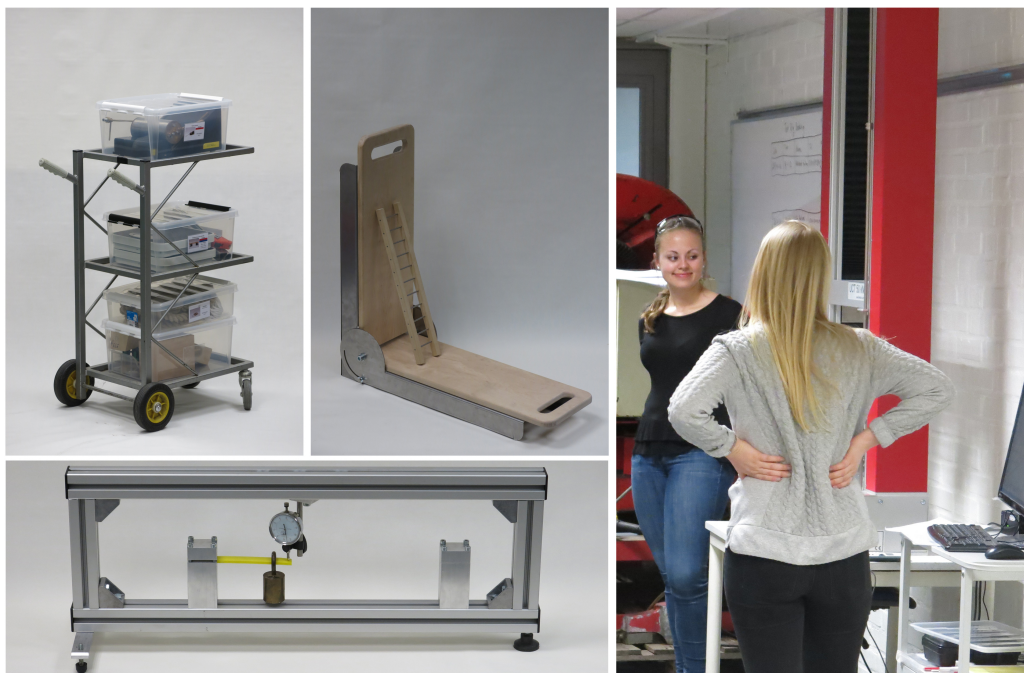




# CHALMERS

---



## Studio i mekanik och hållfasthetslära

Organisering och uppdatering av experimentell utrustning

Kandidatarbete inom Tillämpad mekanik

SOFIA ALEXANDERSSON  
PETER BÄCKGREN  
SEBASTIAN EVERETT ERIKSSON  
EMMA HEDIN

---

Institutionen för Tillämpad mekanik  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2016  
Kandidatarbete 2016:02



KANDIDATARBETE 2016:02

## **Studio i mekanik och hållfasthetslära**

Organisering och uppdatering av experimentell utrustning

SOFIA ALEXANDERSSON  
PETER BÄCKGREN  
SEBASTIAN EVERETT ERIKSSON  
EMMA HEDIN

Institutionen för Tillämpad mekanik  
*Avdelningarna för material- och beräkningsmekanik och dynamik*  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2016

Studio i mekanik och hållfasthetslära  
Organisering och uppdatering av experimentell utrustning  
SOFIA ALEXANDERSSON  
PETER BÄCKGREN  
SEBASTIAN EVERETT ERIKSSON  
EMMA HEDIN

© Sofia Alexandersson · Peter Bäckgren · Sebastian Everett Eriksson · Emma Hedin,  
2016

Kandidatarbete 2016:02  
ISSN 1654-4676  
Institutionen för Tillämpad mekanik  
Avdelningarna för material- och beräkningsmekanik och dynamik  
Chalmers Tekniska Högskola  
SE-412 96 Göteborg  
Telefon: +46 31 772 1000

Omslag:  
Överst vänster: Vagn med lådor  
Övers mitten: Experimentet Emmas stege  
Nederst vänster: Balkrigg  
Höger: Emma och Sofia demonstrerar dragprovsmaskinen under laboration

Skrivet i L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X  
Tryckt av Institutionen för Tillämpad mekanik  
Göteborg, Sverige 2016

---

## Förord

Rapporten utgör det tredje kandidatarbetet som fokuserat på utvecklingen av en studio i mekanik och hållfasthetslära på institutionen för Tillämpad mekanik vid Chalmers tekniska högskola. Arbetet genomfördes våren 2016 av fyra civilingenjörsstudenter i årskurs tre; två med inriktning mot maskinteknik och två med inriktning mot väg- och vattenbyggnad.

Vi i projektgruppen vill tacka alla som bidragit med tid och engagemang i vårt arbete. Vi tackar Jan Bragé och Reine Nohlborg för hjälp och goda idéer i samband med vår experimenttillverkning i Chalmers Prototypjobb. Vi tackar också föreläsarna Mats Ander, Anders Boström, Jim Brouzoulis, Mikael Enelund, Peter Folkow och Peter Torstensson som ställt upp på intervjuer och bidragit med värdefull information till projektet.

Ett stort tack riktar vi till vår examinator Mats Ander och handledare Peter Folkow som med hjälp av sitt engagemang för studions utveckling inspirerat och väglett oss genom projektet. Vi vill också rikta ett speciellt tack till Jim Brouzoulis för sitt deltagande under vår laboration och för sin entusiasm i vårt arbete.

Slutligen vill vi skicka en hälsning till kommande arbeten som rör studion och uppmuntra dem att ta del av våra resultat så att en långsiktig utveckling kan bibehållas.

Göteborg 2016-05-10

Sofia Alexandersson, Peter Bäckgren, Sebastian Everett Eriksson, Emma Hedin

---

## Sammanfattning

Studion i mekanik och hållfasthetslära är en lokal på Chalmers tekniska högskola avsedd att förvara experiment i och användas som en pedagogisk verkstad. Experimenten i studion visar på fenomen inom mekanik och hållfasthetslära och är tänkt att användas som en resurs i grundkurser för att ge studenterna en praktisk erfarenhet av teorin.

Under våren 2013 och 2014 genomfördes två utvecklingsarbeten i studion som syftade till att utrusta lokalen med nya experiment och förbättra de redan existerande. Dessa arbeten resulterade i ett bra utbud av experiment och under arbetet 2013 hölls en laboration i studion för studenter som läste en kurs i hållfasthetslära. Efter arbetenas slut fortsatte studion att användas som förvaring av experimentell utrustning men långt ifrån alla experiment fortsatte att användas kontinuerligt och ingen kurs har sedan 2013 inkluderat ett besök i studion som ett laborationsmoment.

Årets arbete har fokuserat på att organisera och uppdatera studion så att den och dess utrustning tas tillvara som en långsiktig resurs i Chalmers kurser i mekanik och hållfasthetslära. Genom att inventera studion och dess redan existerande experiment skapades en översikt över vilka resurser som fanns och med hjälp av intervjuer från lärare i berörda kurser kunde nya behov identifieras. Dessa låg till grund för arbetets upplägg; att reparera gamla experiment, utveckla nya experiment och skapa underlag för en laboration i studion. Arbetet har även fokuserat på att utveckla ett system för att organisera innehållet i studion så utrustningen blir lättillgänglig, användbar och bekant för berörda lärare.

Arbetet har resulterat i att ett tiotal gamla experiment har reparerats och deras tillhörande instruktioner har uppdaterats och omformaterats för att bli mer pedagogiska och tydliga. Lika många nya experiment har tagits fram och för att skapa ett enhetligt intryck har samma standard använts till instruktionerna för de nya experimenten.

För att utvärdera studion och några av dess experiment har en laboration hållits för en klass på cirka 30 studenter från en kurs i hållfasthetslära och maskinelement. Laborationen innehöll fem stationer där studenterna själva fick testa experiment som visade olika fenomenen från kursen och diskutera tillhörande frågor.

Studion har omorganiserats genom att experimenten har märkts upp och placerats i förvaringslådor i olika skåp. För att innehållet ska bli användbart och enkelt att hitta har ett register skapats med ett foto och en kort beskrivning av varje experiment. I registret finns det även information om vilket skåp experimentet förvaras i och vilket tekniskt område det berör, exempelvis om det visar på fenomen inom statik, dynamik eller hållfasthetslära. Registret ska alltid finnas tillgängligt i studion så att lärare enkelt kan gå dit för att hitta ett passande demonstrationsexperiment att inkludera i sin kurs.

Genom att dela arbetets resultat med lärare i mekanik och hållfasthetslära är förhoppningen att de ser studion som en resurs i sina kurser där de på ett enkelt sätt kan orientera sig genom ett stort experimentellt utbud.

---

## Summary

The Studio of Engineering Mechanics and Solid Mechanics is a room at Chalmers University of Technology designed to contain experiments and to be used as an educational workshop. The experiments in the studio show phenomena in mechanics and are meant to be used as a resource in theoretical courses at Chalmers to give the students practical experience.

In the spring of 2013 and 2014 two development projects were carried out in the studio with the aim to supply the room with new experiments and to improve the already existing ones. These projects resulted in a good range of experiments and the project of 2013 also resulted in a laboration held in the studio for a group of students who studied a course in solid mechanics. After the end of the two projects the studio continued to be used as a storage for experimental equipment, but only a few experiments continued to be used continuously and no course since 2013 has included a visit to the studio.

This year's project has focused on reorganizing and updating the studio so that it and its equipment are being used as a long-term resource in mechanics courses at Chalmers. By doing an inventory of the studio and its existing equipment an overview was created over the assets, and through interviews with teachers in relevant courses, new needs were identified. These laid the foundation for the approach of the project; to repair old experiments, develop new ones and create a new laboration in the studio. The project also focused on developing a system for the organization of the equipment in the studio to make it easily accessible, useful and familiar to the lecturers concerned.

The project has resulted in repair of a dozen old experiments and update and reformat of their corresponding instructions to appear more pedagogical and distinct. An equal amount of new experiments have been developed and in order to maintain a uniform appearance the same standard on the instructions for the new experiments was used.

To evaluate the studio and some of the experiments a laboration was held with a class of about 30 students from a course in solid mechanics. The laboration consisted of five stations where the students themselves had to perform experiments on different phenomena from their course.

The studio has been reorganized and the experiments have been labelled and placed in storage boxes and put in specific lockers. To make the equipment useful and easy to find a catalogue was created including a photo and a brief description of each experiment. In the catalogue, there is also information about where the experiment is stored and which technical field it concerns, for example if it describes phenomena from statics, dynamics or solid mechanics. The catalogue should be available in the studio so that teachers easily can go there to find a suitable demonstration experiment to include in their course.

By sharing the project results with teachers in engineering and solid mechanics, the hope is that they will see the studio as a resource in their courses and a place where they easily can orient themselves in a large range of experiments.

## Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>1</b>
1.1	Bakgrund . . . . .	1
1.2	Problembeskrivning . . . . .	1
1.3	Syfte och delmål . . . . .	2
1.4	Avgränsningar . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Pedagogisk referensram</b>	<b>3</b>
2.1	Att koppla till tidigare kunskaper . . . . .	3
2.2	Tester som läromedel . . . . .	3
2.3	Effekter av motivation på lärandet . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Metod</b>	<b>5</b>
3.1	Konceptgenerering . . . . .	5
3.2	Inventering . . . . .	5
3.3	Intervjuer . . . . .	5
3.4	Urvalsmatris . . . . .	5
3.5	Prototypplabbet . . . . .	6
3.6	Laboration . . . . .	6
3.6.1	Enkät . . . . .	6
3.7	Den iterativa processen . . . . .	6
3.7.1	Agil metodik . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Förstudie</b>	<b>9</b>
4.1	Inventering av studion . . . . .	9
4.2	Intervjuer med lärare . . . . .	9
<b>5</b>	<b>Resultat</b>	<b>10</b>
5.1	Ny modell för dokumentation och logistik . . . . .	10
5.2	Reparation av tidigare experiment . . . . .	12
5.2.1	Flytta moment . . . . .	12
5.2.2	Spänningsoptik . . . . .	13
5.2.3	Eulers knäckfall . . . . .	13
5.2.4	Nedböjning . . . . .	14
5.2.5	Förflyttning av last på balk . . . . .	14
5.2.6	Tyngdpunktsmodell . . . . .	15
5.3	Utveckling av nya experiment . . . . .	16
5.3.1	Emmas stege . . . . .	16
5.3.2	Sofias Stav . . . . .	17
5.3.3	Dragprovsmaskinen . . . . .	17
5.3.4	Fiberexperiment . . . . .	19
5.3.5	Balkrigg . . . . .	20
5.3.6	Linor och trissor på tavlan . . . . .	21
5.3.7	Jämvikt och moment . . . . .	21
5.4	Laboration i hållfasthetslära och maskinelement . . . . .	22
5.4.1	Utvärderingsenkät . . . . .	23
5.5	Inköp av utrustning för experimentbygge . . . . .	26
5.6	Kompendie med guider till studion . . . . .	27
5.6.1	Fotografering av experiment . . . . .	28
5.6.2	Undersökning av leverantörer . . . . .	28
5.6.3	Elektroniska sensorer . . . . .	29
5.7	Organisering av studion . . . . .	30
5.8	Visning av studion . . . . .	32

---

<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>33</b>
6.1	Att utveckla studion med iterativ process . . . . .	33
6.2	Genomförande och tolkning av intervjuer . . . . .	33
6.3	Framtagning av experiment . . . . .	34
6.4	Spridning av kunskap . . . . .	35
6.5	Utvärdering av laboration . . . . .	35
6.6	Tolknings av enkätsvar . . . . .	36
6.6.1	Tydliga instruktioner . . . . .	36
6.6.2	Praktisk tillämpning . . . . .	36
6.6.3	Hänsyn till förkunskaper . . . . .	37
6.7	Studions nya ordning . . . . .	37
<b>7</b>	<b>Referenser</b>	
<b>A</b>	<b>Intervjufrågor</b>	
<b>B</b>	<b>Labb-PM</b>	
<b>C</b>	<b>Urvalsmatris - Gamla experiment</b>	
<b>D</b>	<b>Lista över nya idéer till experiment</b>	
<b>E</b>	<b>Karta över studion</b>	
<b>F</b>	<b>Guide till dragprovsmaskin</b>	
<b>G</b>	<b>Svar på labbutvärderingsenkät</b>	
<b>H</b>	<b>Manual</b>	
<b>I</b>	<b>Lösningförslag</b>	

## Begreppsförklaringar

I nedanstående lista beskrivs begrepp som är viktiga för att förstå innehållet i rapporten.

**Experiment** i den här rapporten beskriver pedagogiska verktyg som underlättar undervisning inom mekanik och hållfashetslära. Vanligtvis består experiment av en samling fysiska objekt som tillsammans används för att skildra ett fysikaliskt fenomen.

**Kanban-schema** är ett sätt att synliggöra arbetsprocesser. Schemat består av ett antal kolumner med varsin rubrik. Kolumnerna innehåller delmål, ofta i form av Post-it-lappar, där varje kolumn representerar delmålens fas i processen.

**Kurs-PM** är på Chalmers ett dokument som beskriver hur en kurs kommer utföras. Här beskrivs information som kursinnehåll, moment, ansvariga lärare, med mera.

**Manual** är det dokument som beskriver experimentets syfte, beståndsdelar, koppling till lärandemål, bakomliggande teori samt instruktioner för hur experimentet ska utföras. En manual innehåller också diskussionsfrågor och uppgifter som knyter an till experimentet och dess bakomliggande teori.

**Labb-PM** eller laborations-PM är ett dokument som beskriver en laboration för studenter som ska utföra den. Dokumentet innehåller information som underlättar för studenterna inför labben.

**Laboration** är ett planerat tillfälle i en kurs där studenterna får testa experiment från studion med hjälp av tillhörande instruktioner.

**Lösningsförslag** är det dokument som besvarar de frågor och uppgifter som ges av manualen. Ett lösningsförslag kan användas i efterhand för att verifiera att rätt tankegång och slutsats har diskuterats under utförandet av experimentet.

**ShareLaTeX** är ett onlinebaserat verktyg för formatering av text, vanligen använt i vetenskapliga rapporter. I verktyget finns möjlighet att samarbeta direkt och även stöd för delning av filer.

**Studion** eller studion i mekanik och hållfashetslära, är en lokal i Maskinhuset på Chalmers tekniska högskola som är tillägnad åt att förvara experiment och hålla laborationer i.

# 1 Inledning

I följande avsnitt introduceras arbetet med utgångspunkt från resultat av tidigare kandidatarbeten i studion. Därefter följer en analys av de problem och behov som identifierats i studion följt av syfte och delmål om hur projektet ska lösa dessa. Avslutningsvis beskrivs vilka avgränsningar som gjorts.

## 1.1 Bakgrund

Grundkurser inom mekanik och hållfasthetslära på Chalmers tekniska högskola är till stor del teoretiska. Under föreläsningar och räkneövningar får studenterna höra och reflektera över teorin bakom olika mekaniska fenomen. Då och då tar läraren med fysiska exempel att demonstrera under föreläsningar men utöver det saknas praktiska komplement till teorin. För att göra det möjligt att inkludera fler praktiska inslag genomfördes det under 2013 och 2014 kandidatarbeten rörande uppbyggnaden av en studio i mekanik och hållfasthetslära (Eliasson m. fl. 2013, Komarski 2014). Studion var tänkt att innehålla experiment och användas som pedagogisk verkstad i kurserna.

Under kandidatarbetena skapades nya experiment och gammal utrustning rustades upp. Experimenten visar på fenomen och begrepp så som tyngdpunkt, jämvikt, vridning, balkböjning, spänningskoncentrationer, linkrafter och knäckning. Till några av experimenten skapades också instruktioner i form av manualer och lösningsförslag. Arbetet 2013 resulterade även i en laboration i hållfasthetslära.

Efter att de tidigare arbetena avslutats har inte studion utvecklats vidare, utan har främst använts för förvaring av experiment. Inga laborationer har hållits där sedan den som hölls under kandidatarbetet 2013, och de flesta experimenten står oanvända. Årets arbete har fortsatt utvecklingen av studion och tagit vid där de tidigare arbetena slutat med fokus på att skapa förutsättningar för att inkludera utrustningen mer i utbildningen.

## 1.2 Problembeskrivning

Uppgiften delades upp i ett flertal delproblem, vissa i form av rent praktiska problem och andra av mer pedagogisk eller organisatorisk karaktär.

På grund av att utrustningen i studion inte är organiserad, och att lokalen helt saknar dokumentation över det experimentella utbudet, krävs det mycket energi för den lärare som vill leta upp ett användbart demonstrationsexperiment att inkludera i sin kurs. Till följd av studions skick går studenter miste om praktiska moment i sina kurser.

Till några av experimenten i studion finns tillhörande manual och lösningsförslag. Kvalitén på innehållet i manualerna i form av teoretisk bakgrund och pedagogiska uppgifter varierar mycket och många är otydliga. I samband med att många dokument är i behov av en uppdatering, både när det gäller design och innehåll, uppstår det ytterligare problem då de tidigare projekten inte lämnat efter sig några redigerbara filer. Detta innebär att dokumenten måste återskapas från grunden för att kunna uppdateras.

Något som försvårar utvecklingen av experiment är att lärarnas personliga uppfattning och engagemang kring experiment påverkar hur de resonerar kring att inkludera experimentellt material i sina kurser. Därför efterfrågar de olika sorters utrustning. Vissa strävar efter att finna en praktisk tillämpning att demonstrera till näst intill varje föreläsning, medan andra väljer att ha ett mer teoretiskt fokus och sällan inkluderar experiment.

Antalet studenter som läser kurserna inom mekanik och hållfasthetslära kan påverka möjligheterna att inkludera experimentellt undervisningsmaterial. Många experiment fungerar bra inför liten publik när betraktarna upplever det som sker på nära håll. Då gruppen blir större ökar även avståndet till åskådarna och experiment som fungerade bra på nära håll blir istället små och otydliga. Därför måste varje kurs anpassa sina praktiska moment med hänsyn till antalet studenter. För vissa kurser kan det vara lämpligt med tydliga demonstrationer under föreläsningstid, för andra kanske en egenutförd laboration är mer passande, och i vissa kurser skulle kanske dessa två alternativ kunna kombineras.

Det finns även ett logistiskt problem då det ofta är svårt för lärare att transportera material från studion till föreläsningssalen. En del experiment är tunga, andra är stora och klumpiga och vissa innehåller många beståndsdelar som försvårar transporten.

### 1.3 Syfte och delmål

Arbetet syftar till att omorganisera och uppdatera studion så att den och dess utrustning kan tas tillvara som en långsiktig resurs i kurserna inom mekanik och hållfasthetslära på Chalmers tekniska högskola. Projektet ska resultera i fler praktiska moment för studenterna i berörda kurser och på så sätt förbättra deras möjligheter till inläring. Ovanstående syfte ska uppnås genom följande delmål:

- att utföra en nulägesanalys av studion och reparera gamla experiment,
- att undersöka behovet av experimentellt undervisningsmaterial genom att intervjua lärare som leder kurser inom mekanik och hållfasthetslära,
- att uppdatera studion med relevant utrustning utifrån de behov som fastställts,
- att organisera studion så att utrustningen blir lättillgänglig, användbar och bekant för berörda lärare.

### 1.4 Avgränsningar

Arbetet är inriktat mot grundkurser inom mekanik och hållfasthetslära som ges av institutionen för Tillämpad mekanik på Chalmers. Tidsramen är vårterminen 2016, vilket ger 20 veckors arbete på halvtid med projektet.

Att förklara ett fenomen eller en teori genom experiment kan genomföras på olika sätt. De experiment som utvecklas under detta arbete planeras att vara genomförbara med en begränsad utförandetid, då experimenten ska kunna demonstreras under en föreläsning. Alltså har experiment som tar lång tid att demonstrera förkastats. Arbetet är också avgränsat till att endast förklara fenomen med hjälp av fysiska experiment och därmed är datorbaserade visualiserings- och beräkningsmodeller bortprioriterade.

## 2 Pedagogisk referensram

För att kunna motivera och diskutera beslut och resultat kring projektet gjordes en pedagogisk litteraturstudie. Litteraturen valdes ut från bibliotek och sökningar på Internet, avgränsat till teorier om möjliga effekter som experiment eller liknande har på lärande.

### 2.1 Att koppla till tidigare kunskaper

Flera studier pekar på att studenter har lättare att ta in ny kunskap genom att koppla till tidigare kunskap (Brod m. fl. 2013, Hailikari m. fl. 2008, Pazzani 1991, Roschelle 1995). Begreppet acceleration blir till exempel lättare att förklara för en student som är bekant med hastighet och hastighetsförändring. Ju fler kopplingar den nya informationen har till gammal kunskap, och ju bättre strukturerad den gamla kunskapen är i minnet, desto lättare blir det att komma ihåg den nya informationen (Svinicki 1994). Om tidigare kunskap inte beaktas i en kurs kan det istället påverka studenternas motivation negativt (L. Campbell och B. Campbell 2009), och göra att de riskerar att missförstå den nya kunskapen. Teorierna verkar då för abstrakta och/eller nya.

Det finns flera olika sätt att koppla till tidigare kunskaper (ibid.). Att till exempel fråga vad studenter kan om ett visst ämne innan de lär sig någonting nytt har visat sig öka prestationer. Även att förklara grundprinciper innan mer avancerade förklaringar ges har visat sig effektivt.

I de fall som en student saknar tidigare kunskap att koppla ny information till, kopplar studenten det till enklare saker, som till exempel informationens ljud eller utseende (Svinicki 1994). Kunskapen blir så att säga mer "rå," till skillnad från exempelvis matematiska härledningar som ofta bygger på tidigare matematisk förståelse.

### 2.2 Tester som läromedel

Flera studier har visat att studenter som får övningar som testar deras kunskaper lär sig mer effektivt än studenter som endast lär sig genom till exempel texter och föreläsningar (Dunlosky 2013, Nunes och Kappicke 2015).

Detta sägs bero på både en indirekt och direkt orsak. När en student själv försöker besvara en övningsfråga hämtas kunskap från minnet och studenten övar direkt sitt långtidsminne. Men om studenten misslyckas med att hämta kunskap får personen feedback om vilken kunskap som saknas, och får därmed tydligare klart för sig vad som behöver läras in bättre.

Den här teorin kan användas som argument för hur experimentstudien används. Istället för att använda den till en ren demonstrationsövning, att studenterna bara observerar vad som händer, kan ett tillhörande problem som studenterna själva får lösa skapa mer effektivt lärande. Eller i en enklare form en tillhörande fråga som studenterna får reflektera över.

### 2.3 Effekter av motivation på lärandet

I pedagogik och psykologi delas motivation ofta upp i inre och yttre motivation (Sansone och Harackiewicz 2000). Yttre motivation beskrivs som viljan att utföra något för att uppnå någonting annat, till exempel att arbeta för att få lön. Inre motivation är när utförandet i sig har ett egenvärde, till exempel att lösa ett Sudokupussel för att det upplevs som roligt.

En studie (Gruber m. fl. 2014) visade att nyfikenhet, eller inre motivation att få en fråga besvarad, påverkar en persons förmåga att lära sig. Personer som sätts i ett "nyfiket tillstånd" har lättare att inte bara lära sig information kring ämnet de är nyfikna om, utan även information från andra ämnen. En nyfiken person blir även mer motiverad av belöningar som inte är direkt kopplade till lärandet. En nyfiken student är alltså mer motiverad att lära sig inför exempelvis en tentamen än en icke-nyfiken student.

Det här kan vara ett argument för hur experiment kan användas fördelaktigt. Om experimenten används i början av en föreläsning, som en "nyfikenhets-trigger," kan studenternas nyfikenhet väckas och göra det lättare för dem att lära sig under resten av föreläsningen.

## 3 Metod

För att uppnå önskat resultat delades arbetets genomförande upp i olika delmoment. Nedanstående kapitel beskriver dessa och på vilka sätt de har tillämpats.

### 3.1 Konceptgenerering

För att skapa underlag till nya experiment studerades de tidigare arbetena och en granskning gjordes av kursernas lärandemål beskrivet i respektive kurs-PM. En sökning på Internet gjordes för att samla information om tidigare arbeten och utvecklingar som gjorts inom området. Kursernas läroböcker användes också för att hitta möjliga experiment och teorier att demonstrera. Efter detta gjordes en brainstorming inom gruppen där ytterligare nya idéer genererades.

### 3.2 Inventering

I början av projektet gjordes en inventering av studion och dess förråd för att ta reda på vilken utrustning som fanns tillgänglig. Information om utrustningen sammanställdes i ett kalkylark.

### 3.3 Intervjuer

För att kunna samla in kunskap om kursernas behov av experimentellt undervisningsmaterial hölls personliga intervjuer med lärare i mekanik och hållfasthetslära. Intervjufrågorna utformades på ett sådant sätt så att respondenterna fick möjlighet att ta upp saker som de ansåg var viktiga. Intervjufrågorna finns som bilaga A. Bland annat efterfrågades det huruvida läraren använde experiment i sin kurs och vad han eller hon såg för potential att inkludera fler praktiska inslag i sin kurs. Med hjälp av intervjuerna kunde underlag samlas in angående vad som var relevant för projektet att fokusera på, exempelvis om det fanns behov av att producera nya experiment eller om en laboration passade kurserna bättre.

### 3.4 Urvalsmatris

För att kunna prioritera vilka områden som skulle bearbetas upprättades en matris, se bilaga C. I denna matris poängsattes befintliga eller tänkbara experiment utefter olika kriterier som exempelvis hur stor nytta för studenternas lärande de kunde anses ha, hur enkelt de skulle kunna användas, hur lång tid de antogs ta att tillverka och hur mycket de kunde kosta. Poängen sammanställdes sedan för varje experiment där de med högst poäng fick högst prioritet medan de med lägst hamnade längst ned på prioriteringslistan.

## 3.5 Prototyplabbet

Prototyplabbet är en verkstad med maskiner och material som studenter på Chalmers får tillgång till vid olika projektarbeten. Genom eget fysiskt arbete i denna verkstad med hjälp från handledare i Prototyplabbet, utvecklades nya experiment.

## 3.6 Laboration

En laboration utfördes i studion som en del av kursen Hållfasthetslära och maskinelement (TME061). Laborationen fungerade både som en del i att utveckla pedagogiken i kursen, ett sätt att marknadsföra studion och en metod för att testa framtagna experiment. Tanken var även att skapa ytterligare ett exempel, utöver laborationen som utfördes 2013, för hur studion kan användas som en del i en kurs.

För att se till att laborationen blev relevant för kursens innehåll fördes en dialog med ansvarig lärare, och experiment valdes ut utifrån kursens mål och upplägg. Därefter planerades laborationen i detalj, och ett labb-PM skapades för kursdeltagarna som beskrev experimenten översiktligt och hur de kopplades till kursen. Labb-PM finns som bilaga A.

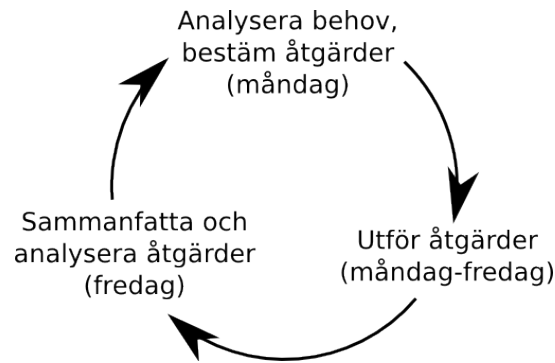
### 3.6.1 Enkät

I slutet av laborationen delades en utvärderingsenkät ut. Med hänsyn till tidsbegränsning och de fåtal studenter (ca 30 st) som genomförde laborationen bestämdes det att enkäten skulle bestå av tre kvalitativa frågor, eftersom det inte ansågs möjligt att göra en bra kvantitativ studie. Det beslutades också att enkäten skulle vara en obligatorisk del av laborationen, för att få en så hög svarsfrekvensen som möjligt.

## 3.7 Den iterativa processen

Projektet innefattade många olika faser, med bland annat planeringsrapport, laboration och slutrapport. Samtidigt varierade kunskaperna hos gruppen kring saker som lärares och studenters behov, studions möjligheter och begränsningar och experimentens skick och användbarhet. Därför bestämdes det tidigt att projektet skulle utföras utifrån en iterativ process som lättare skulle anpassas till förändringar vid behov.

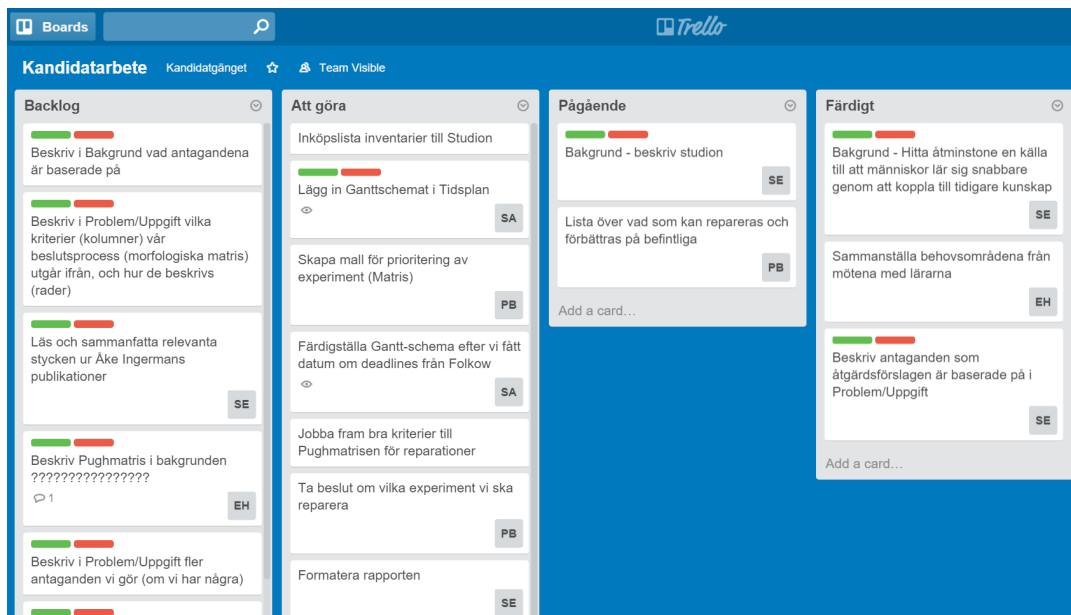
Processen bestod av veckovisa iterationer där den aktuella veckans behov diskuterades i början av veckan, och åtgärder utfördes och analyserades i mitten och slutet av veckan, se figur 1. Åtgärder var exempelvis att skapa ett nytt experiment, reparera ett gammalt, eller skriva en manual.



Figur 1: Iterativ process

För att förtydliga arbetsfördelningen användes ett Kanban-schema i det digitala verktyget Trello, se figur 2. Varje vecka delades åtgärder upp i mindre delar och arbetet fördelades till gruppens medlemmar. Schemat bestod av följande kolumner:

- Backlog – Här skrevs idéer ner utan hänsyn till prioritering eller konkretisering.
- Att göra – Efter att idéerna delats upp och prioriterats hamnade de här. Detta gjordes oftast vid veckomöten.
- Pågående – När en åtgärd påbörjades lades det här.
- Färdigt – Hit flyttades utförda åtgärder.



Figur 2: Kanban-schema skapat i Trello

### 3.7.1 Agil metodik

Denna iterativa process kan bäst jämföras med agil metodik, en projektledningsmetodik som började som principer för mjukvaruutveckling men som även kan appliceras på andra projekt. Metoden beskrivs i agil-manifestet (*Manifesto for Agile Software Development* 2001), och nedan citeras några av dess principer som är relevanta för detta projekt.

”Welcome changing requirements, even late in development. Agile processes harness change for the customer’s competitive advantage.”

”Deliver working software frequently, from a couple of weeks to a couple of months, with a preference to the shorter timescale.”

”Agile processes promote sustainable development. The sponsors, developers, and users should be able to maintain a constant pace indefinitely.”

Enligt Johansson (2012) passar metodiken olika bra på olika projekt. Vissa egenskaper gör agilt arbetssätt mer fördelaktigt: Om kraven för vad projektet producerar är otydliga, om projektets mål är komplexa, om resultat behöver produceras snabbt och/eller om kostnaden för att ändra planeringen/produkten är liten.

## 4 Förstudie

För att skapa en översikt över vilka tillgångar som fanns i studion vid arbetets start gjordes en inventering där alla gamla experiment och tillhörande instruktioner samlades ihop och dokumenterades. Även studios resurser i form av möbler och förvaringsutrymme undersöktes. För att identifiera behovet av nytt experimentellt undervisningsmaterial intervjuades lärare som leder kurserna i mekanik och hållfasthetslära.

### 4.1 Inventering av studion

Vid projektets början användes studion främst för förvaring. Även utrustning som inte hör till studion förvarades där, vilket gjorde det svårare att använda rummet på det sätt det var tänkt.

Experimenten från föregående arbeten låg till synes helt utan ordning ute på borden, i och ovanpå skåpen och på golvet, tillsammans med överblivet material från tillverkningen av experiment, målarfärg med mera. Med hjälp av de tidigare rapporterna upprättades en lista över experiment vilken användes vid inventeringen av lokalen. Av de nio experimenten från 2013 års arbete fanns 8 av dem på plats, men bara 5 av dem fungerade att använda. Endast 2 var helt kompletta med instruktioner. Från 2014 fanns alla tre experiment kvar, men inget av dem hade tydliga instruktioner. Redigerbara filer för instruktionerna kunde heller inte hittas. Förutom experimenten från 2013 och 2014 fanns även äldre utrustning med vilken ett tiotal experiment antogs kunna genomföras, men utan någon form av dokumentation. Mer information om vilka experiment som fanns och deras status finns i urvalsmatrisen, bilaga C. För en mer detaljerad beskrivning av de gamla experimenten, se (Eliasson m. fl. 2013, Komarski 2014)

I rummet fanns de möbler kvar som införskaffades 2013; två höga arbetsbänkar, fyra underskåp och fyra vägghängda överskåp för förvaring, men även ett konferensbord med stolar och en dragprovsmaskin. En skrivare stod även i studion, men var inte i bruk.

### 4.2 Intervjuer med lärare

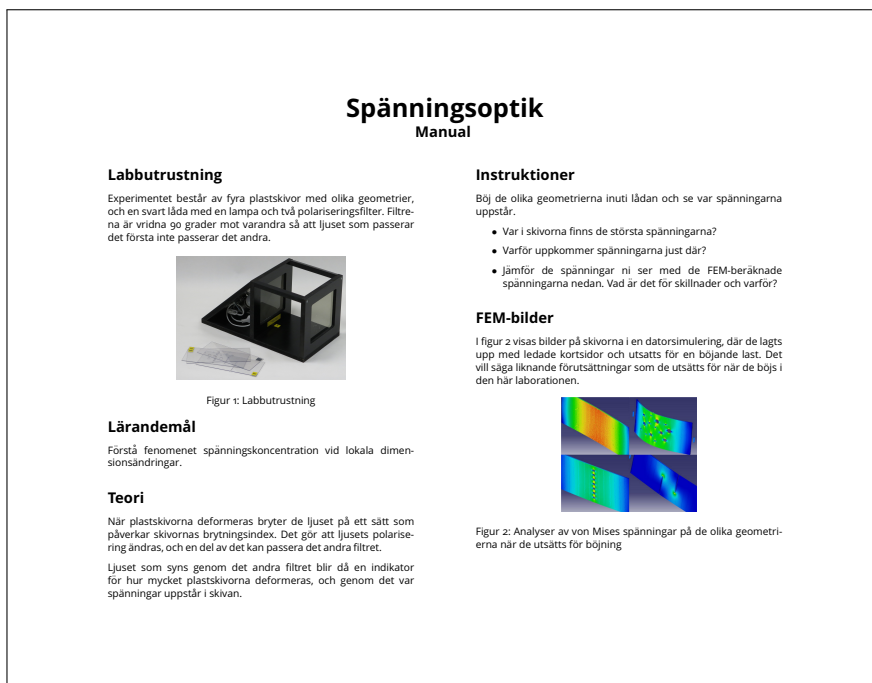
För att förstå vad som efterfrågades av studion intervjuades lärare i de berörda kurserna. På detta sätt kunde behovet av förbättringar av studion kartläggas och olika uppgifter prioriteras. Det framgick av intervjuerna att en del experiment som fanns har varit bra, men att de var i behov av reparation. En del områden ansågs vara i större behov av något praktiskt experiment då den aktuella teorin upplevdes svår för studenterna. Vissa sådana områden saknade helt experiment. Formatet för experimenten diskuterades också. I vissa kurser önskades att filmer av experiment kunde visas upp under föreläsning, i andra fanns det behov av en laboration där studenterna själva fick använda sig av experimenten och förstå fenomen, medan det i vissa fall önskades mer experiment som kunde demonstreras under föreläsning. Intervjuerna visade också på att föreläsarna hade problem med att få med sig vissa experiment till föreläsning på grund av att de var otympliga och tunga att bära med sig. Intervjufrågorna finns sammanställda i bilaga A.

## 5 Resultat

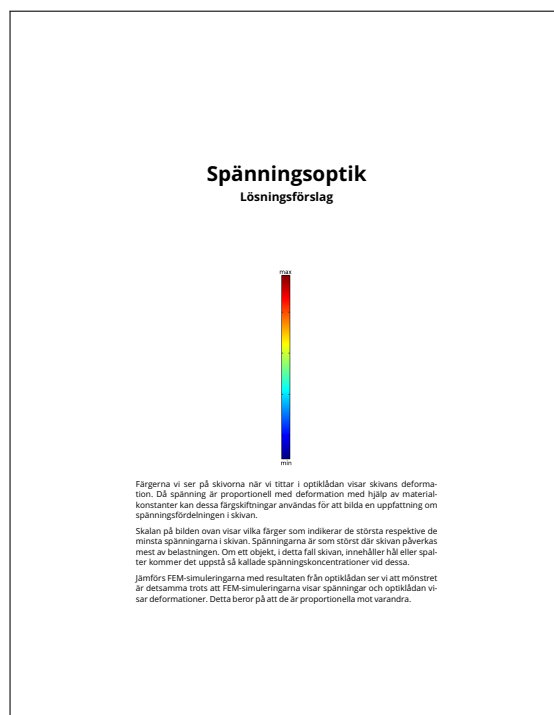
I kommande avsnitt presenteras de resultat som arbetet genererat baserat på de syften och delmål som fastställts i rapportens inledande kapitel. Här presenteras hur gamla experiment reparerats, hur nya experiment utvecklats och hur en laboration utformats och genomförts. Det kommer även presenteras hur arbetet har resulterat i en ny struktur i studion och ett kompendie med underlag för vidareutveckling av studion.

### 5.1 Ny modell för dokumentation och logistik

Då det saknades redigerbara dokument för experimentens instruktioner från tidigare arbeten, utvecklades nya mallar för manualer och lösningsförslag i ShareLaTeX (se figur 3 respektive figur 4). Dessa mallar skapar ett enhetligt utseende på instruktionerna, och det blir möjligt framtida arbeten att skapa nya dokument genom att ta del av LaTeX-filerna. Ett exempel på en manual finns som bilaga H och motsvarande lösningsförslag som bilaga I.



Figur 3: Exempel på en manual



Figur 4: Exempel på ett lösningsförslag

För att kunna transportera experimenten smidigt och kunna förvara dem på ett bra sätt, införskaffades plastlådor med handtag och lock. Dessa plastlådor går att stapla på varandra vilket kan underlätta vid förvaring. Lådorna går även att placera på en vagn, vilket möjliggör transport av tyngre experiment (se figur 5).



Figur 5: Vagn lastad med lådor

## 5.2 Reparation av tidigare experiment

I början av arbetet innehöll studion gamla experiment, dels de som har byggts under tidigare arbeten men också sådana som funnits på Chalmers sedan lång tid tillbaka. Dessa experiment var alla i varierande skick.

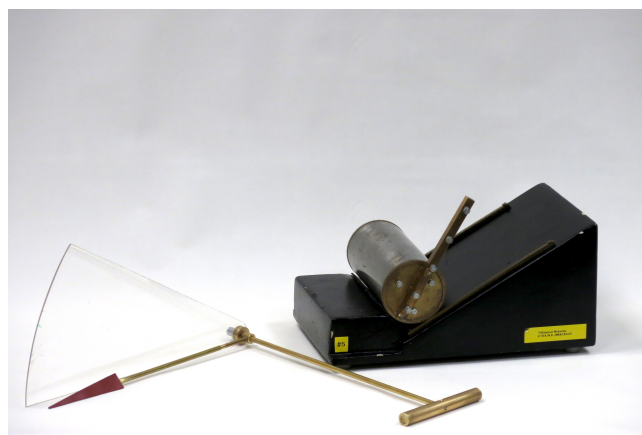
Baserat på intervjuer och studions inventering arbetades en matris fram för att rangordna de gamla experimenten efter hur aktuella de var att reparera (se bilaga C). De listades och betygsattes på följande områden: det tekniska fenomenets behov att förklaras, hur väl experimentet förklarar fenomenet, omdömen från intervjuerna med föreläsarna, möjlighet att ta med utrustningen till föreläsning, hur roligt/effektfullt experimentet är att genomföra och hur mycket arbete det skulle krävas att laga. Kriterierna blev dock svåra att betygsätta och vikta mot varandra. Därför användes matrisen främst som ett verktyg för att diskutera experimenten och dokumentera diskussionen.

Nedan presenteras de gamla experiment som reparerats och på vilket sätt de blivit mer användbara.

### 5.2.1 Flytta moment

Experimentet Flytta moment består av en tung metalcyylinder och ett lutande plan (se figur 6). I ena änden av cylindern finns ett flertal bultskallar placerade med olika avstånd från cylinderns centrumaxel. Genom att vrida en momentnyckel kring en bultskalle kan cylindern precis lättas från stödet och börja rulla uppför planet. Med hjälp av nyckelns visare kan det demonstreras att magnituden av ett rent moment blir lika stort oavsett vilken bultskalle som väljs, angreppspunkten spelar alltså inte någon roll.

För att göra experimentet mer lämpligt för demonstration i föreläsningssal byttes visartavlan ut till en större, nytillverkad tavla. Tavlan gjordes i genomskinlig plast för att inte skymma cylindern när experimentet utförs. Tavlan fästs på momentnyckeln på ett sätt som gör det möjligt att montera isär delarna för att kunna förvara alla delar till experimentet i en låda. Momentnyckeln renoverades på ett sätt så att handtaget blir behagligare att använda.

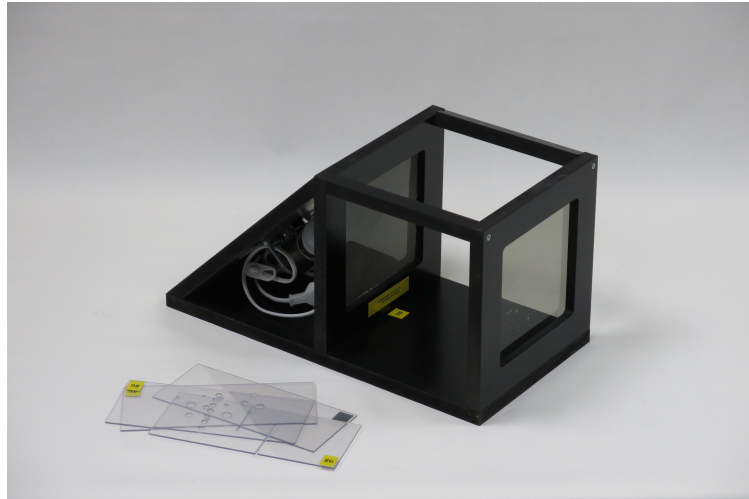


Figur 6: Flytta moment

### 5.2.2 Spänningsoptik

Experimentet Spänningsoptik består av en trälåda med en glödlampa i och två monterade polariseringsfilter. Till lådan finns fyra stycken plastskivor med olika geometrier (se figur 7). Syftet är att hjälpa studenter att förstå fenomenet spänningskoncentrationer genom att de får böja plastskivorna mellan de två polariseringsfilterna i den upplysta lådan och se var det uppstår spänningar.

Detta experiment fungerade bra men saknade ett lösningsförslag som besvarade frågorna i manualen. Därför skapades ett nytt lösningsförslag.

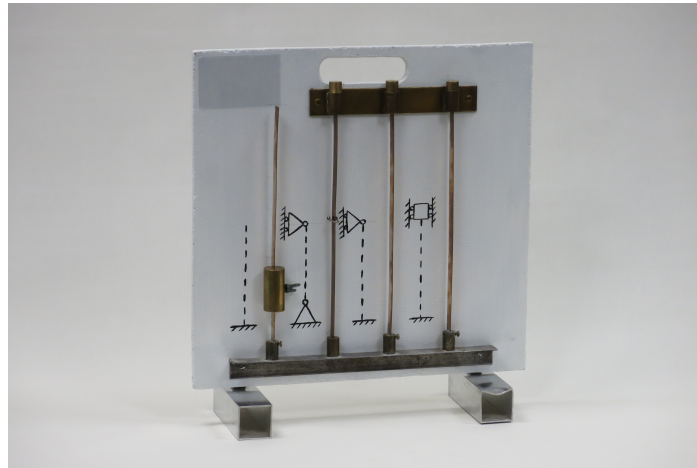


Figur 7: Spänningsoptik

### 5.2.3 Eulers knäckfall

Knäckning är ett instabilitetsfenomen inom mekanik och hållfasthetslära som kan uppkomma när långsmala kroppar så som rör, balkar, stänger och pelare blir tryckbelastade längs sin axel. Fenomenet innebär att det sker en kraftig förändring av kroppen då den utsätts för en kritisk last, den så kallade knäcklasten. Detta kan i sin tur leda till att den brister.

Experimentet är en modell som illustrerar fyra knäckningsfall med hjälp av fyra mässingsbalkar som är monterade på en träpanel med olika infästningar (se figur 8). De som utför experimentet uppmanas att tryckbelasta balkarna tills de knäcker ut och sedan analysera vilken balk som kräver minst knäckkraft. De ska också beskriva och observera hur balkarnas olika infästningar medför olika utböjningar samt analysera vad som händer om en av balkarna förstärks med ett extra stöd. För att göra detta placeras ett gem tätt runt modellens andra balk genom två hål i träpanelen. Eulers knäckfall är ett experiment som fanns redan innan arbetet startade men som har upprustats genom att en ny lösning för gemet tagits fram.



Figur 8: Eulers knäckfall

#### 5.2.4 Nedböjning

Genom att ställa en person eller annan vikt på en bräda som är fritt upplagd kan nedböjningen av brädan mätas upp. Mätningen utförs med ett digitalt skjutmått (se figur 9).

Till detta experiment har nya större stöd tillverkats och en ny bräda att stå på har köpts in. Klossarna som brädan ligger på behövs inte längre nu när stöden är högre, och har därför tagits bort från beskrivningen i manualen. Totalt sett innehåller experimentet nu färre delar vilket gör det lättare att hålla ordning på och transportera.



Figur 9: Nedböjning

#### 5.2.5 Förflyttning av last på balk

En bräda och två badrumsvågar visar hur reaktionskrafterna hos stöden på en fritt upplagd balk beror av var på balken en kraft verkar (se figur 10).

Till detta experiment köptes det in nya vågar, då en av de gamla var förstörd, och en ny bräda att stå på. Nu finns det en bräda till detta experiment och en annan till nedböjningsexperimentet vilket gör att de går att genomföra samtidigt vid en laboration, tidigare delade de en del utrustning. Underläggsklossarna behövs inte längre och har därför tagits bort från beskrivningen.

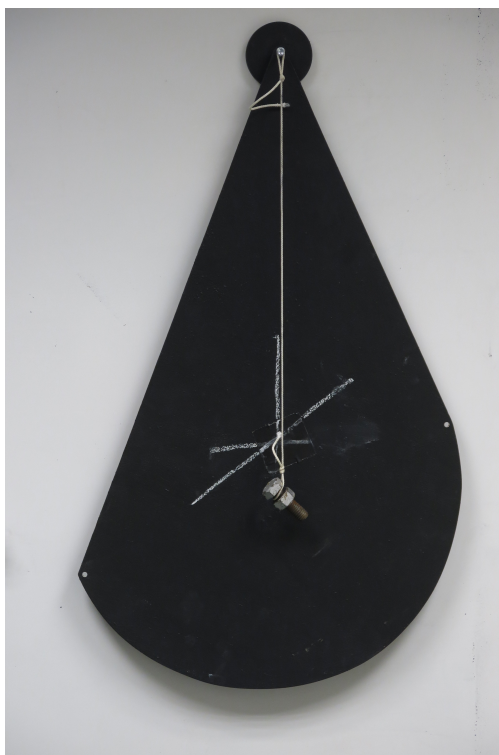


Figur 10: Förflyttning av last på balk

### 5.2.6 Tyngdpunktsmodell

En plan skiva med formen av en halvcirkel sammansatt med en triangel används för att experimentellt bestämma tyngdpunktens läge geometriskt (se figur 11). Tyngdpunkten kan även beräknas matematiskt, och med modellens hjälp kan det visas att det stämmer.

En gammal modell i papp användes som mall för att tillverka en ny modell i plywood. För att göra modellen än mer användbar målades den med tavelfärg vilket gör att den går att rita på med tavelkrita. Modellen blir då enklare att återanvända, jämfört med tidigare pappersmodell.



Figur 11: Tyngdpunktsmodell

### 5.3 Utveckling av nya experiment

Som ett steg i vidareutvecklingen av studion och dess resurser utvecklades fler nya experiment. En lista över de områden som föreläsarna önskade nya experiment i och experimentidéer från konceptgenereringen sammanställdes, se bilaga D. De nya experimenten rangordnades inte i en matris som de gamla experimenten, utan urval och prioriteringsordning gjordes istället varje vecka som del av den iterativa processen.

Dokumentation och emballage till de nya experimenten har tagits fram enligt den tidigare beskrivna modellen i stycke 5.1.

#### 5.3.1 Emmas stege

Experimentet ska på ett roligt och vardagligt sätt illustrera grunderna för friktion. Experimentet, som visas i figur 12, består av två träplankor som sitter fast i en metallram. Den går att fälla upp så att plankorna står i 90 grader mot varandra eller fälla ihop så att plankorna ligger parallellt. I plankorna finns dels inbyggda handtag för att experimentet smidigt ska kunna transporteras, dels fästen för stegen för att denna smidigt ska kunna transporteras med experimentet. Stegen är byggd i samma trämaterial som grund och trappstegen är gjorda i stål. Små krokar i stål har tillverkats för att möjliggöra att en vikt kan hängas på stegen.

Emmas Stege är tänkt att användas på två olika sätt. Det första är att största möjliga vinkel mellan väggen och stegen ska räknas fram för att jämvikt ska vara möjligt. Det andra är att en massa är tänkt att kunna röra sig upp och ned för stegen, där höjden som massan är på när stegen precis börjar glida sedan ska räknas fram. Det går även att byta ut träunderlaget mot ett i filt vilket är tänkt att hjälpa illustrera hur friktionen varierar beroende på underlag. Experimentet kan användas både under ett laborationstillfälle samt att visas upp under föreläsning.

Genom att tillverka detta experiment i stora dimensioner kan det användas under föreläsning utan problem för de som sitter längre ifrån att se vad som demonstreras. För att studenterna lätt ska kunna koppla teorin de lär sig till något praktiskt, har ett vardagligt exempel som de flesta känner igen sig i valts för att illustrera friktionens grunder.



Figur 12: Emmas stege

### 5.3.2 Sofias Stav

Experiment Sofias Stav visar hur en stav reagerar när den utsätts för slag på olika avstånd från upphängningen och i relation till masscentrum (se figur 13). Studenterna använder sig av en stav som är ledad med ett metallhandtag i ena änden och uppmanas att slå med vinkelräta slag mot tre olika markeringar medan staven vilar fritt på handtaget. Genom att observera hur staven beter sig vid de tre fallen finner studenterna att markeringen vid två tredjedelar ner på staven inte resulterar i någon rörelse vid upphängningspunkten. Detta är perkussionscentrum och är en punkt som man bland annat inom mekanik strävar efter att belasta då den ger mindre slitage i en roterande led. Fenomenet används även inom sporter så som baseball, tennis och golf. Där kallas punkten sweet spot och är något som idrottaren ofta strävar efter att finna då ett slag här medför att personen inte känner någon reaktion eller stöt av slaget i handen.

Staven är tillverkad i stora dimensioner så att experimentet fungerar bra att demonstrera på föreläsningar med större avstånd till åskådarna. Experimentet fordrar att tre personer hjälper till, två som håller upp staven i metallhandtagen och en som slår på de olika markeringarna. Genom att låta studenter genomföra experiment inför klassen skapas ett komplement till lärarens genomgång och visar på praktisk nytta av teorin. Detta medför i sin tur att studenterna får mer erfarenhet att koppla sin kunskap till vilket gynnar inläringen.



Figur 13: Sofias stav

### 5.3.3 Dragprovsmaskinen

Dragprovsmaskinen i figur 14 beställdes in för några år sedan med tanken att användas i olika kurser, men det har inte gjorts. Därför har en guide tagits fram som förklarar hur dragprovsmaskinen används. Guiden skrevs efter en kort genomgång av maskinen, samt att delar av gruppen provade sig fram genom att läsa den tillhörande manualen till maskinen, för att säkra användarvänligheten. Denna guide är framtagen för att underlätta användandet av dragprovsmaskinen och för att sänka "tröskeln" för lärare som vill demonstrera maskinen. Denna guide finns i bilaga F.

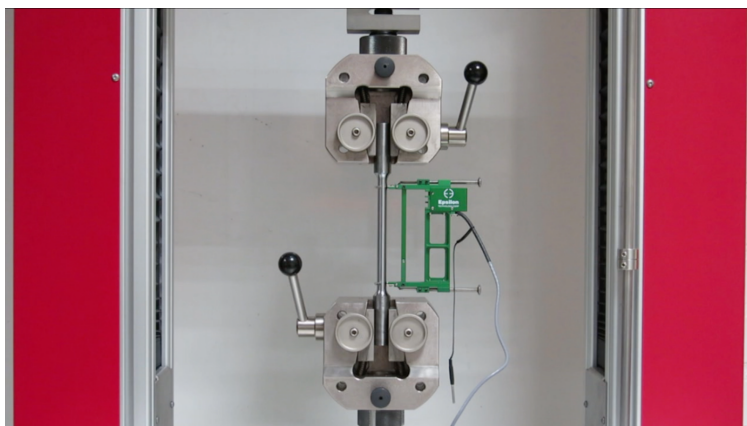
Dragprovsmaskinen är kopplad till en dator och utsätter en provstav för en dragkraft tills provstaven går till brott. Genom att koppla in en extensometer som mäter förlängningen av provstaven samt att mata in data om tvärsnittsarean och ursprungslängd av staven, kan datorn rita ut ett diagram över spänning-töjningskurvan tillhörande staven. Denna arbetskurva kan sedan användas för att exempelvis räkna ut elasticitetsmodulen för materialet.



Figur 14: Dragprovsmaskinen

Tio provstavar i stål respektive aluminium togs fram till dragprovsmaskinen. Två olika material valdes för att kunna jämföra spänning-töjningsdiagrammen för de olika materialen. Detta för att visa att olika material har olika egenskaper.

Under intervjuerna med de berörda lärarna visade det sig att ett behov för en film av dragprov fanns. Utrymmet som finns kring dragprovsmaskinen i studion är för litet för att ett större antal studenter ska få plats. En film skulle därför vara en bra lösning på problemet, då skulle lärare ha möjlighet att visa den under föreläsningar. I filmen visas ett dragprov av en provstav i stål. Stål är ett material som ofta nämns i kurserna och var därför ett givet val. Filmen visar hur provstaven monteras och hur den sedan blir utsatt för en ökande dragkraft tills staven går av. En stillbild från filmen finns i figur 15. Denna film är publicerad på hemsidan hallf.se.



Figur 15: Stillbild ur videon med dragprov

#### 5.3.4 Fiberexperiment

Fiberexperimentet består av två olika buntar med ihoptejpadе sugrör som ska illustrera olika fiberriktningar och hur dessa ger olika hållfasthet vid belastning (se figur 16).

För att öka studenternas förståelse för att anisotropa material har olika egenskaper beroende på hur materialet blir belastat relativt fibrerna, skapades detta experiment. Tanken är att studenterna ska utsätta de olika buntarna med sugrör för böjning. Den ena bunten blir utsatt för böjning parallellt fibrerna och den andra vinkelrätt fibrerna. Studenterna ska sedan komma fram till vilken riktning som har högst hållfasthet. Genom att studenterna själva får känna och prova sig fram kommer de lättare att kunna ta till sig den teorin de sedan läser om anisotropa material då de har något praktiskt att koppla till.



Figur 16: Fiberexperiment

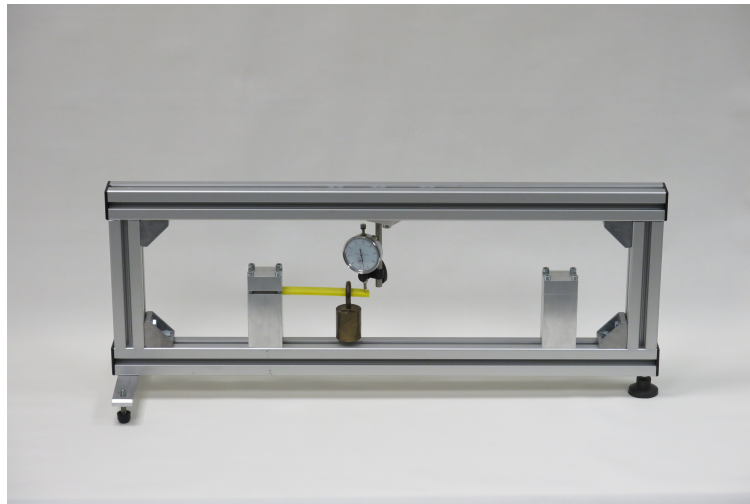
### 5.3.5 Balkrigg

För att demonstrera hur balkar deformeras vid belastning med olika villkor för inspänning, byggdes en rigg (se figur 17). Den består av en ram av aluminiumprofiler, och klossar i samma material för fixering av en tunn balk. Med balken fastspänd kan den belastas, exempelvis med en hängande vikt, och utböjning och vinkel kan mätas.

Det första experimentet som går att utföra med balkriggen är att testa hur en fast inspänd konsolbalk böjs ned av en pålagd punktlast. Experimentet kan till exempel användas för att beräkna utböjningen som funktion av lastens läge med hjälp av elementarfall från formelsamling.

Med hjälp av de två tornen kan en balk läggas upp på två stöd med valbara randvillkor, antingen fritt upplagd (utan lock) eller fast inspänd (med lock). Varianten med fritt upplagd som randvillkor blir en portabel version av experimentet Nedböjning, se stycke 5.2.4.

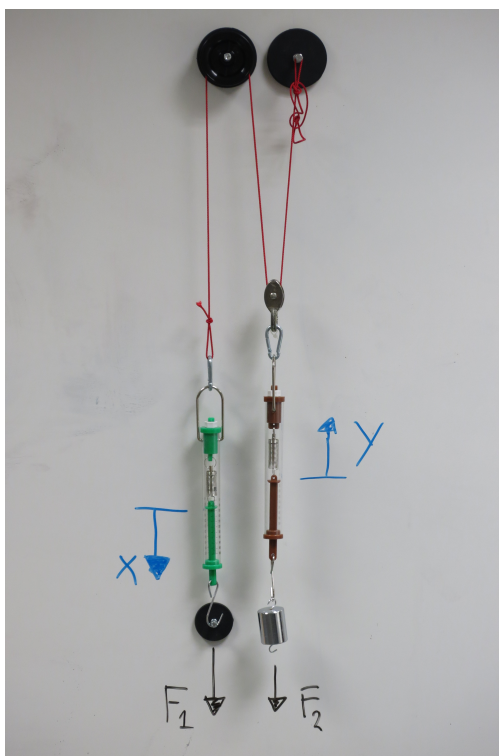
Med hjälp av två dynamometrar och en styv balk kan en portabel variant av experimentet Förflyttning av last på balk, se stycke 5.2.5, utföras. Med balken hängandes från en dynamometer i vardera änden kan en vikt hängas på olika avstånd från en kant och reaktionskrafterna i upphängningspunkterna kan läsas av på dynamometrarna.



Figur 17: Balkrigg med konsolbalk

### 5.3.6 Linor och trissor på tavlan

Linhjul monterade på starka gummiklädda magneter används för att visa på olika utväxlingsförhållanden mellan lina, trissor och vikter beroende på hur dessa placeras. Med hela systemet monterat på whiteboard- eller griffeltavla är det enkelt och tydligt för lärare att markera ut koordinatsystem och sträckor samt att notera utslag hos dynamometrar (se figur 18). Då experimentet utförs på tavlan blir det en dynamisk och levande version av de räkneuppgifter som vanligtvis utförs på tavlan och på papper, något som antas hjälpa studenterna att känna igen och koppla experimentet till uppgifterna.



Figur 18: Linor och trissor på tavlan

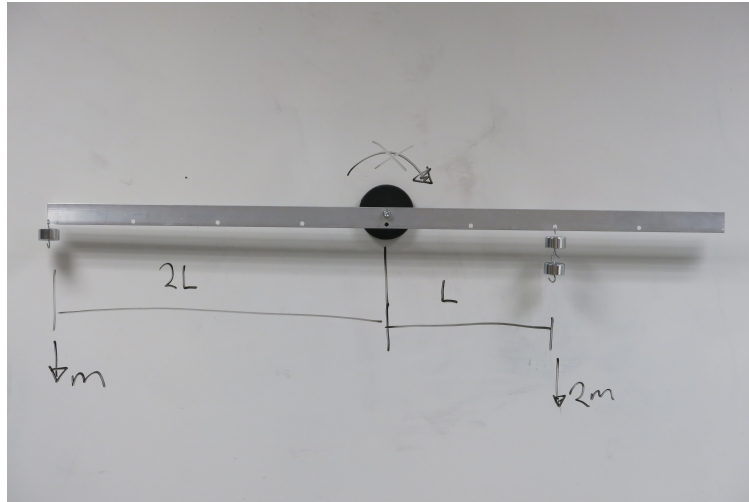
### 5.3.7 Jämvikt och moment

En linjal kullagrat upphängd centralt i längsled kan användas för att visa på stabil och instabil jämvikt. Anordningen fästs med magnet på whiteboard- eller griffeltavla (se figur 19).

Om linjalen hängs vågrätt med rotationspunkten ovanför tyngdpunkten kommer ingenting att hända, linjalen stannar vågrätt. Om linjalen däremot hängs upp med tyngdpunkten ovanför infästningen kommer den till en början stå still, men minsta störning kommer få den att kantra och börja pendla kring jämviktsläget. Tack vare det lätttrullande kullagret svänger linjalen fram och tillbaka en lång stund innan den till slut stannar i det stabila jämviktsläget.

Längs linjalens ena långsida är ett flertal hål borrade symmetriskt kring linjalens centrum och på jämnt avstånd mellan varandra. Detta gör det möjligt att visa på momentjämvikt med vikter hängandes på olika avstånd från centrum. Tack vare att experimentet sitter monterat

på skrivtavlan kan läraren rita ut avstånd och kraftpilar på samma sätt som för figurerna i kurslitteraturen.



Figur 19: Jämvikt och moment

## 5.4 Laboration i hållfasthetslära och maskinelement

Laborationen utfördes den 27 april kl 10:00-11:45 och 13:15-15:00. 33 kursdeltagare deltog och var uppdelade i 4 grupper. Varje grupp fick 45 minuter var att ta del av 5 olika experiment enligt schemat nedan.

Labb-PM delades ut samma dag som laborationen. Studenterna kunde läsa det före labben, men det gavs ingen tid till att läsa det under labben.

- Demonstration av dragprovsmaskin med uträkning av elasticitetsmodul för aluminium. Detta gjordes på ca 8 minuter. Se 5.3.3 för detaljer om maskinen.
- Stationer med 2-3 studenter vid varje station. Varje experiment hade en manual så att studenterna kunde utföra det självständigt, och alla fyra personer i arbetsgruppen var tillgängliga för att kunna förklara när det behövdes. Studenterna fick 8 minuter på sig vid varje station innan de roterade till nästa.
  - Förflyttning av last på balk. Den gamla balkanordningen användes här, med två vågar och en träbalk. Se 5.2.5 för detaljer.
  - Beräkning av nedböjning på balk. Här användes den nya balkriggen. Se 5.3.5 för detaljer.
  - Modell för Eulers knäckfall, se 5.2.3. Studenterna fick möjlighet att se Eulers knäckfall, känna skillnaden i knäcklast för några olika upplagsvillkor och räkna sinusvågor.
  - Spänningsoptik, se 5.2.2. Kursdeltagarna böjde på plastbrickor med olika former i polariserat ljus. På så sätt gick det att se deformationerna på ett liknande sätt som

i ett datorgenererat 3D-diagram från en FEM-analys (Finita elementmetoden).

- Skriftlig utvärdering med en pappersenkät som delades ut till deltagarna när de var klara med sin sista station.

#### 5.4.1 Utvärderingsenkät

Enkäten delades ut till samtliga deltagare, och bestod av följande kvalitativa frågor:

- Vad gick bra med labben?
- Vad gick sämre/vad kan förbättras?
- Var det något specifikt du lärde dig som du tror du har nytta av?

Nedan följer några framplockade enkätsvar som valts ut utifrån relevans och upprepande mönster. Samtliga svar finns i bilagan i kapitel G.

9 av 33 deltagare skrev positiva kommentarer kring instruktionerna på labben, på frågan "Vad gick bra med labben?" 6 av dessa använde beskrivningen "tydliga instruktioner", enligt tabell 1. Av svaren till frågan "Vad gick sämre/vad kan förbättras?" var det ett svar som beskrev att instruktionerna kunde bli bättre; "Bättre instruktioner."

Tabell 1: Positiva kommentarer kring instruktioner

	"Vad gick bra med labben?"
1	"Att kunna utföra överhuvudtagen. Tydliga och korta instruktioner. Bra med korta experiment."
2	"Ypperliga instruktioner"
3	"Bra förklarar. Bra med tydliga anvisningar. Fanns någon att fråga vid varje station."
4	"Bra handledning. Relevanta övningar. Bra instruktioner."
5	"Bra upplägg med väl förberedda korta labbar. Tydliga instruktioner."
6	"Tydliga instruktioner och bra handledare. Lagd på lagom nivå."
7	"Tydliga instruktioner, bra hjälp och bra diskussion."
8	"Allt, tydliga instruktioner och bra hjälp."
9	"Tydliga instruktioner till varje del."

9 av 33 deltagare jämförde även laborationens praktiska fokus med kursens teoretiska innehåll, när de tillfrågades om det var något de lärde sig som de hade nytta av.

Tabell 2: Kommentarer kring praktisk tillämpning

---

	”Var det något specifikt du lärde dig som du tror du har nytta av?”
1	”Antagligen har man fått en praktisk erfarenhet av kursen, så man kan relatera till längre fram.”
2	”Intressant att få se och jämföra med teorin.”
3	”Praktisk erfarenhet av hållfasthetslära.”
4	”Ja det är bra att göra praktiska tillämpningar för att få bättre insikt vid annars teoretiska problem.”
5	”Eftersom vi inte gått igenom det teoretiska av vissa labbar innan kommer att få se det i verkligheten innan öka förståelsen/inläringen senare.”
6	”Allmänt mer förståelse för fenomen och intuition om vad som sker i specialfall.”
7	”Den praktiska erfarenheten i allmänhet tror jag är väldigt nyttig. Bra att se fenomen”innan man tittar på dem teoretiskt på föreläsningen.”
8	”Intressant att jämföra utböjning i verkligheten med uträkningar. Då ser man att det verkligen stämmer.”
9	”Verklighetsförankring.”

---

Några experiment i labben beskrev teorier som deltagarna inte hade gått igenom än. Kommentarererna kring det verkade för det mesta negativa, men två kommentarer beskrev det som positivt.

Andra kommentarer beskrev hur laborationen inte var tillräckligt anpassad efter förkunskaper, antingen genom att det var för svårt eller för lätt.

Tabell 3: Positiva kommentarer kring förkunskaper

---

	”Var det något specifikt du lärde dig som du tror du har nytta av?”
1	”Många av stationerna var en bra introduktion eftersom vi inte hunnit gå igenom det än.”
2	”Den praktiska erfarenheten i allmänhet tror jag är väldigt nyttig. Bra att se fenomen”innan man tittar på dem teoretiskt på föreläsningen.”

---

Tabell 4: Negativa kommentarer kring förkunskaper

---

	"Vad gick sämre/vad kan förbättras?"
1	"Kolla av förkunskaper bättre innan, hos de som ska utföra labben."
2	"Vissa saker har vi inte gått igenom i kursen än. Slutdiskussion hade kunnat vara bra."
3	"Teorin hade kunnat förklaras innan det praktiska görs."
4	"Mer tid på varje station. Bara labb på det vi gått igenom."
5	"Vi har inte gått igenom allt teoretiskt vilket gör det svårt att applicera till vad vi egentligen gör."
6	"Glasögon till alla närvarande, lite svårt att förstå det man inte gått igenom."
7	"Djupare nivå vid dragprovet. Vi läste 7.5 hp i tvåan om detta."
8	"Möjligen något enkla."

---

## 5.5 Inköp av utrustning för experimentbygge

För att genomföra många sorters fysikaliska experiment behövs det en del grundläggande delar, så som vikter, mätutrustning och fjädrar. Vid starten för projektet fanns det knappt något sådant i studion, och det som fanns var osorterat och delvis trasigt. För att göra studion till en bra plattform för utveckling av nya experiment beslutades att köpa in ett grundsortiment av verktyg och artiklar, vilka märktes upp tydligt och fick en anvisad plats i lokalen, några verktyg visas i figur 20. Under våren 2016 köptes följande in:

- Verktygslåda med verktyg
- Gummiklädda magneter för fastsättning på skrivtavla
- Arduino-startpaket med avståndsmätare
- Sax, häftapparat, häftpistol, tavelmagneter, plastfickor för etiketter, skyltar och dyl.
- Dynamometrar
- Satser med vikter
- Skyddsglasögon
- Tavelfärg för att göra ytor möjliga att skriva på med krita
- Karbinhakar, lina och snöre
- Whiteboardpennor
- Digital vinkelmätare



Figur 20: Verktyg för underhåll av studion

## 5.6 Kompendie med guider till studion

Genom att dokumentera den praktiska arbetsprocessen blir det enklare för framtida drift, underhåll och utveckling av studion. Ett långsiktigt tänkande har genomsyrat arbetsgången, vilket till exempel handlat om att ta fram mallar för arbetet och att dokumentera hur gruppen har arbetat. Guiden till dragprovsmaskinen är ett exempel på en sida ur kompendiet, den finns i figur 21 och i bilaga F.

I många fall har det varit tidskrävande att komma igång och hitta fram till rätt saker, när det exempelvis gäller att veta var man kan köpa utrustning eller vem på Chalmers som har svar på praktiska frågor. När gruppen märkt av att något sådant tagit tid, har de framsteg som gjorts dokumenterats för att underlätta för dem som tar vid efter detta arbete. Denna information har sammanställts i ett kompendie som finns fysiskt i studion och digitalt.

Kandidatarbete TMEX02-16-12      20160422      Sofia Alexandersson

**Guide till dragprovsmaskinen**

1. Starta dragprovsmaskinen på dess nedre vänstra sida
2. Logga in på datorn
  - a. Användare: thab
  - b. Lösenord: Maskinteknik
3. Låt datorn och dragprovsmaskinen vara startade i cirka 10 minuter innan dragprovet ska starta
4. Starta programmet TramQA32
5. Skriv in operation on set: (exempelvis: Kandidatgruppen 2016)
6. Tryck OK på den lilla rutan som pluppar upp
7. Tryck på New Set uppe i vänstra hörnet
8. Tryck på Test → Manual control
9. Justera försiktigt höjden på den övre gripen så att provstaven får plats.
10. Fixera provstaven i den övre gripen
  - a. OBS! Se till att staven sitter fast ordentligt (rakt) genom att rycka den i sidleds
11. Justera den övre gripen i höjled så att staven passar bra i den undre gripen.
12. Nollställ värdena under Manual control
13. Montera extensometern kring provstavens smala parti
14. Plugga in extensometers kontakt i dragprovsmaskinens högra kortsida
15. Ta bort säkerhetspluggen på extensometern
16. Tryck på Test → Run Metal Tension - Method A
17. Fyll i cross section area (kandidatgruppens stavar: 78,54mm<sup>2</sup>) och parallell length (kandidatgruppens stavar: 100mm). Tryck sedan på ok.
18. TAG PÅ SKYDDSGLASÖGON
19. Kontrollera extensometern och tryck sedan på ok
20. Dragprovet startar nu
21. Efter en stund kommer dragprovet att pausas och programmet ber er ta bort extensometern. Sätt in säkerhetspluggen i extensometern och tag sedan försiktigt bort den. Tryck på ok.
22. Dragprovet fortsätter till staven går till brott.
23. Det syns nu en ruta på skärmen som säger åt er att ta bort provstaven, gör detta och tryck sedan på ok.
24. För att få fram spännings/töjningsdiagram (eller andra samband) högerklickar ni nu på den gröna pricken till vänster på skärmen. Välj stress/deformation.

**OBS! Om du av någon anledning skulle behöva trycka på nödstopp, använd då följande instruktioner för att starta om provet:**

- Avsluta programmet och stäng av datorn
- Stäng av maskinen och återställ stoppknappen till sitt ursprungsläge
- Låt datorn och maskinen vila några minuter
- Starta om datorn och starta programmet igen, slå på maskinen
- Följ stegen ovan till och med steg 8
- Sänk den övre gripen nedåt så att dragkraften minskar så pass mycket att du kan montera loss provstaven.
- Starta om från början

Figur 21: Exempel på en sida ur kompendiet

### 5.6.1 Fotografering av experiment

För att på ett enkelt sätt få enhetliga och tydliga bilder på utrustningen i labbet iordningställdes en plats för fotografering av experiment. Genom att dokumentera hur bilderna framställdes blir det möjligt för framtida projekt i studion att på ett enhetligt sätt bygga vidare på det arbete som genomförts nu. Ett exempel på hur det såg ut i studion under fotografering kan ses i figur 22.



Figur 22: Studion under en fotografering

### 5.6.2 Undersökning av leverantörer

Att demonstrera fysikaliska fenomen och mekaniska lösningar har länge varit en del av teknisk utbildning och därför antogs tidigt i projektet att det borde finnas företag som säljer färdiga experiment och demonstrationer.

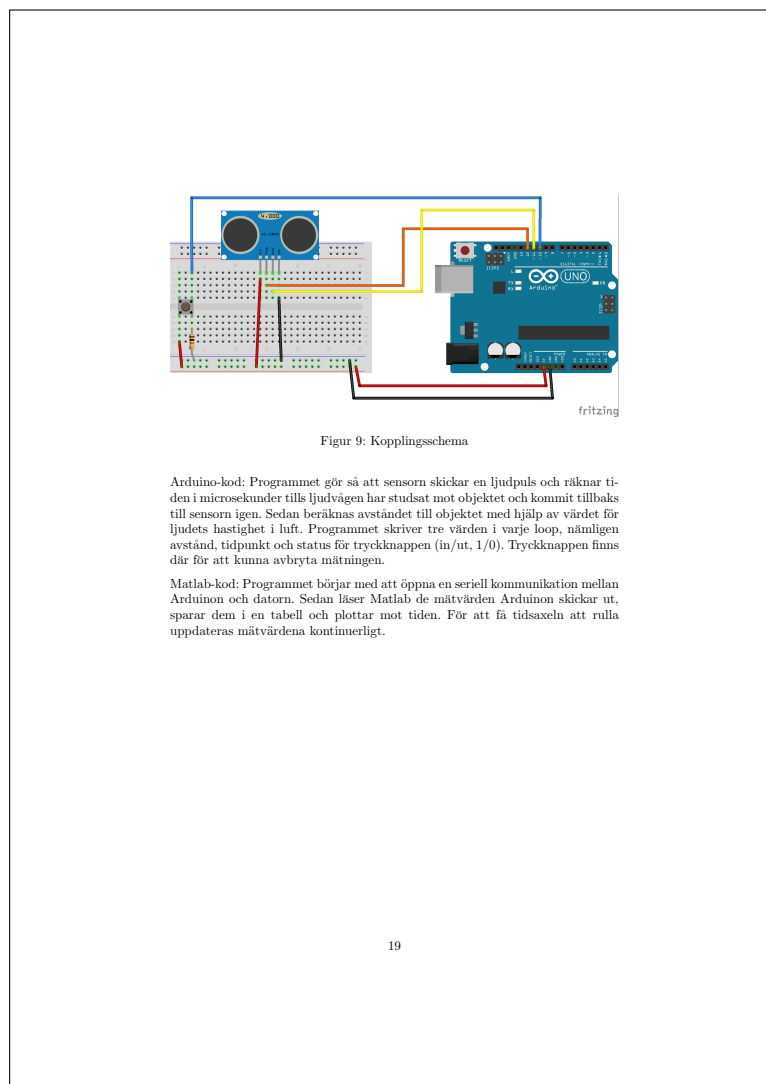
Vid kartläggningen av leverantörernas utbud utgick gruppen från den lista av möjliga experiment som sammanställts genom brainstorming och intervjuer, se bilaga D. I listan finns fenomen att förklara, ämnesområde och ett förslag på genomförande. Dessa kriterier beaktades vid sökandet efter produkter hos de olika leverantörerna. Kartläggningen resulterade i en kortare beskrivning av ett halvduzin leverantörer och deras utbud, som finns sammanställd i kompendiet. En reflektion över hur enkelt det upplevs att använda hemsidan finns med som stöd för att välja en leverantör.

Inom ramen för arbetet genomfördes även en demonstration av utrustning med en säljare av utrustning. Eftersom syftet med mötet var att långsiktigt göra det enklare för Institutionen för tillämpad mekanik att underhålla studion och skaffa relevant utrustning bjöds representanter från institutionen med på mötet, i detta fall examinator Mats Ander och handledare Peter Folkow.

### 5.6.3 Elektroniska sensorer

I många fall kan det vara svårt att mäta och visualisera vad som händer när ett fysikaliskt experiment genomförs. Till exempel kan hastighet och acceleration vara svåra att uppfatta, lika så töjning och spänning i material. Då kan elektroniska sensorer vara en lösning, något som används i experiment från kommersiella tillverkare. Istället för att köpa ett paket finns det relativt enkla och billiga lösningar att bygga själv.

Gruppen har valt att arbeta med Arduino, ett billigt utvecklingskort med en mikroprocessor som har digitala och analoga in- och utgångar. Arduino är open-source och har en stor global användarbas både bland hobbyfolk och professionella. För att hantera och visualisera datan som en Arduino kan samla in från sensorer använder vi Matlab, den programmeringsmiljö och språk som vanligen används i grundutbildningen på Chalmers och därför antas ha lägst inlärningströskel. En instruktion för att komma igång finns sammanställt i en steg-för-steg-guide i kompendiet, se figur 23 för ett exempel.



Figur 23: Exempel på en sida ur guiden

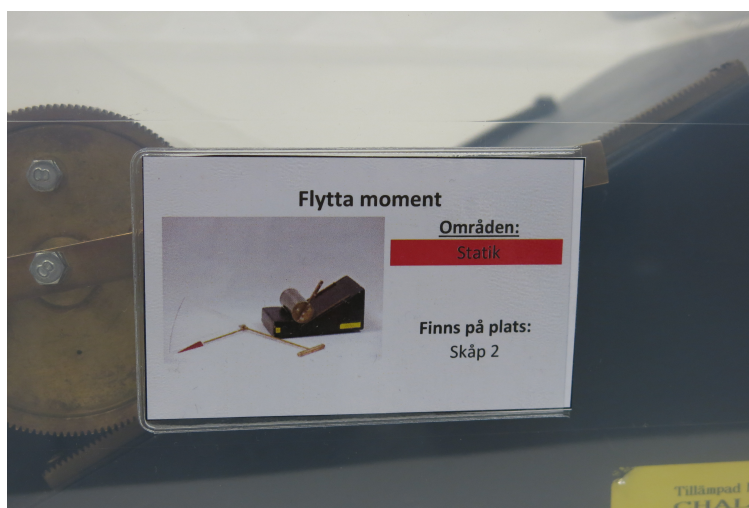
## 5.7 Organisering av studion

För att skapa ordning och struktur i studion, och för att se till att varje experiment kommer tillbaka till rätt plats, märktes skåpen upp med nummer i både studion och det tillhörande förrådet (se figur 24).



Figur 24: Förvaring i studion

För att åskådliggöra var experimenten ska förvaras skapades etiketter. Dessa fästs direkt på experimentet eller på dess plastlåda med hjälp av en självhäftande plastficka. En enhetlig mall togs fram för etiketterna, med plats för foto, en kort beskrivning, vilket tekniskt område experimentet berör och vilket skåp det ska förvaras i (se exempel i figur 25).



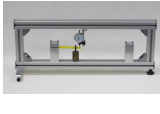



Figur 25: Detaljbild av en låda med etikett

Etikettmallen utformades på ett sådant sätt att det fungerar att skriva ut alla etiketter tillsammans i ett register, se figur 26. Detta register finns i studion och ska fungera som

en innehållsförteckning. Tillsammans med registret finns även en karta över studion och det tillhörande förrådet så att det blir tydligt var de olika skåpen finns, se bilaga E.

För att det ska vara möjligt att uppdatera etiketterna vid behov kommer registret även att finnas tillgängligt digitalt så att framtida arbeten i studion kan använda samma mallar. På så sätt kan även det enhetliga utseendet bibehållas vid tillverkan av nya experiment.

<p><b>Emmas Stege</b></p>  <p><b>Områden:</b> Statik</p> <p><b>Finns på plats:</b> Skåp 5</p>	<p><b>Beskrivning:</b> Stegen kan lutas mot väggen och testas för vilka vinklar den glider med given friktionskoefficient</p> <p><b>Sökord:</b> friktion jämvikt</p>
<p><b>Sofias Stav</b></p>  <p><b>Områden:</b> Dynamik</p> <p><b>Finns på plats:</b> Sidan av skåp 4</p>	<p><b>Beskrivning:</b> Den långa staven hålls fritt kring tappen i ena änden. När man slår på markeringarna kan olika reaktionskrafter kännas i upphängningen.</p> <p><b>Sökord:</b> sweet spot perkussionscentrum</p>
<p><b>Balkrigg</b></p>  <p><b>Områden:</b> Hållfasthetslära Statik</p> <p><b>Finns på plats:</b> Arbetsbänk i studion</p>	<p><b>Beskrivning:</b> I balkriggen kan flera olika experiment med balkar utföras. Med stöden kan olika randvillkor väljas, och indikatorlocken visar utböjningen.</p> <p><b>Sökord:</b> balkteori jämvikt</p>
<p><b>Flytta moment</b></p>  <p><b>Områden:</b> Statik</p> <p><b>Finns på plats:</b> Skåp 2</p>	<p><b>Beskrivning:</b> Med momentnyckeln kan man läsa av storleken på den anbringade momentet, och se att det bli lika oavsett angreppspunkten.</p> <p><b>Sökord:</b> vridning rent moment</p>

Figur 26: Exempel på en sida ur registret

För transport av tunga eller otympliga experiment införskaffades en vagn, se figur 5. Vagnen har tre våningsplan, något som gör det möjligt att på ett mer ergonomiskt sätt lyfta ombord tung utrustning då lyft ner och upp från marknivå undviks, jämfört med en vanlig säckkärra.

Genom denna omorganisering kan lärare nu orientera sig i det stora utbud av experiment som studion erbjuder och användandet av dessa kommer förhoppningsvis att öka.

## 5.8 Visning av studion

För att lärarna ska se studion som en resurs i sina kurser, ska en visning av studion och dess nya förvaringsystem hållas för lärare och andra intresserade från institutionen för Tillämpad mekanik. Under visningen, som kommer äga rum den 31 maj 2016, kommer besökarna bjudas på fika och ha möjlighet att gå runt i studion och prova de nytillverkade experimenten, och på så sätt förhoppningsvis se möjligheter att inkludera dem i undervisningen.

## 6 Diskussion

Här diskuteras projektets utförande och resultat. Här behandlas även förslag för hur studion kan förbättras i framtiden, inklusive tips till kommande kandidatgrupper. Reflektioner görs även kring den pedagogiska nyttan kring experiment och laboration, med förhoppningen att kursansvariga och andra lärare får perspektiv på hur dessa kan utnyttjas på ett effektivt sätt.

### 6.1 Att utveckla studion med iterativ process

Många av de egenskaper för projekt som är lämpliga för agil metodik, se stycke 3.7.1, har funnits i det här projektet. Från början var det otydligt vilka krav, förutsättningar och mål som fanns för projektet. Att studion var ett rum som innehöll många odokumenterade experiment var känt, men hur dessa kunde användas i kurser var väldigt otydligt. Om arbetet skulle innefatta en laboration, och i vilken kurs den skulle vara en del av, var inte heller bestämt. Det var därför svårt att göra en exakt plan för arbetet från början. Därför har en iterativ process passat arbetet bra för att kunna anpassas till oförutsägbara förutsättningar.

Tidsbegränsningen gjorde också att en exakt planering av projektet skulle ha varit mycket mer riskfylld. Det var svårt att uppskatta hur lång tid experimenttillverkning skulle ta innan det hade prövats. Därför kom kombinationen av Kanban-schemats backlog, tillsammans med gemensamt prioriterande genom matriser och diverse möten, till nytta. I backloggen kunde idéer till nya experiment skrivas ner utan att några krav ställdes på om och när de skulle utvecklas. Saker utvecklades istället utifrån behov och tid för den aktuella veckan. Genom att först testa att reparera, dokumentera och utveckla enstaka experiment, kunde tillverkningsprocessen förbättras för varje experiment som togs fram. Dessutom upptäcktes det att många experiment kunde köpas in istället för att tillverkas. Hade projektet utgått från att de måste tillverkas från grunden hade kanske den möjligheten förbisetts.

Det går även att diskutera hur mycket projektet var iterativt. Även om många delar planerades veckovis bestämdes många översiktliga saker långsiktigt. Ett kandidatarbete har många deadlines som planeras in månadsvis snarare än veckovis. Jämfört med det agila manifestet lades mindre fokus på hur kontakt med kunder, i det här fallet lärare, utfördes. En mer utförlig jämförelse med agil metodik skulle kunna vara till fördel för att se hur metodiken kan användas till liknande projekt i framtiden.

### 6.2 Genomförande och tolkning av intervjuer

Intervjuer med lärare för de berörda kurserna var en nödvändig metod för att kunna kartlägga användandet och behovet av experimentell utrustning i deras kurser. På detta sätt har föreläsarnas egna synpunkter beaktas vilket gör det hela subjektivt. Föreläsarnas egna syn på experiment och praktiska inslag speglar deras svar, vilket kan innebära att sammanställningen som intervjuerna genererade kunde sett annorlunda ut om andra lärare hade intervjuats. Det hade även kunnat generera ett annat resultat om andra frågor ställts till respondenterna. Att gruppen presenterade arbetets syfte vid början av intervjuerna kan även ha påverka deras svar. Det blir svårare för dem att svara "Nej" på frågan "Tycker du att det är viktigt att ha praktiska inslag?" om de varit medvetna om att gruppens uppgift förutsätter detta. Slutsatsen som kan dras är att intervjuerna inte varit repetitiva vilket ger dem en viss osäkerhet i

sammanhang då metoden skulle behöva användas igen. Trots detta har de uppfyllt sitt syfte som en del av projektets förstudie.

Under intervjuerna antecknades endast en sammanfattning av respondenternas svar, vilket kan ses som en brist för denna typ av metod. När anteckningarna i efterhand gick igenom kan det hända att feltolkningar gjordes. Även sekreterarens personliga uppfattning av svaren kan ha påverkat resultatet. Om en ljudinspelning av intervjuerna istället hade genomförts skulle risken för att misstolka svaren kunnat minska och därför varit ett säkrare sätt att hantera dokumentationen.

### 6.3 Framtagning av experiment

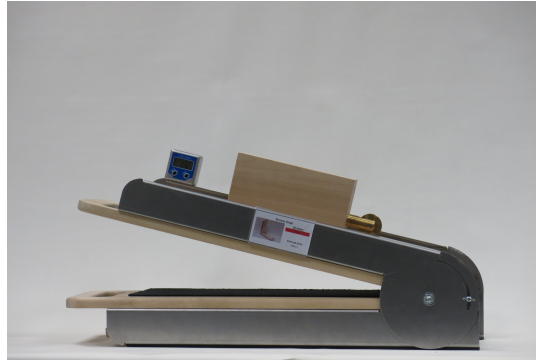
Arbetet har resulterat i fler användbara experiment i studion, genom reparation av gammal utrustning, egen utveckling av ny och inköp av utrustning. Idéer till nya experiment har samlats in genom intervjuer, granskning av kursmål, undersökning av marknaden, studie av kurslitteratur och egen erfarenhet. Urvalet av vilka nya experiment som ska produceras har alltså berott på flera faktorer. Det gjordes försök att ingenjörsmässigt kvantifiera nyttan av ett tänkt experiment, men när detta skulle relateras till de tillgängliga tekniska och tidsmässiga resurserna blev urvalet mer subjektivt och beroende på de egna intresseområdena inom gruppen.

När det beslutats att ett experiment ska tas fram behövde det även bestämmas om det skulle utvecklas och tillverkas eller köpas in. Att köpa beprövad utrustning från ett etablerat företag istället för att utveckla allt själva kan vara fördelaktigt på flera sätt. Byggkvaliteten förväntas vara god, det blir enkelt att ersätta förlorade delar, användningsinstruktioner finns troligtvis färdigt och prövat men framförallt frigörs tid till att arbeta mer med integrationen av materialet i kurserna. Det var till en början svårt att hitta utrustning att köpa, något som troligtvis varit en bidragande orsak till att det tidigare inte köpts in utrustning.

De experiment som tillverkades gjordes tåliga och reparerbara för att vara långsiktigt användbara. Ett exempel är balkriggen som är byggd av standardiserade aluminiumprofiler, vilket är mycket vanligt förekommande för fixturer och ramverk i industrin. Det gör det även möjligt att bygga fler likadana om det i framtiden finns behov av fler riggar. Med aluminiumprofiler och passande fästelement kan denna typ av konstruktioner byggas helt utan några maskiner eller verkstadserfarenhet, något som gör det enkelt att efterskapa.

De nya manualerna utformades med hänsyn till pedagogiska teorier om tester som läromedel. Frågor och problemlösningsuppgifter togs fram och beskrevs i varje manual, som exempel på hur studenternas kunskap aktivt kan testas med experimenten, istället för att endast använda dem demonstrativt.

En nackdel med manualer är att de generellt anpassas efter ett sätt att använda experimenten på. Figur 27 visar ett exempel på hur riggen till Emmas stege kan användas till lutande planexperiment med den införskaffade vinkelmätaren. Eftersom det användningsområdet inte var planerat från början beskrevs det inte i manualen.



Figur 27: Emmas steg som lutande plan

## 6.4 Spridning av kunskap

En del av projektet har bestått av att dokumentera hur gruppen arbetat för att underlätta för framtida utveckling. I början av projektet hade exempelvis ingen i gruppen särskilt stor erfarenhet av att arbeta med sensorer. Detta blev en utmaning men även ett bra incitament att dokumentera och föra vidare den kunskap som insamlades. I kompendiet finns det dokumenterat hur vi gick tillväga för att komma igång med sensorer. Den informationen delades redan under projektets gång med en annan grupp studenter och hjälpte dem att komma igång med deras arbete med sensorer.

Att använda en dragprovsmaskin var även det en ny erfarenhet för gruppens medlemmar. Därför dokumenterades det successivt i en manual hur den startades upp och användes. Instruktionerna resulterade i en guide som också valts att föras in i kompendiet för att nästkommande användare ska komma igång smidigare.

En video producerades under arbetet. Videon visar hur dragprovsmaskinen används för att dra en provstav till brott. Redan samma vecka som videon blev klar användes den i en föreläsning inom hållfasthetslära, vilket visar på användbarheten hos videoformatet. Till framtida arbeten rekommenderas att producera fler videor.

## 6.5 Utvärdering av laboration

Under laborationen fick studenterna själva använda experimenten för att på så sätt lära känna fenomenen bättre. Det var både fenomen som de redan fått höra teorin kring och fenomen som de skulle gå igenom teorin till senare under kursen. Genom båda dessa sätt kan studenterna koppla till tidigare kunskap. En fråga som väcks är om det är bättre att höra teorin först och få testa det praktiskt själv efteråt, eller tvärtom. Att det är lättare för studenter att ta in ny kunskap genom att koppla till tidigare kunskap visar flera studier (se kapitel 2) men dessa studier visar inte vilket av de två sätten som är mest effektivt. Om teorin presenteras innan de praktiska momenten får studenterna en introduktion till den grundläggande faktan. De har då möjlighet att hinna räkna tal på områdena och eventuellt ta med sig frågor till laborationen. Ett praktiskt inslag kan möjligtvis hjälpa för att besvara dessa frågor. Att studenterna själva får testa sig fram, och inte direkt fråga om svaret, kan bidra till att de själva förstår hur det fungerar och därför också kommer ihåg det bättre. Om det istället är tvärtom, att det praktiska inslaget kommer före teorin, finns det då en risk att studenterna

kan för lite grundläggande fakta om fenomenet och att de då tappar intresset direkt? Efter att ha utvärderat svaren från enkäterna finns det delade meningar om detta. Vissa studenter tyckte att det var svårt när de inte gått igenom teorin innan det praktiska, medan andra tyckte att det var bra att få en inblick i vad som skulle komma längre fram i kursen.

En annan fråga som väcks är om den tiden som laborationen tar från andra delar av kursen ger lika mycket som exempelvis en föreläsning under samma tid. Enligt studier, som nämns under kapitel 2, lär sig studenter mer effektivt om de får övningar som testar deras kunskap än om de bara skulle gå på föreläsningar. Detta visar på att en variation i inlärningsprocessen skulle hjälpa studenterna, och att en laboration som komplement till föreläsningarna och övningarna är att föredra.

## 6.6 Tolkingar av enkätsvar

Utvärderingsenkäten som delades ut i slutet av laborationen var kvalitativ, och mängden data var inte så stor. Därför är det svårt att dra några detaljerade slutsatser kring kvalitén på laborationen och dess tillhörande experiment. Däremot kan enkätsvaren, kombinerat med pedagogiska teorier, användas till att få en indikation på hur studien kan utvecklas i framtiden, och vad nästa utvärdering bör fokusera på.

### 6.6.1 Tydliga instruktioner

Att det var många positiva kommentarer kring instruktionernas tydlighet på labben kan bero på att stort fokus lades på dem i projektet. Mallen som manualerna följde togs fram tidigt i projektet utifrån diskussioner kring tidigare års manualer, vilket kan ha bidragit till att deras utformning förbättrades. Att de följde en mall bidrog även till en mer konsekvent struktur som kan ha gjort det lättare för labbdeltagarna att snabbt komma in i varje nytt experiment.

Att hela kandidatgruppen deltog som handledare under laborationen kan också ha bidragit till tydliga instruktioner. Fyra handledare som instruerar runt tio labbdeltagare åt gången är en hög andel, speciellt i de större klasserna på Chalmers som ibland kan bestå av över hundra deltagare.

Om det var kandidatgruppens eller manualernas instruktioner, eller en kombination av dessa, som gav tydligheten är svårt att säga exakt. Däremot kan manualerna ha fördel över instruktörer resursmässigt, speciellt i de fall då instruktörer anställs specifikt till kursen i form av exempelvis assistentlärare. Färdiga manualer är även lättare att återanvända, förutsatt att de är tillräckligt väl skrivna och lättillgängliga för den situation de används till.

### 6.6.2 Praktisk tillämpning

Många labbdeltagare verkade positivt inställda till laborationens praktiska tillämpning. Om det här betyder att de lär sig bättre med mer praktiska inslag i kursen är svårt att säga, men det kan visa på en vilja att blanda teori och praktik mer.

Det går att spekulera kring hur abstrakta teorier blir lättare att förstå och/eller komma ihåg

genom att kopplas till väldigt enkla kunskaper och erfarenheter. Till exempel kan plastlinjaler användas för att beskriva fenomenet knäckning, vilket kopplar teorin till direkta erfarenheter av att se ett objekt knäckas. Eftersom det är lättare att komma ihåg saker ju fler kopplingar till existerande kunskaper som finns (se kapitel 2), kan kombinationen av en teoretisk härledning med en praktisk erfarenhet vara det mest effektiva sättet att beskriva ett fenomen.

Noggrannare studier skulle behövas för att kunna säga mer exakt hur praktisk tillämpning påverkar lärandet till skillnad från, eller i samband med, abstrakt teoretisk undervisning. Det skulle även kunna vara nyttigt att undersöka vidare om praktiska tillämpningar har någon påverkan på deltagarnas motivation och nyfikenhet, vilket teoretiskt har en inverkan på studenternas förmåga att lära sig.

### 6.6.3 Hänsyn till förkunskaper

Kritiken kring hur förkunskaper hade beaktats i laborationen pekade på att det var för lätt för vissa och för svårt för andra. Troligtvis handlar det om skillnader i förkunskaper i klassen, vilket i så fall kan tyda på att förkunskapskraven för laborationen ligger på genomsnittlig nivå för klassen.

Eftersom koppling till tidigare kunskaper tydligt påverkar lärandet är det bra att ta hänsyn till klassernas kunskapsvariationer, även om förkunskapskraven är balanserade. Ett sätt att minska kunskapskillnaderna är att förklara teorier för deltagarna innan labben. Labb-PMet var tänkt att göra detta, men det framgick inte av enkätsvaren om deltagarna hade läst igenom det eller inte.

Att gå igenom förkunskaper med labbdeltagarna precis innan skulle även kunna generellt förbättra lärandet, enligt pedagogiska teorier kring koppling till tidigare kunskaper. Som L. Campbell och B. Campbell (2009) beskriver kan det till och med räcka med att bara ställa frågor kring vad studenterna vet sedan innan.

Ett konkret förslag är att ge studenterna några korta inledande problem precis innan labben som kopplar till relevanta baskunskaper. På så sätt kan de sedan fokusera mer på att koppla den nya kunskapen till den gamla än att påminna sig om gamla teorier under labben.

## 6.7 Studions nya ordning

Ett av problemen med studion och experimenten i början av projektet var att det inte fanns någon övergripande struktur eller rutiner kring användningen av dessa resurser. Detta ansågs viktigt att arbeta med för att ge mening till det övriga arbetet då värdet av att utveckla nya experiment går förlorat om de inte används.

Tidigare fanns det ett sorts organiserat kaos, där de personer som använde studion regelbundet visste var saker brukade förvaras även om de inte hade en angiven plats. För dem blir denna omorganisering något nytt och kanske främmande och ovanligt till en början, men på lång sikt kommer förändringen medföra att de får en tydligare översikt över experimenten och kanske till och med upptäcker nya medel med hjälp av registret. Visningen av studion blir minst lika viktig för de som använder experiment från studion i sina kurser sedan innan som för de som ser studion som en helt ny resurs.

Syftet med att göra experimentregistret tillgängligt i både fysisk och digital form var för att underlätta för kommande arbeten i studion. Om någon sak skulle upplevas som dåligt placerad eller om nya experiment tas fram kan experimenten placeras om och registret kan enkelt uppdateras. Tack vare plastfickorna kan nya etiketter skrivas ut och ersätta de gamla. Detta ger studions användare möjligheten att förändra den nya organiseringen om det skulle visa sig att något inte fungerar.

Ett problem som diskuterats är hur lärare ska gå tillväga om de inte hittar det experiment de letar efter, nere i studion. Någon form av bokningssystem diskuterades som en lösning, där lärare skulle kunna boka och kvittera ut utrustning. Ett sådant system skulle göra risken mindre att utrustning glöms av inne på någons kontor eller försvinner, då det blir möjligt för nästa person att spåra upp utrustning som kommit bort från studion. Bokningssystemet har diskuterats kunna vara i form av en lista i rummet där lärare skriver sitt namn tillsammans med experimentet de lånade, och sedan stryker sig själva när de lämnat tillbaka det. Andra alternativ är att ha det på whiteboard-tavlan eller i en pärm, eller i en mobilapp. Denna lösning är ingenting som har realiserats då det fanns en osäkerhet kring hur mycket listan skulle användas av lärarna. Det är dock en lösning som kan behöva provas i framtiden om det uppstår problem med att experiment försvinner.

## 7 Referenser

- Brod, Garvin, Markus Werkle-Bergner och Yee Lee Shing (2013). "The Influence of Prior Knowledge on Memory: A Developmental Cognitive Neuroscience Perspective". I: *Frontiers in Behavioral Neuroscience*. Länk senast besökt 2016-05-12. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3792618/>.
- Campbell, Linda och Bruce Campbell (2009). "Beginning With What Students Know". I: Länk senast besökt 2016-05-12. URL: [http://www.corwin.com/upm-data/25914\\_081222\\_Campbell\\_Ch1\\_excerpt.pdf](http://www.corwin.com/upm-data/25914_081222_Campbell_Ch1_excerpt.pdf).
- Dunlosky, John (2013). "Strengthening the Student Toolbox: Study Strategies to Boost Learning". I: *American Educator*. Länk senast besökt 2016-05-13. URL: <http://www.aft.org/sites/default/files/periodicals/dunlosky.pdf>.
- Eliasson, Simon, Anna Jösok, Lars Nävert och Louise Sundbeck (2013). "Studio i mekanik och hållfasthetslära - utveckling av laborationer för förståelse av grundläggande principer och fenomen". I:
- Gruber, Matthias J., Bernard D. Gelman och Charan Ranganath (2014). "States of Curiosity Modulate Hippocampus-Dependent Learning via the Dopaminergic Circuit". I: *Neuron*. Länk senast besökt 2016-05-13. URL: [http://www.cell.com/neuron/abstract/S0896-6273\(14\)00804-6](http://www.cell.com/neuron/abstract/S0896-6273(14)00804-6).
- Hailikari, Telle, Nina Katajavuori och Sari Lindblom-Ylänne (2008). "The Relevance of Prior Knowledge in Learning and Instructional Design". I: Länk senast besökt 2016-05-12. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2630138/>.
- Johansson, Mattias Yllén (2012). "Agile project management in the construction industry - An inquiry of the opportunities in construction projects". I: Länk senast besökt 2016-05-13. URL: [https://www.kth.se/polopoly\\_fs/1.339912!/Menu/general/column-content/attachment/Mattias\\_no148.pdf](https://www.kth.se/polopoly_fs/1.339912!/Menu/general/column-content/attachment/Mattias_no148.pdf).
- Komarski, Krste (2014). "Studio för mekanik och hållfasthetslära - Tillverkning och utveckling av demonstrationsexperiment". I:
- Manifesto for Agile Software Development* (2001). Länk senast besökt 2016-05-13. URL: <http://www.agilemanifesto.org/>.
- Nunes, Ludmila D. och Jeffrey D. Karpicke (2015). "Retrieval-Based Learning: Research at the Interface between Cognitive Science and Education". I: *Emerging Trends in the Social and Behavioral Sciences*. Länk senast besökt 2016-05-13. URL: [http://learninglab.psych.purdue.edu/downloads/2015\\_Nunes\\_Karpicke\\_Emerging\\_Trends.pdf](http://learninglab.psych.purdue.edu/downloads/2015_Nunes_Karpicke_Emerging_Trends.pdf).
- Pazzani, Michael J. (1991). "Influence of Prior Knowledge on Concept Acquisition: Experimental and Computational Results". I: *Journal of Experimental Psychology*. Länk senast besökt 2016-05-12. URL: <http://www.ics.uci.edu/~pazzani/Publications/jeplmc.pdf>.
- Roschelle, Jeremy (1995). "Learning in Interactive Environments: Prior Knowledge and New Experience". I: *Public institutions for personal learning: Establishing a research agenda*. Länk senast besökt 2016-05-12. URL: <https://www.sri.com/sites/default/files/publications/imports/RoschellePriorKnowledge.pdf>.
- Sansone, Carol och Judith M. Harackiewicz (2000). *Intrinsic and Extrinsic Motivation: The Search for Optimal Motivation and Performance*. Academic Press.
- Svinicki, Marilla (1994). "What they don't know can hurt them: The role of prior knowledge in learning". I: *Essays on Teaching Excellence*. Länk senast besökt 2016-05-12. URL: <http://podnetwork.org/content/uploads/V5-N4-Svinicki.pdf>.

## A Intervjufrågor

Hur använder du experiment i din kurs idag?

Tycker du att det är viktigt att ha praktiska inslag?

Vad ser du för potential i att inkludera mer experiment i kursen?  
Labb/visa experiment under föreläsning?

Vilka områden tycker du behöver experiment?

Har du några bra idéer på experiment?

## B Labb-PM

### Laboration i kursen Hållfasthetslära och maskinelement (TME061)

Läsår 15/16

Som en del i kursen Hållfasthetslära och maskinelement ska ni utföra en laboration som kopplar till kursinnehållet. Labben består av ett antal stationer med olika problemlösningsuppgifter, där ni får mellan 5-10 minuter var att lösa varje problem två och två.

#### Syfte

Målet med labben är att underlätta ert lärande på följande sätt:

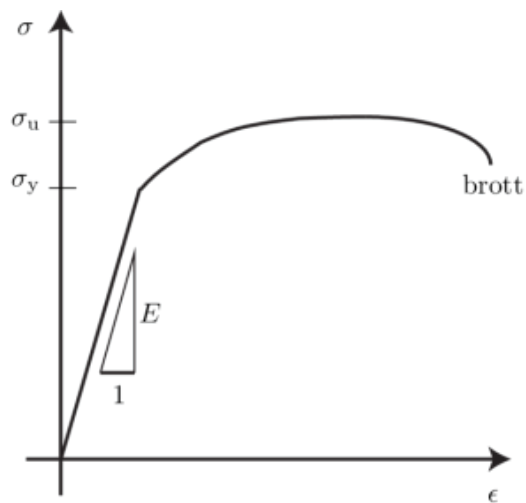
- Öka förståelsen för kursinnehållet genom att koppla teori till praktiska exempel
- Motivera och skapa nyfikenhet kring kursens innehåll genom experimenterande och eget tänkande
- Visa nya perspektiv på teorier i mekanik och hållfasthetslära

I det här PM-et kan ni läsa om alla stationer och hur de kopplar till innehållet i kursen.

## 1 Dragprovsmaskin

Dragprovsmaskinen används för att mäta materialegenskaper såsom elasticitetsmodul, och kopplar till vad ni gick igenom i Föreläsning 1, "Stången, Hookes lag, Brott- och flytspänning, Normalspänning och töjning".

### Teori

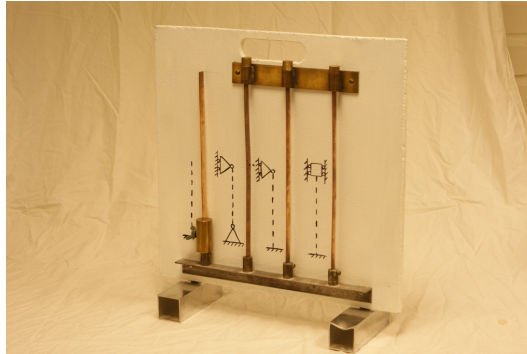


Elasticitetsmodulen ( $E$ ) beskriver hur styvt ett material är, och beskriver förhållandet mellan spänning och deformation. T.ex. om en stav töjs med 10 procent så blir spänningen i stavens material  $0.1 \cdot E$ , förutsatt att materialets respons är linjärt elastisk. Elasticitetsmodulen, och andra materialegenskaper, kan beräknas med hjälp av dragprovsmaskinen.

### Genomförande

Ni kommer få observera i grupp när dragprovsmaskinen drar provstavar i stål och aluminium hela vägen till brott, och även räkna ut  $E$ -modulen med hjälp av resultatet i form av ett spännings-töjnings-diagram.

## 2 Modell för Eulerknäckning

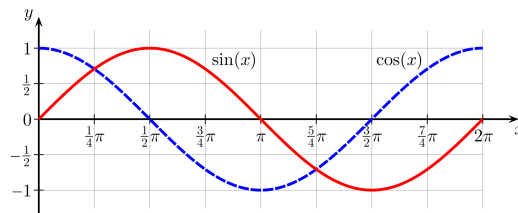


Modellen för Eulerknäckning beskriver så-kallade knäckfall för slanka konstruktioner, och kopplar till vad ni kommer gå igenom i föreläsning 17 (läsvecka 7), "Elastisk instabilitet, axialbelastad balk, Eulers knäckfall".

### Teori

Knäckning är ett instabilitetsfenomen som ofta kan ske i slanka (tänk smala/tunna) konstruktioner som är tryckbelastade längs sin axel. Vid en viss last, den så kallade knäcklasten, sker en utböjning av konstruktionen vilket kan leda till att den bryter.

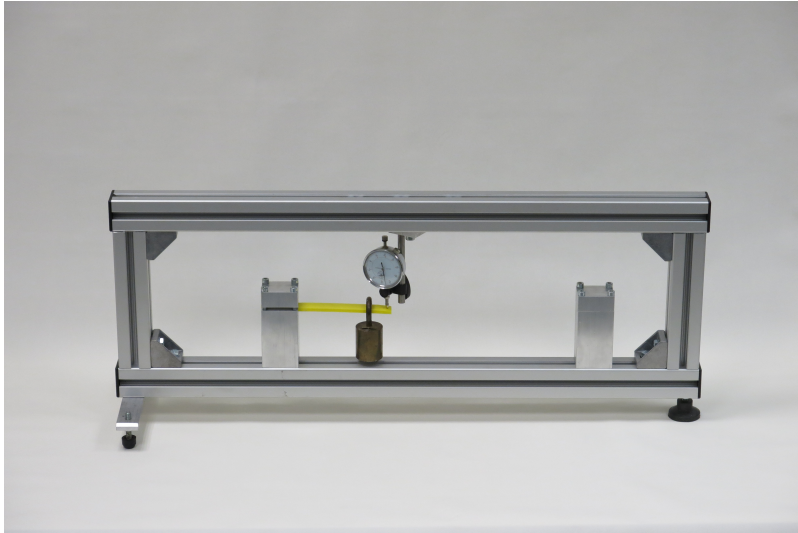
De olika knäckfallen sägs bestå av olika andelar "sinuskurvor," där en hel sinuskurva ser ut som nedan. Både den röda  $\sin(x)$ -kurvan och den blå  $\cos(x)$ -kurvan representerar då en hel kurva.



### Genomförande

Ni kommer få använda och diskutera modellen för Eulerknäckning för att få en förståelse för vad knäckning är för något, och hur olika upplagsvillkor påverkar risken för knäckning.

### 3 Nedböjning av balk



Balkböjningsriggen ni kommer att få experimentera med kopplar till föreläsning 14 (läsvecka 6), "Deformation vid böjning, elementarfall".

#### Teori

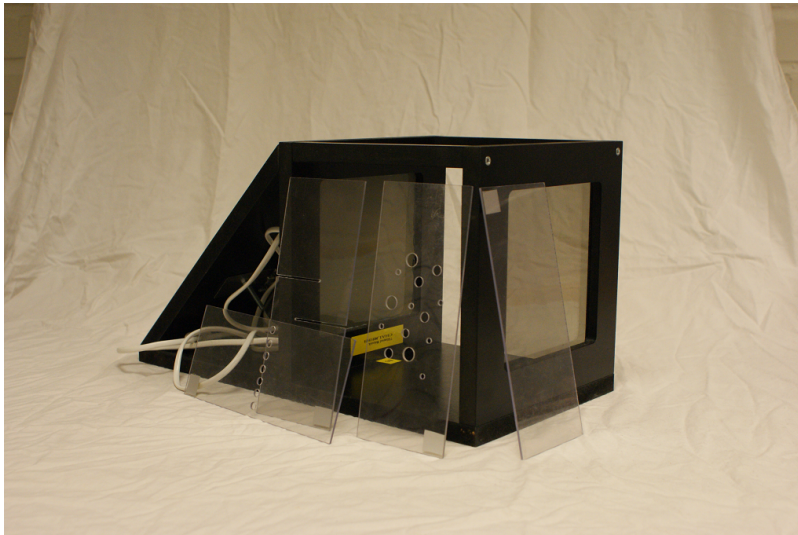
Med hjälp av materialets E-modul, tvärsnittsform och elementarfall för balkböjning kan ni beräkna nedböjningen.

Se <http://hallf.se/formelsamling/elementarfall-balkbojning/> för elementarfallen.

#### Genomförande

Ni kommer att få beräkna hur mycket nedböjningen av en balk borde bli enligt Euler-Bernoullis balkteori, och sedan jämföra mot empirisk data genom att lägga en vikt på en verklig balk och mäta den faktiska nedböjningen.

## 4 Spänningsoptik



I spänningsoptiken kommer ni få mäta spänningar med hjälp av optiskt brytningsindex (tänk regnbåge). Det kopplar främst till föreläsning 5 (läsvecka 2), "Flythypoteser, tryckkärl."

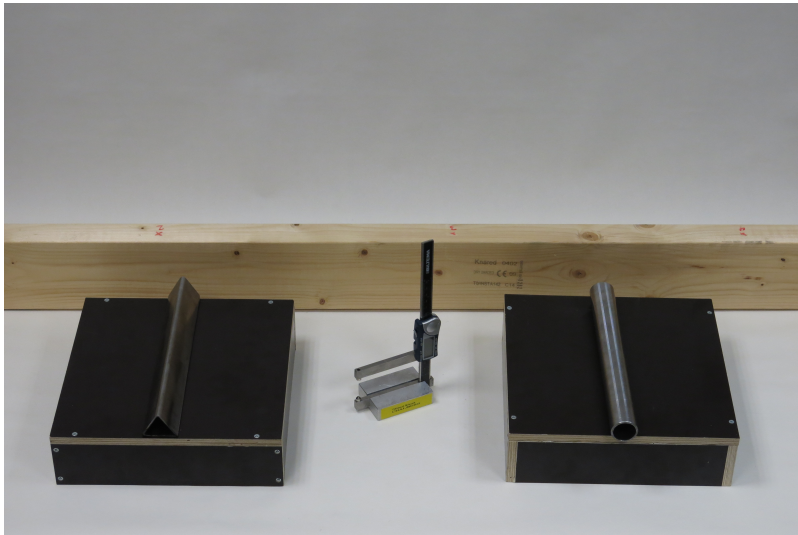
### Teori

Beroende på hur ett material är utformat kommer spänningar koncentreras på olika ställen. Att öppna en plastförpackning är till exempel lättare om det är ett "hack" i plasten. Det här fenomenet illustreras i spänningsoptiken genom att använda polariserat ljus och genomskinliga plastbrickor i olika former.

### Genomförande

Ni kommer få en svart låda med tillhörande plastbrickor. Brickorna håller ni inuti lådan. När ni böjer på brickorna kommer de ändra färg på vissa ställen, vilket ni sedan får diskutera.

## 5 Förflyttning av last på balk



Det här experimentet är en fysisk representation av en balk som utsätts för en punktlast, och kopplar till föreläsning 9 (läsvecka 4), "Stödreaktioner, laster och snittstorheter. Tvärkraft- och böjmomentdiagram. Tyngpunkt."

### Teori

En belastad balk som vilar på stöd kommer leda lasten ner till dessa stöd. Hur stora dessa är beror på hur stor del av lasten som tas upp i varje stöd.

### Genomförande

Ni kommer få ställa upp en träbalk på ett par stöd med var sin våg. Sedan får ni stå på balken på olika ställen och läsa av vikten på vardera våg.

## C Urvalsmatris - Gamla experiment

Namn:	Läda för att illustrera lin krafter	Spänningsopnik	Flytta moment	Gemensam tyngdpunkt	Stabilitetsmodell	Eulers knäckfall	Förflyttning av last på balk	Neoböjning	Betongbalk med armeringslång	Lutande plan	Fackverksmodell	Kontrollerat upplagd balk
<b>Demo (Ja/Nej)</b>	Ja Ja	Nej Ja	Nja, om kamera Ja Ja	Ja Nej Ja	Ja Nej Ja	Ja Ja Ja	Nej Ja Ja	Ja Nej Ja	Ja Nej Ja	Ja Ja Ja	Ja Nej Ja	Ja Ja Ja
<b>Fenomen</b>	Lin krafter	Spänningskonc: FEM-bilder gör nästan samma sak en bevisar att FEM-bilderna fenomenet är ganska intuitivt.	Rent moment	Intuitiv och grundläggande fenomen.	Stabilitet	Knäckfall	Krafter/jämvikt	Nesböjning	Armeringslång	Frikton mm	Forskjutning	
<b>Fenomenets behov att visa</b>	Centralt begrepp, viktigt att förstå, men inte så intuitivt för, inte intuitivt.	Inte intuitivt, många har svårt att förstå.	Inte intuitivt, ganska intuitivt.	Intuitiv och grundläggande fenomen.	Bra, visar på vridning	Ny kunskap, konstigt fenomen	Viktig grundläggande kunskap, men intuitivt	Viktig grundläggande kunskap, men intuitivt	Centralt begrepp inom betong, men inte så intuitivt för de valda kurserna	Flera viktiga centrala begrepp	Viktigt begrepp i hållfasthetslära, ganska intuitivt förstås till FEM	Inte helt intuitivt, visar på flera resultat
<b>Vikt: 1-3</b>	3	2	3	2	2	2	2	2	2	3	3	3
<b>Hur väl förklarar fenomenet</b>	Ganska bra för att den utnyttjar kroppen.	Välldigt bra	Mycket bra	Bra	Tydlig och lätt att genomföra	Ganska bra	Mycket bra	Bra				
<b>P:1-5</b>	2	5	4	4	4	4	5	4	4	4	4	3
<b>Betyg:</b>	6	10	12	8	8	8	10	8	0	0	12	9
<b>Lärarnas feedback</b>	Rolig och bra, men lite och verklighet	Jättebra, kanske göras tydligare	Lättväskigt koncept men fungerar lite dåligt	Används, enkelt att ta med	Helt okej	Lite otydlig med god jobbat bra	Generellt positivt intyck, kul och givande	Generellt positivt intyck, kul och givande	Otydligt begrepp i betong, men inte så intuitivt för de valda kurserna	Otydlig och lite otydlig, men tid dynamiken stämmer dåligt, starkt är den användbar	Helt kass	Den visar bra grejer, men fungerar dåligt. Otydlig och jobbigt att hantera med.
<b>Vikt: P:1-5</b>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<b>Betyg:</b>	6	8	8	8	6	6	8	8	0	0	6	4
<b>Mobilitet</b>	Tung som sken, kräver en vagn.	Smidigt att ta med, lösa delar skulle vara bra med läda och vagn	Lätt att ta med, kräver inte läda.	Lätt att ta med, kräver inte läda, delarna	Lätt att ta med, inte vore bra med läda för de lösa bra	Lång bräda, flera lösa delar, kräver vagn	Lång bräda, flera lösa delar, kräver vagn	Lång bräda, flera lösa delar, kräver vagn	Helt hämsk att läda, många lösa delar, kräver vagn och läda	Helt hämsk att läda, många lösa delar, kräver vagn och läda	Helt okej att bara bärhandtag	Stor och jobbig, men har bärhandtag
<b>Vikt: P:1-5</b>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<b>Betyg:</b>	6	4	4	10	8	8	4	4	0	0	2	6
<b>Effektfullt / Rolig</b>	Hur kul som helst, roligt att använda kroppen	Fräsk, kul fölger	Ganska spännande	Det händer ju inte så mycket	Inte så kul, det roliga är mest att den välter	Spännande resultat, man får ändå göra något själv	Kul att använda kroppen och klura lite	Kul att använda kroppen och klura lite	Kul att använda kroppen och klura lite	Kul att använda kroppen och klura lite	Dålig och tråkig	Ganska rolig att pyssla med
<b>Vikt: P:1-5</b>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<b>Betyg:</b>	6	6	6	4	4	4	6	6	0	0	6	6
<b>Arbete att laga</b>	Förmodligen inte så jobbigt	Fungerar idag	Några limmars jobb plus inkoop av ny nyckel	Funskar idag	Saknar instruktion, OK idag men kan smygga till	Funskar idag, men kan förbättras mycket och skrivs instruktioner	Funskar inte idag, men är enkla åtgärder, främst kopierade grejer. Skriv nya instruktioner	Gör nya stöd bilder, i övrigt OK	Starkt fruktation fungerar OK att visa idag.	Starkt fruktation fungerar OK att visa idag.	Gör ny, ingen idé att radda	Åtgärder för smidighet plus instruktioner
<b>Vikt: P:1-5</b>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<b>Betyg:</b>	4	2	6	2	6	6	6	6	0	0	10	6
<b>Totalt poäng +:</b>	26	32	30	30	26	34	30	28	0	0	28	11
<b>Totalt poäng -:</b>	4	2	6	2	6	6	6	6	0	0	10	6
<b>Totalt kvot +/-:</b>	6,50	16,00	5,00	15,00	4,33	4,25	5,00	4,67	2,80	1,10	4,17	

## D Lista över nya idéer till experiment

Fenomen att beskriva	Område	Förslag på genomförande
<b>Förslag från tidigare grupp:</b>		
Kraft på liten yta	Statik	Ballong och spikar
Komposantuppdelning	Statik	Låda med lampor i olika färger
Kinetisk och potentiell energi	Dynamik	Kulbana, släpp kula från höjd
Masströghetsmoment / Steiners sats	Dynamik	Stång med flera hål roterar kring axel
Rörelsemängdsmoment	Dynamik	Snurrande massa (roterande stolen?)
Yttroghetsmoment och E-modul	Hållf	Balkar av olika material används för att beräkna E och I
Huvudspänningar	Hållf	Datorsimulering
Vridcentrum	Hållf	Gummi-C-balk
Snittkrafter, snittmoment	Hållf	Balk med mjuk led
Fackverk	Hållf	Datorprogram och fysisk modell
Knäckning (ersätter beg. Euler)	Hållf	Fysisk modell med sensorer
<b>Brainstorming och intervjuer:</b>		
Jämvikt	Statik	Balansbräda
Linkrafter, utväxlingar	Kinematik	Linor och trissor fäst på tavlan
Utväxlingar och rörelsemönster	Kinematik	Kugghjul fäst på tavlan
Utväxlingar och periferihastighet	Kinematik	Remtransmission fäst på tavlan
Rörelsemönster rotation-translation	Kinematik	Material på tavlan
Rörelsemönster genevahjul	Kinematik	Material på tavlan
Centripetalacceleration	Dynamik	Skivspelare med vikter
Perkussionscentrum	Dynamik	Stav att slå på i olika punkter
Periodtid för svängande massor	Dynamik	Stativ med vikt och tidmätare
Stabilitet	Statik	Rör med klot
Friktion, stödreaktioner	Statik	Stege mot vägg
Utböjning av balk med olika randvillkor	Hållf	Balkböjningsrigg
Stöt	Dynamik	Kulbana med olika kulor
E-modul	Hållf	Dragprovsmaskinen
Snittspänningar	Hållf	Stång, snittad med flera mätare i snittytan
Kinematik och rörelsemönster	Kinematik	Se 507 Mechanical movements och Polhems alfabet
Effektivspänningar	Hållf	Visas mha elektroniska mätare
Energiprincipen	Dynamik	Kulbana med hopp och sandlåda
Energiprincipen och centripetalacceleration	Dynamik	Kulbana med loop
Skjuvkrafter	Hållf	Brädor limmade eller nitade ihop
Tyngdpunkt	Statik	Modell av gaffeltruck
Geometris påverkan på hållfasthet	Hållf	Papper viks eller rullas, visa honeycombstrukturer
Ångpanneformlerna	Hållf	Ballong med linjer
Ångpanneformlerna	Hållf	Tryckkärl med trådtöjningsgivare
Resultterande kraft	Statik	Massa upphängd i dynamometrar
Hookes lag	Hållf	Balkböjningsrigg
Fackverk	Hållf	Mekano
Dynamikexperiment går för fort	Dynamik	Utför experiment nedsänkt i vätska?
Dynamikexperiment svårt att se	Dynamik	Elektroniska mätinstrument, kamera
Huvudspänningar	Hållf	
Krafter och motkrafter	Statik	



## F Guide till dragprovsmaskin

Kandidatarbete TMEX02-16-12

20160422

Sofia Alexandersson

### **Guide till dragprovsmaskinen**

1. Starta dragprovsmaskinen på dess nedre vänstra sida
2. Logga in på datorn
  - a. Användare: thab
  - b. Lösenord: Maskinteknik
3. Låt datorn och dragprovsmaskinen vara startade i cirka 10 minuter innan dragprovningen ska starta
4. Starta programmet TramQA32
5. Skriv in operation on set: (exempelvis: Kandidatgruppen 2016)
6. Tryck OK på den lilla rutan som pluppar upp
7. Tryck på New Set uppe i vänstra hörnet
8. Tryck på Test → Manual control
9. Justera försiktigt höjden på den övre gripen så att provstaven får plats.
10. Fixera provstaven i den övre gripen
  - a. OBS! Se till att staven sitter fast ordentligt (rakt) genom att rycka den i sidleds
11. Justera den övre gripen i höjdlid så att staven passar bra i den undre gripen.
12. Nollställ värdena under Manual control
13. Montera extensometern kring provstavens smala parti
14. Plugga in extensometerns kontakt i dragprovsmaskinens högra kortsida
15. Ta bort säkerhetspluggen på extensometern
16. Tryck på Test → Run Metal Tension - Method A
17. Fyll i cross section area (kandidatgruppens stavar:  $78,54\text{mm}^2$ ) och parallell length (kandidatgruppens stavar: 100mm). Tryck sedan på ok.
18. TAG PÅ SKYDDSGLASÖGON
19. Kontrollera extensometern och tryck sedan på ok
20. Dragprovet startar nu
21. Efter en stund kommer dragprovet att pausas och programmet ber er ta bort extensometern. Sätt in säkerhetspluggen i extensometern och tag sedan försiktigt bort den. Tryck på ok.
22. Dragprovet fortsätter till staven går till brott.
23. Det syns nu en ruta på skärmen som säger åt er att ta bort provstaven, gör detta och tryck sedan på ok.
24. För att få fram spännings/töjningsdiagram (eller andra samband) högerklickar ni nu på den gröna pricken till vänster på skärmen. Välj stress/deformation.

**OBS! Om du av någon anledning skulle behöva trycka på nödstopp, använd då följande instruktioner för att starta om provet:**

- Avsluta programmet och stäng av datorn
- Stäng av maskinen och återställ stoppknappen till sitt ursprungsläge
- Låt datorn och maskinen vila några minuter
- Starta om datorn och starta programmet igen, slå på maskinen
- Följ stegen ovan till och med steg 8
- Sänk den övre gripen nedåt så att dragkraften minskar så pass mycket att du kan montera loss provstaven.
- Starta om från början

## G Svar på labbutvärderingsenkät

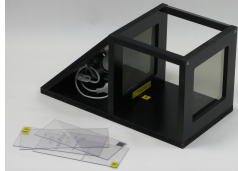
Vad gick bra med labben?	Vad gick sämre/vad kan förbättras?	Var det något specifikt du lärde dig som du tror du har nytta av?
Bra visualisering av teorin. Kul att se spänningsprov. Bra med flera mindre experiment.	Möjlig enklare.	Ökad förståelse för friläggning och jämvikt.
Att kunna utföra överhuvudtagen. Tydliga och korta instruktioner. Bra med korta experiment.	Kanske en kort (20-40 sekunders) introduktion till teorin där någon handledare redogör för teorin. Så "slipper" man läsa själv.	Antagligen har man fått en praktisk erfarenhet av kursen, så man kan relatera till längre fram.
Intressanta labbar, mycket nytt. Bra med uppdelade moment. Hjälpsamma handledare.	Vissa saker har vi inte gått igenom i kursen än. Slutdiskussion hade kunnat vara bra.	Intressant att se ett dragprov.
Bra "bredd" på laborationer! Att få se konkreta exempel osv.	-	Bra att ha sett typ Eulers knäckfall i förväg osv.
Utförandet av labben gick smidigt.	-	Ja
Smidig labb med bra pedagogik.	-	Intressant att få se och jämföra med teorin.
Enkla, lätt att se resultat som vi tidigare bara sett teoretiskt.	Djupare nivå vid dragprovet. Vi läste 7.5 hp i tvåan om detta.	Fick en bra bild av teorin.
Ypperliga instruktioner	Längre labbar med djupare förståelse	Praktisk erfarenhet av hållfasthetslära.
Det gick smidigt med allt. Bra att stationerna var jämnlånga tidsmässigt.	-	Ja det är bra att göra praktiska tillämpningar för att få bättre insikt vid annars teoretiska problem.
Labbar som var snabba att sätta sig in i.	Kolla av förkunskaper bättre innan, hos de som ska utföra labben.	Eftersom vi inte gått igenom det teoretiska av vissa labbar innan kommer att få se det i verkligheten innan öka förståelsen/inläringen senare.
Bra förklarar. Bra med tydliga anvisningar. Fanns någon att fråga vid varje station.	Det var bara bra. Hade varit kul att få lite längre tid.	Spänningskoncentration.
Bra handledning. Relevanta övningar. Bra instruktioner.	-	Många av stationerna var en bra introduktion eftersom vi inte hunnit gå igenom det än.
Bra upplägg med väl förberedda korta labbar. Tydliga instruktioner.	Svårt att avgöra vilket diagram som hör ihop med det körda töjprovet om skalorna har litet typsnitt (dragprovet). Svårt att veta vad man ska titta på i spänningsoptiken ifall man inte vet det i förväg.	Knäcklabben gav mycket. Gav god förståelse för sambandet som den visar på.
Tydliga instruktioner och bra handledare. Lagd på lagom nivå.	Kunde fått möjlighet att läsa igenom labb-PM före.	Allmänt mer förståelse för fenomen och intuition om vad som sker i specialfall.
Allt gick bra!	Mer reflektion	Förflyttning av last på balk.
Att få en hands-on förståelse för hållfasthetslära.	Teorin hade kunnat förklaras innan det praktiska görs.	Bättre allmän förståelse.
Allt :)	-	Hur man kan använda FEM-analys mha datorer
Inget gick dåligt. Bra pedagogik.	Det var svårt att få ut mycket av spänningsoptiken.	Bra att räkna på balken, kommer vara användbart.
Kul att se saker i praktiken, enkla labbar som är lätta att förstå.	Förklara vad I och de andra beteckningarna är i uppgiften med balken och vikten.	Brytning och sinusvågorna vid knäckning. Bra jobbat! Kul att få leka lite :)
Alla stationer gick bra. Min uträkning vid dragprovet gick mindre bra...	Inget var dåligt. Man kanske skulle kunna koppla experimenten till tentafrågor eller liknande konkreta exempel.	Den praktiska erfarenheten i allmänhet tror jag är väldigt nyttigt. Bra att se "fenomen" innan man tittar på dem teoretiskt på föreläsningen.
Det var kul att se hur hållif fungerar i verkligheten. Det ger ökad förståelse när man räknar tal. Bra med en kort och enkel labb, då behöver man fokusera hela tiden. Bra med en person/labbandledare vid varje station, fick bra förklaringar och hjälp.	Kanske ytterligare lite mer introduktion innan varje labbmoment, men detta är inte jätte viktigt då jag tyckte det var tillräckligt nu.	Intressant att jämföra utböjning i verkligheten med uträkningar. Då ser man att det verkligen stämmer.
Allt gick bra eftersom vi fick hjälp.	Balkriggsuppgiften hann man inte riktigt med på den korta tiden.	Uppgiften med vägen var en bra illustration som jag tror jag kommer ha nytta av.
Det mesta	Glasögon till alla närvarande, lite svårt att förstå det man inte gått igenom.	Tveksamt
Det mesta. Kul att prova lite praktiskt	-	Kanske fler övningar.
Den var rolig, var inte långtråkig som vissa andra labbar. Bra med lagom mycket handledning. Bra med demo sen egna försök.	Lite lite tid innan det förlängdes från 6 till 8 min.	Experimentet med balken man stog på, $Rut+Rv=P$ . Förstod mer om spänningskoncentrationer.
Det var roligt att få se hur det ser ut i praktiken. Man kan lättare visualisera dynamiken om man har sett hur det ser ut.	Bättre instruktioner.	-
Det var roligt och lärorikt att få se i praktiken det som vi annars läser teori om.	Lite mer strikt mer hur lång tid man hade på varje station.	Dragprovet var kul att se i praktiken.
Tydliga instruktioner, bra hjälp och bra diskussion.	-	Bra att visualisera för att bättre koppla till räkning.
Allt, tydliga instruktioner och bra hjälp.	-	Det linjära sambandet mellan reaktionskrafterna. Hur dragprov görs.
Tydliga instruktioner till varje del.	Ibland var tiden knapp på vissa stationer.	Vet ej :)
Bra hjälp och förklaringar.	Vi har inte gått igenom allt teoretiskt vilket gör det svårt att applicera till vad vi egentligen gör.	Verklighetsförankring.
Kul att få se	Mer tid på varje station. Bra labb på det vi gått igenom.	-
Fick bra hjälp!	Borde varit mer förberedd.	Det är för tidigt för att uttala mig angående detta.

# H Manual

## Spänningsoptik Manual

### Labbutrustning

Experimentet består av fyra plastskivor med olika geometrier, och en svart låda med en lampå och två polariseringsfilter. Filterna är vridna 90 grader mot varandra så att ljuset som passerar det första inte passerar det andra.



Figur 1: Labbutrustning

### Lärandemål

Förstå fenomenet spänningskoncentration vid lokala dimensionsändringar.

### Teori

När plastskivorna deformeras bryter de ljuset på ett sätt som påverkar skivornas brytningsindex. Det gör att ljusets polarisering ändras, och en del av det kan passera det andra filtret.

Ljuset som syns genom det andra filtret blir då en indikator för hur mycket plastskivorna deformeras, och genom det var spänningar uppstår i skivan.

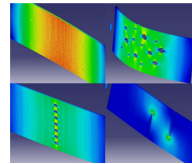
### Instruktioner

Böj de olika geometrierna inuti lådan och se var spänningarna uppstår.

- Var i skivorna finns de största spänningarna?
- Varför uppkommer spänningarna just där?
- Jämför de spänningar ni ser med de FEM-beräknade spänningarna nedan. Vad är det för skillnader och varför?

### FEM-bilder

I figur 2 visas bilder på skivorna i en datorsimulering, där de lagts upp med ledade kortsidor och utsatts för en böjande last. Det vill säga liknande förutsättningar som de utsatts för när de böjs i den här laborationen.

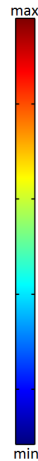


Figur 2: Analyser av von Mises spänningar på de olika geometrierna när de utsatts för böjning

## I Lösningförslag

# Spänningsoptik

## Lösningförslag



Färgerna vi ser på skivorna när vi tittar i optiklådan visar skivans deformation. Då spänning är proportionell med deformation med hjälp av materialkonstanter kan dessa färgskiftningar användas för att bilda en uppfattning om spänningsfördelningen i skivan.

Skalan på bilden ovan visar vilka färger som indikerar de största respektive de minsta spänningarna i skivan. Spänningarna är som störst där skivan påverkas mest av belastningen. Om ett objekt, i detta fall skivan, innehåller hål eller spalter kommer det uppstå så kallade spänningskoncentrationer vid dessa.

Jämförs FEM-simuleringarna med resultaten från optiklådan ser vi att mönstret är detsamma trots att FEM-simuleringarna visar spänningar och optiklådan visar deformationer. Detta beror på att de är proportionella mot varandra.