prosjekter og i sin produktutvikling. Anvendelser er f.eks. beskyttelseskonstruksjoner, energiabsorbenter (bil, offshore), knutepunkter og bruer.

Nøkkelen for å modellere den makroskopiske responsen (deformasjon, brudd osv.) korrekt med elementmetoden er å forstå mekanismene på mikroskala. Dessuten bruker vi laboratoriet aktivt for å studere oppførselen til materialer og komponenter. Kort oppsummert kan vi si at SIMLab arbeider i skjæringspunktet mellom mekanikk, design/dimensjonering og materialteknologi.

Gruppa er vert for **CASA (Centre for Advanced Structural Analysis)**, som er en SFI (Senter for forskningsdrevet innovasjon) utpekt av NFR for perioden 2015-2023. SFI CASA har i alt 15 samarbeidspartnere fordelt på internasjonal og norsk industri samt offentlige institusjoner. Partnerne har sin virksomhet innenfor tre ulike forretningsområder:

- **Bil** (Audi, BMW, Honda, Toyota, Renault, Hydro, Benteler)
- **Konstruksjoner** (Multiconsult, Statens Vegvesen, Statoil, DNV GL)
- **Samfunnssikkerhet** (Forsvarsbygg, Nasjonal sikkerhetsmyndighet, Kommunal- og moderniseringsdepartementet)

Mer informasjon: www.ntnu.edu/casa/

Se også nyhetsbrevet vårt: www.sfi-casa.no

Og presentasjonsvideoen vår: www.youtube.com/watch?v=IuSJTPqWRkk

Videre har NFR tildelt gruppa (v/ Hopperstad, Børvik og Myhr) Toppforsk-prosjektet **FractAI (Microstructure-based Modelling of Ductile Fracture in Aluminium Alloys)**.

SIMLab er også involvert i prosjekter relatert til f.eks. ferjefri E39.

For masteroppgavene ved SIMLab vil det være en stor fordel at kandidaten har hatt SIMLab-prosjektet i høstsemesteret 2021, og disse studentene vil bli foretrukket hvis det er flere som er interessert i samme oppgave. Videre forventes det kompetanse tilsvarende TKT4197 Ikkelineære elementanalyser, og for en del av oppgavene er TKT4135 Materialmekanikk samt TKT4128 Støtmekanikk relevant.

Alle oppgavene vil inneholde et litteraturstudium og numeriske analyser, og mange vil i tillegg inkludere laboratoriearbeid. Det er ønskelig at studentene samarbeider to og to. **Ta kontakt med de respektive faglærerne for mer informasjon om oppgavene.**

For registrering av ønsket oppgave, gå til vår hjemmeside:

<http://www.ntnu.edu/web/casa/msc-studies>

Valgfrist er fredag 26. november.

Faglærer Vegard Aune

1. Eksplosjonsvirkning i lukkede rom

Det finnes allerede gode rammeverk og metoder for å bestemme eksplosjonslast når det er en viss avstand mellom konstruksjonen og selve detonasjonen. Dette er ikke tilfelle når eksplosjonen finner sted veldig tett opp mot eller inne i konstruksjonen. I slike tilfeller er det fortsatt stor usikkerhet knyttet til lastbildet og hvilke metoder som gir god representasjon av den faktiske belastningen på konstruksjonen. SIMLab og Forsvarsbygg ønsker derfor å se nærmere på denne problemstillingen ved å gjennomføre forsøk og avanserte numeriske beregninger. Forsøkene vil bli gjennomført i regi av Forsvarsbygg og numeriske simuleringer gjøres i egnet programvare (ABAQUS, LS-DYNA, eller lignende). Ulike beregningsmetoder skal prøves ut, sammenlignes og valideres.

Antall studenter: 2

Veiledere: Vegard Aune, Knut Ove Hauge (Forsvarsbygg) og Ole Vestrum (Forsvarsbygg)

2. Perforerte aluminiumsplater utsatt for eksplosjonslast

Til tross for at det finnes flere eksempler på bruk av plater med hull (perforeringer), så fokuserer tidligere studier hovedsakelig på dynamisk respons av plater uten hull. Perforerte plater kan være brukt i fasader, eller hull kan oppstå som en konsekvens av kombinert eksplosjonslast og beskytning fra prosjektiler eller andre typer fragmenter. Det er derfor et behov for en bedre forståelse og økt kunnskap rundt oppførselen til perforerte plater utsatt for eksplosjonslast. Fokuset i denne oppgaven vil være på material- og konstruksjonsrespons, samt hensiktsmessig valg av beregningsmetoder. En grundig kalibrering av materialmodell vil stå helt sentralt, der man vil ta høyde for effekten av materialparametere på brudd i platene. Komponentforsøk vil bli gjort i SIMlab sitt sjokkrør på tynne aluminiumsplater med sirkulære hull og varierende antall og plassering av disse hullene. Numeriske simuleringer skal utføres i programvare som gir mulighet for bruk av ikke-lineær elementmetode (Abaqus/Explicit, LS-DYNA eller lignende). Oppgaven er knyttet opp mot Justis- og beredskapsdepartementet sin støtte til SFI CASA.

Antall studenter: 2

Veiledere: Vegard Aune og Lars Edvard Dæhli

3. Rekonstruksjon av eksplosjonslast

En god beskrivelse av lastbildet er ofte avgjørende for nøyaktigheten i dynamiske analyser av konstruksjoner utsatt for eksplosjonslast. Tradisjonelle metoder for å måle lastbildet fra ekstreme påkjenninger kommer til kort når konstruksjonen opplever store deformasjoner. Dette gjør det utfordrende å beskrive samvirke mellom eksplosjonslast og konstruksjonsrespons basert på eksperimentelle målinger. Denne oppgaven vil derfor utvikle en metode for å rekonstruere lastbildet basert på deformasjonen i konstruksjonen. Fokuset vil være bruk av numeriske simuleringer til å frembringe data som kan brukes til å utvikle og evaluere den valgte metodikken («virtuell lab»). Numeriske simuleringer utføres i programvare som gir mulighet for ikke-lineær elementmetode (ABAQUS, LS-DYNA, eller lignende) og selve metodikken utvikles ved programmering i eksempelvis Python eller Matlab. Oppgaven er knyttet opp mot Justis- og beredskapsdepartementet sin støtte til SFI CASA.

Antall studenter: 2

Veiledere: Vegard Aune, Rene Kaufmann og Sindre Olufsen

Faglærer Tore Børvik

4. Additivt tilvirkede beskyttelseskomponenter

Additiv tilvirkning kan brukes for å 3D-printe ulike typer komponenter med kompleks geometri. For eksempel så kan man nå 3D-printe større paneler og gitterstrukturer i ulike polymerer eller metaller. Slike komponenter er av stor interesse i forbindelse med fysisk sikkerhet der vekt er viktig (slik som i fasader). Så langt er det gjort svært få studier der 3D-printede komponenter er brukt som energiabsorbenter i beskyttelseskonstruksjoner. I denne oppgaven skal man først benytte numeriske simuleringer for å bestemme geometrien til en komponent for beskyttelse mot eksplosjonslast (typisk en gitterstruktur i et polymermateriale brukt som myk kjerne i et sandwichpanel). Deretter skal en eller flere komponenter 3D-printes, og ulike materialtester og materialkarakteriseringer skal gjennomføres (for eksempel CT). Komponentene skal så testes blant annet i SIMLab sitt sjokkrør, sammenlignes med andre løsninger og forbedringer av designet skal foreslås i kombinasjon med ikke-lineære elementmetodeberegninger.

Antall studenter: 2

Veiledere: Kristoffer Aune Brekken, Vegard Aune og Tore Børvik

5. Penetrasjon i miljøbetong

Betong er et mye brukt materiale både i sivile bygg og i beskyttelseskonstruksjoner. En mulig trussel mot slike konstruksjoner er prosjektiler eller fragmenter som treffer det relativt sprø materialet i stor hastighet. Dette kan medføre perforering av betongoverdekningen – noe som kan forårsake stor skade. I de senere årene er det blitt både vanlig og ønskelig å bytte ut vanlig betong med miljøbetong (eller lavkarbonbetong) for å begrense klimagassutslippet. Hvordan dette påvirker betongens penetrasjonsmotstand er fortsatt uvisst. I denne oppgaven vil effekten av støtlast på miljøbetongplater bli studert

både eksperimentelt og numerisk. Først vil betongplater med ulik armering, samt tilhørende materialprøver, bli støpt i betonglaben ved NTNU og lagret for herding. Etter herding vil platene bli skutt på i SIMLab sin gasskanon for å finne den ballistiske kapasiteten. Alle komponenttester vil bli utført sammen med relevante materialtester, der 2D-DIC blir brukt for å måle tøyingsfeltet. Til slutt vil numeriske simuleringer av testene bli utført ved bruk av LS-DYNA. Forsøksdataene vil bli brukt til å validere ulike numeriske modeller for betong utsatt for dynamisk last.

Oppgaven utføres i samarbeide med Forsvarsbygg.

Antall studenter: 2

Veiledere: Martin Kristoffersen og Tore Børvik

6. Modellering av laminert glass

Laminert glass er brukt som frontruter i kjøretøy, og er en viktig komponent med tanke på sikkerheten både til fotgjengere og passasjerer. Frontruten består normalt av to glassruter som er laminert med en polymer (vanligvis PVB). Laminert glass reduserer risikoen for farlige glassfragmenter ved at glassbitene sitter fast i PVB-folien etter brudd. I tillegg øker bruken av en PVB-folie den strukturelle integriteten til glasset, siden PVB tåler store deformasjoner. For å optimalisere frontruten mot forskjellige typer belastninger, er det viktig å forstå oppførselen til glasset, polymeren og komponenten som helhet. På grunn av eksisterende mikrosprekker i glassoverflaten vil man ha stor spredning i kapasiteten, og dette må tas i betraktning i forbindelse med numeriske beregninger. I denne oppgaven skal man først gjøre forsøk på virkelige frontruter der en dor trykkes mot glasset til det går til brudd. Deretter skal forsøkene simuleres i LS-DYNA, der ulike numeriske modeller og teknikker skal testes ut. De numeriske resultatene skal til slutt valideres og diskuteres opp mot forsøkene.

Oppgaven utføres i samarbeid med BMW.

Antall studenter: 2

Veiledere: Jonas Rudshaug og Tore Børvik

Faglærer Arild Holm Clausen

7. Mekanisk oppførsel av additivt tilvirkede plastmaterialer

Additiv tilvirkning, populært kalt 3D-printing, er en produksjonsteknologi som muliggjør produkter og komponenter som er vanskelige å framstille med konvensjonelle teknikker. Ved SIMLab er det en pågående forskningsaktivitet på polymerer 3D-printet med SLA-metoden (<https://www.youtube.com/watch?v=yW4EbCWaJHE>). Materialtestene som er utført viser en tøyingsrateavhengig og duktil oppførsel i kombinasjon med sprøbrudd. En materialmodell har blitt utviklet for å modellere dette. For å validere materialmodellen bør det utføres komponenttester med en sammensatt spenningstilstand. I denne oppgaven skal komponenter 3D-printes og testes. Aktuelle komponenttester er f.eks. trepunktsbøying av en bjelke og statisk og dynamisk kompresjon av gitterstrukturer.

Deretter skal forsøkene simuleres i Abaqus ved å bruke både materialmodellen utviklet ved SIMLab og de innebygde materialmodellene i Abaqus. Oppgaven er knyttet opp mot ph.d-prosjektet til Ruben Løland Sælen.

Antall studenter: 2

Veiledere: Arild Holm Clausen og Ruben Løland Sælen

8. Oppførsel og modellering av sveiste knutepunkt i aluminium

Aluminium er et fremtidsrettet byggemateriale som til økende grad blir anvendt i konstruksjoner på grunn av at lav vekt kan kombineres med høy styrke. Dette er svært gunstig når strengere krav i en rekke industrier blir innført. Tradisjonelle bygg, broer, biler og offshore konstruksjoner må optimaliseres både med tanke på ytelse og produksjonskostnader. Denne oppgaven tar for seg sveiste knutepunkt i aluminium. En spesiell utfordring med sveising av aluminium er den varmepåvirkede sonen (HAZ), der materialets styrke er redusert. Hovedfokuset i denne oppgaven vil være oppførsel og modellering av HAZ. Metodikken vil til dels være eksperimentelt og dels numerisk. Effekten av forskjellige sveisemetoder vil bli undersøkt i den eksperimentelle delen av oppgaven. Den numeriske delen tar utgangspunkt i ikke-lineære element metode analyser (Abaqus/Explicit eller lignende) og modeller basert på skallelementer.

Antall studenter: 2

Veiledere: Sigurd Aune, Arild Holm Clausen og David Morin

9. Oppførsel til limtre påkjent av støtlast

Fra flere hold er det foreslått at tre skal være et hovedelement i det nye regjeringskvartalet. Dette er blant forankret i at det skal legges særskilt vekt på klima- og miljøfotavtrykket til materialene som benyttes. Forslaget resulterte i en åpen høring i Stortinget. Under høringen kom det fram at kunnskapen om tre som beskyttende materiale er relativt mangelfull både i Norge og internasjonalt. Med denne bakgrunn ble tre ikke anbefalt brukt som bærende element i områder som kan utsettes for ekstreme laster (dette gjelder både hovedbæring og sekundærbæring som fasader, glassgårder etc). Det ble påpekt at før tre kan brukes så må et betydelig forsknings og utviklingsarbeid gjennomføres. Med denne bakgrunn ønsker SIMLab i samarbeid med Moelven Limtre å starte et forskningsprosjekt for å se på hvordan limtrebjelker oppfører seg under statisk og dynamisk last, og om det er mulig å simulere oppførselen fra forsøk i laboratoriet med tilgjengelige numeriske modeller i Abaqus.

Antall studenter: 2

Veiledere: Arild Holm Clausen, Vegard Aune og en person fra Trekonstruksjoner

Faglærer Miguel Costas

10. Mechanical testing and numerical simulation of car batteries subjected to extreme loads and deformations

Despite the undoubtable benefits of electrifying our transport fleet – from reduced air pollution to enabling us to achieve the essential net-zero targets – among the EV community there is a growing sense of concern about the dangers and apparent spontaneity of EV fires. Fundamentally, electric vehicles are extremely safe, but the main danger occurs when the lithium-ion battery is damaged, which will happen if something penetrates the battery cell wall. Therefore, moderate to severe collisions can easily trigger a hazardous EV fire. In addition to the fire, over 100 organic chemicals are generated, including some extremely toxic gases such as carbon monoxide and hydrogen cyanide – both of which are fatal to humans. As for many other hazards in a car crash, engineering can largely help to minimise the risk of batteries catching fire provided that the right tools are available. A complete mechanical characterisation of the materials in the battery cells is key to designing safer and more efficient electric vehicles. In this project, we will run quasi-static and impact mechanical tests on commercial lithium-ion car batteries, aiming for a better understanding of their mechanical behaviour under extreme loads and deformations.

This project will be carried out in collaboration with Audi, with the possibility of visiting their research centre in Germany.

Antall studenter: 2

Veiledere: Miguel Costas, David Morin og Magnus Langseth

Faglærer Odd Sture Hopperstad

11. Beregningsmodeller for duktilt brudd i stålkonstruksjoner

Stålkonstruksjoner kan noen ganger bli utsatt for ekstreme belastninger som er utenfor de vanlige designlastene. Dette kan for eksempel være støt- og eksplosjonslaster mot kjøretøy og bygninger, eller løpende brudd i rørledninger. Design mot løpende brudd er særlig en utfordring i rørledninger benyttet i forbindelse med CO₂-fangst og lagring. For beregning av stålkonstruksjoner utsatt for denne typen belastninger, er det viktig å etablere validerte beregningsmodeller for plastisitet og duktilt brudd. Selv om reparasjoner eller andre tiltak kan være nødvendige i etterkant, er det viktig å sikre at slike hendelser ikke fører til sprekkdannelser som gir et uakseptabelt tap av bæreevne i konstruksjonen. I denne oppgaven skal numeriske beregninger benyttes til å studere oppførselen av stålmaterialer under ekstreme belastninger, og beregningsmodeller for plastisitet og duktilt brudd skal evalueres. Eksperimentelle forsøk skal benyttes for å kalibrere og validere beregningsmodellene.

Oppgaven er knyttet opp mot stålaktivitetene i SFI CASA og FME NCCS.

Antall studenter: 2

Veiledere: Anne Sophie Sur, Gaute Gruben, Odd S Hopperstad

12. Modellering av stokastisk brudd i trykk-støpte aluminiumskomponenter

Trykkstøping er en rask, pålitelig og kostnadseffektiv prosess for produksjon av metallkomponenter med høyt volum og gode toleranser. Støpeprosessen består av å injisere en smeltet aluminiumlegering under høyt trykk i et verktøy (eller en støpeform). Metallet størkner raskt og danner en komponent med endelig form. Støpte komponenter brukes for eksempel i bildeler som felger, blokker, sylindrhoder og manifolder, men har også mange andre anvendelser (fly, elektronikk etc.). En utfordring for bilindustrien er å modellere og simulere brudd i støpte komponenter. Årsaken til dette er at brudd i disse komponentene er en stokastisk prosess som følge av støpefeil i komponenten. I denne oppgaven skal trykkstøpte aluminiumskomponenter testes i laboratoriet og simuleringsmodeller for stokastisk brudd skal evalueres.

Oppgaven er knyttet opp mot aluminiumsaktiviteten i SFI-CASA.

Antall studenter: 2

Veiledere: Lars Edvard Dæhli, David Morin, Odd S Hopperstad

13. Maskinlæring i materialmekanikken

Maskinlæring benyttes innen flere og flere områder og har også funnet anvendelser innen materialmekanikken. En bruk av maskinlæring er innen modellering av plastisitet og brudd i materialer, der materialmodellen eller bruddmodellen kan byttes ut med en surrogatmodell basert f.eks. på et kunstig nevral nettverk. Et slikt nettverk må trenes og valideres ved bruk av store datamengder som kan etableres enten eksperimentelt eller ved bruk av datasimulering med eksisterende modeller. I denne oppgaven skal kunstige nevrale nettverk brukes for modellering av plastisitet og brudd i konstruksjoner utsatt for ekstreme belastninger (støtlast, eksplosjon etc.). Simuleringer skal utføres med Abaqus der kunstige nevral nettverk er en integrert del av materialmodellen for plastisitet og brudd.

Oppgaven er knyttet opp stål- og aluminiumsaktivitetene i SFI-CASA.

Antall studenter: 2

Veiledere: Håvard Næss, David Morin, Odd S Hopperstad

Faglærer Magnus Langseth

14. Optimale kjøretøysperrer

Kjøretøysperrer er i dag viktige elementer i sikringsarbeidet mot angrep hvor kjøretøy anvendes. Det finnes mange ulike løsninger som omfatter alt fra konsepter for landskapsutforming til etablerte kommersielle produkter. Samtidig som disse løsningene skal bidra til sikkerhet, skal de ofte også harmonere i et åpent og innbydende bymiljø over overflaten og ikke gå i konflikt med eventuell infrastruktur under overflaten. Dette setter strenge krav til utformingen på løsningene.

Gjennom denne masteroppgaven ønsker man å se på hvordan man kan optimalisere utforming på løsningene gjennom ikke-lineære elementmetodeberegninger for å møte de kravene som settes.

Oppgaven gjennomføres i samarbeide med Statsbygg/Forsvarsbygg.

Antall studenter: 2

Veiledere: Magnus Langseth, Tore Børvik, Martin Kristoffersen og Ole Vestrum (Forsvarsbygg)

Faglærer David Morin

15. Human bodies subjected to impact loads: Numerical evaluation of injuries

Recently, a virtual body model developed by Toyota has been made public (<https://global.toyota/en/newsroom/corporate/32665896.html>). This model describes the human body including various organs, bones, tendons etc... for use in non-linear explicit finite element analyses. In this project, we wish to investigate the possibilities offered by this model to predict injuries in a human body subjected to impact loadings. The work will consist of analyzing the finite element meshes and material models associated to the THUMS model as well as evaluating their accuracies using data from the literature.

Antall studenter: 2/1

Veiledere: David Morin og Victorien Prot