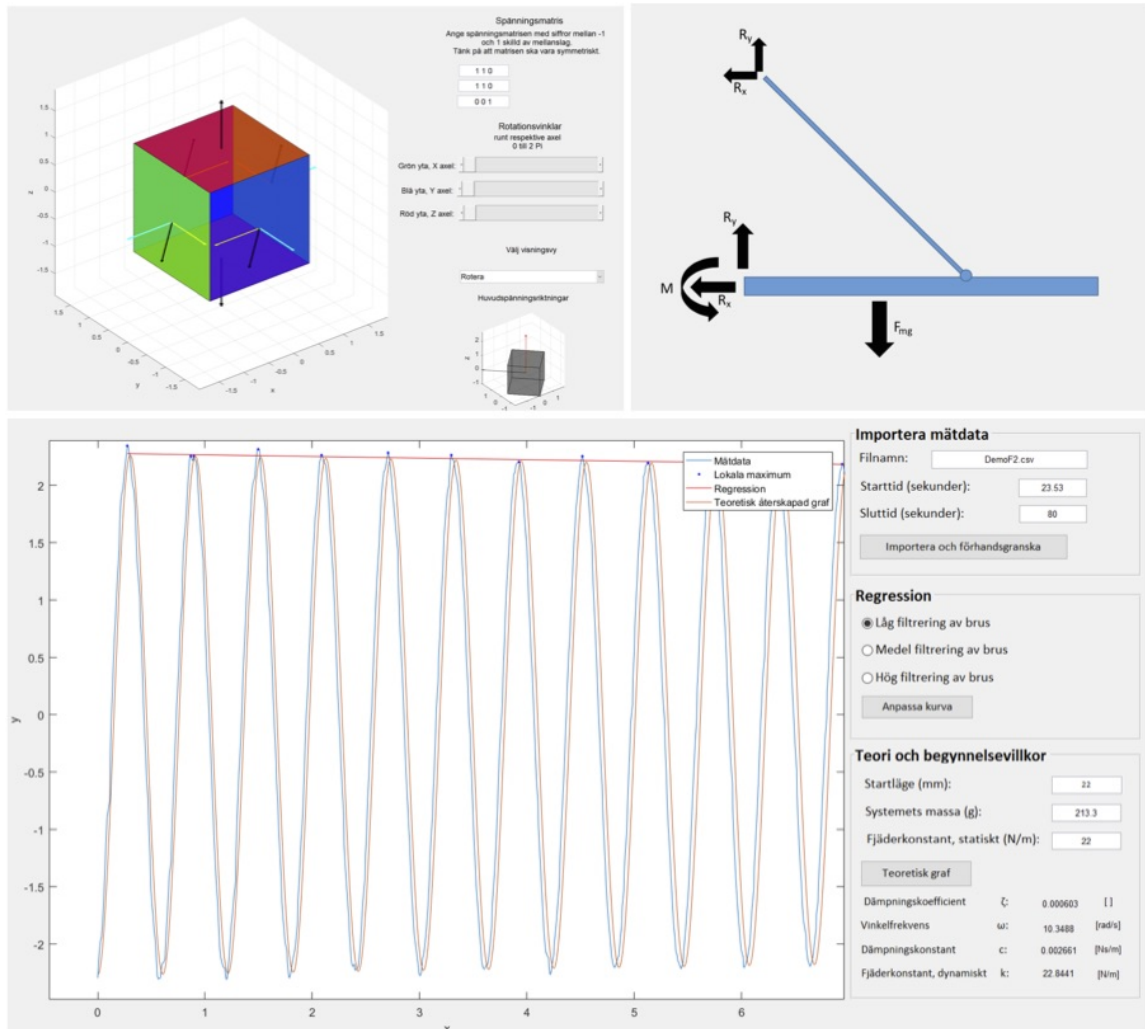




Studio i mekanik och hållfasthetslära

Utveckling och digitalisering av studions utbud

Kandidatarbete inom Tillämpad mekanik

HANNA GEIGER
FRIDA JEDVERT
MY NILSSON
VINH TU

KANDIDATARBETE 2017:03

Studio i mekanik och hållfasthetslära

Utveckling och digitalisering av studions utbud.

HANNA GEIGER
FRIDA JEDVERT
MY NILSSON
VINH TU



CHALMERS

Institutionen för Tillämpad mekanik
Avdelningarna för material- och beräkningsmekanik och dynamik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2017

Studio i mekanik och hållfasthetslära
Utveckling och digitalisering av studios utbud.
HANNA GEIGER
FRIDA JEDVERT
MY NILSSON
VINH TU

© HANNA GEIGER · FRIDA JEDVERT · MY NILSSON · VINH TU, 2017.

Handledare: Mats Ander, Avdelningen för material- och beräkningsmekanik.
Examinator: Peter Folkow, Avdelningen för dynamik.

Kandidatarbete 2017:03
ISSN-nummer: 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: Interface för Spänningskub, streckmodell av kårhusbalkongen, matlabprogram till Accelerometerlab.

Skrivet i L^AT_EX
Tryckt av Institutionen för Tillämpad mekanik
Göteborg, Sverige 2017

Abstract

The Studio of Engineering Mechanics and Solid Mechanics was created five years ago to complement the teaching of related courses. Since then, a number of groups worked on their Bachelor thesis projects developing and maintaining the studio to preserve it in good condition. Over the years, the studio has been updated with new experiments and various manuals and information to existing material. This year a group of four engineering students in year three; three from the Civil Engineering program and one from the Mechanical Engineering program, have worked on developing the studio.

A literature review was conducted to support the studio's purpose from an educational point of view. For inspiration a visit to Navet in Borås was arranged, where similar activities with experiments for learning is available although for younger children. Interviews with teachers at Chalmers revealed some of the concepts that students often struggle with, and the teachers also suggested many good ideas on both new experiments and additions to existing ones.

This project has resulted in a variety of new experiments, both digital and physical, and corresponding manuals have been created. Reparation of existing experiments has been made; furthermore an online platform for the studio has been developed. The online platform provides the opportunity to increase availability by displaying the studio's range and capabilities.

This theisis can hopefully be used as inspiration for future development of the studio.

Sammanfattning

Studion i mekanik och hållfasthetslära skapades för fem år sedan för att komplettera undervisningen i kurser för mekanik och hållfasthetslära. Sedan dess har olika kandidatgrupper arbetat med att utveckla och underhålla studion för att bevara den i gott skick för användning. Under åren har studion uppdaterats med nya experiment och med diverse manualer och uppgifter till befintligt materiel. Detta år har studion utvecklats av en kandidatgrupp bestående av fyra civilingenjörsstudenter i årskurs tre; tre från programmet väg- och vattenbyggnad och en från programmet maskinteknik.

En litteraturstudie genomfördes för att stödja studions syfte ur ett pedagogiskt perspektiv. För att få inspiration ordnades ett besök till Navet i Borås, där de bedriver en liknande verksamhet som stödjer yngre studenter lärande. Genom intervjuer med lärare på Chalmers framkom det vilka koncept som studenter ofta hade svårt för. Vidare gav lärarna många bra förslag på nya experiment, och tillägg till de existerande experimenten.

Detta projekt har resulterat i en mängd nya experiment, både digitala och fysiska, och även tillhörande manualer har skapats. Reparation av existerande experiment har gjorts; dessutom har en nätbaserad informationsplattform utvecklats. Den nätbaserade informationsplattformen möjliggör för lättillgänglig information på utbudet som finns i studion.

Förhoppningsvis kan detta projekt användas som inspiration för vidareutveckling av studion.

Förord

Under arbetet har vi fått stor hjälp i form av många bra idéer och åsikter från intervjuer och kontakter med föreläsare. Vi vill tacka Mats Ander, Peter Folkow, Peter Torstensson, Jim Brouzoulis, Håkan Johansson, Peter Möller och Anders T. Johansson för ert intresse och engagemang som bidragit och stöttat oss i vårt arbete. Vi vill även tacka Jan Bragée och Reine Nohlborg för hjälpen de gett oss vid arbetet i Chalmers Prototypplabb samt tacka Navet i Borås för studiebesöket som gav inspiration och skaparglädje hos oss i projektgruppen.

Vi vill rikta ett extra stort tack till vår handledare Mats Ander och vår examinator Peter Folkow för deras engagemang och välvilja som lett oss genom projektet. Ett stort tack vill vi även ge Jim Brouzoulis som låtit oss arbeta vidare med hans hemsida och inspirerat oss i vårt arbete.

Till sist vill vi även önska framtida kandidatgrupper lycka till i arbetet med studion och med att inspirera och väcka intresse hos kommande studenter.

Göteborg 2017-05-31
Hanna Geiger, Frida Jedvert, My Nilsson, Vinh Tu

Innehåll

1	Introduktion	3
1.1	Syfte och mål	3
1.2	Problembeskrivning	4
1.3	Avgränsningar	4
2	Studie i pedagogik	7
2.1	Lärandestilar inom utbildning på högre nivå	7
2.2	Studentens inläring och studieteknik	8
3	Projektets arbetsgång	11
3.1	Intervjuer med lärare	11
3.2	Studiebesök på Navet	11
3.3	Generering av nya koncept	11
3.4	Utveckling av nätbaserad informationsplattform	12
3.5	Reparation av existerande experiment	12
3.6	Prioriteringsmatris	12
4	Resultat och utförande	15
4.1	Intervju med lärare	15
4.2	Studiebesök på Navet	16
4.3	Nya koncept och experiment	17
4.3.1	Datorsimulering av allmänna spänningstillstånd	17
4.3.2	Pappersklämma	20
4.3.3	Frilägningsdemonstration	21
4.3.4	Accelerometerlabb	22
4.3.5	Roterande stolen	27
4.3.6	Rullar	28
4.4	Nätbaserad informationsplattform	31
4.5	Reparation och tillägg till befintliga experiment	33
5	Diskussion och slutsatser	35
5.1	Arbetets planering och avgränsningar	35
5.2	Utveckling med hjälp av prioriteringslista och iterativ arbetsprocess .	36
5.3	Studiebesök på Navet	37
5.4	Diskussion av experiment	37
5.4.1	Accelerometerlabb	37
5.4.2	Spänningskub	38

5.4.3 Pappersklämma	38
5.5 Utvärdering från demonstrationstillfälle	39
5.6 Nätbaserat utbud och tillgänglighet	39
5.7 Underhåll och förvaltning av studion	40
Litteraturförteckning	I
Bilagor A-L	I
A Manual Kraftbord	II
B Lösningsförslag Kraftbord	V
C Manual Accelerometerlabb: Fjäder	VII
D Lösningsförslag till Accelerometerlabb: Fjäder	XI
E Manual Accelerometerlabb: Balk	XIII
F Lösningsförslag till Accelerometerlabb: Balk	XVII
G Manual för Spänningskub	XIX
H Lösningsförslag till Spänningskub	XXIII
I Manual till Pappersklämma	XXIV
J Lösningsförslag till Pappersklämma	XXVII
K Ritningar till Roterande stolen	XXX
L Prioriteringsmatris för nya koncept	XXXIV

1

Introduktion

I många av de tekniska utbildningarna på Chalmers är mekanik och hållfasthetslära en viktig och återkommande del. Därför är det viktigt att studenterna förstår grundläggande fysikaliska principer, kunskap som de sedan kan bygga vidare på. Att använda experiment för att introducera ett fysikaliskt fenomen kan även hjälpa till att väcka studenternas intresse för ämnet. Dessa experiment kan vara såväl laborationsmateriel som demonstrationsmateriel. Att pedagogiskt granska en kursuppbyggnad för att på lämpligt sätt inkludera intuitiva och överskådliga demonstrationsinslag kan förbättra inläringen.

Mekanik och hållfasthetslära är ämnesområden som många studenter uppfattar som svåra att förstå med hjälp av enbart teori. För att underlätta inläringen för studenterna påbörjades 2013 arbetet med att utveckla en studio med experiment inom mekanik, statik, dynamik och hållfasthetslära. Studion är placerad på källarplan i maskinhuset på Chalmers tekniska högskola i ett rum med möjlighet att förvara experiment och hålla laborationer för mindre grupper studenter. Under utvecklingsarbetet med studion har experiment tagits fram, manualer till dessa skapats och en genomgång för intresserade lärare hölls. Experimenten innefattar även demonstrationsverktyg som lärare kan ta med sig till föreläsningssalen för att kunna visa den teori som presenteras och på så sätt underlätta studenternas inläring. Under våren 2017 utförs det fjärde kandidatarbetet med syfte att vidareutveckla och förbättra studion och de experiment som finns där.

1.1 Syfte och mål

Syftet med arbetet är att se över befintliga experiment, komplettera och reparera om nödvändigt, samt utveckla eller beställa nya. Arbetet utförs för att på ett långsiktigt sätt vidareutveckla studion i mekanik och hållfasthetslära, öka tillgänglighet och användarvänlighet till både experimenten och lokalen. Målsättningen med studion är att genom ökad användning av studios experiment i form av demonstrations- och laborationsmateriel förhoppningsvis även öka studenternas förståelse inom berörda kurser.

1.2 Problembeskrivning

Huvuduppgiften i projektet syftar till att förbättra en existerande studio som består av många fysikaliska experiment. Det finns många sätt att förbättra studion på. En del uppgifter är rent organisatoriska medan andra består av att tillverka utrustning som kan användas för experiment.

Bland lärarna på Chalmers för kurserna mekanik och hållfasthetslära är det inte alla som demonstrerar kursinnehållet med hjälp av experiment. De lärare som använder studion har olika målsättning med experimenten; en del vill att experimenten ska vara tydliga att se då de demonstreras inför en stor publik medan andra med mindre klasser föredrar att låta sina kursdeltagare besöka studion för en laboration. I och med detta behöver utbudet på experiment utökas. I dagsläget är dessutom alla experiment fysiska, det finns inga digitala experiment trots att det skulle vara till stor nytta då de möjliggör en hel del nya experiment. Det verkar dessutom finnas en brist i kommunikation mellan lärare angående möjligheten att använda studion samt vad den har att erbjuda.

Vidare behöver studion organiseras ytterligare i olika avseenden. Just nu finns inget etablerat bokningssystem för lärare som vill låna utrustning från studion till sina föreläsningar. Dessvärre kan lärarna glömma bort att lämna tillbaka utrustningarna på rätt plats och det skapar förvirring när utrustning saknas. I dagsläget saknas även lättillgänglig information om experimentutbudet, vilket kräver en ansträngning för lärare att ta sig ner till studion och se vad som finns där.

En del experiment fungerar bra att demonstrera i videoformat inför till exempel stora klasser. Det finns därför ett behov hos lärarna av sådana filmer. Även tidigare projektarbeten Eliasson, Jösok, Nävert och Sundbeck (2013), Komarovski (2014), Alexandersson, Bäckgren, Everett Eriksson och Hedin (2016), rekommenderar experiment i videoformat då det har visat sig vara användbart.

1.3 Avgränsningar

Då det huvudsakliga syftet med arbetet är att ge ett stöd till kurserna i mekanik och hållfasthetslära gjordes avgränsningen med hänsyn till dessa kurser.

Dessa kurser går på Maskinteknik och Samhällsbyggnad:

Samhällsbyggnad:

TME 275 Mekanik

TME 295 Hållfasthetslära

TME 300 Hållfasthetslära

TME 305 Strukturmekanik

Maskinteknik:

MTM 021 Statik och hållfasthetslära

MTM 026 Hållfasthetslära

TME 031 Mekanik - Dynamik

LMT 202 Mekanik

TME 255 Hållfasthetslära

Allt utvecklat materiel ska alltså beskriva eller belysa teorier och fenomen som ingår i någon av dessa kurser. Det finns förstås fler program på Chalmers som har mekanikkurser, det kan dock antas att kursinnehållet liknar det som finns i ovan listade kurser.

2

Studie i pedagogik

En litteraturstudie om pedagogik har gjorts med syfte att förstå hur studenter lär sig samt hur experimenten i studion ska utformas för att stödja studenternas lärande på bästa möjliga sätt. Inledningsvis presenteras några olika lärandestilar som studenten kan tillämpa, närmare bestämt djupinläring och ytinläring. Vidare diskuteras hur studenten kan utveckla ny kunskap genom att bygga vidare på förkunskaper och tidigare erfarenheter. Slutligen redogörs för olika studietekniker.

2.1 Lärandestilar inom utbildning på högre nivå

Enligt Ramsden (1992) är målet med utbildning på högre nivå att förmedla en djupare kunskap som kan användas för att lösa generella problem av olika slag. Enligt flera studier som Ramsden citerar når de flesta inte detta mål. Studierna visar att de flesta studenter inte har förmågan eller viljan att utöka sin kunskap för att kunna lösa problem med generella drag. Orsaken till detta är att många studenter tillämpar en ytlig lärandestil. Ramsden skiljer på djup- och ytinläring för att karakterisera två olika lärandestilar.

Djupinläring karakteriseras av att ny kunskap relateras till omvärlden, äldre kunskap och egna erfarenheter. Den medför ofta att studenten generaliserar sin kunskap och utvecklar ett genuint intresse för ämnet. Studentens resultat är oftast bra. Inläringssättet karakteriseras även av att lärandet upplevs som roligt och givande enligt Ramsden (1992). Ytinläring karakteriseras av faktainläring, istället för att fokusera på vad materialet betyder fokuserar studenten på enskilda ord och tecken. Detta medför att studenten enbart lär sig fakta, oftast utantill. Ytinläring upplevs oftast som frustrerande och tråkigt vilket ofta kan leda till att mindre tid läggs på att studera.

Det har gjorts försök på att kartlägga varför en viss lärandestil väljs samt om den lärarstilen då valts medvetet eller omedvetet. Ramsden (1992) argumenterar för att alla har förmågan till både djup- och ytinläring och ofta kan byta mellan dessa i olika sammanhang eller kurser. Han anser att den enskilt viktigaste faktorn är studentens tidigare lärandestil, d.v.s. att de som började tidigt med djupinläring fortsätter med det även på högskolan. Ramsden menar även att det kan vara svårt att implementera djupinläring, men lätt att implementera ytinläring.

Ett problem är att även om de formella målen handlar om att förstå generella koncept så är det lättare med imitation och därmed ytinlärning. Enda sättet att uppmuntra djupinlärning enligt Ramsden (1992) är att skapa förutsättningar som uppmuntrar till ett sådant inlärningsmönster. Några faktorer som stimulerar djupinlärning, relevanta för detta arbete är:

- att väcka intresse genom att förklara hur ämnet relaterar till omvärlden.
- att återkoppla till studentens arbete.
- att engagera studenterna så att de deltar aktivt.
- att lyssna på studenternas kritik.

För kandidatarbetet innebär detta att det är viktigt med engagemanget och intresseväckandet vid utformning av experiment. Studenten bör tycka att det är stimulerande och intressant att genomföra experimenten. Det är även viktigt att det skrivs ett facit till varje experiment så att studenten kan kontrollera att experimentet har genomförts på rätt sätt, d.v.s. att få återkoppling på sitt arbete. Genom att utforma experiment som kräver diskussion bland studenterna så uppmuntras även aktivt deltagande. Slutligen bör det utvärderas hur väl experimenten har fungerat bland studenterna för att åtgärda eventuella brister.

Ramsdens teorier om djupinlärning och ytinlärning stärktes senare av Biggs och Tang (2011) och den svenska motsvarigheten Elmgren och Henriksson (2010). Elmgren och Henriksson (2010) trycker på att det inom undervisningen finns utmaningar som gör att lärare idag behöver jobba mer effektivt. Bl.a. betonar de vikten av att inkludera aktiva undervisningsformer i utbildningen som leder studenten till att anta en djupinriktad lärandestrategi. De viktigaste aspekterna med aktiva undervisningsformer är att framhäva studenternas frågor, spekulationer och egna problemlösningar, vilket inte kan uppnås med passiva föreläsningar. Däremot är detta möjligt att åstadkomma med laborationer som genomförs i studion.

2.2 Studentens inlärning och studieteknik

Enligt Campbell och Campbell (2009) är det svårt för studenter som inte har de nödvändiga förkunskaperna att ta till sig ny kunskap. De argumenterar för att detta ska vara en av de första sakerna som utreds. Korrekta förkunskaper medför att en student lär sig nya koncept som bygger vidare på tidigare kunskap medan bristande förkunskaper kan orsaka motsägelser för studenten. Det finns alltid en risk att studenten uppfattar en krock mellan den nya och den gamla kunskapen, därmed kan studenten missförstå. Det skulle dock också kunna bli lättare för studenten att ta till sig teoridelar om dessa kunde visas i ett experiment innan. För projektet är det därför av stor vikt att säkerställa att studenterna inte lär sig fel.

Inlärnin g definieras av Kolb, Kolb och Lewin (2013) som en process där studenten utvecklar nya kunskaper med hjälp av sina erfarenheter och upplevelser samt bearbetar dessa. En undervisningsform som ger tillfälle att både ta till sig ny kunskap och bearbeta eller använda den ger alltså en heltäckande förståelse. Enligt Kolb m. fl. (2013) finns det även olika sätt att skapa förståelse. Dessa kan ses som två parametrar som går mellan abstrakt konceptförståelse (abstract conceptualization) till konkreta upplevelser (concrete experiences), och reflekterande observation (reflective observation) till aktivt deltagande (active experimentation). Alla lär sig på olika sätt och tar till sig information effektivast genom olika inlärnin gskanaler. I undervisning är det därför viktigt att ge utrymme för både inlärnin g och bearbetning på olika sätt och försöka ge möjlighet att till exempel både reflektera över det inlärd a och implementera det i något praktiskt.

Till skillnad från Kolb m. fl. (2013) argumenterar Dunlosky (2013) för att de bästa inlärnin gssätten, oberoende utbildningsnivå, är Practice Testing och Distributed Practice. Den förstnämnda fokuserar på att studenten kontinuerligt testar sina kunskaper och därmed både avdramatiserar processen att testa samt gör att kunskapen sätter sig bättre. Distributed Practice handlar om att studenterna delar upp och sprider ut sin studietillfällen och inte tar allt på en gång. Detta skulle kunna vara att en student inte ska sitta uppe hela natten innan tentan och läsa alla sina anteckningar utan instudera dem i mindre omgångar under ett par kvällar innan tentan.

I studion kan Practice Testing enligt Dunlosky (2013) tillämpas genom att i slutet av varje laboration låta studenterna besvara frågor om experimentet för att kontrollera att de har förstått. Distributed Practice kan användas i studion i form av laborationstillfällen. Genom att redan tidigt i kurserna organisera laborationer för studenter uppmannas de att läsa in och bearbeta materialet tidigt.

3

Projektets arbetsgång

I följande avsnitt beskrivs projektets arbetsgång och hur arbetet genomförts. Intervjuer och studiebesök gjordes i tidigt skede för inspiration. Gruppens egna erfarenheter har dessutom använts som komplement till den insamlade informationen. Tillsammans har de ovannämnda delarna vidareutvecklat studion vilket lett till ökad tillgänglighet och nya experiment.

3.1 Intervjuer med lärare

Personliga intervjuer med lärare vid Chalmers tekniska högskola utfördes för att få förståelse för vad studenterna har svårigheter med och vilka delar av kurserna som innebär kunskapströsklar. I arbetets slutskede hölls en genomgång av de nya experimenten och det demonstrationsmaterial som tillkommit i studion. Demonstationen genomfördes i utvärderingssyfte där lärare från olika institutioner på Chalmers med intresse för studions verksamhet bjöds in att delta.

3.2 Studiebesök på Navet

På Navet i Borås finns en stor samling experiment för elever på grundskolenivå och personalen där har även erfarenhet i hur experimenten bör presenteras rent pedagogisk. Förutom möjlighet för elevklasser att komma och testa experimenten finns utbildningar för pedagoger i hur experimenten kan utnyttjas och anpassas till den egna undervisningen. Ett besök på Navet för att prata om deras experiment och pedagogiska strategier har genomförts under projektets första del.

3.3 Generering av nya koncept

Genom att bolla idéer samt leta efter inspiration på nätet av vad andra gjort har nya koncept och experiment tagits fram. Dessa idéer har tagits fram utifrån de önskemål och erfarenheter som framkom under intervjuerna. De nya koncepten har följande delsyften:

- Utveckling och uppbyggnad av nytt demonstrationsmaterial för att underlätta studentens lärande vid undervisning i storgrupp på till exempel föreläsningar.

- Utveckling och uppbyggnad av experiment för att underlätta studentens lärande genom till exempel laborationer.

3.4 Utveckling av nätbaserad informationsplattform

För att öka tillgängligheten till de experiment och demonstrationsverktyg som finns i studion efterfrågades en plattform där information finns lättillgängligt. Efter intervjun med J. Brouzoulis (personlig kommunikation, 10 februari 2017) framkom det att han börjat med en hemsida för studion. J. Brouzoulis lät hemsidan finnas till förfogande som plattform då den redan var upprättad med just syftet att göra studions innehåll mer tillgängligt.

3.5 Reparation av existerande experiment

Vid projektets början hade studion en relativ stor samling av existerande experiment och demonstrationsmaterial. Det fanns förbättringspotential för många av de existerande experimenten. Dels saknades materiel för vissa områden i kurserna, dels var delar av det befintliga materialet trasiga eller ofullständiga. I vissa fall behövdes komplettering med manualer, räkneuppgifter samt diskussionsuppgifter. Huvuduppgifterna blev därför att:

- Åtgärda skadade experiment och ersätta borttappade delar.
- Komplettera existerande experiment med manualer och uppgifter.

3.6 Prioriteringsmatris

I arbetet att förbättra studion omfattades både utveckling av nya experiment samt reparation av existerande experiment. Då det fanns många idéer kring nya experiment som kunde utvecklas och gamla experiment som behövde repareras upprättades därför en prioriteringsmatris. Med hjälp av matrisen, som återfinns i bilaga L, avgjordes vilka experiment som skulle behandlas först. Prioriteringen bygger på att varje experiment poängsätts inom fem kategorier:

- Hur stort behov finns det av experimentet?
- Hur väl förklaras teorin med experimentet?
- Hur bra är experimentet enligt lärarna?
- Hur lätt är det att transportera experimentet?

- Hur stimulerande är experimentet?

De fem kategorierna fick sedan olika poängskalor för att de skulle väga olika tungt. Vi ansåg att Behov, Pedagogik och Lärares åsikt vägde tyngst och gav dessa en skala mellan 1-5. Kategorin Stimulerande och dynamiskt fick sedan skalan 1-4 och kategorin Mobilitet fick 1-3. En sjätte kategori finns med i matrisen också som inte togs med i den totala poängsättningen. Den sjätte kategorin som var tidsåtgången togs bort då vi arbetade iterativt och utan deadlines, detta gjorde tidsåtgången som kategori obetydlig. Slutligen summerades poängen och en rangordning av experimenten erhöles. I detta fall gjorde varje gruppmedlem en individuell poängsättning som i slutändan sammanställdes med ett medelvärde av poängen. För att få med en lärares åsikt om experimenten bidrog M. Ander med poängsättning för varje enskilt alternativ i prioriteringsmatrisen. M. Ander är universitetslektor och undervisar bland annat i hållfasthetslära på Chalmers.

4

Resultat och utförande

I det här kapitlet presenteras resultatet av vårens arbete i studion; hur lärarnas åsikter styrde arbetet i rätt riktning, att studiebesöket på Navet uppmuntrade och inspirerade samt vilka experiment arbetet resulterade i. Dessutom beskrivs de fenomen som de nya experimenten visar och hur de kan användas. Även arbetet med hemsidan och dess tillägg samt reparationer av befintliga experiment beskrivs här.

4.1 Intervju med lärare

I de personliga intervjuerna med P. Torstensson (personlig kommunikation, 3 februari 2017), J. Brouzoulis (personlig kommunikation, 10 februari 2017) samt H. Johansson (personlig kommunikation, 13 februari 2017) från lärarkåren vid Chalmers tekniska högskola har det visat sig att det framför allt är två sorters trösklar som ger studenterna svårigheter vid inläring. Det första som de stöter på är grundläggande förståelse för till exempel friläggning och fria moment, samt svårigheter för dynamiska problem. När den grundläggande förståelsen finns är det framför allt tredimensionella fenomen som är utmaningen då de ofta uppfattas som svåra att visualisera.

Under demonstrationstillfället som hölls den 2 maj 2017 i studion närvarade 14 lärare från olika institutioner på Chalmers tekniska högskola. En kort presentation av de färdigställda experimenten gjordes och sedan fick deltagarna gå mellan stationer där experimenten fanns uppställda och testa på själva hur de fungerade och se hur tillhörande manualer var utformade. Under tillfället fanns Accelerometerlab, Kraftbordet, Spänningskuben, Pappersklämman, Friläggingsdemonstration och hemsidan tillgängliga att prova på. Efter demonstrationens slut samlades kommentarer och förslag in från deltagarna för att kunna utvärdera hur väl experimenten levde upp till det som de är avsedda för. Från svaren som samlades in under demonstrationstillfället framgick att studion och dess koncept var okänt för en del av lärarna men att upptäckten och introduktionen till det var mycket positiv. Det kunde också konstateras att studion kan användas till fler kurser, så som introduktionen till ljud och vibrationer i Samhällsbyggnadsprogrammet.



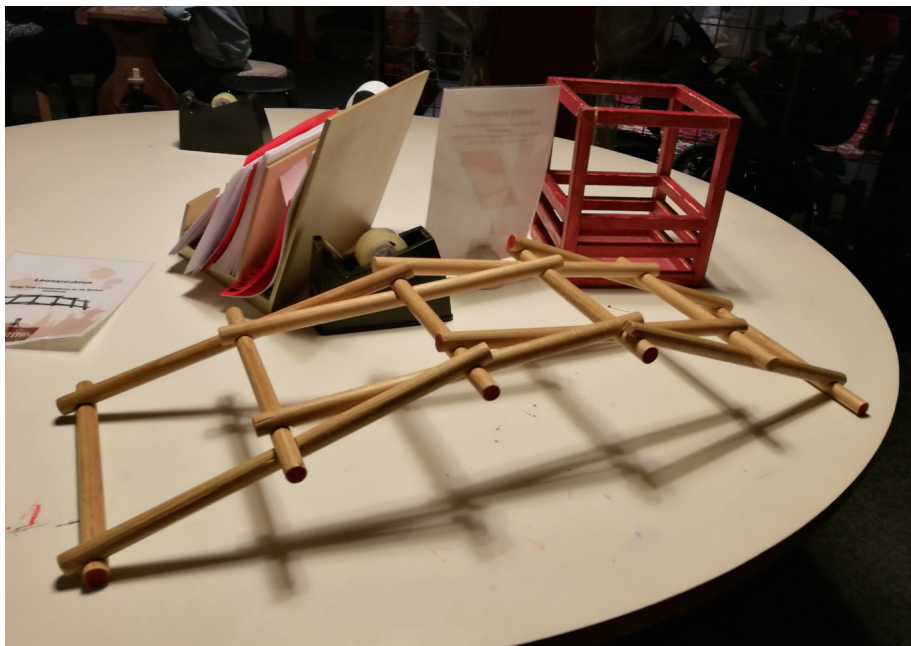
Figur 4.1: Studion under demonstrationstillfället.

4.2 Studiebesök på Navet

Den 16:e februari 2017 besöktes Navet i Borås. På Navet riktas experimenten mot elever i grundskolan och är anpassade till deltagarnas årskurs. Yngre elever genomför experiment med hjälp av instruktioner som kan följas steg för steg, medan äldre elever får färre instruktioner och får själva pröva sig fram. Experimenten är utformade för att i första hand väcka ett intresse hos studenten. Intresset kompletteras sedan av teorin bakom fenomenen.

Ur besöket framgick det även att verksamheten utvecklar sina experiment genom att bilda en grupp där gruppdeltagarna får bidra med sina idéer på genomförbara experiment. Det finns ingen ingående urvalsprocess utan idéer som verkar fungera utvärderas och testas. Denna iterativa process är något som även passar i Studion och bidrar till att man på ett kreativt sätt kommer fram till nya koncept utan att begränsa möjligheterna innan utvecklingen ens har börjat.

Många delar av arbetsgången går även att applicera i Studion trots att det är en annan ålder på målgruppen på Navet. Besöket bidrog framför allt till inspiration och experimententusiasm för gruppen. Samtal med en av pedagogerna på Navet gav gruppen en ny synvinkel på experimentutveckling. Att försöka få studenter eller elever att tänka själva och att väcka deras nyfikenhet var något som pedagogerna på Navet tyckte var huvudmålet med experimenten. De förespråkade framför allt enkelhet i experiment, de fenomen man vill visa behöver inte vara komplicerade för att det skall vara värt mödan att utveckla ett experiment som visar det.



Figur 4.2: Exempel på experiment från Navets matematikavdelning. Leonardobron ska monteras utan manual för att gynna det egna tänkandet.

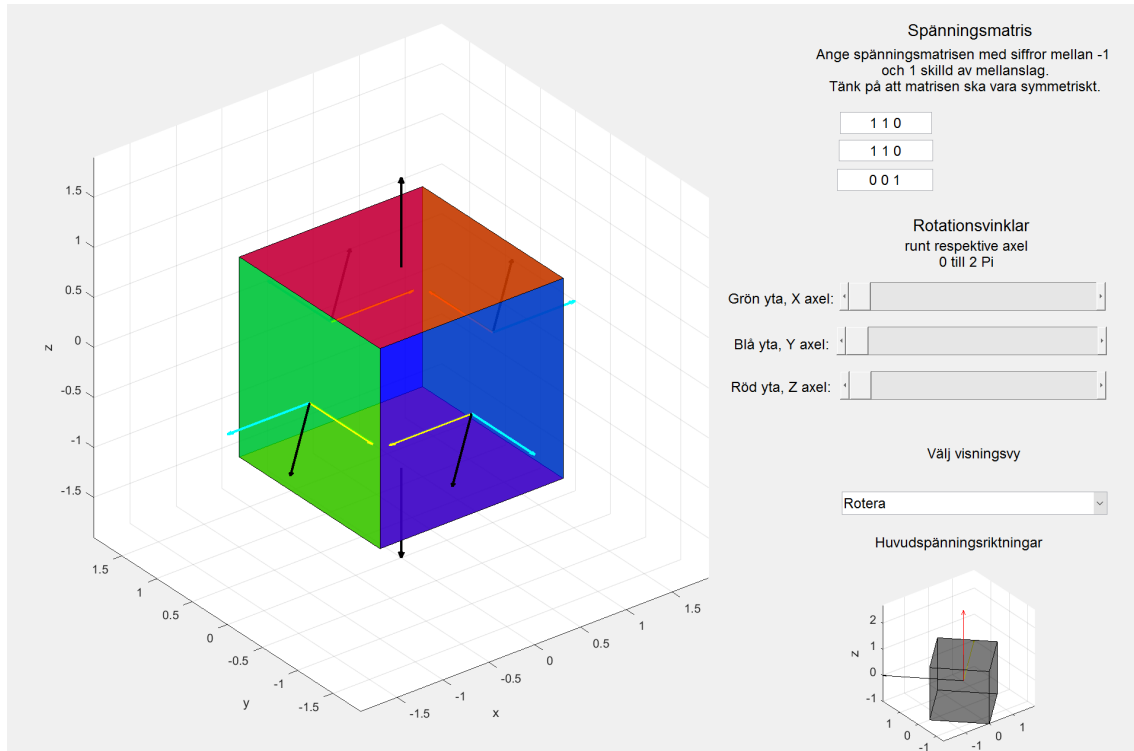
4.3 Nya koncept och experiment

För att hålla studion aktuell och relevant behöver den utvecklas kontinuerligt. Utvecklingen av studion denna vår har lett till tillägg av både digitala och fysiska experiment. Experimenten, såväl digitala som fysiska presenteras här i form av utförande och slutresultat. Här beskrivs också vilka teorier experimenten baseras på.

4.3.1 Datorsimulering av allmänna spänningstillstånd

Huvudspänningar och allmänna spänningstillstånd är något som många studenter upplever som svårt. Begreppet behandlar hur en spänningsvektor kan delas upp i komponenter i förhållande till snittytan. Kandidatgruppens erfarenhet är att begreppet är väldigt teoretisk och svårt att förstå. Även J. Brouzoulis uttryckte i en intervju behovet av att kunna förklara begreppet på fler sätt än genom bara teorin.

Studenterna ska själva, med hjälp av ett utvecklat matlabprogram, kunna simulera och undersöka vad som händer med spänningskomponenterna om kuben roteras på olika sätt. Då studentens fokus ska ligga på spänningstillstånd i så hög grad som möjligt var det viktigt att göra programmet så interaktivt som möjligt. Med hjälp av Anders T. Johansson utvecklades ett interaktivt användargränssnitt i Matlab för att öka användarvänligheten.



Figur 4.3: Spänningskuben och dess användargränssnitt.

Till programmet skrevs en manual som återfinns i bilaga G tillsammans med lösningsförlag i bilaga H. Där finns det dels enkla instruktioner för hur programmet ska köras men även uppgifter om allmänna spänningstillstånd.

Programmet är skrivet och körs i Matlab, den grafiska utvecklingsmiljön GUIDE används. Programmet består av en kub som kan roteras. På varje sida av kubens visas spänningsvektorn och dess komponentuppdelning i de tre komponenterna: normalspänning och två skjuvspänningar. I användargränssnittet kan tre sorters parametrar justeras. Dessa är: spänningskomponenter till riktning och storlek, kubens rotationsvinklar samt från vilket håll man ser kubens. Beräkningarna bygger på linjär algebra. Linjära transformationer för alla tre rotationsvinklar används för att hantera kubens och spänningskomponenternas rotation. Kubens centrum ligger i origo och dess orientering definieras med en vektor, r , som innehåller vridningsvinklarna runt respektive koordinataxel.

$$r = \begin{bmatrix} r_x & r_y & r_z \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Spänningstillståndet beskrivs av spänningsmatrisen S . Där σ beskriver normalspänningen och τ beskriver skjuvspänningarna på respektive yta (Lundh, 2013).

$$S = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

Varje rotation görs sedan med hjälp av en transformationsmatris T . T tas fram med hjälp av matrismultiplikation av tre separata transformationsmatriser som roterar

vektorn runt respektive axel (Lay, 2012).

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(r_x) & \sin(r_x) \\ 0 & -\sin(r_x) & \cos(r_x) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(r_y) & 0 & -\sin(r_y) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(r_y) & 0 & \cos(r_y) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(r_z) & -\sin(r_z) & 0 \\ \sin(r_z) & \cos(r_z) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

Ett exempel på hur en spänningskomposant, i detta fall σ_x tas fram.

Riktningen för komposanten tas fram enligt:

$$n_x = T \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

σ_x kan sedan ses som en projektion av spänningsvektorn f på komposantriktningen n_x (Lay, 2012):

$$f = \begin{bmatrix} \sigma_{x0} \\ \tau_{xy0} \\ \tau_{xz0} \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

$$\sigma_x = (f \bullet n_x) n_x \quad (4.6)$$

De andra komponenterna τ_{xy} , τ_{xz} , σ_y , τ_{yx} , τ_{yz} , σ_z , τ_{zy} och τ_{zx} tas fram på liknande sätt. Då används

$$n_y = T \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{eller} \quad n_z = T \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

istället för n_x som används i exemplet ovan. Den ursprungliga spänningskomposanten bestämmer om n_x , n_y eller n_z ska användas. Till τ_{xy} används n_y och till τ_{xz} används n_z . Huvudspänningarna och dess riktningar räknas ut genom följande (Lundh, 2013):

$$(S - \sigma I)n = 0 \quad (4.8)$$

Huvudspänningarna σ_1 , σ_2 och σ_3 och egenvektorerna togs fram med hjälp av Matlab. Egenvektorerna n_1 , n_2 och n_3 motsvarar huvudspänningsriktningarna.

4.3.2 Pappersklämma

Ett viktigt moment i hållfasthetsläran är att förstå hur olika tvärsnitt, material, initialdeformationer och anvisningar på en komponent påverkar dess bärförmåga. För att enkelt demonstrera detta kom ett förslag från P. Möller. Förslaget var att en dragprovсанordning för papper skulle kunna användas till att visa hur olika skador eller tvärsnittsareor påverkar bärförmågan.

Bärförmågan kan beskrivas med hjälp av grundmaterialets hållfasthet och provkroppens geometri. Beroende på vilka initialdeformationer provkroppen har används olika teorier för att dimensionera mot brott. Vanligtvis används att $\sigma_{max} < \sigma_B$, där σ_{max} motsvarar den största spänningen som uppstår i komponenten under belastning, och σ_B motsvarar materialets brottgräns. För en kropp med en mycket spetsig spricka så ger elasticitetsteorin att $\sigma_{max} \rightarrow \infty$ nära spetsen, vilket inte är möjligt. Enligt elasticitetsteorin tillkommer följande term i spänningsfältet för en oändligt stor skiva med en spricka (Lundh, 2013):

$$\sigma(x) = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi x}}$$

Istället för det vanliga kriteriet $\sigma_{max} < \sigma_B$, så kan brottmekaniska kriterier användas. En instabil spricktillväxt sker då: $K_I \geq K_{Ic}$, där K_I är spänningsintensitetsfaktorn och K_{Ic} är den kritiska spänningsintensitetsfaktorn (brottsegheten).

Ett enkelt försök visade att det nästan är omöjligt att dra av ett papper för hand. Det finns några olika sätt att underlätta för att dra sönder papper, t.ex. genom att använda smalare pappersremsor och trissor som ger utväxling. Lösningen blev en pappersklämma där det går att sätta in pappersbredder upp till 21 cm och en trissa som överför kraften till pappersklämman med en utväxling. För att kunna fästa trissa och pappret på ett bra sätt sitter hela anordningen i en ram av aluminiumprofiler (se figur 4.4). Det gjordes manual till experimentet (se bilaga I) samt ett lösningsförslag till denna (se bilaga J). Experimentet har även lagts till på hemsidan www.mekochhållf.se med enklare instruktioner och teoribeskrivningar.



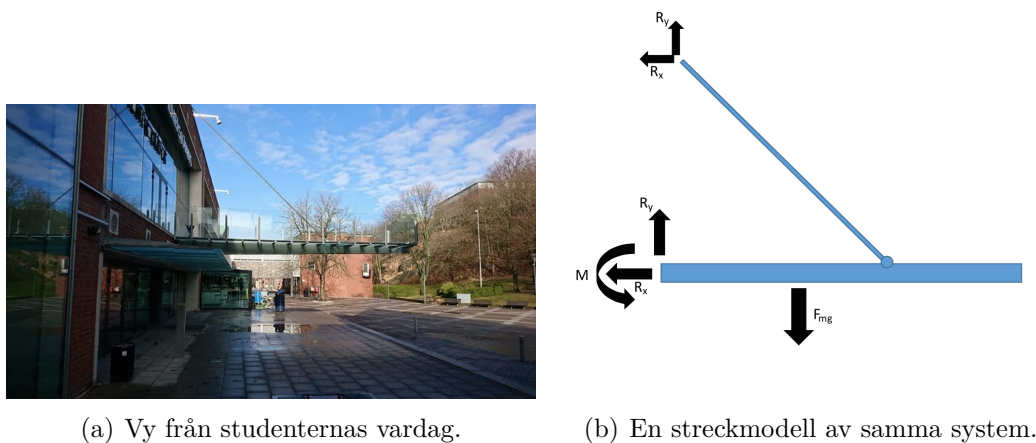
Figur 4.4: Pappersklämman under ett dragprov av en pappersremsa.

I detta experiment ska studenterna först dra sönder en vanlig pappersremsa. Sedan ska de skapa anvisningar på en liknande pappersremsa (t.ex. riva det lite granna) och dra sönder den. Syftet med experimentet är att visa hur en anvisning drastiskt försämrar en komponents bärförmåga. I detta fall observeras ett sprött brött som inte ger någon förvarning på att komponenten håller på att gå i brott.

4.3.3 Friläggningsdemonstration

En stor del av mekanik och hållfasthetslära är att kunna förstå hur olika konstruktioner påverkas av hur de är uppbyggda och förankrade. Ett första steg för att kunna göra det är att behärska friläggning. Friläggning är en av tidigare nämnda kunskapströsklar som studenter upplevt som svåra. Genom att verklighetsförankra friläggning i ett tidigt skede kan kunskapströskeln möjligen undvikas. Därför ansågs att en demonstration på friläggning av strukturer och konstruktioner från studenternas vardag skulle gynna dem. Det skulle ge förståelse för begreppet och verklighetsförankra tankesättet kring friläggning.

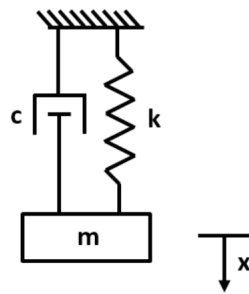
PowerPoint-presentationer med friläggning av byggnadsdelar på Chalmers campus Johanneberg skapas för att användas som demonstrationsverktyg vid introduktion av friläggning. Eftersom de görs i presentationsformat kan lärarna själva bestämma hur snabbt de vill att varje introduktion ska gå, vilket kan underlätta om de till exempel vill skriva något på tavlan under tiden. Fyra stycken presentationer med friläggning finns nu tillgängliga för lärare. Det har även skapats en övningsuppgift som går ut på att studenterna själva ska göra en friläggning av en konstruktionsdel för att engagera studenterna.



Figur 4.5: Ett utdrag från friläggningsdemonstrationen av kårhusbalkongen på campus Johanneberg på Chalmers tekniska högskola.

4.3.4 Accelerometerlab

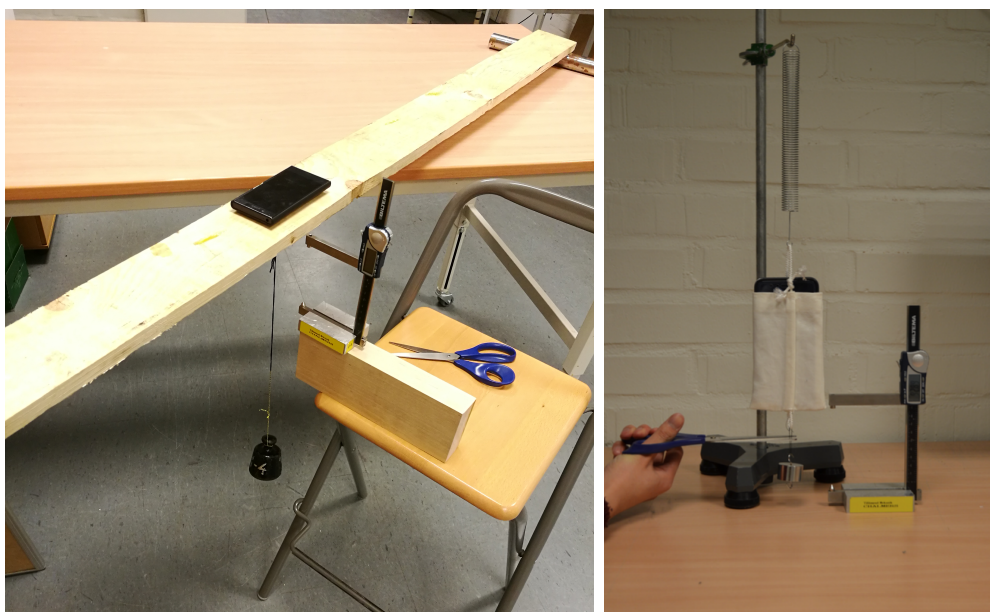
Ett vanligt mekaniskt fenomen som diskuteras i dynamikkurserna är svängningsrörelser som uppkommer i mekaniska system, t.ex. ett massa-fjäder-system (ibland även med dämpning). Genom friläggning av ett massa-fjäder-system och tillämpning av Newtons andra lag erhålls dess rörelseekvation som motsvarar en andra ordningens differentialekvation. Dess lösning kan fås med hjälp av grundläggande envariabelanalys, vilket kan upplevas som ett bekymmer bland studenter. Syftet med detta experiment är att ge studenter en verklighetsförankring till teorin och den analytiska lösningen av svängningsrörelser som uppkommer i mekaniska system.



Figur 4.6: Ett massa-fjäder-system med dämpning. Mätningen sker från systemets jämviktsläge, så fjädern är spänd i figuren.

I dagsläget är det vanligt bland studenter att äga en smartphone med en inbyggd accelerometer. Med hjälp av en app som kan installeras på telefonen kan accelerationen av mobilen mätas upp och överföras till Matlab. Genom att låta studenten hänga sin mobil på en fjäder och sätta igång systemet i svängning fås en svagt dämpad svängningsrörelse, där dämpningen motsvarar t.ex. förluster i fjädern samt luftmotståndet av mobilen. Ett matlabprogram finns som hjälpmedel till denna laboration och hjälper studenten att få fram en analytisk accelerationsgraf som motsvarar den experimentellt framtagna accelerationsgrafen. Detta ska övertyga studenten om att de analytiska modellerna approximerar verkliga mekaniska system på ett bra sätt.

Laborationen kan även utnyttjas i hållfasthetskurserna. Ett annat syfte med denna laboration är att övertyga studenten om att en böjsvängande balks utböjning kan modelleras av läget för en svängande massa i ett dämpat fjäder-massa-system, där "balkens ekvivalenta fjäderkonstant" ungefär motsvarar balkens böjstyvhet och dämpningen orsakas av olika förluster i balken. Det innebär att om accelerationen på en balk mäts upp kan mätdata behandlas med samma matlabprogram som i fjäderlaborationen. Studenten kommer att jämföra balkens acceleration mot ett ekvivalent fjäder-massa-system och se att accelerationsgraferna för båda fallen liknar varandra, och att man borde kunna översätta direkt mellan de båda systemen.



(a) En massa på 1 kg hänger på kroken på balkens undersida. När tråden klipps svänger balken.

(b) En massa på 50 g hänger i mobilpåsen med hjälp av en tråd. När tråden klipps svänger systemet i höjdlid.

Figure 4.7: Fjäder-massa-system med dämpning, där dämpningen utgörs av energiförluster och luftmotstånd.

Matlabprogrammet som används i denna laboration är skrivet och körs i Matlab och Matlabs grafiska utvecklingsmiljö GUIDE. Programmet skapar en graf av den uppmätta accelerationsdatan, samt beräknar dämpningskoefficienten ζ och vinkelfrekvensen ω . Programmet ber studenten att ange begynnelsevillkoren för experimentet för att skapa en graf av den teoretiska lösningen. Den analytiska lösningen för läget motsvarar (Grahm & Jansson, 2013, s. 333):

$$x(t) = e^{-\zeta\omega t} (C_1 \sin(\omega_d t) + C_2 \cos(\omega_d t)) \quad (4.9)$$

Notera att i den analytiska lösningen har vi viskös dämpning som är hastighetsberoende. Detta motsvarar inte de verkliga förhållandena, men utgör ändå en god approximation. Vinkelfrekvensen kan skrivas om till dämpad vinkelfrekvens på följande sätt:

$$\omega_d = \omega \sqrt{1 - \zeta^2} \quad (4.10)$$

Antag att ett massa-fjäder-system ställs upp enligt figur 4.7b. Här motsvarar m mobilens massa, och dess jämviktsläge betraktas som systemets nolläge. Mobilen är förskjuten i positiv x-riktning ifrån nolläget med en viss sträcka x_0 som orsakas av den hängande massan på 50 g. När tråden sedan klipps kommer mobilen att svänga fritt, då påverkas mobilen av en initialacceleration $\ddot{x}(0) = \frac{F}{m}$ där

$F = -k \cdot x_0$. Notera att det är endast den lilla hängande massan på 50 g som bidrar till initialförskjutningen x_0 ifrån jämviktsläget, och därmed kommer endast x_0 ingå i den återförande kraften $F = -k \cdot x_0$. I detta sammanhang är den återförande kraften F tillskottet av fjäderkraft som orsakas av den lilla hängande massan på 50 g. Följande begynnelsevillkor fås:

$$\dot{x}(0) = 0 \quad (4.11)$$

$$\ddot{x}(0) = -\frac{k \cdot x_0}{m} \quad (4.12)$$

Den dämpade vinkelfrekvensen ω_d fås genom att undersöka amplitudspektrumet av vår mätdata med hjälp av den diskreta Fouriertransformen (DFT) (James, Glyn m. fl., 2011, s. 680-683):

$$G_k = \sum_{n=0}^{N-1} g_n e^{-jnk2\pi/N} \quad (4.13)$$

Här motsvarar g_n en sekvens $\{g_n\}_{n=0}^{N-1}$ av mätdata på accelerationen. När grafen på amplitudspektrumet tas fram så används ett matlabverktyg som kan avläsa x-värdet där den högsta toppen uppstår, och detta x-värde motsvarar vinkelfrekvensen som uppstår mest i mätdata. Det är denna vinkelfrekvens som är vårt ω_d ; notera att dämpad vinkelfrekvens kan omvandlas till odämpad vinkelfrekvens med ekvation 4.10.

Accelerometern i en mobil har ofta problem med att sampla mätdata med en konstant samplingsfrekvens, vilket är en förutsättning för att genomföra en analys av amplitudspektrumet. Lösningen till problemet är att linjärt interpolera mellan varje mätpunkt för att skapa nya mätpunkter. På detta sätt kan mätdata med konstant tidsintervall mellan varandra åstadkommas. Denna lösning fungerar bra därför att mätpunkterna ligger väldigt nära varandra, vilket ger upphov till försumbara fel vid linjär interpolation.

Insättning av begynnelsevillkoren ovan i ekvation (4.10) och derivering ger svängningsrörelsens analytiska acceleration:

$$\ddot{x}(t) = e^{-\zeta\omega t} \left(\frac{kx_0 e^{t\omega\sqrt{p_3}} p_1^2}{2m\omega^2 \sqrt{p_3} (\zeta - \sqrt{p_3})} - \frac{kx_0 e^{-t\omega\sqrt{p_3}} p_2^2}{2m\omega^2 \sqrt{p_3} (\zeta + \sqrt{p_3})} \right) \quad (4.14)$$

$$p_1 = \omega\sqrt{p_3} - \omega\zeta \quad (4.15)$$

$$p_2 = \omega\sqrt{p_3} + \omega\zeta \quad (4.16)$$

$$p_3 = (\zeta - 1)(\zeta + 1) \quad (4.17)$$

Den dämpande termen längst fram i ekvationen motsvarar $e^{-\zeta\omega t}$, vilket innehåller information om dämpningskoefficienten ζ . Genom att göra en exponentiell regression av samtliga lokala maximipunkter av accelerationsgrafan kan ζ fås ut. Regressionen görs med den exponentiella modellen $f(x) = a \cdot e^{b \cdot x}$, då kommer konstanten b motsvara $-\zeta\omega$:

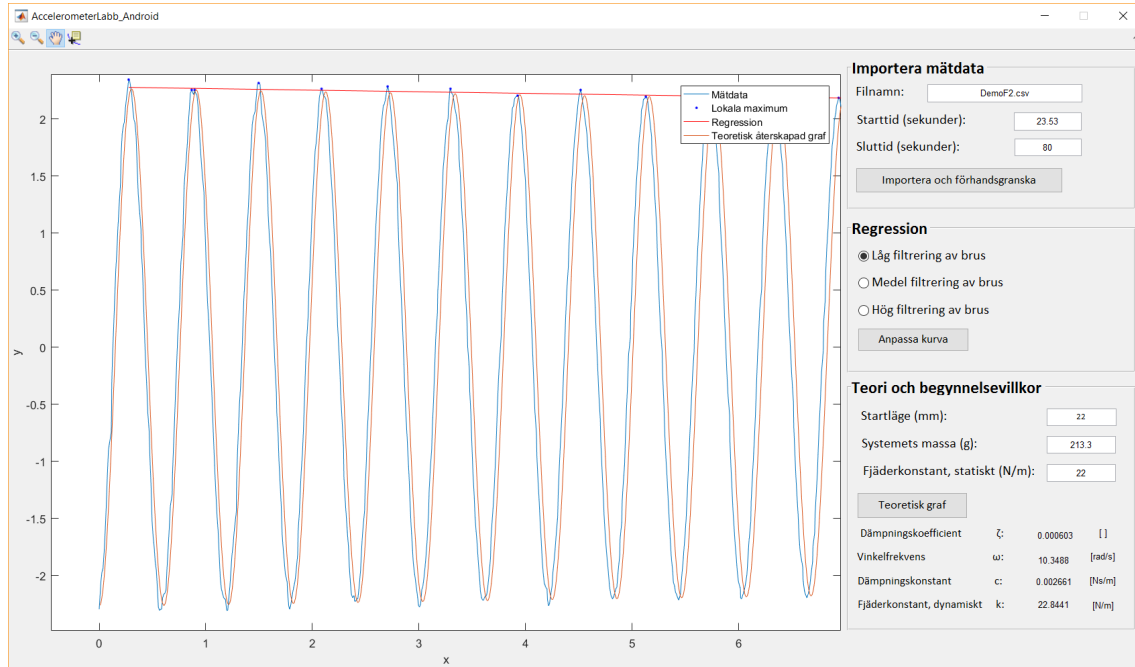
$$-\zeta\omega = -\zeta \frac{\omega_d}{\sqrt{1 - \zeta^2}} = b \quad (4.18)$$

Slutligen kan ζ lösas ut då den dämpade vinkelfrekvensen ω_d är känd genom amplitudspektrumet:

$$\zeta = \sqrt{\frac{b^2}{\omega_d^2 + b^2}} \quad (4.19)$$

4. Resultat och utförande

När alla parametrar är kända kan den experimentella accelerationsgrafens återskapas med den analytiska lösningen. Det finns manualer till både fjäderlaborationen och balklaborationen; se bilaga E, F, C och D.



Figur 4.8: Accelerationsprogrammet i Matlab för fjäderexperimentet.

Balkexperimentet använder ungefär samma Matlabprogram som för fjäderexperimentet fast med några modifikationer. T.ex. behöver studenten mäta upp samt ange balkens E-modul och dimensioner. Programmet tar även fram den ekvivalenta balkmassan och ekvivalenta dynamiska fjäderkonstanten för ett motsvarande fjädermassa-system enligt “Assumed-Modes Method” och den virtuella arbetets princip (Craig & Kurdila, 2006, s. 41-50):

$$\hat{m} = \rho A \int_0^L \Psi^2 dx = \frac{m}{2} \quad (4.20)$$

$$\hat{k} = EI \int_0^L (\Psi'')^2 dx = \frac{\pi^4 EI}{2L^3} \quad (4.21)$$

Funktionen $\Psi_n(x) = \sin(\frac{n\pi x}{L})$ är den valda formfunktionen som uppfyller randvillkoren och motsvarar de normaliserade modformerna för balkens svängning. Här betraktas endast den första moden $n = 1$ som motsvarar den mest dominerande termen.

4.3.5 Roterande stolen

Masströghetsmoment är något som till en början är svårt att skapa förståelse för hur det fungerar i praktiken. Masströghetsmoment är ett mått på vridmomentet som behövs för att åstadkomma en viss ändring per tidsenhet av en kropps rotationshastighet runt en given axel. Masströghetsmoment benämns ofta som I och har dimensionen $M \cdot L^2$ där M är massa och L är en längd vilket ger enheten $kg \cdot m^2$. För kontinuerliga massfördelningar är masströghetsmomentet m.a.p. en axel:

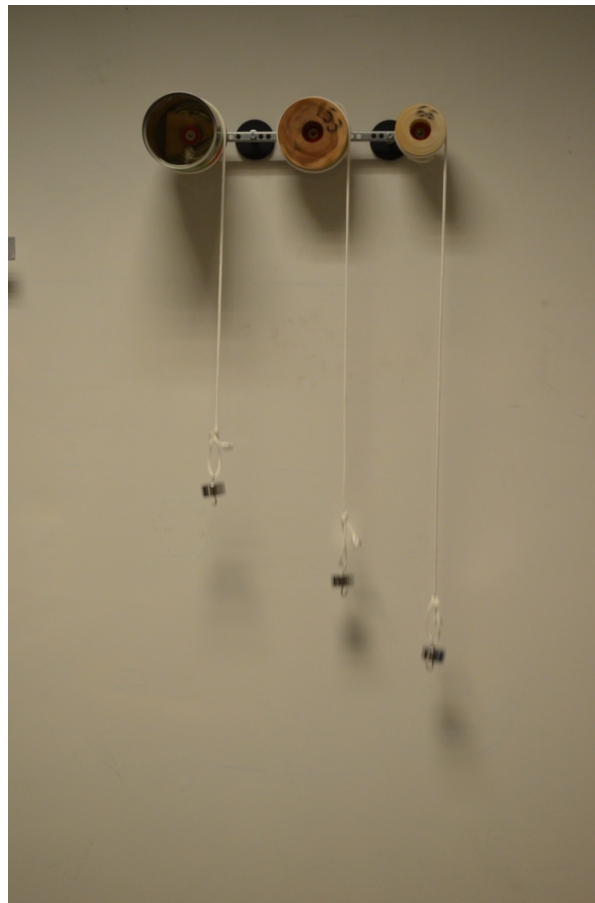
$$I = \iiint_V r^2 dm \quad (4.22)$$

Här är V volymen av kroppen som vi integrerar över och r är avståndet från masselementens centrum till rotationsaxeln.

Att behärska samt förstå hur masströghetsmoment fungerar är en viktig del i utbildningarna då det återkommer även i fortsättningskurser inom hållfasthetslära och mekanik. Experimentet i sig färdigställdes inte på grund av att det uppstod problem med rullagren som beställdes. Lagren fick skickas tillbaka och nya beställdes. Experimentet hade tillslut tagit så lång tid att vi beslutade att gå vidare och fokusera på övriga experiment. Det gjordes dock ritningar, se bilaga K), och komponenter så som koniska rullager finns att tillgå. Tanken var att ge studenterna en chans att själva känna på hur masströghetsmoment fungerar. Experimentet skulle vara ett bra komplement till teorin. Det skulle varit utformat som en roterande stol där studenten kunde sitta på. När stolen sedan sattes i rotation skulle studenten kunna öka eller minska sin rotationshastighet. Förändringen i rotationshastighet görs genom att ändra kroppens utbredning i förhållande till rotationsaxeln, något skridskoåkare använder sig av när de gör piruetter. Om studenten hade sträckt ut sina armar skulle masströghetsmomentet vara stort m.a.p. rotationsaxeln, medan om armarna hade varit indragna nära kroppen skulle masströghetsmomentet vara litet. Experimentet skulle kunna demonstreras i föreläsningar och användas under labbtillfällen i studion.

4.3.6 Rullar

Som tidigare nämnts kan begreppet masströghetsmoment vara svårt att förstå. Detta experiment är mer beräkningsinriktat än roterande stolen. Experimentet Rullar består av tre stycken rullar med olika radier och massor monterade på en horisontell axel vardera; en ihålig cylindrisk trärulle, ett cylindrisk skal (plåtburk) med samma ytterdiameter och en annan ihålig cylindrisk trärulle med mindre ytterdiameter. Det lindas en lina runt varje rulle, och på änden av varje lina hänger en massa. När de hängande vikterna släpps samtidigt från samma läge, så visar det sig att de faller med olika hastighet. Ibland tror studenter att fallhastigheten motsvarar hastigheten som i ett fritt fall, vilket inte stämmer då även masströghetsmomentet har en inverkan. För lagringen användes två kullager av samma typ som ofta används i rullskridsskor. Alla tre cylindrar fästes på en metallskena med två magneter så att skenan kan sättas fast på en tavla eller whiteboard, se figur 4.9.



Figur 4.9: Linorna lindas runt resp. rulle. Sedan släpps de hängande vikterna från samma höjd samtidigt. Här syns en stillbild mitt under ett försök. Numreringen av rullarna sker stigande från vänster till höger: 1, 2 och 3.

En teoretisk beräkning på fallhastigheten för rullarna gjordes. Varje rulle kan betraktas som en stel kropps förlustfria rotation kring en fix axel (friktion och luftmotstånd försummas). Friläggning och tillämpning av Newtons andra lag av den hängande massan ger:

$$mg - S = m\dot{\omega} \quad (4.23)$$

Här motsvarar m den hängande massan, S linkraften, $\dot{\omega}$ vinkelaccelerationen och r rullens ytterradie. Tillämpning av lagen för rörelsemängdsmomentet på den frilagda rullen ger enligt Grahn och Jansson (2013):

$$S \cdot r = I\dot{\omega} \quad (4.24)$$

Här är I rullens masströghetsmoment. Båda ekvationerna utgör tillsammans ett ekvationssystem där vinkelaccelerationen $\dot{\omega}$ kan lösas ut:

$$\dot{\omega} = \frac{r \cdot g \cdot m}{m \cdot r^2 + I} \quad (4.25)$$

$$\ddot{x} = \dot{\omega}r = \frac{r \cdot g \cdot m}{m \cdot r^2 + I}r \quad (4.26)$$

Den hängande massans acceleration kan integreras med begynnelsevillkoret $\dot{x}(0) = 0$ på följande sätt:

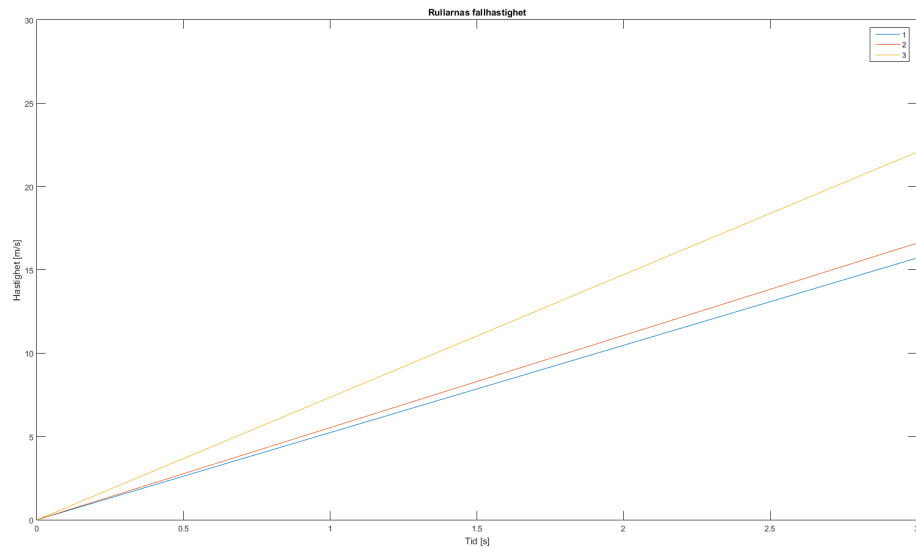
$$\dot{x}(t) = \dot{\omega}r = \frac{r \cdot g \cdot m}{m \cdot r^2 + I}rt \quad (4.27)$$

Här nedan syns datan för rullarna. M motsvarar rullens massa, r_y ytterradien, r_i innerradien och I masströghetsmomentet (inklusive spårkullagrens masströghetsmoment). Notera att spårkullagrens masströghetsmoment enkelt kan adderas ihop med rullarnas individuella masströghetsmoment då rotationen sker runt samma axel. Här approximeras lagren som en ihålig cylinder med en innerradier och en ytterradie.

Spårkullager:	$r_y = 11 \text{ mm}$	$r_i = 4 \text{ mm}$	$M = 12 \text{ g}$	$I = 8.220010^{-7} \text{ m}^4$
Rulle 1:	$r_y = 36.5 \text{ mm}$	$r_i \approx r_y$	$M = 87 \text{ g}$	$I_{tot} = 1.167310^{-4} \text{ m}^4$
Rulle 2:	$r_y = 36.5 \text{ mm}$	$r_i = 11 \text{ mm}$	$M = 141 \text{ g}$	$I_{tot} = 1.032810^{-4} \text{ m}^4$
Rulle 3:	$r_y = 25 \text{ mm}$	$r_i = 11 \text{ mm}$	$M = 54 \text{ g}$	$I_{tot} = 2.096410^{-5} \text{ m}^4$

4. Resultat och utförande

För detta experiment användes vikter med en massa på 100 g. Följande figur visar rullarnas respektive hastighet:



Figur 4.10: Ur grafen syns det att rulle 3 är snabbast, därefter kommer rulle 2 och långsammast är rulle 1.

När experimentet genomfördes blev inte resultatet som förväntat. Experimentet gav olika resultat vid varje försök och ansågs sakna robusthet. Det fanns svårigheter med att släppa rullarna samtidigt. Dessutom verkade det som att kvalitén på spårkullagren var låg. Det fanns stora förluster i rullarna som gjorde att det ibland rullade dåligt. Det otillfredsställande resultatet skulle även kunna bero på att rullarna tillverkades på ett dåligt sätt. I slutändan uppnåddes inte det önskade resultatet och experimentet ansågs vara oanvändbart.

4.4 Nätbaserad informationsplattform

För att göra informationen om studion mer översiktlig och lättillgänglig har material lagts upp på en hemsida, www.mekochhållf.se ursprungligen skapad av J. Brouzoulis (se figur 4.11). Att göra information om studion, samt dess experiment och material tillgänglig via internet gör att man på ett enkelt sätt kan dela informationen med såväl lärare som studenter på Chalmers. Lärare kan till exempel ta reda på om det finns materiel för en viss demonstration utan att gå ner till studion och leta i skåpen. Studenterna kan lätt förbereda sig inför en laboration i studion och läsa korta beskrivningar om de experiment som finns att tillgå. Videor på experiment eller fenomen kan läggas upp på hemsidan för att enkelt kunna användas på föreläsning eller i förberedande syfte.

I samband med hemsidan fanns även en målsättning att skapa ett internetbaserat bokningssystem för experimenten. Där skulle lärarna kunna boka de experiment de ville låna med sig till föreläsningar. Slutsatsen blev att det blir krångligt att boka på internet när man är nere i studion. En tillfällig utlåningslista har istället skapats i syfte att hålla ordning på utrustningen. På listan skrivs när och vilket materiel som lånats samt av vem. På så sätt har möjligheten att återfinna ett borttappat experiment ökat.

Sammanlagt har information om 15 st experiment inom hållfasthetslära och 12 st experiment inom mekanik lagts upp på hemsidan. Experimenten på hemsidan har kompletterats med bilder och kortare beskrivningar av vilka teoridelar som ligger bakom samt enklare frågeställningar och instruktioner. Allmänt materiel och utrustning så som dynamometrar och vikter har också dokumenterats på hemsidan för att ge möjlighet att se vad som finns att tillgå utöver kompletta experiment. Friläggningsdemonstrationer finns tillgängliga för lärare på hemsidan. Friläggningsdemonstrationerna kan förhoppningsvis användas via denna plattform för så väl lärare till föreläsning som för studenter.

4. Resultat och utförande



STUDIO I MEKANIK OCH
HÅLLFASTHETSLÄRA

HEM OM STUDIO INNEHÅLL

VÄLKOMMEN TILL MEKOCHHÅLLF.SE

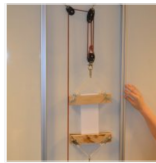
På den här webbplatsen hittar du videoläpp, experiment och annat inspelat material kopplat till ämnesområdet Mekanik och Hållfasthetslära.

HÅLLFASTHETSLÄRA



ACCELEROMETERLABB: BALK

Syfte Syftet med denna laboration är att överföra studenten om att en höjdväggande balks utböjning (i en punkt) kan modelleras av läget för en svängande massa i ett dämpat [...]



PAPPERSKLÄMMA

Detta experiment visar hur en komponents barförmåga i drag påverkas av initialdeformationer på komponenten och defekter i materialet. Teori Barförmågan kan beskrivas med hjälp av grundmaterialets hållfasthet och provkroppens geometri. [...]



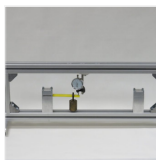
TRYCKKÄRL

Beskrivning Demonstration av ett sprucket tryckkärl.



KONTINUERLIGT UPPLAGD BALK

Beskrivning Den långa stanka balken har hål i vilka de tillhörande vikterna kan hängas, så att balken böjer ut i olika former.



BALKRIGG

Teori Utböjningen av en konsolbalk som belastas med en punktlast kan beräknas med hjälp av balkens materialegenskaper och två- och tre- och tvärsnittsgeometri. I formelsamlingar för hållfasthetslära finns elementarfall som underlättar beräkningen av balkens utböjning. Genomförande [...]



NEDBÖJNING AV LAST PÅ BALK

Beskrivning Med balken upplagd mellan stöden kan nedböjningen mätas med ett digitalt skjutmått. Balkens E-modul kan beräknas med hjälp av formelsamling. Elementarfall med punktlast i mitten med momentfria stöds.



ÖLBURKAR

Beskrivning Tre burkar: en tom, en full med olja och en fylld med cement kan rullas nerför ett lutande bord och visa hur olika massrörelsemoment påverkar rotationshastigheten.



ST VENANTSK VRIDNING

Beskrivning Även kan vridas och låsas i vridet läge. I detta fall kommer plana tvärsnitt att förbli plana även efter vridning. Man kan även se att de korta strecken runt [...]



STÅLBALKSPROFILER

Beskrivning Olika balkprofiler.

VISA ALLA

Figur 4.11: Hemsidans utseende. I figuren syns endast några experiment inom hållfasthetslära. Göteborg (www.mekochhållf.se, 2017).

4.5 Reparation och tillägg till befintliga experiment

En del experiment behövde mindre reparationer eller ersättning av försvunnet material. Experimenten används delvis frekvent och slits ut efter ett tag. Det händer också att småsaker försvinner, därför är det viktigt att regelbundet gå över allt materiell och kontrollera att det är komplett och i användbart skick. Några saker som gjordes var att:

- Dra åt en lös skruv på spänningsoptiklådan.
- Köpa in ny nyckel till balkriggen.
- Köpa in måttband till balkexperimentet.
- Fästa filt som börjat lossna från Emmas stege.
- Byta skruv för upphängning av Tyngdpunktsmodellen för att öka användarvänlighet.
- Skriva en manual och ett lösningsförslag till Kraftbordet som fanns i studion men inte var uppackad (se bilagorna A och B).

Dessa saker kan verka små och triviala, men om de inte görs regelbundet så leder det till att utrustningen går sönder och blir obrukbar. Detta är något som är viktigt att förhindra för att studion ska kunna bibehålla sin funktionalitet och sitt rykte så att den kan användas till sin fulla potential.

5

Diskussion och slutsatser

Nedan diskuteras utförandet och resultatet av arbetet samt vad som kunde gjorts bättre. Dessutom behandlas vikten av reparationer och underhåll samt förslag på hur studion i framtiden skulle kunna skötas. Nya koncept som lagts till i studions sortiment utvärderas och diskuteras med avseende på både genomförande och slutprodukt. Tankar och förhoppningar för hemsidan så som framtida användning och utvecklingsmöjligheter tas också upp i detta kapitel.

5.1 Arbetets planering och avgränsningar

Eftersom det i början av projektet var oklart vad som förväntades och vad arbetet skulle resultera i bestämdes tidigt att endast en enkel, översiktlig tidsplanering skulle göras. Under arbetets gång skulle sedan veckomöten hållas för avstämning och diskussion kring de aktuella projekten. Detta för att arbete med till exempel ett experiment skulle kunna påbörjas även om tidsåtgången för utvecklingen var högst osäker. Att istället sätta mål och utvärdera veckovis är en metod som passar arbetet med studion väldigt bra. Det har gett tanke- och utvecklingsmöjligheter under arbetets gång. Ofta behöver idéer utvärderas och itereras i flera omgångar innan de når sin fulla potential.

I tidigare kandidatarbeten har avgränsningar gjorts till att endast tillverka fysiska experiment, men det har samtidigt framgått att det saknas experiment om exempelvis spänningstillstånd vilket demonstreras väl av digitala experiment (Eliasson m.fl., 2013) och (Alexandersson m.fl., 2016). Därför togs beslutet att inte begränsa arbetet i det avseendet. Det har visat sig att utvecklingen av de digitala experimenten har tagit mer tid i anspråk än vad som initialt antagits. Detta främst för att få programmen så användarvänliga som möjligt. Det var även svårt att veta hur mycket tid som krävdes för att åtgärda de problem som uppkom under utvecklingen. Detta har gjort att de digitala experimenten utvecklats parallellt med de fysiska experimenten, vilket resulterat i att arbetet blivit effektivt trots att funderingarna kring de digitala experimenten dragit ut på tiden.

5.2 Utveckling med hjälp av prioriteringslista och iterativ arbetsprocess

Ett försök att objektivt kvantifiera ett experiments värde i utbildningen har gjorts genom att betygsätta de olika experimentförslagen efter olika kriterier, dock är alltid utgångspunkten egna erfarenheter och egna åsikter hos de som sätter betyget. För att försöka få en något mer objektiv betygsättning togs en lärares åsikter med i beräkningen, men då detta bara var en av många kriterier i viktningen blev dess påverkan inte avgörande.

Då matrisen (se bilaga L) inte representerar en objektiv viktning av de olika experimentens egenskaper har den resulterande prioritetsordningen inte följts exakt. Istället gjordes bedömningen att de sju experimenten med högst poäng var likvärdigt prioriterade och att gruppens olika deltagare senare kunde välja vilket experiment som tilltalade den personen mest. Att ha motiverade utvecklare är minst lika viktigt för slutresultatet som ett bra koncept. Viljan att utveckla och arbeta med förslagen har varit en viktig drivkraft under projektet och något som bidragit mycket till slutresultaten.

Eftersom arbetet skett iterativt har även omprioriteringar skett under experimentutvecklingen. Planeringen och förberedelserna för tillverkningen av Snurrande stolen är färdig, dock är den inte tillverkad då den tid som behövde läggas för att färdigställa experimentet inte fanns. Ritningar och manual lämnas därför vidare till kommande kandidatarbeten så att de kan färdigställa experimentet. Tillverkningen av experimentet Rullar ledde tyvärr inte till önskat resultat, något som vi tror främst berodde på den alltför höga friktionen i de lager rullarna är monterade med. Andra faktorer som kan ha påverkat resultatet är bland annat materialets begränsningar och eventuellt en bristande noggrannhet vid tillverkningen. Det är dock fortfarande en genomförbar idé och våra misstag borde ge en bra utgångspunkt för kommande grupper som vill arbeta vidare med experimentet. Förmodligen blir noggrannheten större om metall används i stället för trä till cylindrarna. Det kan även vara aktuellt att använda andra lager med mindre friktion. Det fanns även planer på att filma redan existerande experiment och lägga upp på hemsidan, något som inte genomfördes.

Att lämna ofärdiga delar i ett större projekt kan anses vara ett misslyckat resultat, men i en iterativ process med osäker tidsåtgång och en strikt begränsande sluttid finns alltid risken att detta händer. Vad framtida grupper bör ta med sig är att försöka påbörja experimenten tidigt så att det finns mer tid för iterativ förbättring av prototyper. Det kan verka bra att ta ett experiment i taget, men av våra erfarenheter är det bättre att ha ett antal igång så att man under utvecklingen kan pausa en process när man till exempel inte hittar en lösning med en gång, eller om man beställt material och väntar på leveransen. I det fallet kan man då plocka upp en annan utvecklingsprocess och fortsätta på den eller hjälpa sina gruppmedlemmar med någonting som de behöver ha gjort.

5.3 Studiebesök på Navet

Ur besöket framgick det hur Navet arbetar rent organisatoriskt och hur de tänker vid tillverkning av nya experiment. Navets filosofi om experiment var även en värdefull inspirationskälla. Däremot fick kandidatgruppen inte med några konkreta idéer på experiment som kunde tillverkas. Anledningen var bl.a. på grund av att Navets experiment och utställning var mer inriktade för grundskoleelever med fokus på kemi. Det fanns ingen mekanikavdelning och inte heller några experiment inom området.

5.4 Diskussion av experiment

I följande del hanteras tre experiment. Det diskuteras felkällor och hur de kunnat undvikas. Utöver detta presenteras även de utvecklingsmöjligheter som finns hos experimenten. De förbättringar och tillägg som föreslås här kan förhoppningsvis ligga till grund för framtida kandidatgruppers arbete i studion.

5.4.1 Accelerometerlab

Matlabprogrammet som skrevs till laborationen kräver att studenten anger både systemets massa m och fjäderkonstanten k . Egentligen kan programmet själv ta fram fjäderkonstanten k genom $k = \omega^2 \cdot m$, där ω fås ur den diskreta Fouriertransformen och m anges av studenten, men vi väljer att låta studenten själv ange fjäderkonstanten k . Problemet med att låta programmet beräkna fjäderkonstanten själv är att om vinkelfrekvensen är lite fel, så kommer felet att kvadreras och bli betydligt större. Felet förstör då den teoretiska kurvan. Vinkelfrekvensen kan bli fel på grund av bristande hårdvara och mjukvara. Kvalitén på accelerometern i mobilen kan påverka resultatet om mobilen mäter felaktiga värden. Dessutom kan accelerometern inte särskilja accelerationen som den upplever från jordens gravitation. Accelerometerappen måste filtrera bort gravitationen från accelerationsmätningen med hjälp av mobilens inbyggda gyroskop och magnetometer, vilket utgör ytterligare felkällor. Även dåliga fjädrar som exempelvis är utslitna kan utgöra ett problem för vinkelfrekvensmätningen, speciellt om kraftsambandet inte längre är linjärt. Genom att tillföra matlabprogrammet med ytterligare information kan en bättre robusthet mot mätfel åstadkommas. Fjäderkonstanten k är enkel att beräkna experimentellt, och därmed behöver inte matlabprogrammet förlita sig på fjäderkonstanten som kan fås ut från vinkelfrekvensen, d.v.s. $k = \omega^2 \cdot m$. Den extra tillförda informationen kommer in i matlabprogrammet som ett begynnelsevillkor. När mobilen sätts i rörelse känner den en initialacceleration $\ddot{x}(0) = \frac{F}{m}$ där $F = -k \cdot x_0$, vilket ger begynnelsevillkoret $\ddot{x}(0) = -\frac{k \cdot x_0}{m}$. Det är på grund av detta som ett av våra begynnelsevillkor föreskrivs i accelerationen istället för det traditionella sättet som är att föreskriva villkoret i läget.

Det finns även svårigheter med att sätta igång systemet i svängning så att det endast rör sig i en ledd. Om mobilen vinglar under mätningen störs den avsedda mätningen. Detta förhindras om en stor fjäder med låg fjäderkonstant används. Dock är

ambitionen att studenten ska kunna genomföra laborationen och få ett bra resultat oavsett vilken fjäder som används, därmed är detta en förbättringsmöjlighet.

I både fjäderlaborationen och balklaborationen ges studenten steg för steg instruktioner fastän kandidatarbetet förespråkar att studenten ska få fritt testa själv. Båda laborationerna lider av att sammanhanget brister då de olika stegen inte görs i rätt ordning. Det finns förbättringsmöjligheter med dessa laborationer så att studenten får mer frihet i laborationen. T.ex. skulle balklaborationen kunna utökas till att fungera för andra balkar och med andra begynnelsevillkor. Just nu begränsas balklaborationen av att balken måste svänga med en initial förskjutning från jämviktsläget utan påtvingade krafter.

5.4.2 Spänningskub

En av de trösklar som kom fram tidigt i arbetet var svårigheten att förstå tre-dimensionella koncept. Målet med spänningskuben var att visualisera hur spänningsskomponenterna påverkas av snittorienteringen i tre dimensioner. Programmet uppfyller idag dess syfte även om det finns utvecklingsmöjligheter. I dagsläget finns det en visuell representation av huvudspänningsriktningarna. Visualiseringen av huvudspänningsriktningarna är svår att koppla ihop med hur kubens läge definieras i programmet. En utvecklingsmöjlighet är således att visualisera huvudspänningarna på ett annat sätt eller att presentera dem i matematiska termer.

5.4.3 Pappersklämma

Idéen med pappersklämman var att skapa en enkel dragprovsanordning. Det visade sig att användning av vikter för att storleksbestämma brottlasten blev problematiskt i många fall. På grund av papprets stora bärförmåga går det bara att dra av väldigt smala pappersremсор på detta sätt, vilket blev en begränsning i experimentet. Pappersklämman kan även användas för att visa olika brottmönster. Att bryta av fibrer i pappret genom vikning eller göra hål och reor skapar olika initialdeformationer. En vinsch tillsammans med en våg eller kraftmätare skulle troligen kunna ersätta vikterna. Vi kunde inte hitta en vinsch i lämplig storlek och kunde därför inte testa denna lösning. Detta är en utvecklingsmöjlighet som förhoppningsvis kan tillgodoses av kommande kandidatarbeten i studion.

5.5 Utvärdering från demonstrationstillfälle

Demonstrationstillfället var mycket givande och gav en bra bild av hur lärarna ser på experimenten och demonstrationsmaterialet. Om de nya experimenten hade varit klara tidigare hade det varit att föredra att hålla en laboration även för studenter. Det hade varit mycket viktigt i utvärderingssyfte då det är studenter som materialet avser vända sig till. Samtidigt är det bra att få lärarnas perspektiv då det är de som ser kunskapsbristerna hos studenterna och vilka delar som utgör kunskapströsklar på ett mer översiktligt sätt än studenterna själva. För framtida arbete med studion skulle liknande tillfällen med så väl lärare som studenter kunna arrangeras för att kunna beakta båda gruppernas åsikter i större utsträckning samt för att få överföring mellan målgrupperna.

5.6 Nätbaserat utbud och tillgänglighet

Tidigt i vårt arbete insåg vi att studion idag inte utnyttjar de moderna möjligheter som finns. Vi insåg också att det fanns en ganska hög tröskel för lärare att börja använda studion. Delvis är det svårt att få reda på information om den och dels så är det svårt att veta vad som finns. Resultatet av dessa funderingar blev en hemsida.

Inom gruppen diskuterades huruvida hemsidan skulle vara riktad mot lärare eller mot studenter. Nu är hemsidan precis som studion tvådelad. Som lärare går det att enkelt hitta aktuellt materiel. Som student går det att få en uppfattning om vilka fenomen experimenten beskriver och hur de hänger ihop med teorin. I framtiden är det värt att fundera över andra syften. Till exempel är det säkert intressant att se hemsidan mer som en plats där själva experimenten finns och går att iaktta. Problemet med det skulle kunna vara att det då skapas ett alternativt läromedel som läraren inte har kontroll över.

I vårt arbete har vi funderat över hur mycket svar studenter ska få. Det är inte alltid självklart var den gränsen går, ibland kan samma materiel användas för olika syften. Detta är särskilt aktuellt när det gäller digitala läromedel. Till exempel hade spänningskuben lätt kunnat programmeras att lösa uppgifter från läroboken. Laborationsverksamheten hade kunnat störas om utförliga manualer och lösningar fanns tillgängliga innan laborationerna genomfördes, speciellt i samband med kurser där laborationerna kan vara ett examinerande moment. Därför lades istället enklare instruktioner och frågeställningar på hemsidan medan de utförliga manualerna som används vid laboration endast finns tillgängliga för lärare samt i studion.

Samma problematik gäller friläggningsdemonstrationerna som är tänkta att vara en introduktion till friläggningsbegreppet på föreläsningar. Det kan dock finnas skilda åsikter bland lärarna gällande tillgängligheten av demonstrationerna. T.ex. har en uppgift utformats för att studenterna själva ska göra en liknande demonstration där platser och saker från deras vardag friläggs. Det skulle då kunna anses som en nackdel om för många demonstrationer redan fanns tillgängliga. För att tillgodose de olika

agendorna har endast en demonstration gjorts tillgänglig för studenter. De övriga demonstrationerna finns för lärare att tillgå på hemsidan men är lösenordsskyddade.

5.7 Underhåll och förvaltning av studion

Reparationerna som gjorts kan anses små och oviktiga men eftersom studion inte används mer än vad lärarna väljer att använda den är det viktigt att studion och dess experiment håller en god standard. En tillgång som studion är aldrig bättre än sitt rykte och ett dåligt underhåll leder naturligt till ett sämre rykte. De senaste åren har underhållet i studion skötts av kandidatgrupper som jobbat med att vidareutveckla den. I framtiden föreslår vi att det görs en plan för underhåll och kontroller i studion.

I dagsläget är det en samling lärare som har tillgång till studion. Då studion är tillgänglig för många är det viktigt att dess status regelbundet går genom så att allt materiel finns på rätt ställe och är komplett. I framtiden skulle det vara av fördel om underhåll, inventeringar och mindre uppdateringar kunde göras 1 - 2 gånger per månad. I dagsläget sker beställning av exempelvis provstavar av respektive lärare som ska göra dragprov. Om det är en ekonomisk anledning till att systemet idag ser ut som det gör skulle det kunna lösas genom att provstavar säljs internt. Med en ansvarig skulle det kunna skötas mer gemensamt och underlätta för nya användare som inte har provstavar. Bokning av så väl experiment som studion i laborationssyfte skulle kunna ske genom den ansvarige och det hade inte varit någon tvekan om vem som skulle kontaktas för detta. Oavsett hur ansvaret ser ut för studion måste underhåll ske relativt kontinuerligt. Det är svårt att förhindra att delar slits ut, går sönder eller försvinner.

Litteraturförteckning

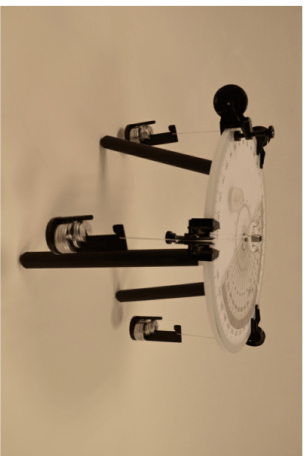
- Alexandersson, S., Bäckgren, P., Everett Eriksson, S. & Hedin, E. (2016). Studio i mekanik och hållfasthetslära, Organisering och uppdatering av experimentell utrustning. Hämtad från <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/237536/237536.pdf>
- Biggs, J. B. & Tang, C. (2011). *Teaching For Quality Learning At University*.
- Campbell, L. & Campbell, B. (2009). Mindful learning: 101 proven strategies for student and teacher success - (2nd ed.). I *Mindful learning: 101 proven strategies for student and teacher success - (2nd ed.)*. (s. 7–21). Hämtad från https://www.corwin.com/sites/default/files/upm-binaries/25914_081222_Campbell_Ch1_excerpt.pdf
- Craig, R. R. J. & Kurdila, A. J. (2006). *Fundamentals of Structural Dynamics*. John Wiley Sons.
- Dunlosky, J. (2013). Strengthening the Student Toolbox. *American Educator*, 37(3), 12–21. Hämtad från <http://www.aft.org/sites/default/files/periodicals/dunlosky.pdf>
- Eliasson, S., Jösok, A., Nävert, L. & Sundbeck, L. (2013). Studio i mekanik och hållfasthetslära Kandidatarbete inom Tillämpad Mekanik. Hämtad från <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/185911/185911.pdf>
- Elmgren, M. & Henriksson, A.-S. (2010). *Universitetspedagogik*. Norstedt.
- Grahn, R. & Jansson, P.-Å. (2013). *Mekanik: statik och dynamik* (vol. 3. uppl.). Studentlitteratur.
- James, Glyn, David, B., Dick, C., Phil, D., John, S., Nigel, S. & Jerry, W. (2011). *Advanced modern engineering mathematics*. Prentice Hall.
- Kolb, A. Y., Kolb, D. A. & Lewin, K. (2013). Learning Styles and Learning Spaces : Enhancing Experiential Learning in Higher Education. *Academy of Management Learning and Education*, 4(2), 193–212. Hämtad från <http://web.a.ebscohost.com/ehost/detail/detail?sid=dd3b8241-af31-4554-bb14-d435f04ff07b%40sessionmgr4008&vid=0&hid=4214&bdata=JnNpdGU9ZWhvc3QtbGl2ZSZZY29wZT1zaXRl#AN=17268566&db=buh>
- Komarovski, K. (2014). Studio för mekanik och hållfasthetslära Tillverkning och utveckling av demonstrationsexperiment. Hämtad från <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/210901/210901.pdf>
- Ramsden, P. (1992). *Learning to Teach in Higher Education*.

A

Manual Kraftbord

Kraftbord Manual

Beskrivning



Figur 1: Figuren visar hur utrustningen ser ut. Kraftbordet består av ett plant bord med tre trissor som kan monteras utmed bordskanten. Nedför varje trissa hänger vikter som medför en tyngdkraft.

Labbutrustning

Kraftbordet med tillhörande vikter.

Lärandemål

Förklara begreppet kraft, samt kunna tillämpa vektorbegreppet på kraft och förklara innebörden av begreppen jämvikt och jämviktssvillkor.

Syfte

Bordet kan användas för att visa och mäta krafter genom vektoraddition och kraftparallelogram.

Teori

Med detta kraftbord kan man få en bättre intuition om hur vektoraddition av krafter fungerar. Man får själv testa ansätta olika stora krafter i olika riktningar (2D, plant fall) för att åstadkomma jämvikt. På grund av att krafterna ansätts i ett plan går det enkelt att visualisera resultanten som diagonalen i ett parallelogram som bildas av två kraftvektorer.

Instruktioner

De tre trissorerna kan du montera på olika positioner längs bordets kant. På trissorerna hänger vikter som tillsammans kan åstadkomma jämvikt, och med hjälp av gradskalan och den vridbara gradskivan kan du nu bestämma vinklarna mellan de olika krafterna. Testa detta för tre olika fall för att se hur jämvikten ställer in sig och hur kraftvektorererna förhåller sig till varandra.

- Om de tre trissorerna belastas med lika mycket vikt, vid vilka vinklar kommer jämvikt att uppnås?
- Montera trissorerna på följande positioner: 50° , 200° , 260° . Vid vilken belastning infinner sig jämvikten för detta system?
- Om vi belastar två trissor med 70 g och en med 20 g, hur stora blir vinklarna mellan dem?

B

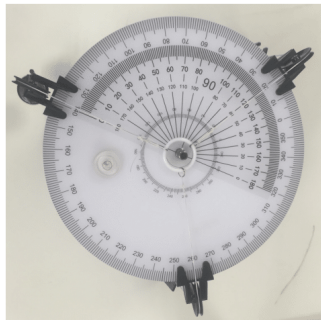
Lösningssförslag Kraftbord

Kraftbord

Lösningssförslag

Lika belastning

Vid lika belastning fördelas kraftvektorerna med samma mellanrum runt cirkeln, det kommer därför att vara 120° grader mellan samtliga trissor.



Figur 1: Resultat av kraftbord med lika stor belastning på samtliga trissor.

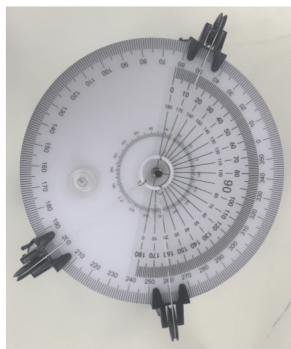
Exempel på ett jämviktsfall

Ett exempel på belastningskombination för att åstadkomma jämvikt för systemet:

50° belastad med 115 g

200° belastad med 70 g

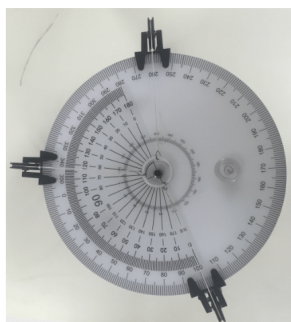
260° belastad med 60 g



Figur 2: Figuren visar jämviktsfallet enligt ovan.

Bestämda belastningar

Antag att belastningarna 70 g, 70 g och 20 g används. Då kommer vinkeln mellan trissorna belastade med 70 g att vara 115° grader. Mellan trissorna med massan 70 g och 20 g har vi vinklar på 85° grader.



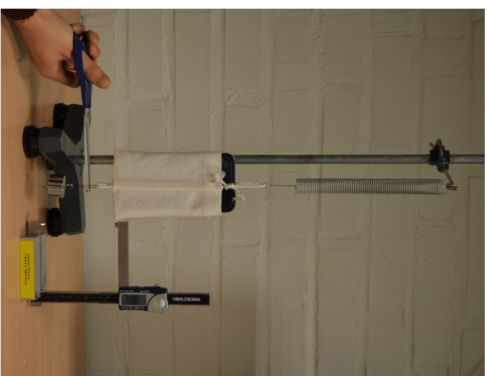
Figur 3: Resultatet av kraftbordet; här har vi vikter med massa på 70 g, 70 g och 20 g.

C

Manual Accelerometerlab: Fjäder

Accelerometerlab: Fjäder
Manual

Beskrivning



Figur 1: Bilden visar ett svagt dämpat fjäder-massa-system. När tråden klipps sätts systemet i svängning. Med det digitala skjutmätet vet vi initialförskjutningen från jämviktsläget.

Labbutrustning

Android eller iOS smartphone, Matlab, tillhörande skriptfiler, stativ, fjäder (skåp 1), köksväg (skåp 5), digitalt skjutmätt (skåp 1), mobilpase (skåp 1), sytråd (skåp 1), 50 g vikt (skåp 1) och sax (skåp 5).

Lärandemål

Förstå innebörden av begreppen fria svängningar, vinkelfrekvens, frekvens, periodtid, dämpning och dämpade svängningar, samt kunna lösa enklare svängningsproblem.

Syfte

Undersöka huruvida den analytiska lösningen av ett svagt dämpat fjäder-massa-system stämmer överens med motsvarande accelerationsgraf som fås experimentellt.

Teori

Den analytiska lösningen för ett dämpat fjäder-massa-system motsvarar:

$$x(t) = e^{-\zeta\omega t} (C_1 \sin(\omega_d t) + C_2 \cos(\omega_d t)) + \frac{a_0}{\omega_d^2} \text{ där } \omega_d = \omega \sqrt{1 - \zeta^2}.$$

Notera att faktorn som ger lägesgrafen en exponentiell dämpning motsvarar: $e^{-\zeta\omega t}$. Detta gäller även för accelerationen. Matlabskriptet läser in mätdata och plottar den mot tiden. Ur mätdata kan dämpningskoefficienten ζ samt vinkelfrekvensen ω fås ut. Med hjälp av diskreta Fouriertransformen (DFT) fås den dämpade vinkelfrekvensen, vilket ger den odämpade vinkelfrekvensen genom sambandet: $\omega_d = \omega \sqrt{1 - \zeta^2}$. Genom en exponentiell regression utav samtliga lokala maximpunkter av mätdata fås information om exponenten i den dämpande termen: $e^{-\zeta\omega t}$. Då exponenten innehåller dämpningskoefficienten kan koefficienten fås ut.

Med både dämpningskoefficienten och vinkelfrekvensen kan vi plotta den analytiska accelerationsgrafen och jämföra den med den experimentella accelerationsgrafen.

Instruktioner: Fjäder

Ladda ner appen "Physics Toolbox Sensor Suite" (utvecklat av Chrystian Veyra) och ändra appinställningarna så att mobilen samplar med högsta möjliga frekvens (Sensor Collection Rate). Androidanvändare måste även ändra "CSV File Delimiter" till semi-colon samt aktivera "Keep screen on". Börja med att väga mobilen och mobilpåsen, och notera värdet. Stoppa in mobilen i mobilpåsen och häng den på fjädern. Trä en tråd (ca 10 cm) genom hålet på underdelen av mobilpåsen och knyt ihop tråden. Använd det digitala skjutmättet och nollställ skjutmättet i ursprungs läget av mobilpåsen. Häng en 50 g vikt på tråden som du knöt ihop så att mobilen förskjuts i z-led från sin jämviktspunkt; mät sedan hur mycket påsen har förskjuts i z-led och notera värdet. Detta utgör begynnelsevillkoret för det dämpade fjäder-massa-systemet. Starta appen "Physics Toolbox Sensor Suite" och starta en mätning med verktyget "Linear Accelerometer". Klipp sedan tråden för att sätta igång den fria dämpade svängningen. Notera att du inte behöver starta mätningen samtidigt som du klipper tråden då onödig mätdata kan filtreras och klippas bort i Matlabprogrammet. Se även till att mobilen endast rör sig i höjdlid (så gott som det går); gör annars om mätningen. Stoppa mätningen efter ca 2 min, namnge filen och skicka den till dig själv.

Ladda ner de nödvändiga skriptfilerna för laborationen och samla ihop mätdatafilen och Matlabfilerna i en och samma mapp. Skriptfilerna finns att ladda ner på www.mekochalf.se; leta upp laborationen "Accelerometerlabb: Fjäder". Öppna skriptfilen (typ: MATLAB Code, ej MATLAB Figure) och kör programmet (gröna knappen Run längst upp).

Skriv in filnamnet på din mätdata i programmet. Tryck på knappen "Importera" för att förhandsgranska din mätdata. Ange sedan start- och sluttid i sekunder för att bestämma intervallet av mätdata som du vill behålla; försök att ange starttiden då svängningen började på riktigt. Se till att starttiden sker där accelerationen befinner sig i ett minimum då detta motsvarar att mobilen rör sig uppåt från sitt bottenläge. Det är endast då våra BV strämmar. Sluttiden kan nästan väljas godtyckligt; helst minst 1 min svängning. Tryck återigen på knappen "Importera".

Programmet behöver göra en regression av den exponentiellt dämpande faktorn $e^{-\zeta\omega t}$ för att få information om dämpningskoefficienten. Regressionen görs med den exponentiella modellen $f(x) = a \cdot e^{bx}$, då kommer konstanten b motsvara $-\zeta\omega$, d.v.s.: $-\zeta\omega = -\zeta \frac{\omega_d}{\sqrt{1-\zeta^2}} = b$. Slutligen fås: $\zeta = \sqrt{\frac{b^2}{\omega_d^2 + b^2}}$. Då det uppkommer en del dåliga mätpunkter p.g.a. mätsvårigheter och andra felkällor så måste mätdata filtreras. Testa de olika filtreringsalternativen för att hitta den bästa regressionen. Tryck på knappen "Regression" för att förhandsgranska filtreringsalternativen.

Slutligen anges den initiala förskjutningen i positiv rörelseriktning, massan och fjäderkonstanten av det svängande systemet. Fjäderkonstanten kan tas fram genom statisk jämvikt. Notera att du redan har mätt vilken förskjutning en massa på 50 g motsvarar; denna information räcker för att bestämma fjäderkonstanten. För massan räcker det med att endast ange massan för mobilen samt mobilpåsen. Vi antar här att fjäderns massa är försumbart litet. Tryck på knappen "Teoretisk graf". På grund av att vinkel frekvensen är hög är det svårt att avläsa grafen. Zooma in på ett smalt intervall av grafen (t.ex. 2 sekunder) och notera om den teoretiska grafen överensstämmer med den experimentella grafen. Undersök hur det ser ut för andra tidsintervall. Om graferna inte överensstämmer, justera då begynnelsevillkoret på förskjutningen tills den teoretiska lösningen liknar den experimentella. Notera värdet på det nya begynnelsevillkoret.

Uppgifter: Fjäder

1. Betrakta den experimentellt framtagna grafen och bestäm manuellt svängningens odämpade period T , odämpade frekvens f samt odämpade vinkelfrekvens ω . Jämför ditt värde på den odämpade vinkelfrekvensen med värdet som Matlabprogrammet får ut.

2. Fjäders egenmassa är sällan tillräckligt liten för att försummas. Om man vill räkna med dess påverkan på lösningen går det inte att lägga till hela fjäders egenmassa på den svängande massan. Anledningen är att hela fjädern inte rör sig med samma hastighet som den svängande massan, d.v.s. rörelseenergin i fjädern är inte $T = \frac{\hat{m}v^2}{2}$ där v motsvarar den svängande massans hastighet och $\hat{m}$ motsvarar fjäders egenmassa. Den effektiva massan (effective mass) av ett massa-fjäder-system motsvarar tillskottet av massa som behöver läggas till i beräkningen för att inkludera effekterna av att fjädern inte är masslös. Den effektiva massan går att beräkna genom att betrakta dess rörelseenergi med antagandet om en ideal fjäder med massan $\hat{m}$ och längd L . Vidare förutsätts fjädern vara likformig med avseende på massa genom hela sin längd. Den effektiva massans rörelseenergi fås som summan av masselementens rörelseenergi:

$$T = \int_m \frac{1}{2} u(y)^2 dm$$

Här är $u(y)$ masselementens hastighet vid läget y . På grund av likformighetsantagandet fås:

$$dm = \left(\frac{dy}{L} \right) \hat{m}$$

Insättning av detta ger:

$$T = \int_0^L \frac{1}{2} u(y)^2 \left(\frac{dy}{L} \right) \hat{m}$$

Notera att masselementens hastighet är proportionell mot fjäders längd, d.v.s. $u(y) = \frac{y}{L}v$ där v motsvarar den svängande massans hastighet i fjäder-massa-systemet. Lös integralen och jämför resultatet med det felaktiga fallet (d.v.s. att den effektiva massan är hela fjäders egenmassa, vilket inte är sant) där rörelseenergin för fjädern antogs motsvara:

$$T = \frac{\hat{m}v^2}{2}$$

Vad blir den effektiva massan? Kör Matlabprogrammet återigen fast utan att försumma fjäders egenmassa. Ser du någon skillnad?

D

Lösningsförslag till Accelerometerlabb: Fjäder

Accelerometerlabb: Fjäder

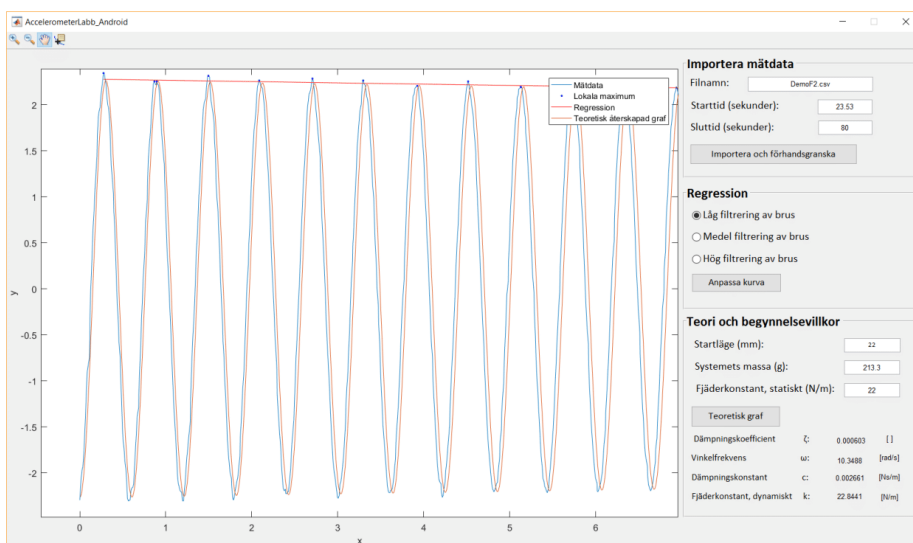
Lösningsförslag

Matlabprogrammet

För att beräkna fjäderkonstanten kan statisk jämvikt tillämpas. Friläggning och jämvikt ger att:

$$k \cdot x_0 = m \cdot g$$
$$k = \frac{m \cdot g}{x_0}$$

Efter genomgången labb bör liknande plot fås ut om du zoomar in i ett litet intervall $t = (0, 10)$:



Uppgift 1

Ett förslag är att mäta tiden mellan två stycken maximipunkter för att få fram den dämpade perioden T_d . Härifrån kan den dämpade vinkelfrekvensen fås genom $\omega_d = \frac{2\pi}{T_d}$. Notera att det är den dämpade vinkelfrekvensen som fås ut efter omvandling från dämpad period till dämpad vinkelfrekvens. Anledningen är att dämpning påverkar vinkelfrekvensen och det är den dämpade vinkelfrekvensen som syns explicit i lösningens graf rent kinematiskt. Den odämpade vinkelfrekvensen kan inte mätas direkt utan finns implicit i systemet och kan fås fram med sambandet: $\omega = \frac{\omega_d}{\sqrt{1-\zeta^2}}$, där dämpningskoefficienten ges av Matlab-programmet. Med den odämpade vinkelfrekvensen kan både odämpad period och odämpad frekvens fås ut enligt $T = \frac{2\pi}{\omega}$ och $f = \frac{\omega}{2\pi}$.

Uppgift 2

Från uppgiften framgick det att följande gällde:

$$T = \int_0^L \frac{1}{2} \left(\frac{y}{L} v \right)^2 \left(\frac{dy}{L} \right) \hat{m}$$

$$T = \frac{1}{2} \frac{\hat{m}}{L^3} v^2 \int_0^L y^2 dy$$

$$T = \frac{1}{2} \frac{\hat{m}}{L^3} v^2 \left[\frac{y^3}{3} \right]_0^L$$

$$T = \frac{1}{2} \frac{\hat{m}}{L^3} v^2 \frac{L^3}{3}$$

$$T = \frac{1}{2} \frac{\hat{m}}{3} v^2$$

Om detta jämförs mot fallet där hela fjäderns massa betraktas som den effektiva massan $T = \frac{\hat{m}v^2}{2}$ så syns det att den effektiva massan motsvarar $\frac{\hat{m}}{3}$, d.v.s. en tredjedel av fjäderns egenmassa. Om den nya massan används i programmet så går det att se en liten skillnad, oftast ungefär 5 – 10%. Det är ingen stor skillnad, men den är tillräckligt stor för att synas.

E

Manual Accelerometerlabb: Balk

Accelerometerlabb: Balk Manual

Beskrivning



Figur 1: Balken är uppställd på två momentfria stöd. En vikt på 1 kg hänger på kroken på balkens undersida. Det digitala skjutmättet mäter initialförskjutningen från jämviktsläget. När tråden klipps så kommer balken att svänga.

Labbutrustning

Android eller iOS smartphone, Matlab, tillhörande skriftfiler, balk, momentfria stöd, våg, digitalt skjutmätt, måttband, garn, 1 kg vikt och sax.

Syfte

Undersöka huruvida den analytiska lösningen av ett svagt dämpat fjäder-massa-system stämmer överens med accelerationsgrafen som fås experimentellt av en böjsvängande balk. Notera att det finns många felkällor.

Teori

Den analytiska lösningen för ett dämpat fjäder-massa-system motsvarar:

$$x(t) = e^{-\zeta\omega_d t} (C_1 \sin(\omega_d t) + C_2 \cos(\omega_d t)) + \frac{g}{\omega_d^2} \text{ där } \omega_d = \omega \sqrt{1 - \zeta^2}.$$

Notera att faktorn som ger lägesgrafen en exponentiell dämpning motsvarar: $e^{-\zeta\omega_d t}$. Detta gäller även för accelerationen. Matlabskriptet läser in mätdata och plottar den mot tiden. Ur mätdata kan dämpningskoefficienten ζ samt vinkel frekvensen ω fås ut. Med hjälp av diskreta Fouriertransformen (DFT) fås den dämpade vinkel frekvensen, vilket ger den odämpade vinkel frekvensen genom sambandet: $\omega_d = \omega \sqrt{1 - \zeta^2}$. Genom en exponentiell regression utav samtliga lokala maxipunkter av mätdata fås information om exponenten i den dämpande termen: $e^{-\zeta\omega_d t}$. Då exponenten innehåller dämpningskoefficienten kan koefficienten fås ut. Med både dämpningskoefficienten och vinkel frekvensen kan vi plotta den analytiska accelerationen av ett dämpat fjäder-massa-system och jämföra den med den experimentella accelerationsgrafen av en böjsvängande balk.

Upställning av balken



Figur 2: Balken är uppställd mellan två lika höga bord.

Notera att det är viktigt att balken ställs upp mellan två lika höga bord så att det finns utrymme för att hänga en massa på undersidan av balken. Se även till att använda tråklossen för att mäta utböjningen då det digitala skjutmåttet är väldigt kort.

I studion kan man hitta nödvändiga utrustningar i följande ställen:

Utrustningslista			
Skåp 4	Skåp 2	Skåp 5	
1 kg massa	Tråkloss	Köksvåg	
Digitalt skjutmått	Garn	Sax	
	Momentfria stöd	Måttband	

Träbalken kan man hitta i studion höger om dörren till förvaringsrummet. Notera att balken i bilden har en krok mitt på balkens undersida.

Instruktioner: Balk

Ladda ner appen "Physics Toolbox Sensor Suite" (utvecklat av Chrystian Vleyra) och ändra appinställningarna så att mobilen samplar med högsta möjliga frekvens (Sensor Collection Rate). Androidanvändare måste även ändra "CSV File Delimter" till semi-colon samt aktivera "Keep screen on". Börja med att väga balken. Ställ sedan upp balken på två stöd (ledad-ledad stöd) mellan två lika höga bord så att balken befinner sig över golvet. Placera mobilen på mitten av balken och nollställ det digitala skjutmättet vid balkens jämviktsläge. Häng en 2 kg massa med hjälp av garn mitt på balken. Mät utböjningen som orsakas av vikten. Starta appen "Physics Toolbox Sensor Suite" och starta en mätning med verktyget "Linear Accelerometer". Klipp sedan tråden för att sätta igång den fria dämpade svängningen. Notera att du inte behöver starta mätningen samtidigt som du klipper tråden då onödig mätdata kan filtreras och klippas bort i Matlab-programmet. Stoppa mätningen efter ca 30 sekunder, namnge filen och skicka den till dig själv.

Ladda ner de nödvändiga skriptfilerna för laborationen och samla ihop mätdatafilen och Matlabfilerna i en och samma mapp. Skriptfilerna finns att ladda ner på www.mekochalf.se, leta upp laborationen "Accelerometerlabb: Balk". Öppna skriptfilen (typ: MATLAB Code, ej MATLAB Figure) och kör programmet (gröna knappen Run längst upp).

Skriv in filnamnet på din mätdata i programmet. Tryck på knappen "Importerar" för att förhandsgranska din mätdata. Ange sedan start- och sluttid i sekunder för att bestämma intervallet av mätdata som du vill behålla: försök att ange starttiden då svängningen började på riktigt. Se till att starttiden sker där accelerationen befinner sig i ett minimum då detta motsvarar att mobilen rör sig uppåt från sitt bottenläge. Det är endast då våra BV stämmer. Sluttiden väljs som tidpunkten då svängningen har dämpats ut. Tryck återigen på knappen "Importerar".

Programmet behöver göra en regression av den exponentiellt dämpande faktorn $e^{-\zeta\omega t}$ för att få information om dämpningskoefficienten. Regressionen görs med den exponentiella modellen $f(x) = a \cdot e^{b \cdot x}$, då kommer konstanten b motsvara $-\zeta\omega$, d.v.s.: $-\zeta\omega = -\zeta \frac{\omega_d}{\sqrt{1-\zeta^2}} = b$. Slutligen fås: $\zeta = \sqrt{\frac{b^2}{\omega_d^2 + b^2}}$. Då det uppkommer en del dåliga mätpunkter p.g.a. störningar och andra felkällor så måste mätdata filtreras inför regressionen. Testa de olika filtreringsalternativen för att hitta den bästa regressionen. Tryck på knappen "Regression" för att förhandsgranska filtreringsalternativen.

Slutligen anges den initiala förskjutningen i positiv rörelseriktning, balkens massa, balkens dimensioner, och E-modulen. E-modulen kan tas fram genom att du vet att följande samband gäller för utböjningen då mitten av en ledad-ledad balk belastas av en punktlast (gäller endast för statisk utböjning):

$$P = \frac{48EI}{L^3} \delta$$

Notera likheten mellan ovanstående samband och den pålagda kraften i fjädern: $P = k\delta$. Du har redan mätt vilken förskjutning en 2 kg massa mitt på balken motsvarar, det som saknas är längden L och yttröghetsmomentet $I = \frac{bh^3}{12}$. Detta gäller för ett rektangulärt tvärsnitt där b är bredden och h är höjden. Programmet kräver sedan att vi anger massan m för balken. Med den totala massan och balkens dimensioner kommer programmet att ta fram densiteten ρ . Då kan programmet få fram den ekvivalenta balkmassan och ekvivalenta dynamiska fjäderkonstant för ett motsvarande fjäder-massa-system som:

$$\begin{aligned} \hat{m} &= \rho A \int_0^L \sin(\pi x/L)^2 dx = \frac{m}{2} \\ \hat{k} &= EI \int_0^L \sin(\pi x/L)^2 dx = \frac{\pi^4 EI}{2L^3} \end{aligned}$$

Tryck på knappen "Teoretisk graf". Reflektera över resultatet och ange samtliga felkällor med laborationen.

F

Lösningsförslag till Accelerometerlabb: Balk

Accelerometerlabb: Balk Lösningsförslag

E-modul

Bryt ut E-modulen och beräkna den enligt:

$$E = \frac{PL^3}{48I\delta}$$

Felkällor

Mätningen kan bli fel på grund av bristande hårdvara och mjukvara. Kvalitén på accelerometern i mobilen kan påverka resultatet om mobilen mäter felaktiga värden. Dessutom kan accelerometern inte särskilja accelerationen som den upplever från jordens gravitationen. Accelerometerappen måste filtrera bort gravitationen från accelerationsmätningen med hjälp av mobilens inbyggda gyroskop och magnetometer, vilket utgör ytterligare felkällor.

Notera även att vi fick ut E-modulen genom formeln:

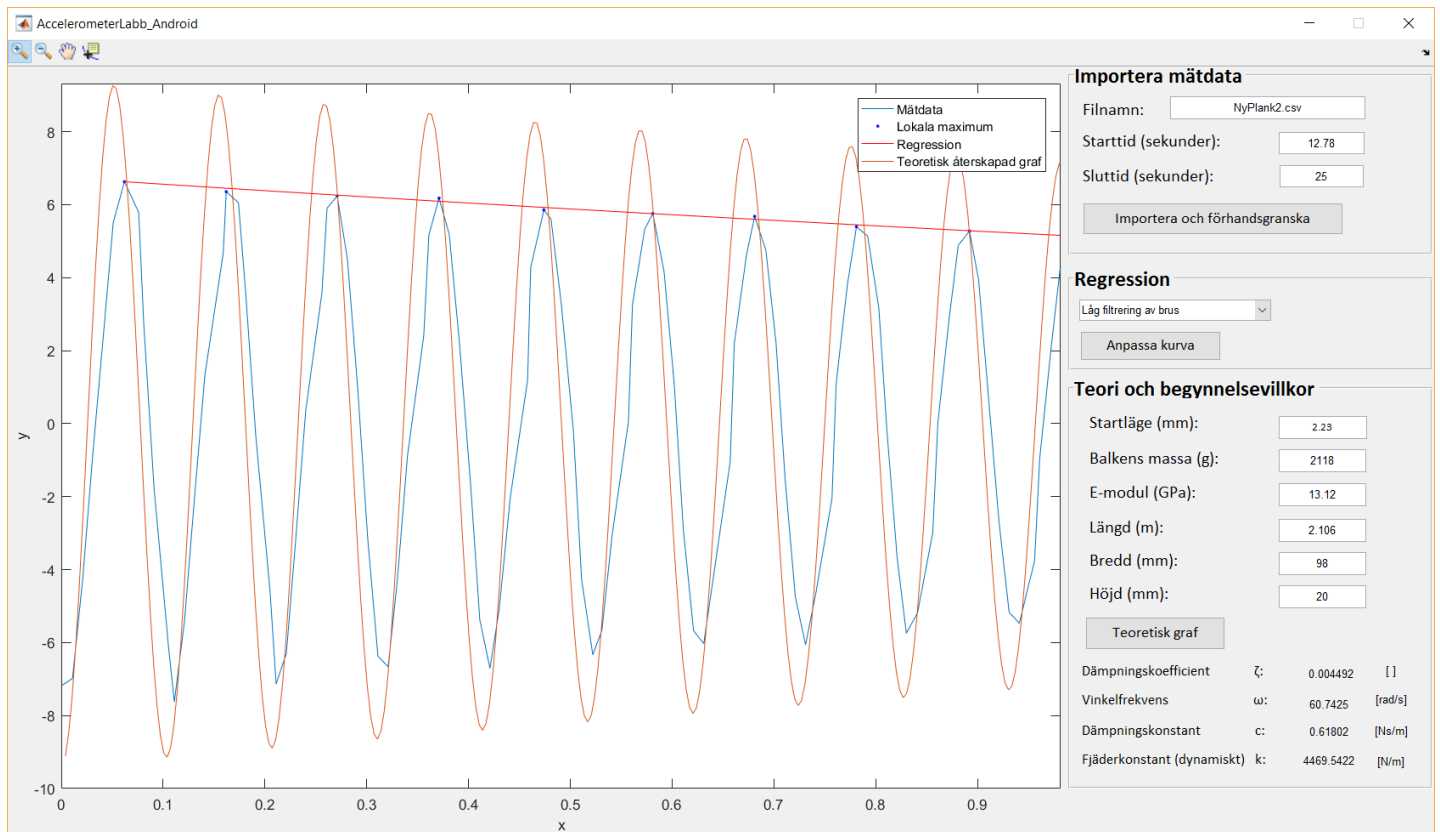
$$P = \frac{48EI}{L^3}\delta$$

Formeln härleds ur Euler-Bernoullis balkteori som bygger på många antagande och fungerar bäst i teorin med ideala balkar. Den utgör dock en tillräckligt god approximation för detta ändamål.

Slutligen vet vi även att den mänskliga faktorn påverkar resultatet. T.ex. balkens utböjning är svår att mäta exakt; ett felaktigt värde på utböjningen gör att fel E-modul erhålls.

Matlabprogrammet

I figuren ser vi dimensionerna för en av våra balkar, och vilken ω och ζ den ger. Efter genomgången labb bör liknande plot fås ut. Som ni ser blir inte den teoretiska grafen exakt lika med den experimentella p.g.a. alla felkällorna. Däremot bör detta räcka för att visa att graferna är av samma form och att man kan direkt översätta mellan ett fjäder-massa-system och ett balksystem. Om man justerar på sina parametrar så kan man visa att det existerar en teoretisk lösning som stämmer nästan exakt överens med den experimentella grafen. Testa t.ex. att justera E-modulen.



G

Manual för Spänningskub

Spänningskub

Manual

Beskrivning

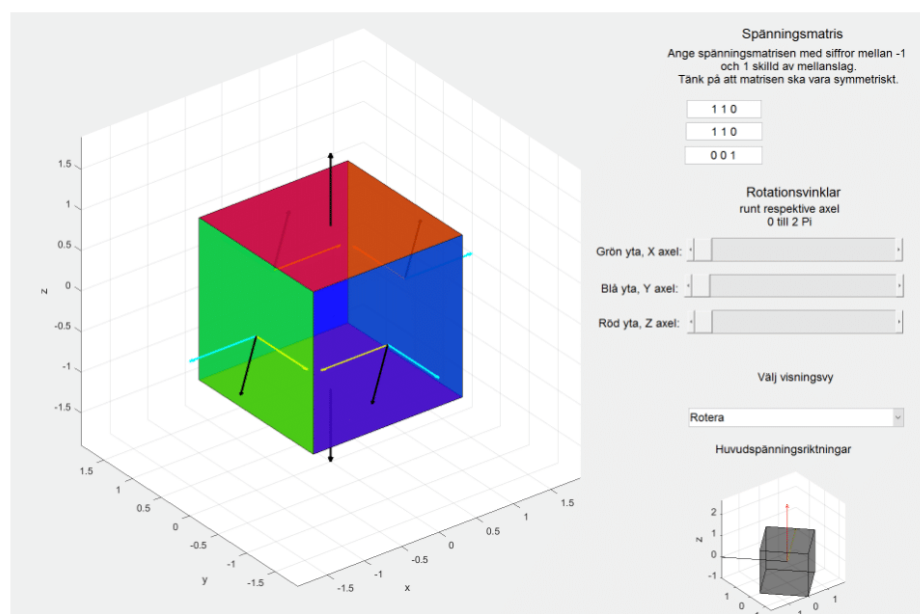
Kuben demonstrerar ett allmänt spänningstillstånd. Med hjälp av den kan du grafiskt undersöka hur normal- och skjuvspänningar beter sig i tre dimensioner.

Gör så här för att köra programmet:

Ladda ner hela mappen 'spänningskub' från hemsidan www.mekochhållf.se.

Inlägget för detta experiment hittar du under kategorin Hållfasthetslära

Öppna och kör 'principal_stresses'. Det finns två filer med det namnet, ta den som är av filtyp Code.



Figur 1: Spänningskub i 3D

Lärandemål

Förklara och relatera begreppet skjuvspänning.
Förklara huvudspänningar och huvudspänningsriktningar för ett känt allmänt spänningstillstånd.

Syfte

Att grafiskt se hur olika spänningskomponenter relaterar till varandra och den tredimensionella rummet.

Teori

Ett allmänt spänningstillstånd kan beskrivas med en spänningsmatris S .

$$S = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix}$$

Här är σ normalspänning och τ skjuvspänning; dessa spänningskomponenter finns på respektive yta. I kuben presenteras dessa som vektorer med utgångspunkt från respektive sida av kuben. Själva kuben representerar en punkt i verkligheten som utsätts för spänningstillståndet S enligt ovan. Genom att rotera på kuben kan vi snitta igenom punkten på olika sätt. Beroende på orienteringen av snittet kommer olika spänningskomponenter att synas.

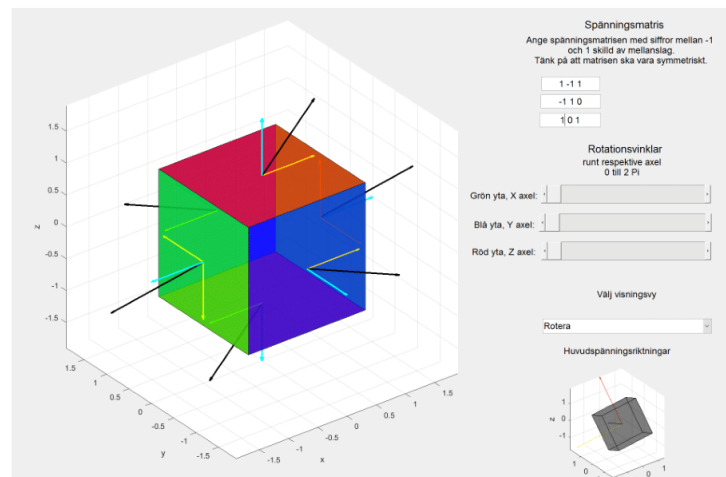
Frågor

1. Vilka värden i spänningsmatrisen motsvarar vilka pilar i 3D plotten?
2. Justera en av de tre sliders i små steg. De definierar vridningsvinkeln runt respektive axel. Se till att du förstår hur kubens roteras och hur det påverkar spänningarna.
3. Prova även att justera spänningsmatrisen (högst upp till höger) fundera återigen vad som händer med respektive spänning.
4. Ta fram det matematiska sambandet mellan spänningsmatrisen och huvudspänningarna samt huvudspänningsriktningarna.
5. Den mindre kubens visar orienteringen som behövs för att få fram huvudspänningarna. Ange en symmetrisk spänningsmatris skilt från identitetsmatrisen och försök vrida den stora kubens så att den hamnar i samma orientering som den lilla kubens. Försök beskriva det du ser i termer av $\sigma_x, \tau_{xy}, \tau_{xz}$ osv.

H

Lösningsförslag till Spänningskub

Spänningskub Lösningsförslag



Figur 1: Exempel på ett spänningstillstånd

1)
På den gröna ytan finns σ_x , τ_{xy} och τ_{xz} . Sätt alla spänningar förutom σ_x till 0 för att se detta. På liknande sätt fås spänningskomponenterna för de övriga sidorna.

De ljusblåa pilarna motsvarar normalspänningarna och de gula pilarna motsvarar skjuvspänningarna.

4)

$$Sn = \sigma n \Rightarrow (S - \sigma I)n = 0$$

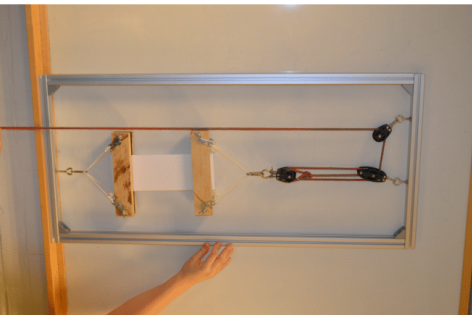
Ur egenvärdesproblemet fås σ som motsvarar huvudspänningarna och n är motsvarande huvudspänningsriktningar.

I

Manual till Pappersklämma

Pappersklämma Manual

Beskrivning



Figur 1: I figuren syns pappersklämman under ett dragprov. Notera att storleken av pappret endast är hälften av ett A4-papper.

Labbutrustning

Pappersklämman med tillhörande rigg, A4-papper och hålsåg.

Lärandemål

Förklara och tillämpa Hookes lag på enaxliga problem. Förstå teorin bakom linjär brottmekanik.

Syfte

Detta experiment visar hur en komponents bärförmåga i drag påverkas av initialdeformationer i komponenten och defekter i materialet.

Teori

Vanligtvis används dimensioneringsvillkoret $\sigma_{max} < \sigma_B$, där σ_{max} motsvarar den största spänningen som uppstår i komponenten under belastning, och σ_B motsvarar materialets brottgräns. För en kropp med en mycket spetsig spricka så ger elasticitetsteorin att $\sigma_{max} \rightarrow \infty$ nära spetsen, vilket inte är möjligt. Enligt elasticitetsteorin tillkommer följande term i spänningsfältet för en oändligt stor skiva med en spricka:

$$\sigma(x) = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi x}}$$

Istället för det vanliga kriteriet $\sigma_{max} < \sigma_B$, så kan brottmekaniska kriterier användas. En instabil spricktillväxt sker då: $K_I \geq K_{Ic}$, där K_I är spänningsintensitetsfaktorn och K_{Ic} är den kritiska spänningsintensitetsfaktorn (brottsgränsen). I detta experiment betraktas ett sprött brott.

Instruktioner

Fäst en pappersremsa eller ett helt A4 papper i klämman; kan ni nu dra sönder det? Hur stor uppskattar ni att kraften ni drar med är? Testa följande:

- Gör hål med blyertspenna, ordna hålen slumpvis eller på rad.
- Gör hål med håslagare.
- Riv pappret i kanterna.
- Vik pappret antingen lodrät eller horisontellt. Gör så här: vik pappret, dra med en nagel över kanten några gånger. Vik pappret längs samma kant åt andra hållet och dra över kanten med nageln igen.

Notera skillnaden på kraften, mellan de olika fallen, som ni fick tillföra för att dra sönder pappret. Fundera nu även på ifall dessa anvisningar som ni har skapat uppträder i vanliga konstruktionsmaterial?

Viktigt att tänka på när papprets sätts fast:

Markera mitten av remsan och sätt markeringen mot mitstrecket i klämman. Se även till att pappret sitter rakt i klämman.

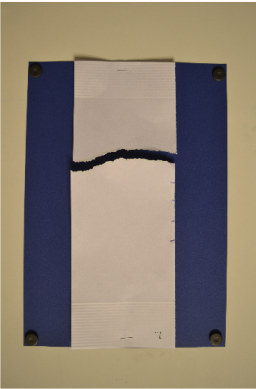
J

Lösningförslag till Pappersklämma

Pappersklämma

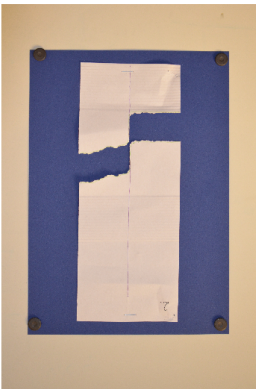
Lösningförslag

Mindre revor i vänsterkant



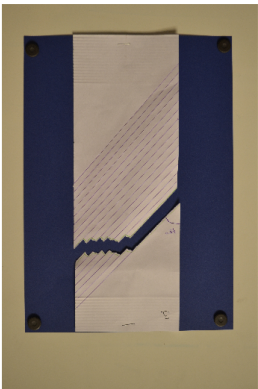
Figur 1: Resultat av dragprov med papper med revor i vänsterkant.

Lodrat vikning åt båda håll



Figur 2: Resultat av dragprov med papper som vikts lodrat.

Diagonala vikningar



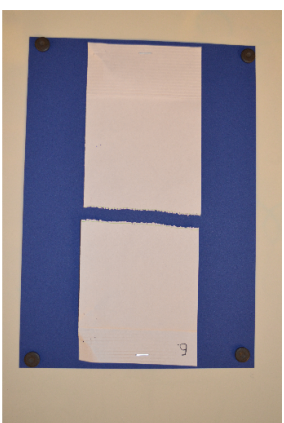
Figur 3: Resultat av dragprov med papper som vikts diagonalt.

Hål gjorda med stiftpenna



Figur 4: Resultat av dragprov med papper som hålls av stiftpenna.

Hål gjorda i linje med stiftpenna



Figur 6: Resultat av dragprov med papper som hålls längs en linje.

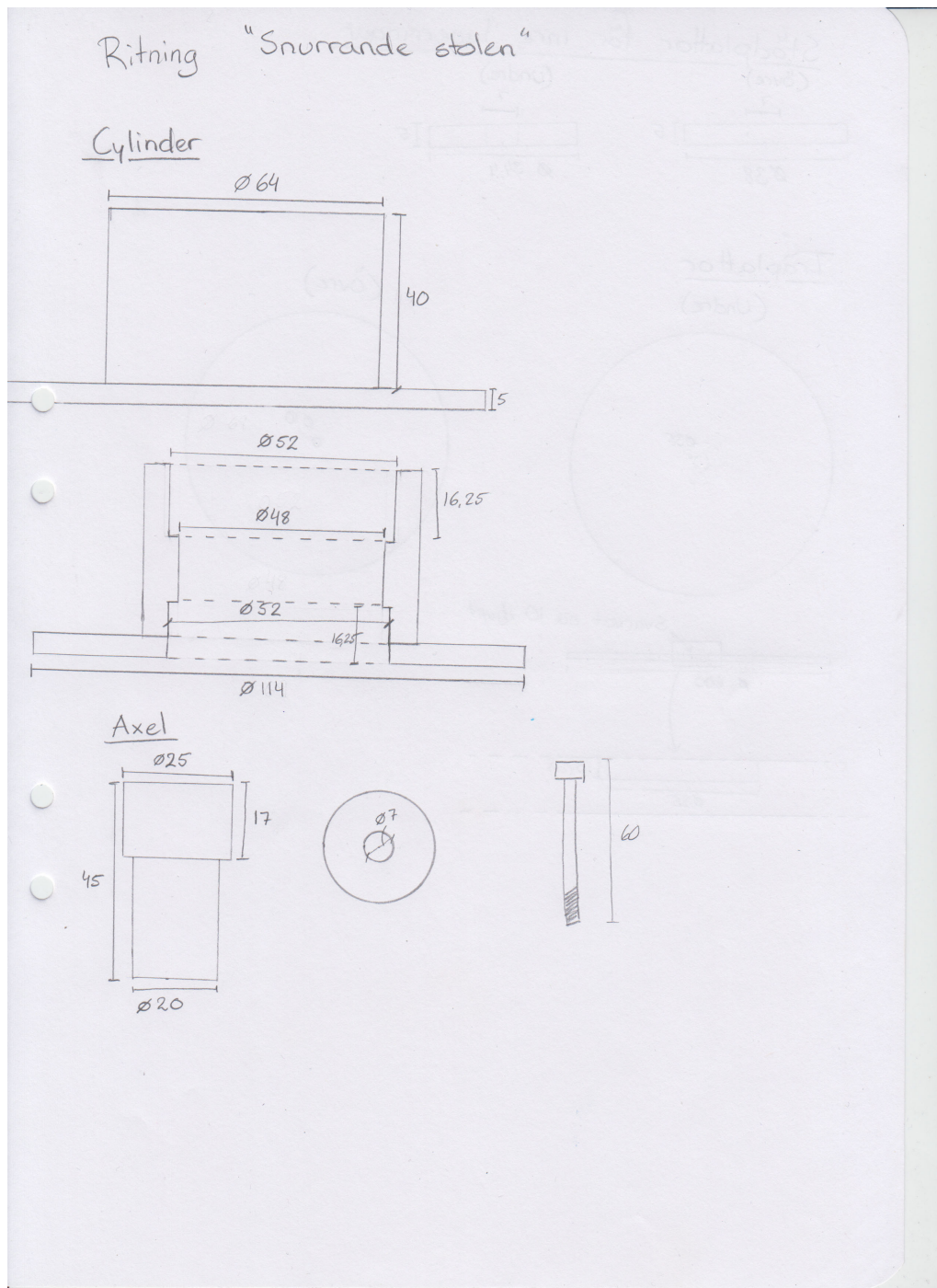
Vikning horisontellt och lodrät



Figur 5: Resultat av dragprov med papper som vikts horisontellt och lodrät.

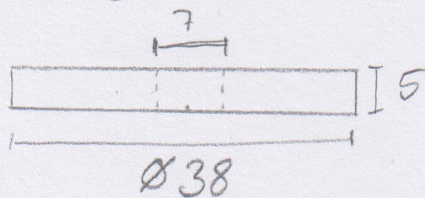
K

Ritningar till Roterande stolen

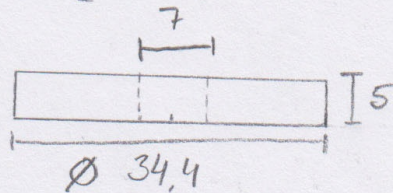


Stödplattor för inre lagerringar

(Övre)



(Undre)

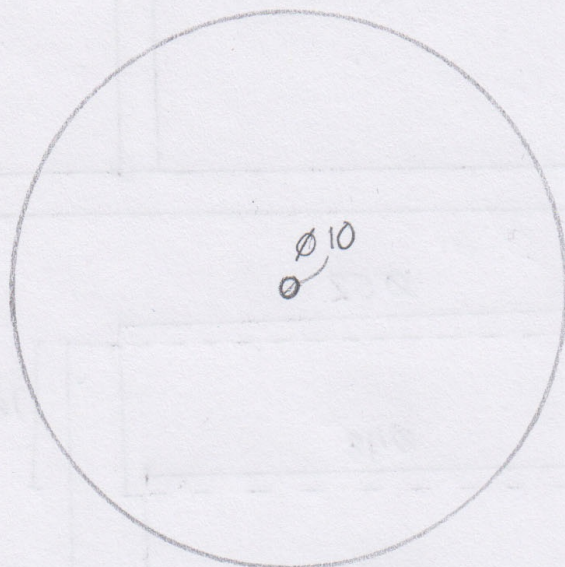


Träplattor

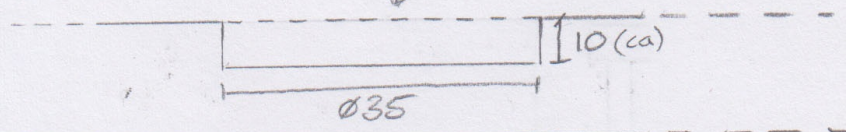
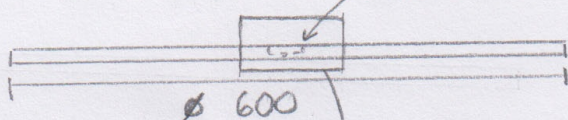
(Undre)



(Övre)



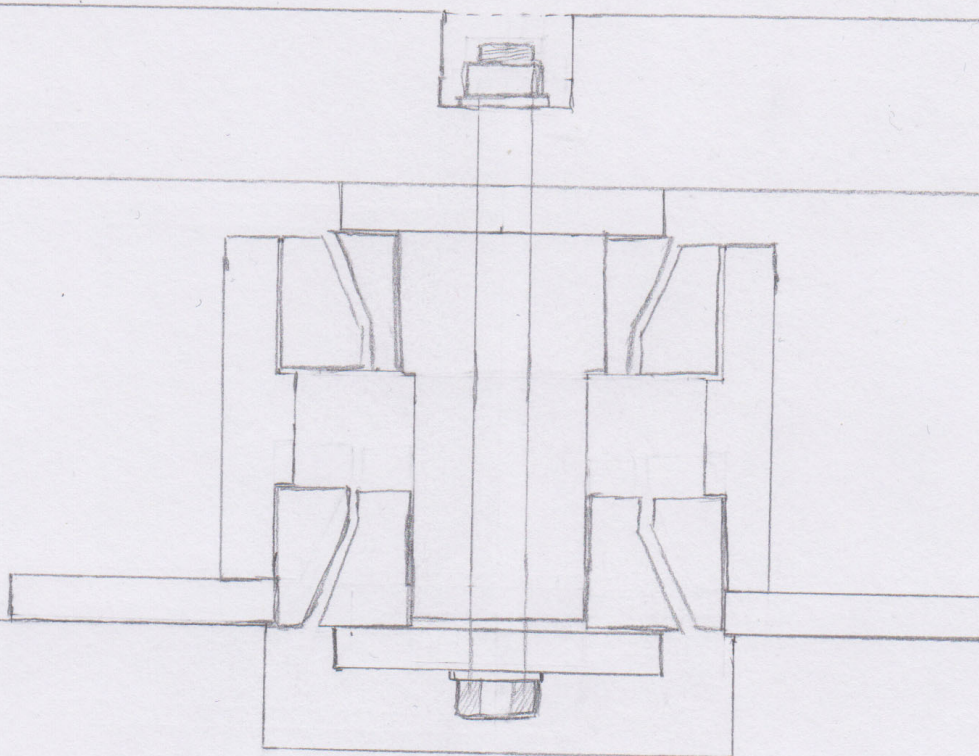
Svarvat ca 10 djupt



Snurrande stolen

Tvärsnitt

1:1



L

Prioriteringsmatris för nya koncept

Prioriteringsmatris: nya koncept										
Experiment:	Snurrande mass (roterande stolen)	Huvudspänningar (datorsimuleringar)	Vridcentrum, Gummi-C-balk	Balansbräda	Skivspelare med vikter och tidsmatrare	Brädor limmade eller nitade ihop (skjuvkrifter)	Massa upphängd i dynamometrar (resulterande kraft)	Hannas värmeljus	Spänningar som uppstår av temperaturförändring	Kub kladd i nät (dynamometer)
Behov Skala: 1 - 5	3,75	4,5	2,5	2	2,5	3,75	3,5	2,25	2	3,5
Pedagogik Skala: 1 - 5	4,75	3,75	2,75	3,25	3,25	3,25	4	3,25	2,25	3,5
Lärares åsikt Skala: 1 - 5	5	5	4	2,5	3,5	4,5	4	3,5	3,5	3,5
Mobilitet Skala: 1 - 3	1,5	3	2,5	1,5	2,5	2,5	2,75	3	2,5	2,5
Stimulerande och dynamisk Skala: 1 - 4	4	3	2,25	2,5	3	2,75	3,25	3	2	2,75
Tidsåtgång Skala: 1 - 3 (Ingår ej i betygsättning)	1	3	2	2	3	2	2	3	2	2
Poäng	19	19,25	14	11,75	14,75	16,75	17,5	15	12,25	15,75

Förutse hur accelerationsdiagram ser ut för olika rörelser	Snurra	Matlabmodell av deformationer, friläggning	Kub för att visa deformationer	Uppgiftsserie till lekplats	Leta upp saker på campus	Lådhörn se möte 7/2	Håkans rulle TD-problemet	Friläggning	Friktionsexperiment, lutande plan med klossar (Håkan)	Dragprovssanordning på papper, klämmor (P. Möller)
4	2,25	3,5	3,5	2,75	3,25	3,5	4	4,5	3,5	4
4	2,25	3,75	3,75	3,75	3,75	3,75	3,75	3,75	3,25	4
4	2,5	2	3,5	3,5	4	4	4	5	2,5	3,5
3,25	3	3	3	1,5	2,75	2,5	2,5	3	2,5	3
3,75	2,25	2,5	2,25	3,75	3,25	2,5	2,75	2,75	2,75	3,25
2	3	1	2	2	2	2	2	1	2	2
19	12,25	14,75	16	15,25	17	16,25	17	19	14,5	17,75