

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
- 4 professor II (20% deltidsstilling): Cato Dørum (SVV), Ole Runar Myhr (Hydro), Erling Østby (DNV) og Karoline Osnes (Multiconsult)
- Ca. 15 ph.d.-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 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, forsvar), 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)
- **Samfunnssikkerhet** (Forsvarsbygg, Nasjonal sikkerhetsmyndighet, Kommunal- og distriktsdepartementet)

Mer informasjon: www.ntnu.edu/casa/

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

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

SIMLab er også involvert i prosjekter relatert til ferjefri E39, nytt regjeringskvartal.

For masteroppgavene ved SIMLab vil det være en fordel at kandidaten har hatt SIMLab-prosjektet i høstsemesteret 2022, og disse studentene vil bli foretrukket hvis det er flere som er interessert i samme oppgave. Det forventes også 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:
<https://www.ntnu.edu/casa/msc-studies>

Valgfrist er fredag 2. desember.

Faglærer Vegard Aune

1. Konstruksjoner utsatt for 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. Målet er å utvikle en metode for å studere lastbildet basert på deformasjonen i konstruksjonen. Oppgaven vil bruke en kombinasjon av eksperimentelle målinger og numeriske simuleringer. Målet er å frembringe ny kunnskap som kan brukes til å bedre forstå hvordan konstruksjonsrespons påvirker lastbildet (og motsatt). Numeriske simuleringer utføres i programvare som gir mulighet for ikke-lineær elementmetode (ABAQUS, LS-DYNA, eller lignende). Komponentforsøk gjøres i SIMLab sitt sjokkrør på tynne metallplater.

Antall studenter: 2

Veileder: Vegard Aune

2. Energiopptak i forbindelser utsatt for eksplosjonslast

Utsatte konstruksjoner må i dag dimensjoneres med fasader som skal tåle eksplosjonslast. Det er stor usikkerhet forbundet med hvordan innfestingen av fasade-elementer oppfører seg under ekstreme trykkbelastninger (typisk hvor mye energi som tas opp ved å tillate deformasjon i selve innfestingen mellom bærekonstruksjon og fasadeelementet). Denne oppgaven skal studere kraftoverføring i forbindelser under ekstreme trykkbelastninger. Fokuset vil være på simulering og eksperimentelle målinger av deformasjonen i selve forbindelsen og fasade-elementet. Det er også ønskelig å måle lastbildet, samt reaksjonskreftene som overføres til den bakenforliggende konstruksjonen. Simuleringer som tar hensyn til koblingen mellom eksplosjonslast og konstruksjonsresponsen skal utføres i programvare som er egnet for slike analyser (Abaqus/Explicit, LS-DYNA, EUROPLEXUS eller lignende). Ulike konsepter for innfesting skal prøves ut, sammenlignes og evalueres med tanke på energiopptak. Forsøk gjøres i SIMLab sitt sjokkrør på komponenter med lignende egenskaper som dagens fasade-elementer.

Antall studenter: 2

Veileder: Vegard Aune

Faglærer Tore Børvik

3. Additivt tilvirkede beskyttelseskomponenter

Additiv tilvirkning kan brukes for å 3D-printe ulike typer komponenter med kompleks geometri. For eksempel så kan man nå printe avanserte paneler eller gitterstrukturer i ulike metaller eller polymerer. Slike komponenter er av stor interesse i forbindelse med fysisk sikkerhet der vekt er viktig. Så langt er det gjort få studier der additivt tilvirkede komponenter er brukt som energiabsorbenter i beskyttelseskonstruksjoner. I denne oppgaven skal man studere penetrasjonsmotstanden til additivt tilvirket mareldingsstål – et materiale som er kjent for sin betydelige styrke og hardhet etter 3D-printing og varmebehandling. Først skal man gjøre penetrasjonsforsøk på plater av mareldingsstål både før og etter varmebehandling. Deretter skal man etablere en numerisk modell, ikke-lineære element-metodeberegninger skal utføres og resultatene skal vurderes og valideres opp mot forsøkene. Til slutt skal man benytte den validerte modellen og numerisk optimalisering ved hjelp av LS-OPT for å foreslå en forbedret geometri av beskyttelseskomponenten. Hvis tiden tillater, skal denne komponenten 3D-printes og testes for å evaluere optimaliseringen.

Antall studenter: 1/2

Veiledere: Miguel Costas og Tore Børvik

4. Modellering av polymer- eller betongbelagte rørledninger

Rørledninger brukes av offshoreindustrien til å transportere olje og gass langs havbunnen, og bare i Nordsjøen finnes det mer enn 9000 km med slike stålrør. For å beskytte rørene mot det røffe driftsmiljøet, brukes ulike typer belegg som termisk isolasjon, som korrosjonsbeskyttelse eller som vekt for å forhindre oppdrift. I tillegg til det røffe miljøet, er rørledningene utsatt for støtlaster fra fisketråler, anker og lignende. Rørledninger må derfor også dimensjoneres for ulike støtlaster for å forhindre miljøkatastrofer og sikre sikker energitransport til Europa og resten av verden. Selv om de ulike beleggende primært ikke er ment for det, bidra de betydelig til den strukturelle integriteten til rørledningene. Men, det er ikke enkelt å simulere oppførselen og energioptaket til de ofte kompliserte materialene (typisk polymer- og/eller betongbaserte kompositter) som benyttes i denne typen belegg ved støtlaster. Ved SIMLab har vi sammen med Equinor testet en rekke ulike rør med ulikt belegg både statisk og dynamisk i løpet av de senere årene. Hensikten med denne oppgaven er å forsøke å etterregne oppførselen til de ulike rørene utsatt for slike laster ved hjelp av ikke-lineær elementmetode.

Antall studenter: 2

Veiledere: Lars Edvard Dæhli, Martin Kristoffersen og Tore Børvik

5. Oppførselen til komposittmaterialer ved beskytning

NFM er et norsk selskap som lager beskyttelsesutstyr (som hjelmer og skuddsikre vester) i komposittmaterialer til blant andre Forsvaret og Politiet. En såkalt skuddsikker vest er et plagg som brukes til å beskytte personer mot kuler fra skytevåpen og/eller splinter. Det beskyttende materialet kan være hele plater eller lameller av metall, keramikk og/eller komposittmaterialer, alene eller kombinert. Den mest vanlige typen er vevd stoff av

polyetylen- eller aramid-fibrer (f.eks. Dyneema og Kevlar) i varierende tykkelse avhengig av beskyttelsesnivået. I dette prosjektet skal det først gjøres ballistiske forsøk på komposittplater med ulike typer ammunisjon. I forbindelse med forsøkene skal man forsøke å måle deformasjonsforløpet på baksiden av komposittplaten ved hjelp av synkroniserte høyhastighetskamera og 3D-DIC. Deretter skal det etableres numeriske modeller i en egnet kode for ikke-lineære FEM analyser av deformasjonsprosessen. Her skal det brukes ulike konstitutive modeller for komposittmaterialet med materialdata fra litteraturen basert på en litteraturstudie. Resultatene fra FEM analysene skal valideres/ diskuteres opp mot komponentforsøkene, og forslag til forbedringer både av de numeriske modellene og det eksperimentelle oppsettet skal foreslås.

Antall studenter: 2

Veiledere: Tore Børvik og Susanne Thomesen/Terje Glomsaker (NFM)

6. Modeling and simulation of hypervelocity impact against debris shields for spacecraft protection

Robust and reliable numerical methods can greatly enhance the effectiveness of spacecraft shields designed to protect against hypervelocity space debris impacts. Space debris exists in countless combinations of shapes, sizes, and material properties. Numerical methods provide a flexibility, along with a very broad scope of evaluation and parameter variation that experimental and empirical methods cannot match. Commonly, smooth particle hydrodynamics (SPH) is being used in simulations of hypervelocity impact, but significant improvement in computational efficiency might be obtained by switching to other numerical methods such as discrete particle methods (DPM) that can also improve the description of structural parts that do not behave in a hydrodynamic manner. The primary objectives of this master thesis project are to investigate the reliability of various numerical techniques for simulation of hypervelocity impacts against spacecraft shield protection, to predict the ballistic limit velocity of structures meant to protect against orbital debris and to numerically optimize (using LS-OPT or similar optimization tools) the debris shield for increased protection while keeping the mass constant.

Antall studenter: 2

Veiledere: Rannveig Færgestad and Tore Børvik

Faglærer Arild Holm Clausen

7. 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. Kvasi-

statiske og/eller dynamiske tester av sveiste forbindelser/knutepunkt vil bli gjennomført 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

8. Bjelke-søyleforbindelser i stålkonstruksjoner

Sikkerhet mot sammenbrudd av konstruksjoner har fått stor interesse i nyere tid. Knutepunktene er viktige i så måte fordi disse må være tilstrekkelig duktile. Dagens regelverk for knutepunkt i stålkonstruksjoner (EC3-1-8) er utviklet for kvasistatiske belastninger. Man har lite kunnskap om hvordan knutepunkt oppfører seg hvis de er påkjent av en momentan, dynamisk last. Ett mulig scenario er at en eller flere søyler i en konstruksjon mister bæreevnen på grunn av en eksplosjon, brann eller påkjørsel, og dette fører til at kreftene må omfordes i konstruksjonen. En annen lastsituasjon kan være at bjelkene utsettes for en dynamisk belastning. Oppgaven vil bestå av å finne responsen av en typisk stålforbindelse ved hjelp av fullskala laboratorieforsøk. I tillegg skal det lages en tilhørende elementmetodemodell, som skal brukes til å studere og øke forståelsen av oppførselen til forbindelsen. For å kalibrere materialmodellen vil det dessuten være behov for materialforsøk. (Denne oppgaven blir lansert for studentene på temaområdet «Stålkonstruksjoner» også.)

Antall studenter: 2

Veiledere: Debora Obkircher, Arild Holm Clausen, Miguel Costas og Magnus Langseth

Faglærer Miguel Costas

9. Design of a new test rig for quasi-static and dynamic mechanical testing of battery cells and modules

Mechanical testing of battery cells and modules entails a series of hazards including fire, smoke, and toxic gasses. When a thermal runaway is triggered by mechanical deformation – for instance during a crushing test – the risk for the operator and testing personnel is too high, and therefore these tests must be run in a specifically designed rig. Very few of these rigs are operational in the world today, and the Department of Structural Engineering wants to invest in the design and construction of such a device. This master thesis is aimed at a preliminary design of a rig capable of testing battery cells and modules in a safe manner. This rig, presumably inspired in a drop tower design, will be installed at RISE (Fire research institute), located in Tiller (Trondheim). This work will be carried out in collaboration with Audi and RISE.

Antall studenter: 2

Veiledere: Miguel Costas, David Morin og Magnus Langseth

10. Design, training and validation of a machine learning algorithm for fast and reliable calibration of constitutive material models

Calibration of material constitutive models from tests is a specialized procedure for which most companies working with structural engineering dedicate a substantial amount of resources. The procedure consists of several steps that must be run by specialized personnel, and that require considerable time. This thesis aims at building and training an artificial neural network that can immediately produce a calibrated material model directly from the test data (stress /strain, force / displacement, etc.), bypassing all the intermediate steps. The network is to be trained on synthetic tests, which consist of finite element simulations for which the material parameters are known. If the training is appropriate, the network should be then able to predict the material parameters of new test data that come directly from testing. The work will start with simple material models (linear elastic), and then be extended to plasticity and fracture.

Antall studenter: 2

Veiledere: Miguel Costas og David Morin

11. Structural behavior of recycled aluminium alloys under large deformations and fracture.

Aluminium is renowned for its nearly infinite recyclability; this attribute not only makes it ideal to reduce waste generally, but also presents an opportunity to reduce emissions in its own sector. Producing a recycled alloy uses 95 % less energy than producing a primary alloy, and structural members made of recycled aluminium start to be a reality thanks to increasing sustainability requirements. However, the impurities present in recycled alloys -mainly iron- could make them less suitable for applications where high ductility is required, such as crash boxes or protection of battery trays in electric vehicles. This thesis is dedicated to test several recycled alloys extruded by Hydro with an increasing degree of impurities under bending and crushing, together with reference components made of primary alloys. The results will help to understand to what extent impurities harm the ductility of recycled aluminium alloys under large deformations and fracture.

Antall studenter: 1/2

Veiledere: Miguel Costas og Odd Sture Hopperstad

Faglærer Odd Sture Hopperstad

12. Beregningsmodeller for duktilt brudd i høyfaste stål

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. 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 høyfaste stål under ekstreme belastninger, og beregningsmodeller for plastisitet og duktilt brudd skal

evalueres. Eksisterende eksperimentelle forsøk skal benyttes for å kalibrere og validere beregningsmodellene.

Oppgaven er knyttet opp mot stålaktivitetene i SFI CASA.

Antall studenter: 2

Veiledere: Lars Edvard Dæhli, Odd S Hopperstad

13. 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 simuleringsmodeller for stokastisk brudd i trykkstøpte aluminiumskomponenter evalueres ved sammenligning med eksisterende forsøksdata. Oppgaven er knyttet opp mot aluminiumsaktiviteten i SFI-CASA.

Antall studenter: 2

Veiledere: Lars Edvard Dæhli, Jianbin Xu, Odd S Hopperstad

14. Effect of true axial compression force on burst capacity for pipeline

In today rules and standards for pipeline design a pipeline is checked for burst capacity/burst limit state assuming a pipeline subjected to internal pressure only and free end condition in the axial direction. However, during operation the pipeline will be subjected to other types of loading in addition to internal pressure. There is an ongoing discussion in the industry on the size of the reduction in burst capacity in case of the combination of internal pressure and high true axial force. The candidate shall investigate this effect by use of non-linear FE analyses. Typical sensitivities to include are:

1. D/t-ratio
2. N/N_p
3. Effect of load -controlled condition vs displacement controlled condition
4. Effect of shape of stress-strain curve

Antall studenter: 2

Veiledere: Odd S Hopperstad, Lars Edvard Dæhli, Erik Levold (Equinor)

15. Necking behavior for a pipe subjected to internal pressure and large bending moment

A pipeline subjected to internal pressure, bending moment and axial force will fail on the compression side and on tensile side for two different level of deformation. For traditional ULS design, the compression side (local buckling) or crack growth in a weld defect on the tensile side will normally be the limiting failure modes. However, in case of an accidental

load where a leak limit state (LLS) can be utilized and loss of containment is defined as failure, necking on the tensile side may be the limiting failure mode. The candidate shall investigate the necking behavior of pipeline subjected to internal pressure, bending deformation and axial force by use of nonlinear finite element analyses. Typical sensitivities to include are:

1. D/t-ratio
2. Internal pressure ratio
3. Effect of increasing axial tension for in combination to bending moment/deformation
4. Effect of shape of stress-strain curve

Antall studenter: 2

Veiledere: Odd S Hopperstad, Lars Edvard Dæhli, Erik Levold (Equinor)

Faglærer David Morin

16. Running cracks in pipelines

This project deals with running cracks in pipelines subjected to internal pressure. The main application is related to CO₂ capture and storage where safety aspects are important. This master thesis shall investigate, numerically, the effect of the CO₂ gas pressure applied onto a steel pipeline. Several methods to represent the fluid-structure interaction problem will be investigated. The main goal is then to determine a suitable method for engineers to simulate pipelines subjected to impact and subsequent running cracks. The ABAQUS solver will be used as the main tool for this project while experimental data and material parameters will be obtained from the open literature.

Antall studenter: 1/2

Veiledere: David Morin, Odd Sture Hopperstad

17. 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 nevralnettverk. 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 nevralnettverk 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