

SIMLab – Structural Impact Laboratory

Faggruppa SIMLab består for tida av:

- 6 faste vitenskapelig ansatte: Vegard Aune, Tore Børvik, Arild Holm Clausen, Odd Sture Hopperstad, Magnus Langseth og David Morin
- 4 professor II (20% deltidsstilling): Cato Dørum, Odd-Geir Lademo, Ole Runar Myhr og Erling Østby
- Ca 20 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 2019, 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/casa/msc-studies>

Valgfrist er fredag 29. november.

Faglærer Vegard Aune

1. Stålplater utsatt for kombinert beskytning og eksplosjonslast

Erfaring tilsier at kombinert beskytning og eksplosjonslast kan være mer kritisk enn virkningen fra hver av disse alene. Til tross for dette er det begrenset med regelverk, praksis og forskning rundt denne problematikken. Beskytning inkluderer prosjektiler eller andre typer fragmenter. Dette kan typisk være som et resultat av en ulykke eller terrorhandling. I denne oppgaven vil det bli gjort både eksperimentelle og numeriske studier for å forstå hvordan stålplater oppfører seg under slike påkjenninger. Dette innebærer å belyse ulike scenarioer hvor det kan være nødvendig å ta hensyn til denne kombinasjonen. Fokuset vil være på material- og konstruksjonsrespons, samt hensiktsmessige valg av beregningsmetoder. Forsøkene gjennomføres i SIMLab sitt ballistiske laboratorium og SIMLab sitt sjokkrør på tynne plater med ulike stålkvaliteter. Numeriske simuleringer skal utføres i programvare som er egnet for slike analyser (Abaqus/Explicit, LS-DYNA eller lignende). Ulike beregningsmetoder skal prøves ut, sammenlignes og valideres. Oppgaven er knyttet opp mot PhD-prosjektet til Benjamin Stavnar Elveli (CASA).

Antall studenter: 2

Veiledere: Vegard Aune og Benjamin Stavnar Elveli

2. Dynamisk analyse av slanke konstruksjoner utsatt for eksplosjonslast

Valg av beregningsmetode har innvirkning på nøyaktigheten i dynamiske analyser av konstruksjoner utsatt for eksplosjonslast. Dette gjelder spesielt for slanke, fleksible konstruksjoner. Erfaringer har vist at responsen av et mangefrihetsgradssystem utsatt for en eksplosjonslast kan være større enn for et énfrihetsgradssystem, samt at det kan være en betydelig kobling mellom last og respons i slike tilfeller. I denne oppgaven skal oppførselen til slanke, fleksible konstruksjoner utsatt for eksplosjonslast studeres ved bruk av forsøk i SIMLab sitt sjokkrør. Eksempler på slike konstruksjoner vil kunne være utkragere og enkle rammer. Forsøkene brukes som utgangspunkt til å evaluere relevante beregningsverktøy (SDOF, MDOF og elementmetode). Avanserte beregninger som beskriver koblingen mellom eksplosjonslast og dynamisk respons vil også kunne

være en del av denne oppgaven. Beregninger som tar hensyn til denne koblingen skal utføres i programvare som er egnet for slike formål (Abaqus/Explicit, LS-DYNA eller lignende). Ulike beregningsmetoder skal prøves ut, sammenlignes og valideres. Oppgaven er initiert i samarbeid med Multiconsult.

Antall studenter: 2

Veiledere: Vegard Aune og Magnus Langseth

3. 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. Forsøkene 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 er egnet for slike analyser (Abaqus/Explicit, LS-DYNA eller lignende). Ulike beregningsmetoder skal prøves ut, sammenlignes og valideres.

Antall studenter: 2

Veiledere: Vegard Aune og Lars Edvard Dæhli

4. Platefelt i aluminium utsatt for ekstreme trykkbelastninger

Avstivede platefelt er mye brukt i flere typer konstruksjoner for å motstå ekstreme trykkbelastninger (f.eks. beskyttelseskonstruksjoner, skipskonstruksjoner, offshore-installasjoner og flykonstruksjoner). Denne oppgaven skal studere hvordan platefelt i aluminium oppfører seg under ekstreme trykkbelastninger. Det skal utføres både forsøk og numeriske simuleringer. Fokuset vil være på målinger av trykkbelastning, samt måling av deformasjoner for uavstivet plate og avstivede platefelt. Det er også ønskelig å måle reaksjonskreftene som overføres til den bakenforliggende konstruksjonen. Forsøkene vil bli gjort i SIMLab sitt sjokkrør. Simuleringer som tar hensyn til koblingen mellom trykkbelastningen og konstruksjonsresponsen skal utføres i programvare som er egnet for slike analyser (Abaqus/Explicit, LS-DYNA, EUROPLEXUS eller lignende). Ulike numeriske teknikker skal prøves ut, sammenlignes og valideres. Oppgaven er knyttet opp mot et samarbeidsprosjekt mellom SINTEF Ocean og SIMLab ved NTNU.

Antall studenter: 2

Veiledere: Vegard Aune og Magnus Langseth

Faglærer Tore Børvik

5. Eksplosjonslast mot fasadeelementer

Sandwichpaneler bestående av to tynne yttersjikt i et lettmetall og en myk kjerne av polymer- eller metallskum er veldig gode energiabsorbenter. Slike paneler kan for eksempel benyttes i fasaden på bygninger for å beskytte den bakenforliggende konstruksjonen mot eksplosjonslast. Dette kalles da gjerne offerkledninger (eller «sacrificial claddings»). I denne oppgaven skal oppførselen til slike fasadeelementer utsatt for eksplosjonslast studeres både eksperimentelt (i SIMLab sin nye glasskanal i sjokkrøret) og numerisk (ved hjelp av LS-DYNA eller ABAQUS). I tillegg ønsker vi å optimalisere denne typen komponenter ved hjelp av numeriske beregninger. Oppgaven er knyttet opp mot ph.d.-prosjektet til Kristoffer Aune Brekken (CASA), og er av interesse i forbindelse med byggingen av nytt regjeringskvartal.

Antall studenter: 2

Veiledere: Tore Børvik og Kristoffer Aune Brekken

6. Eksplosjonslast og fragmentvirkning mot betong

Armert betong er mye brukt i beskyttelseskonstruksjoner. En vanlig trussel mot slike konstruksjoner er den kombinerte effekten av eksplosjonslast og fragmentvirkning, siden eksplosjoner alltid er ledsaget av et stort antall fragmenter som kan påvirke og skade konstruksjonen før eksplosjonsbølgen kommer kort tid etter. I denne oppgaven vil effekten av kombinert støt og eksplosjonslast på betongplater bli studert både eksperimentelt og numerisk. Først vil armerte betongplater og materialprøver i ulike betongkvaliteter bli støpt og lagret for herding. Etter herding vil platene bli skutt på i SIMLab sin gasskanon for å finne den ballistiske kapasiteten. Deretter vil noen av platene bli testet i SIMLab sitt sjokkrør for å undersøke i hvilken grad fragmentbelastningen har påvirket eksplosjonsmotstanden. Alle komponenttester vil bli utført sammen med relevante materialtester. Til slutt vil numeriske simuleringer av testene bli utført ved bruk av LS-DYNA eller ABAQUS. Dataene som blir generert vil bli brukt til å validere ulike numeriske modeller for betong utsatt for dynamisk last. Oppgaven utføres i samarbeide med Statens vegvesen og Forsvarsbygg.

Antall studenter: 2

Veiledere: Tore Børvik og Martin Kristoffersen

7. Modellering av laminert glass

Laminert glass er mye brukt som frontruter i kjøretøy, og er en viktig komponent med tanke på sikkerheten til både fotgjengere og passasjerer. Frontruten består normalt av to glassruter som er laminert med en polymer, fortrinnsvis polyvinylbutyral (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, hovedsakelig på grunn av at 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 mikroskopiske sprekker i glassoverflaten, vil man ha stor spredning i kapasiteten når glassruten utsettes for ekstreme belastninger, og dette må tas i betraktning i forbindelse med numeriske beregninger. I denne oppgaven skal man sammenligne numeriske simuleringer ved hjelp av nodesplitting (i IMPETUS Afea Solver) opp mot simuleringer ved hjelp av elementerosjon (i ABAQUS). De numeriske resultatene skal valideres opp mot forsøk på laminert glass.

Antall studenter: 2

Veiledere: Tore Børvik og Karoline Osnes/Jonas Rudshaug

Faglærer Arild Holm Clausen

8. Mekanisk oppførsel av additivt tilvirkede plastmaterialer

Additiv tilvirkning, populært kalt 3D-printing, er en produksjonsteknologi som muliggjør produkter og komponenter som er vanskelige eller tidkrevende å framstille med konvensjonelle teknikker. Det har imidlertid vist seg at additivt tilvirkede plastmaterialer ofte har lav duktilitet. Ved SIMLab er det nylig satt i gang et ph.d-prosjekt som skal se nærmere på slike materialer. I første omgang er tema materialoppførsel, og senere hvordan additiv tilvirkning kan benyttes til å skreddersy prøvestykker hvor man kan studere andre fenomener, f.eks porevekst. Oppgaven er knyttet opp mot ph.d. – prosjektet til Ruben Løland Sælen.

Antall studenter: 2

Veiledere: Arild Holm Clausen og Ruben Løland Sælen

9. Materialparametre for karbonstål i numeriske analyser

Konstruksjonsstål S355 tilbys i henhold til flere produktstandarder (EN 10025, EN 10210, EN 10219 og EN 10225) samt ulike leveringstilstander. Multiconsult mistenker at det er en forskjell i bruddkapasitet og duktilitet mellom disse ulike S355-kvalitetene. I dimensjonering av sikringskonstruksjoner vil man typisk benytte de antatt mest duktile (og dyre) stålene, dvs. med kvalitet i hht. EN 10225. Er dette kostnadseffektivt? Oppgaven går ut på å identifisere materialoppførselen til utvalgte kvaliteter av S355, og bestemme parametre som kan brukes for numeriske simuleringer godt inn i det plastiske området. Videre er det aktuelt å validere modellen mot komponenttest. Oppgaven er initiert av og utføres sammen med Multiconsult i Oslo.

Oppgaven er også foreslått under temaområdet Stålkonstruksjoner.

Antall studenter: 2

Veiledere: Arild Holm Clausen og Johan Kolstø Sønstabø (Multiconsult)

10. Knutepunkter mellom hulprofiler i høyfast stål

Multiconsult har påpekt at det kan ligge an til at revidert utgave av EC3-1-8 (knutepunkter) kun vil være gyldig for hulprofilknutepunkter opp til S460. Årsaken er at det mangler forsøk som påviser at regnereglene også gjelder for høyere fastheter. Instituttet er i ferd med å starte opp et post.doc-prosjekt som skal se nærmere på denne problemstillingen. Dette prosjektet vil omfatte både eksperimentelle undersøkelser (lab) og numeriske simuleringer. En eventuell masteroppgave vil muligens bli begrenset til et teori- og analysestudium, avhengig av når prøvestykker blir levert

Oppgaven er også foreslått under temaområdet Stålkonstruksjoner. Kandidatene bør ha tatt TKT4170 Stålkonstruksjoner 1 og TKT4230 Stålkonstruksjoner 2.

Antall studenter: 1-2

Veiledere: Arild Holm Clausen og Panagiotis Manoleas

11. Sveist forbindelse i et plastisk høyt utnyttet element

I stålkonstruksjoner benyttet i fasader i forbindelse med beskyttelse mot eksplosjoner er det hensiktsmessig å utnytte materialets høye duktilitet. Ved stor plastisk utnyttelse av en stålsøyle vil det oppstå flyteledd på gitt punkt. Dersom søylen er sveist på stedet hvor plastisk ledd er forventet, vil forventet respons, herunder utbøyningsform, også endres. Området som er sveist vil ha høyere flytespenning, men også lavere duktilitet. Ved statisk belastning vil det være rimelig å anta at flyteleddet vil oppstå en gitt avstand til siden for opprinnelig forventet punkt (fordi man har et sterkere/stivere element med en viss utstrekning ut fra sveiseforbindelsen). Hvordan vil dette forløpe seg ved hurtig pålastning/tøyningshastighet? Vil flyteleddet oppstå samme sted som forventet ved statisk prøving? Er det økt fare for sprøbrudd?

Oppgaven er også foreslått under temaområdet Stålkonstruksjoner. Kandidatene bør ha tatt TKT4170 Stålkonstruksjoner 1.

Antall studenter: 2

Veiledere: Arild Holm Clausen

Faglærer Odd Sture Hopperstad

12. Testing, modellering og simulering av avanserte høyfaste stål

Avanserte høyfaste stål (AHSS) er komplekse materialer med utvalgte kjemiske sammensetninger og flerfase-mikrostrukturer som er et resultat av nøyaktig kontrollerte varme- og kjøleprosesser. Ulike fysiske mekanismer brukes for å oppnå en rekke styrke-, duktilitets-, seighet- og utmattingsegenskaper. I bilindustrien brukes AHSS i lastbærende komponenter, støtfangersystemer, batteribeskyttelse, dørbjelker osv. I denne oppgaven skal modeller for plastisitet og brudd i AHSS utvikles basert på laboratorietester av et utvalg materialer. Spesielt utviklede tester skal utføres for validering av modellene ved bruk av ikke-lineære elementanalyser i LS-DYNA eller Abaqus.

Oppgaven er knyttet opp mot stålaktiviteten i SFI-CASA.

Antall studenter: 2

Veiledere: Maria Jesus Perez Martin, Odd S Hopperstad

13. Aluminiumskonstruksjoner utsatt for dynamisk belastning

Aluminiumlegeringer benyttes i konstruksjoner og konstruksjonskomponenter der lav vekt er et designkriterium. En viktig anvendelse er sikkerhetskomponenter i kjøretøy, eksempelvis støtfangersystemer og batterirammer, som skal absorbere den kinetiske energien ved en kollisjon. I en slik komponent er det viktig at energien absorberes gjennom plastisk deformasjon, typisk folding eller bøyning, og at brudd ikke reduserer evnen til energiabsorpsjon. I denne oppgaven skal ulike modeller for plastisitet og brudd i aluminiumlegeringer vurderes basert på laboratorieforsøk av legeringer og komponenter kombinert med ikke-lineære elementanalyser i Abaqus. Oppgaven er knyttet opp mot Toppforsk-prosjektet FractAl.

Antall studenter: 2

Veiledere: Lars Edvard Dæhli, Bjørn Håkon Frodal, Odd S Hopperstad

14. Testing og modellering av 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 en simuleringsmodell for plastisitet og brudd skal utvikles og valideres. Oppgaven er knyttet opp mot aluminiumsaktiviteten i SFI-CASA.

Antall studenter: 2

Veiledere: Susanne Thomesen, Odd S Hopperstad

Faglærer Magnus Langseth

15. Testing og modellering av støpte felger i aluminium

Oppgaven er et samarbeid med Audi AG i Tyskland når det gjelder oppførsel og modellering til støpte aluminiumfelger. Den som velger denne oppgaven vil få anledning til å besøke Audi sin fabrikk i Ingolstadt i Tyskland. For mere informasjon se <http://sfi-casa.no/putting-q7-rim-test/>

Antall studenter: 1-2

Veiledere: Magnus Langseth, David Morin og Odd Sture Hopperstad

16. Oppførsel til limtre påkjent av støtlast

Arbeiderpartiet, Kristelig folkeparti, Senterpartiet og Sosialistisk venstreparti foreslo våren 2018 at tre skal være et hovedelement i det nye regjeringskvartalet. Dette var 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 med tilgjengelige modeller å simulere oppførselen fra forsøk i laboratoriet.

Antall studenter: 2

Veiledere: Magnus Langseth og David Morin

Faglærer David Morin

17. Oppførsel til avstivede platefelt i aluminium utsatt for støtlaster

I forbindelse med fergefri E39 skal Statens vegvesen vurdere teknologiske løsninger for fjordkryssinger. Som et ledd i dette prosjektet så er det ønskelig å vurdere bruk av aluminium blant annet på grunn av reduserte vedlikeholdskostnader og lav vekt i forhold til styrke. En av utfordringene er å vurdere hvordan store platefelt i aluminium sveiset sammen av ekstruderte profiler oppfører seg under en støtlast fra et skip og hvordan disse skal modelleres i en storskala analyse. Denne masteroppgaven er et ledd i dette prosjektet og er et samarbeid mellom SIMLab ved NTNU, Hydro Aluminium. Oppgaven vil inneholde testing i laboratoriet samt modellering og analyse.

Antall studenter: 1

Veiledere: David Morin og Magnus Langseth