

---

# SIMULERINGSSTÖD FÖR MODELLER I FYSIKUNDERVISNING

Mikael ADOLFSSON

---

Ett samarbete med Natur & Kultur

**Examinator:** Carl-Johan Rundgren, Stockholms Universitet

**Huvudhandledare:** Carolina Svensson Huldt, Stockholms Universitet

**Biträdande handledare:** Linda Kann, Kungliga Tekniska Högskolan

**Extern handledare:** Anna Tranell, Natur & Kultur

Examensarbete på programmet *Civilingenjör och lärare* inom området  
Teknik och lärande  
Stockholm 2011



Stockholms  
universitet



ROYAL INSTITUTE  
OF TECHNOLOGY

## **Sammanfattning**

Den här rapporten är en del av mitt examensarbete, vilket berör området simuleringsverktyg och friläggningsdiagram inom fysikundervisning, främst inriktad mot fysikaliska krafter i gymnasiekurser. Arbetet grundar sig på tidigare studier om varför och hur man ska utforma ett digitalt hjälpmedel till undervisningsmiljöer. Det slutliga resultatet ska inte ses som en färdig produkt utan som en prototyp av en produkt av denna karaktär. Rapporten betonar även vikten av att detta program inte ensamt kan ge eleven förståelse utan att det även ställer krav på lärare och på undervisningsmiljön. Programmet ska användas, precis som det påpekas i denna rapport, som ett stödverktyg för lärare och elever, för att underlätta i fysikundervisningen genom att ge möjlighet att kunna rita och prova friläggningsdiagram av krafter.

### **Abstract**

This report is part of my master thesis, concerning the subject of how to develop a simulation tool for teaching physics, mainly focused on the concept of force and free body diagrams as taught in secondary schools. The work is based on previous studies on how to design a digital tool for teaching environments. The final result is not to be considered as a finished product but more as a prototype of a product of this nature. The report also stresses the importance of the fact that programs of this kind can't alone give students understanding, instead it places greater demands on teachers and the teaching environment. The program is meant to be used, exactly as mentioned in this report, as a support tool for teachers and students, to facilitate physics teaching and the understanding of the concept of force, by adding the possibility to be able to draw and test free body diagrams.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Introduktion</b>	<b>2</b>
1.1	Bakgrund . . . . .	2
1.2	Kraft i fysikundervisning . . . . .	3
1.3	Simulatorer . . . . .	5
1.4	Förståelsen för begreppet kraft . . . . .	6
1.5	Konkretisering av problemet . . . . .	7
1.6	Simuleringsmodeller för undervisning . . . . .	8
1.7	Utformning av ett digitalt medium . . . . .	9
1.8	Programmering . . . . .	10
<b>2</b>	<b>Resultat</b>	<b>11</b>
2.1	Simfu . . . . .	11
2.1.1	Verktygspanel . . . . .	12
2.1.2	Egenskap och textpanelen . . . . .	13
2.1.3	Kontrollpanelen . . . . .	13
2.1.4	Informationspanelen . . . . .	13
2.2	Användningsområde . . . . .	14
2.2.1	En låda på ett bord . . . . .	14
2.2.2	En planka på två stödben . . . . .	18
2.3	Begränsningar i Simfu . . . . .	20
<b>3</b>	<b>Diskussion</b>	<b>22</b>

# Kapitel 1

## Introduktion

### 1.1 Bakgrund

Idén om det här examensarbete började gro för några år sedan då jag arbetade som Mattecoach<sup>1</sup>. Jag fick där prova på att driva distansundervisning och hjälpa elever i ett digitalt medium. Detta kändes, för mig, ibland lite klumpigt då jag gärna ville visualisera saker och ting, vid de tidpunkter då jag ofta använder tavlan i klassrummet. Trots att vissa hjälpmedel fanns att tillgå, så som stöd för ritfunktioner, upplevde jag det fortfarande som ett problem. För mig var det svårt att göra tydliga bilder, och därmed uttrycka det jag ville. Liknande problem känner jag, som snart nyutexaminerad lärare, att det även finns i klassrummet. När jag försöker göra tydliga bilder av exempelvis ett fallande objekt inom fysiken, blir det inte alltid så tydligt som jag önskar. Runda objekt blir sällan runda och ibland känns det som att tydligare bilder skulle kunnat ge ett bättre resultat i undervisningssituationen. Ofta slutade det för mig med att jag använde något verkligt föremål, tillsammans med en ritad bild på tavlan, som komplement för att försöka förklara på ett tydligt sätt. Dock kände jag att detta inte heller var optimalt. Det blev inte så tydligt som jag ville och jag önskade ibland att jag kunde släppa saker i "slow motion" för att visa på exempelvis krafters verkan på ett objekt. I och med de digitala medier som finns runt omkring dagens elever, och med de möjligheter som finns att visa saker på ett pedagogiskt sätt i just dessa medier, kände jag att ett pedagogiskt utformat digitalt simuleringsverktyg skulle kunna vara av stort intresse och underlätta för förståelsen i bland annat fysikundervisningen. Det område som jag upplevt varit det mest centrala, fast det alltid har varit väldigt abstrakt och svårförklarligt, är området kraft. Målet för mig blev att jag inom detta område ville bidra till att ge elever bättre förståelse för hur krafter fungerar och verkar, och detta genom simulering.

Först och främst kommer det att beskrivas varför området kraft är intressant inom fysiken. Finns det några identifierade problem inom detta område och vilka

---

<sup>1</sup> *Mattecoach på nätet* 2010.

är i så fall dessa problem?

## 1.2 Kraft i fysikundervisning

Enligt kursplanen för gymnasieskolans fysik(Lgr11)<sup>2</sup> ska eleverna utveckla kunskaper om fysikens begrepp, modeller, teorier och arbetsmetoder samt förståelse av hur dessa utvecklas.

Studier, se nedan, menar på att det är viktigt att undervisningen är speciellt utformad för att göra det lättare för eleverna att förstå begreppet kraft. Minstrell<sup>3</sup> föreslår i sin studie om objekt i vila att följande instruktionsfaktorer är positivt bidragande till elevers utveckling av begreppet kraft: *an engaging, free thinking, free speaking social context, in which students are encouraged to articulate their beliefs; a juxtaposition of a variety of first-hand experiences with static objects; encouragement to search for the simplest, consistent, rational argument that will explain the similarity of effects in an apparent diversity of experiences.*

I en nyligen publicerad artikel<sup>4</sup> angående lärande och förståelse kring begreppet kraft med representationen i fokus kan man även läsa följande:

*'Experience from this unit on forces has born out the insight that learning is fundamentally a representational issue. At each stage in the sequence, insights into major aspects of the concept of force were successfully approached through representation and re-representation of both standardized representations (arrows, graphs, tables) and student-generated representations (diagrams, gestures, verbal discussion and text)... In the pedagogical approach adopted by the researchers and the teachers, there is a close relationship between the generation and refinement of representations and the operation of the classroom as a community of practice with a shared goal and rules of engagement.'*<sup>5</sup>

Studien visar alltså på att representation och om-representation i samband med diskussioner gav eleverna bättre förståelse för vad begreppet kraft innebär och hur det används. För lärarna själva gav det ytterligare förståelse om hur de skulle handskas med den didaktiska situationen vid undervisning av krafter, då det för lärarna dök upp okända aspekter om hur elever förstår begreppet kraft.

Vidare är även en slutsats av denna studie att *" student learning about science is best supported by a focus on the active generation of representations rather than the identification of representational characteristics"*<sup>6</sup>. Genom att utmana, och naturligtvis stötta, eleverna till att utveckla, förbättra, och koordinera sina modeller leder detta till en större koherens och flexibilitet i utvecklandet av förståelse om begreppet kraft vilket också är av stor vikt då *" Students need to develop a metacognitive understanding of the role of representations."*<sup>7</sup>

Studien menar på att det även krävs att lärare måste ändra sina undervis-

---

<sup>2</sup>Skolverket, 2010.

<sup>3</sup>Minstrell, 1982.

<sup>4</sup>Hubber, Tytler och Haslam, 2010.

<sup>5</sup>Ibid., s. 24.

<sup>6</sup>Ibid., s. 24.

<sup>7</sup>Ibid., s. 25.

ningsmetoder. För att göra detta måste lärare<sup>8</sup>: *understand the role of representation in learning science, implying both a pedagogical and an epistemological shift; provide a representation rich environment and opportunities for students to negotiate, integrate, refine and translate across representations; make explicit to students the role of representation in learning science; conceptualize learning in science in terms of students' induction into the representational conventions and practices of science and their capacity to coordinate these.*

Sammanfattningsvis är alltså inte enbart möjligheten till att kunna representera krafter på ett smidigt sätt en lösning, utan det går även hand i hand med krav på utformandet av undervisningen.

Ett ytterligare exempel på att förståelsen för krafter är ett förekommande problem för studenter är att de har stora problem med att rita ett klassiskt friläggningsdiagram<sup>9</sup>. Att använda friläggningsdiagram är en vanlig arbetsmetod i fysikundervisningen och i fysiklitteratur<sup>10</sup>. Idén med dessa diagram är att man på ett systematiskt sätt ska kunna rita ut de krafter, symboliserade med pilar, som verkar på ett objekt, och att via bilden kunna stödja eventuellt kommande matematiska uträkningar. Studien av Yeo, Shelley, Zadnik och Marjan visar att elever p.g.a. sina tidigare nämnda brister i förståelse för krafter inte lyckas väl i att konstruera dessa diagram, som syftar till att vara enkla och grundläggande.

Användandet av friläggningsdiagram som alternativ representationsform är som ovan påpekats vanligt. Studier visar på att det finns ett samband mellan korrekt gjorda friläggningsdiagram och korrekta lösningar<sup>11</sup>. Ytterligare studier visar även vid utmanande uppgifter och spontant användande att "*Students that use free-body diagrams correctly significantly outperform those who do not*"<sup>12</sup>. Däremot är resultaten inte lika tydliga vid enklare uppgifter. Kohl, Rosengrant och Finkelstein tror att just detta beror på att många elever inte ser samma tydliga behov av att använda dessa diagram utan istället använder ett annat, för dem enklare, arbetssätt. Noterbart är att samma studie även visar på att endast delvis korrekta diagram inte gav någon högre sannolikhet för att få rätt svar jämfört med att inte använda diagram alls.

Som den ovan nämnda studien visade så har användandet av korrekta friläggningsdiagram visat sig ha ett positivt samband med den rätta lösningen, om friläggningsdiagramet används spontant av eleverna. Det är dock värt att nämna det ytterligare fallet med påtvingandet av friläggningsdiagram. Med påtvingande av friläggningsdiagram menas exempelvis prov som har som deluppgift att göra ett friläggningsdiagram och som senare bygger vidare på just detta moment för att lösa en större uppgift. Man kan lätt förhast sig och tro att påtvinga elever att använda friläggningsdiagram också borde resultera i ett

<sup>8</sup>Hubber, Tytler och Haslam, 2010, s. 26.

<sup>9</sup>Yeo m. fl., 2000.

<sup>10</sup>Heckler, 2010.

<sup>11</sup>Heuvelen, 1991; Kohl, Rosengrant och Finkelstein, 2007; Rosengrant, Heuvelen och Etkina, 2004.

<sup>12</sup>Kohl, Rosengrant och Finkelstein, 2007.

bättre resultat för eleverna. Heckler<sup>13</sup> sammanfattar några av anledningarna till varför man kan tro just detta. För det första, lyckade ritade kraftdiagram är sammankopplade med rätt lösning. För det andra, användandet av diagram förbättrar elevers problemlösningsförmåga. Och för det tredje och sista, att elever rita diagram kan ses som ett litet steg i en process som är en del av en generell problemlösningsmetod. Däremot menar Heckler även att påtvingandet av frilägningsdiagram kan ha följande negativa effekter. För det första, eleverna får inte använda sin intuition och vardagliga föreställning samt egna resonemang för att lösa specifika uppgifter. För det andra, vid påtvingandet av frilägningsdiagram, ett arbetssätt som eleverna kanske inte är vana vid, kan just denna ovana ge felaktigheter i användandet av metoden. För det tredje, eleverna kan få svårt att se målet i uppgiften. Elever kan se själva frilägningsdiagramet som en extra deluppgift, och ett måste för att få bra betyg, och därmed missa poängen med att diagrammet endast är till för att underlätta deras beräkningar och resonemang.

Hecklers studie visar på att lösningsmetoder, med påtvingande av frilägningsdiagram, gav ett märkbart sämre resultat än då frilägningsdiagram inte var påtvingade. Detta kan vara förvånande, vilket även Heckler tyckte, eftersom användandet av frilägningsdiagram idag är ett standardsätt för att lösa problem inom fysiken. Däremot menar inte Heckler att denna generella problemlösningsmetod är dålig, utan syftar snarare på att vid det tillfälle när man undervisar om en generell metod, måste man vara medveten om och ta hänsyn till, att elever redan kan ha sina egna metoder och att "an approach acknowledging developmental stages in formal problem-solving may be more effective"<sup>14</sup> i avseendet att lära.

### 1.3 Simulatorer

Simulatorer är något som de flesta människor har stött på och säkert har en tydlig bild av vad det är. Dock finns det många olika typer av simulatorer, allt ifrån spelsimulatorer till partikelsimulatorer. Under denna sektion kommer begreppet simulator att beskrivas för att ge en tydlig bild av vad just en simulator gör och har för ändamål, samt hur den på olika sätt kan användas. Detta för att kunna tydliggöra vilken typ av simulator som ska skapas för att passa området kraft och undervisning.

Enligt Nationalencyklopedin är en simulator en; *"apparat eller anläggning som helt eller delvis efterliknar komplicerade händelseförlopp och maskiner i samspel med människor."* Simulatorer syftar alltså till att modellera verkligheten i någon grad i samspel med människor.

Forss<sup>15</sup> menar på att det finns flera olika sätt att definiera datorbaserad simulering på. Ett av dessa sätt är att utgå från vad simulatorerna gör och Forss väljer att dela in detta i två kategorier. Den ena kategorin simulerar konceptuella

---

<sup>13</sup>Heckler, 2010, s. 1830.

<sup>14</sup>Ibid., s. 1848.

<sup>15</sup>Forss, 2010.



modeller, dvs att simuleringen påvisar principer, koncept och fakta, och den andra är baserad på operationella modeller, dvs som syftar till att ge kunskap om proceduren (mer om hur man gör saker än om vad begreppet innebär). Simulatorens som skapas i detta examensarbete fokuserar på att beskriva krafter och deras påverkan, och faller då med andra ord in under den konceptuella kategorin.

Enligt Bernhard<sup>16</sup> kan datorstödd undervisning användas som antingen ett tekniskt verktyg eller som ett kognitivt verktyg. Denna distinktion menar Bernhard är av stor vikt, ty det tekniska verktyget verkar endast ge små eller till och med negativa effekter på lärandet, medan det kognitiva verktyget observerats ge stora positiva effekter. Viktigt är alltså att poängtera att simulatorens i sig självt inte garanterar att ge studenten någon djupare förståelse utan att den måste kompletteras med exempelvis en beskrivning eller lärare, dvs. att ”*animationer behöver narrationer*“<sup>17</sup>.

De modeller som används i simulatorer måste vara utformade på ett speciellt sätt om de ska användas i undervisning. Modellerna har som primärt syfte att vara demonstrativa och att lägga fokus på att förklara just ett visst moment, och att göra detta på ett effektivt sätt. Många av dessa modeller är även baserade på att eleven själv ska observera och förstå saker på egen hand. Därför underlättar det enligt Stoffa<sup>18</sup> att modellen är väldigt ”ren”, dvs. utan massa onödiga objekt eller komponenter. Simulerande modeller är enligt Stoffa en viktig del och Stoffa ställer vissa specifika krav på hur man ska kunna utforma just en sådan modell. Den simulerande modellen ska enligt Stoffa<sup>19</sup> bistå eleven med: *rapid understanding of systems function and different statuses of the modelled system (consequently also the real system); examination of the external inputs’ impact on the system; specification of system’s elements and setting their parameters; determining relationships between its elements, and so gain assumptions for optimal configuration of wanted properties of the system (prognosis); rapid understanding and interpretation of experimental results. The reconstruction of particular situations in modeled system is subsequently quite simple.*

## 1.4 Förståelsen för begreppet kraft

Även Minstrell<sup>20</sup> visar att elever har svårt att förstå krafters påverkan på ett statistiskt objekt. Vid Minstrells studie om ”en bok i vila“ använde sig eleverna ofta av luft och/eller lufttryck för att förklara situationen. ”*If the air was taken away, the book might drift off*”<sup>21</sup>. Minstrell sammanfattar de förklaringar som användes, vid vilotillståndet av ett objekt, med de fyra följande bilderna, se figur 1.1:

---

<sup>16</sup>Bernhard, 2000.

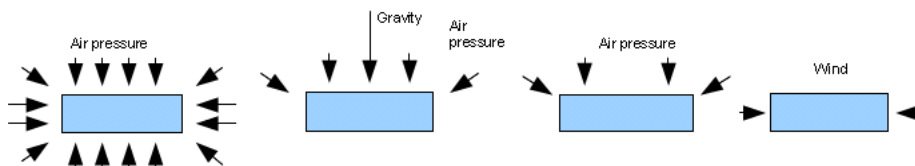
<sup>17</sup>Forss, 2010, s. 14.

<sup>18</sup>Stoffa, 2004, s. 55.

<sup>19</sup>Ibid., s. 55.

<sup>20</sup>Minstrell, 1982.

<sup>21</sup>Ibid., s. 10.



Figur 1.1: Fyra förklaringar på ett objekt i vila, efter Minstrell, 1982

Tydligt är att det finns flera olika idéer om hur situationen kan beskrivas och detta tyder på att det råder viss osäkerhet om begreppet kraft.

Chaiklin och Roth<sup>22</sup> påpekar, likväl som Minstrell, att det finns svårigheter i att förstå krafter. Chaiklin använder följande exempel för att beskriva svårigheten<sup>23</sup>: “Imagine that we ask a student: ‘When a block is sliding down a incline, is there any friction?’ Students often say. ‘Yes, there is friction because the block is moving and in contact with the incline.’ We then ask: ‘If the block is stopped on the incline, is there any friction?’ A typical response is, ‘No, because the block isn’t moving.’ Finally we ask, ‘Would it be easy to push the block uphill?’ and students often respond, ‘Well, if I tried to push that block uphill I would have to overcome gravity and friction, so I guess it would be hard.’”

I detta exempel menar Chaiklin och Roth att två olika begrepp av friktion används. En fungerar som en regel, om två objekt är i kontakt och rör på sig relativt varandra finns det friktion. Den andra är baserad på föreställandet av själva knuffen på objektet.

Dessa alternativa former av begreppet, i detta exempel friktionen, illustrerar viktiga egenskaper för eleverns representationen av de faktorer och kontexter som är relevanta vid förståelse, nämligen<sup>24</sup>: *Novices often have more than one interpretation of a given physical-science concept; The format of these alternative representations may differ, including verbal description, equation, or sensory-motor representation; Conceptual knowledge may be in the form of declarative facts, procedural rules, or schematic relations; The information contained in each conceptual representation may differ. That is, if different interpretations of the same concept are applied to the same problem, then different answers are sometimes produced; The condition under which each concept is invoked may differ.*

## 1.5 Konkretisering av problemet

Det är alltså tydligt att elever har svårigheter inom det fysikaliska området krafter. Saknaden av förståelse för kraften i sig och dess påverkan på objekt är påtaglig och kan hindra eleverna från att förstå och kunna använda de arbetsme-

<sup>22</sup>Roth och Chaiklin, 1987.

<sup>23</sup>Ibid., s. 5.

<sup>24</sup>Ibid., s. 7.

toder som vanligtvis används inom fysiken. En av de vanligaste arbetsmetoderna, användandet av friläggningsdiagram, har visat sig vara svåra för eleverna att hantera.

Utifrån detta är syftet med detta examensarbete att försöka skapa ett digitalt hjälpmedel, med målanvändaren elev, och som ett stöd för lärarna, inom just området krafter, där friläggningsdiagram kan ritas upp och där simulering av egna modeller kan ske. Frågor som sökts svar på i detta examensarbete är:

1. Vad kan en simulator ha för roll i utbildningssammanhang inom området friläggningsdiagram och krafter?
2. Hur bör ett digitalt medium, i form av en simulator, användas i en undervisningssituation om krafter och friläggningsdiagram?
3. Hur kan ett digitalt medium utformas för att främja undervisningen av krafter och friläggningsdiagram?

## 1.6 Simuleringsmodeller för undervisning

*"Alla lektioner är lika, man sitter och lyssnar och skriver."*<sup>25</sup> Detta citat beskriver det resultat skolinspektionen kommit fram till i deras senaste rapport. Eleverna eftersträvar mer varierat arbete och tror själva att de skulle lära sig mer om detta skulle tillämpas. Rapporten visar även på att det finns lärare som använder datorer i undervisningen, då främst de presentationsprogram som finns samt att de använder datorer som hjälpmedel för att visa filmsekvenser och animationer. Dock eftersträvar många lärare en ökande användning av visuella och auditiva lärmaterial eftersom dagens eleverna har en stor medievana.

I en studie av Wells, publicerad av hans medarbetare Hestener och Swackhamer<sup>26</sup>, kan man läsa följande: *"Students are actively engaged in understanding the physical world by constructing and using scientific models to describe, explain, predict, and to control physical phenomena."*

Denna studie menar att man ska bygga upp fysikundervisningen kring ett fåtal grundläggande modeller för att beskriva de grundläggande mönster som finns inom fysiken. Wells menar att huvudanledningen till detta arbetssätt är att det ger eleverna en mer *"coherent, flexible and systematic understanding of physics."*<sup>27</sup> Utifrån dessa modeller kan man naturligtvis forma mer komplexa och avancerade exempel om så önskas.

Stoffa sammanfattar även varför en simulerande modell ska implementeras i undervisningen<sup>28</sup>; *contribution to student motivation; the lesson is more demonstrative; the model includes a lot of information about the modeled object in a concentrated form and it is a suitable form for presentation within didactic or other programs. They contribute to a higher level of the student's knowledge,*

<sup>25</sup>Skolinspektionen, 2010, s. 16.

<sup>26</sup>Wells, Hestenes och Swackhamer, 1995, s. 1.

<sup>27</sup>Ibid., s. 4.

<sup>28</sup>Stoffa, 2004, s. 57.

*support student's activity (interaction), support student creativity, enable realization of animation-simulation experiments (which are controllable), increases the effectiveness of the education.*

## 1.7 Utformning av ett digitalt medium

Var ska man placera alla knappar, vilka färger ska man använda? Hur gör man ett pedagogiskt program som stimulerar och ger goda möjligheter för eleverna att lära sig?

Många har försökt bena upp de delar som är viktiga för att lyckas med ett bra digitalt läromedel<sup>29</sup>. Ord så som motiverande, interaktivt och relevant ansågs centrala, men enligt Stemler är dessa inte tillräckligt beskrivande för personer som undervisar. Stemler menar att det finns mer tillfredsställande teorier och använder istället Gagnés nio steg för inläring<sup>30</sup>: *Fånga uppmärksamheten; Informera den lärande om målet och aktivera motivationen; Simulera återkoppling till tidigare lärdomar; Presentera det stimulerande materialet; Tillhandahåll vägledande utbildningsmöjligheter; Framkalla prestationer; Ge feedback; Utvärdera prestationer; Förbättra möjligheten till kvarhållande av kunskap och själva kunskapsöverföringen.*

Den visuella designen motsvarar i Gagnés modell steg ett, dvs. att fånga uppmärksamheten. Tanken är att detta steg ska förbereda eleven för det återkopplande steget samt det lärande steget enligt Taylor<sup>31</sup>. Taylor menar att en designer av digital media måste vara medveten om att de även måste arbeta för att få, hålla, kontrollera och direkt styra elevens uppmärksamhet. Följande punkter är viktiga att tänka på i utformandet av det visuella: *Det visuella ska vara så rent som möjligt eftersom presentation av för mycket information har en tendens att vara förvirrande och reducerar inlärningsförmågan<sup>32</sup>; Endast ett typsnitt ska användas om inte speciella saker ska markeras<sup>33</sup>; San-serif typsnitt fungerar bättre i datormiljö än serif typsnitt<sup>34</sup>; Programmet ska vara konstant, visuella områdens placering ska endast varieras lite under gång<sup>35</sup>.*

Följande är viktigt att tänka på med avseende på färger: *Använd ett konsistent färgschema genom en hel presentation<sup>36</sup>; Använd en mjuk bakgrundsfärg då ögonen blir trötta av starka färger<sup>37</sup>; Använd alltid mörka färger mot ljus bakgrund<sup>38</sup>; Använd färger som ger hög kontrast mellan färg och bakgrund för ökad lätläsighet<sup>39</sup>; Använd inte komplementfärger (blå/orange, röd/grön, vio-*

---

<sup>29</sup>Stemler, 1997, s. 341.

<sup>30</sup>Ibid., s. 341.

<sup>31</sup>Taylor, 1992, s. 3.

<sup>32</sup>Orr, Golas och Yao, 1994; Overbaugh, 1994; Rambally och Rambally, 1987.

<sup>33</sup>Stemler, 1997.

<sup>34</sup>Ibid.

<sup>35</sup>Orr, Golas och Yao, 1994.

<sup>36</sup>McFarland, 1995.

<sup>37</sup>Ibid.

<sup>38</sup>Orr, Golas och Yao, 1994.

<sup>39</sup>Stemler, 1997, s. 348.

lett/gul). Använd inte heller starka färger så som magenta eller rosa eftersom dessa upplevs som pulserande.<sup>40</sup>

Som en viktig del i ett pedagogiskt utformat program finns det naturligtvis flera saker man ska tänka på sett ur ett navigationsperspektiv. Stemler påpekar att användare ofta blir förvirrade i komplexa interaktiva multimedia.<sup>41</sup> För att motverka detta, och göra det lättare för elever att lära sig, kan man tänka på följande: *Ha nyckelobjekt på samma position genom hela programmet då det ger självförtroende för eleven*<sup>42</sup>; *Ha en smal kontrollpanel positionerad längst ner på skärmen.*<sup>43</sup>; *Ett användbart objekt för interaktiva program är en global exitknapp som stänger ned programmet i alla lägen.*<sup>44</sup>; *Använd gärna tydliga, universella ikoner. Exempelvis; play, stop, paus*<sup>45</sup>.

I en undersökning av Ipek sammanfattar han även att förinspelat material av lärarledda instruktioner visats vara mer effektiva av följande anledningar:<sup>46</sup> *lärarna fokuserade endast på den viktigaste informationen för att förstå texten; lärarna inkluderade direkta och indirekta instruktioner; studenterna var vana vid denna typ av undervisning*

## 1.8 Programmering

Själva mjukvaran har programmerats i Java, ett objektorienterat plattformsoberoende språk. Som stöd för utvecklingen av detta projekt har verktygen Geany<sup>47</sup> och Eclipse<sup>48</sup> använts. Dessa två program är olika mjukvarutvecklande miljöer som är frekvent använda av programmerare. Ytterligare har även dokumentationsverktyget Doxygen<sup>49</sup> använts för att skapa och ge en god överblick över projektet. För ytterligare information om dessa program hänvisas till var distributörs hemsida, se referenslistan.

---

<sup>40</sup>Stemler, 1997, s. 348.

<sup>41</sup>Ibid., s. 344.

<sup>42</sup>Ibid., s. 344.

<sup>43</sup>Ibid., s. 345.

<sup>44</sup>Ibid., s. 345.

<sup>45</sup>McFarland, 1995.

<sup>46</sup>Ipek, 1995, s. 6.

<sup>47</sup>Geany 2011.

<sup>48</sup>Eclipse 2011.

<sup>49</sup>Doxygen 2011.

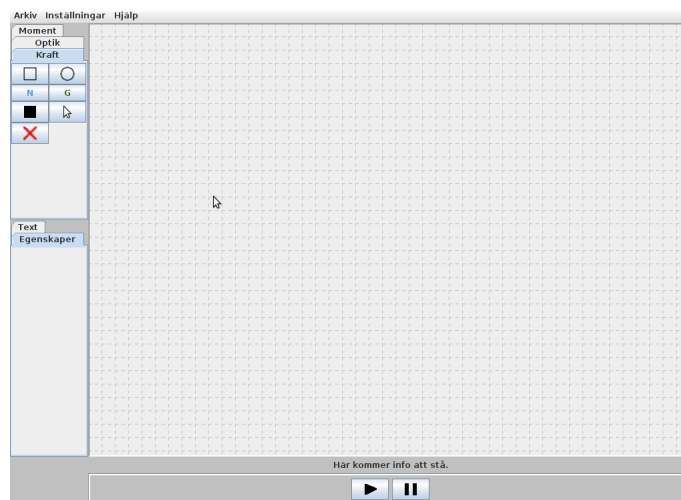
# Kapitel 2

# Resultat

I examensarbetet har alltså ett simuleringsverktyg skapats, kallat simulering för fysikundervisning (Simfu), och detta kapitlet ägnas åt att beskriva de delar programmet är uppbyggt av samt att ge två fiktiva exempel på när programmet används, för att ge dig som läsare en något tydligare bild av examensarbetets resultat.

## 2.1 Simfu

Programmet ser ut på följande sätt vid start:



Figur 2.1: Skärmdump av programmet.

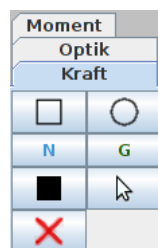
Programmet är uppdelat i olika paneler som kommer att beskrivas mer

ingående i detta avsnitt. Målet är att panelerna ska vara intuitiva, så att så få instruktioner som möjligt krävs för att komma igång.

### 2.1.1 Verktygspanel

Denna panel, figur 2.2, kallas verktygspanelen och ger användaren följande möjligheter, med start från övre vänstra hörn:

- att rita ut en fyrkant.
- att rita ut en cirkel.
- att rita ut en normalkraft.
- att rita ut en gravitationskraft.
- att rita ut ett fast objekt (ej påverkade av krafter i modellen), exempelvis en vägg eller ett bord.
- att markera ett objekt.
- att ta bort alla objekt.

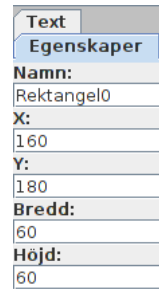


Figur 2.2: Skärmdump av programets verktygspanel.

Tanken är att denna panel ska vara anpassningsbar och formas av vilket område inom fysiken man är intresserad av, dvs. att urvalet av knappar ändras beroende på fysikaliskt område. Andra exempel på områden är, så som figur 2.2 visar, optik och moment. Dock är dessa områden ännu inte utvecklade inom själva programmet utan ska ses som en eventuell utvecklingsmöjlighet.

### 2.1.2 Egenskap och textpanelen

Denna panel, figur 2.3, ger användaren information om det objektet som markerats, exempelvis namn och position. Denna panel kan visa en textruta, tänkt för kunna ge instruktioner eller förklaringar till modellen som ritats upp.



Figur 2.3: Skärmdump av programmets egenskap-panel.

### 2.1.3 Kontrollpanelen

Denna panel, figur 2.4, ger användaren möjlighet att starta eller pausa animationen.



Figur 2.4: Skärmdump av programmets kontrollpanel.

### 2.1.4 Informationspanelen

Denna panel, figur 2.5, ger användaren tips om hur verktygen i verktygspanelen, se 2.2, används.

Klicka med musen vart du vill sätta ut din fyrkant.

Figur 2.5: Skärmdump av programmets informationspanel.

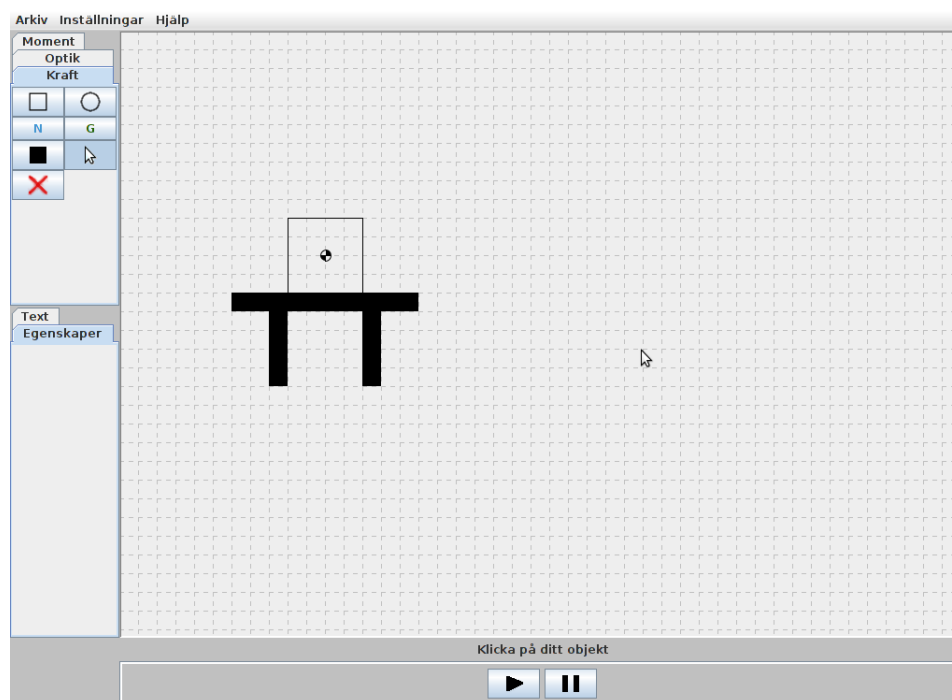


## 2.2 Användningsområde

För att ge en tydligare bild av själva mjukvaran och dess tänkta användningsområde kommer några fiktiva exempel att ges. Förhoppningsvis ger detta en bättre förståelse för programmet, trots att det, ironiskt nog, visualiseras i stillbilder. Värt att poängtera är att dessa fiktiva exempels syfte är att demonstrera programmets finesser snarare än att visa på en verklig klassrumssituation.

### 2.2.1 En låda på ett bord

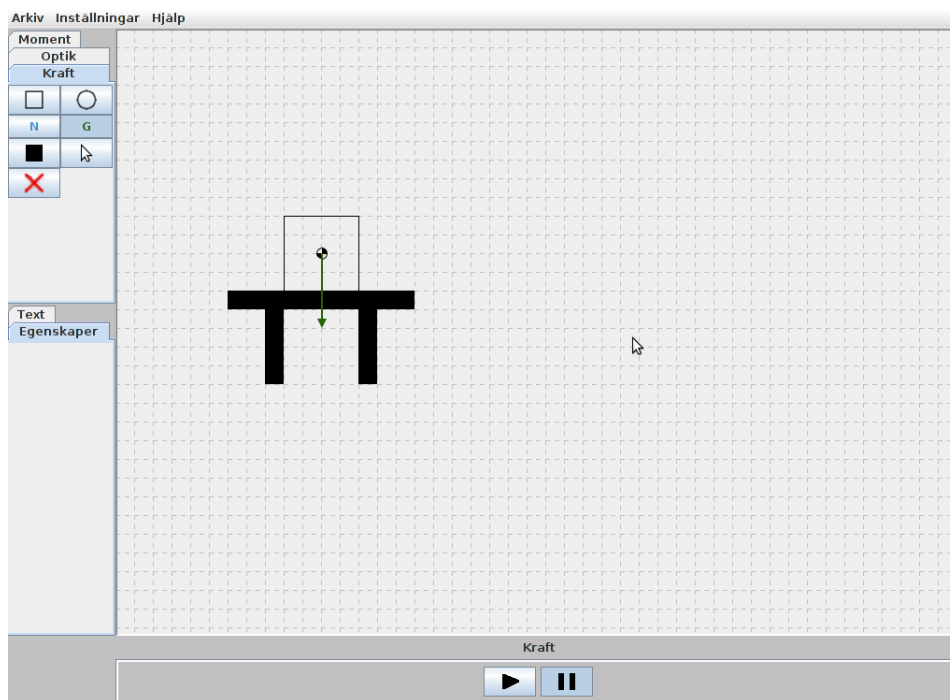
I det första exemplet som visas är tanken att en elev vill identifiera de krafter som verkar på en kropp i vila. Värt att notera är att eleven då inte ska tvingas till detta utan att det ska ske självmant, se avsnitt 1.2 om friläggningsdiagram. I detta fall är det en låda som är placerad på ett bord. Det första scenariot skulle då se ut enligt följande där den centrerade cirkeln i lådan symboliserar tyngdpunkten.



Figur 2.6: Ursprungssekvensen, en låda ligger på ett bord.

Eleven har sedan möjligheten att rita ut de gravitationskrafter och/eller normalkrafter som denne tror verkar i modellen. Skulle eleven välja att inte rita ut några krafter och eleven sedan trycker på play-knappen så kommer programmet

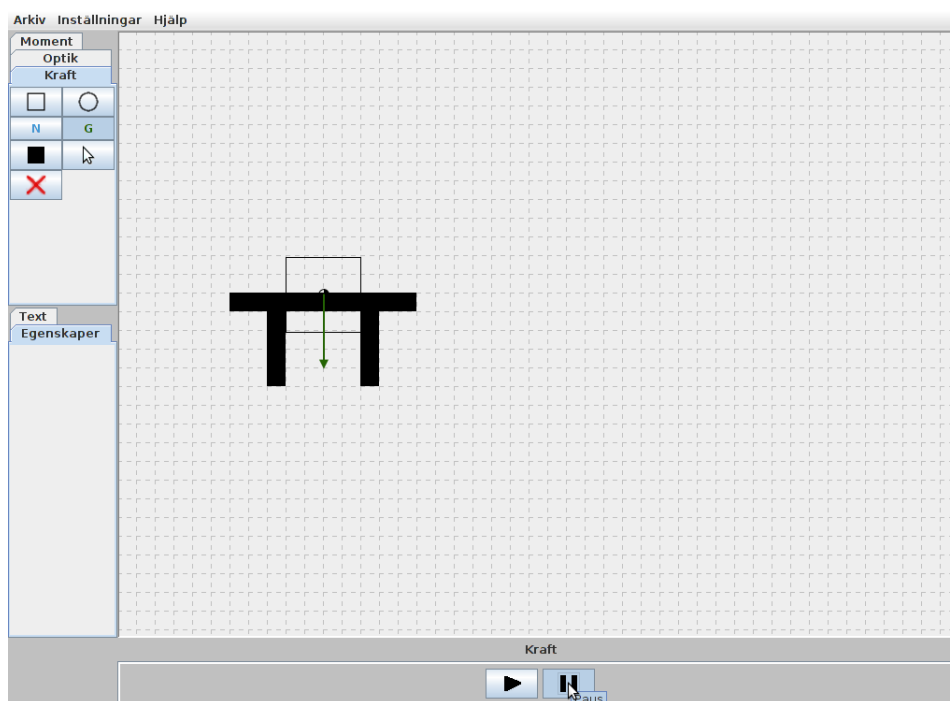
påpeka att det saknas krafter. Det är alltså inte möjligt att simulera modellen utan att minst en kraft, nämligen gravitationskraften, finns med. Nästa sekvens blir då förslagsvis att eleven väljer att rita ut en gravitationskraft, säg i lodrät riktning med storleken motsvarande fyra rutor.



Figur 2.7: Eleven har ritat ut en gravitationskraft.

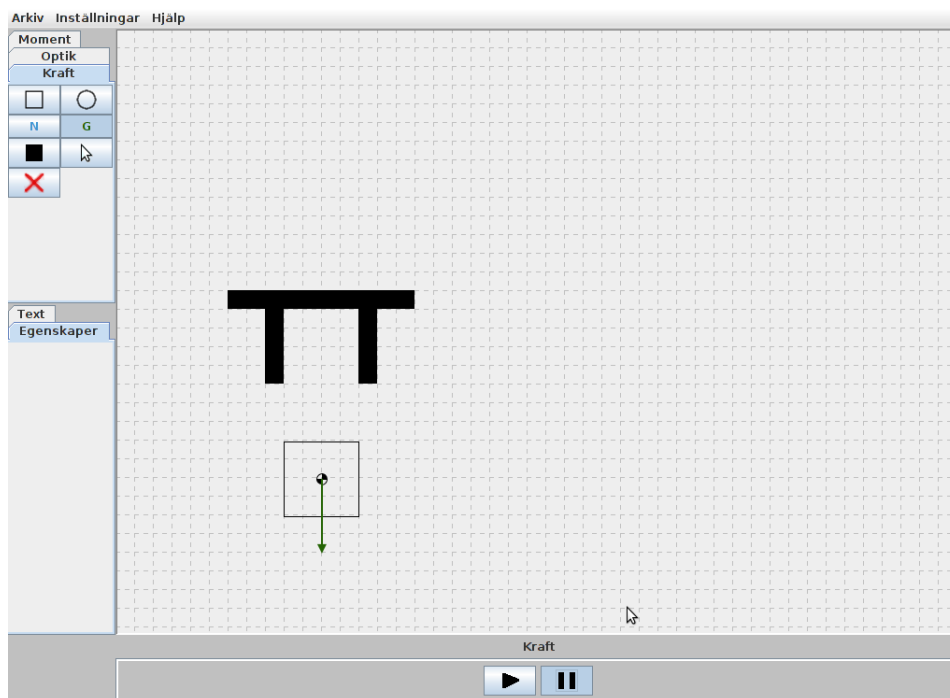
Gravitationskraften, den gröna pilen i 2.7, ritas ut genom att eleven väljer verktyget "G" i verktygspanelen (överst till vänster). Genom att sedan trycka ned musen på önskad position väljs kraftens angreppspunkt. I detta fall har masscentrum valts. Sedan drar eleven musen tills man fått önskad storlek och riktning på kraften, i detta fall alltså fyra rutor i lodrätt riktning.

I detta exempel känner sig sedan eleven nöjd och väljer att trycka på play-knappen. Resultatet kan ses i följande bild:



Figur 2.8: Eleven har valt att animera med endast gravitationskraften utritad.

Eftersom eleven i sin modell inte ritat ut normalkraften betraktar alltså simulatören detta som att den enda kraften som verkar på objektet är just gravitationskraften. Detta resulterar i att vår låda åker igenom bordet. Sekvensen försätter sedan enligt figur 2.9.



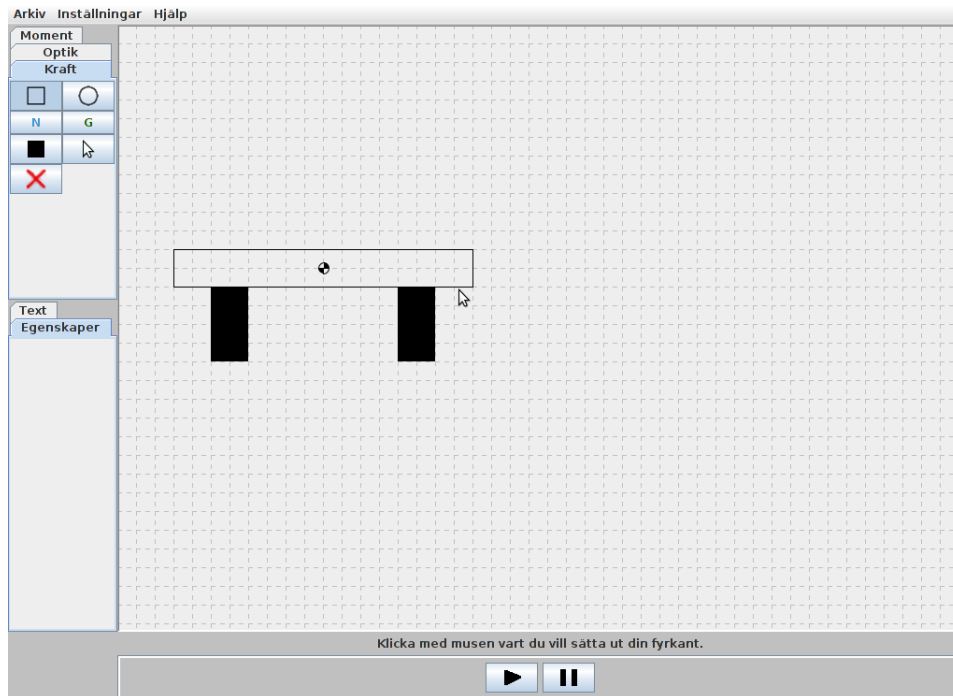
Figur 2.9: Lådan fortsätter att åka enligt elevens modell.

Eftersom accelerationen är konstant så får lådan en högre och högre hastighet ju längre tiden går.

Tanken med detta exempel (dock inte själva uppgiften som sådan) är alltså att eleven själv ska kunna se vad det innebär att normalkraften inte har satts ut. Uppgiften är för eleven, på ett förhoppningsvis tydligt sätt, inte löst då målet var att lådan skulle befinna sig i vila.

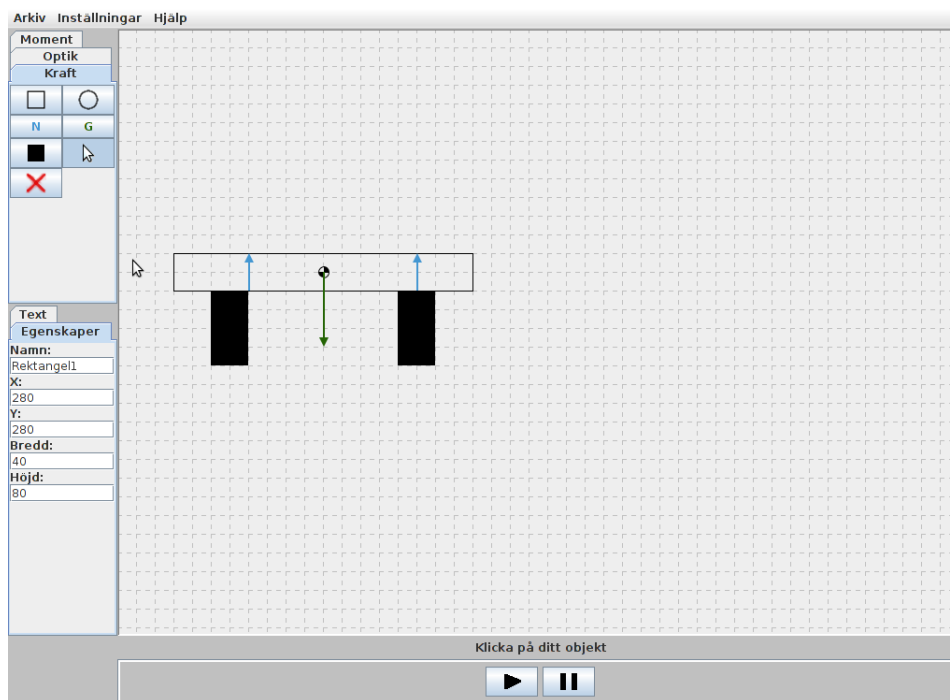
## 2.2.2 En planka på två stödben

I detta exempel kommer normalkraften att stå i centrum. Som i exemplet ovan handlar uppgiften om att identifiera de krafter som verkar på ett objekt som befinner sig i vila. I detta fall är objektet en planka som ligger på två stycken stödben. Se figur 2.10.



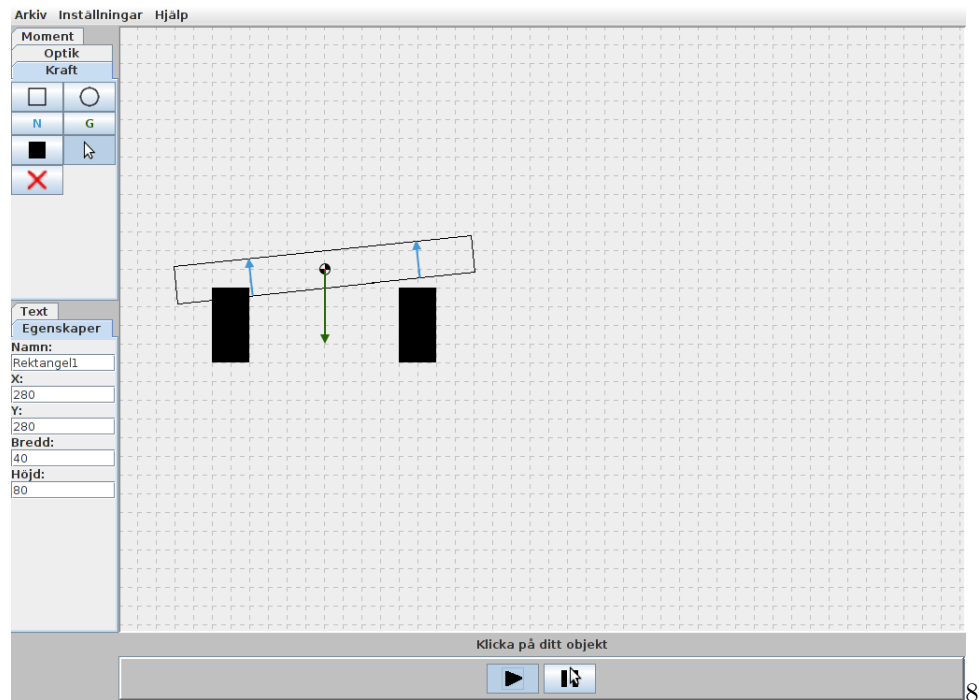
Figur 2.10: En planka på två stödben.

Nästa steg i exemplet är att eleven ritat ut de normalkrafter och en gravitationskraft som denne tror finns i modellen, figur 2.11. För att tydliggöra för läsaren: eleven har *inte* satt ut den vänstra normalkraften på samma avstånd från masscentrum som den högra.



Figur 2.11: Eleven har ritat ut gravitationskraften och två normalkrafter i modellen.

Eleven känner sig nöjd efter detta och väljer sedan att trycka på play-knappen. Resultatet ses i figur 2.12.



Figur 2.12: Plankan har fått ett vridmoment.

Eftersom avstånden mellan de olika normalkrafterna inte är lika, så skapas ett vridmoment. Förhoppningen är att själva rotationen av plankan ger eleverna insikt i att något är fel och att de reflekterar ytterligare över problemet och därefter ändrar i sin modell.

## 2.3 Begränsningar i Simfu

Programmet i sig är byggt med vissa begränsningar i hur mycket "fel" användaren kan göra. Dessa begränsningar är satta för att underlätta i programmeringsdelen. De begränsningar som finns är enligt följande:

- Användaren måste sätta ut minst *en* kraft för att kunna animera.
- Användaren måste sätta ut en gravitationskraft i *varje* ickesolitt objekts masscentrum för att kunna animera.
- Användaren får endast sätta ut *en* gravitationskraft per objekt.

- Användaren måste sätta ut normalkraften *mellan* två objekt.



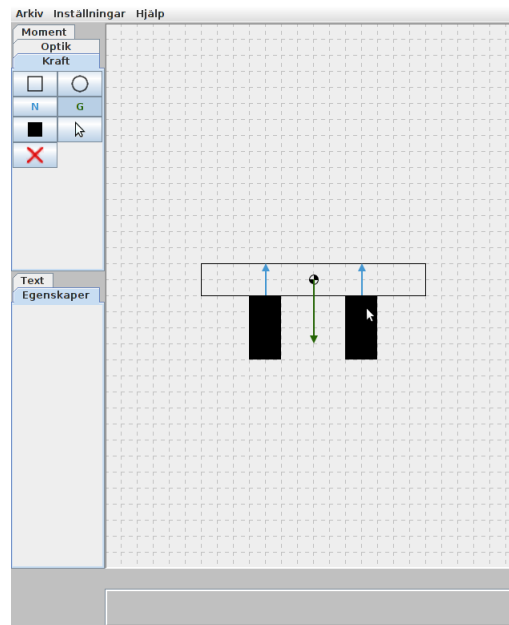
## Kapitel 3

# Diskussion

Om man tittar på den ”färdiga” produkten så är det en hel del moment, som under teoridelen berörts, men som själva programmet inte inkluderar. Kontentan av detta är att programmet i nuvarande version egentligen inte är en helt färdig produkt. Istället ska man se på detta arbete som ett utkast, eller en prototyp, över hur ett program av denna karaktär kan utformas.

Som nämnts under rubriken 1.2 visar studier på att elever har svårt att göra korrekta friläggningsdiagram. Målet med Simfu var att underlätta för eleverna inom detta moment i och med att eleverna själva får sätta ut de krafter de tror verkar på ett objekt. Eleverna får sedan på ett snabbt sätt se hur krafterna påverkar objekten, vilket jag tror gör det lättare för eleverna att lära sig rita dessa diagram.

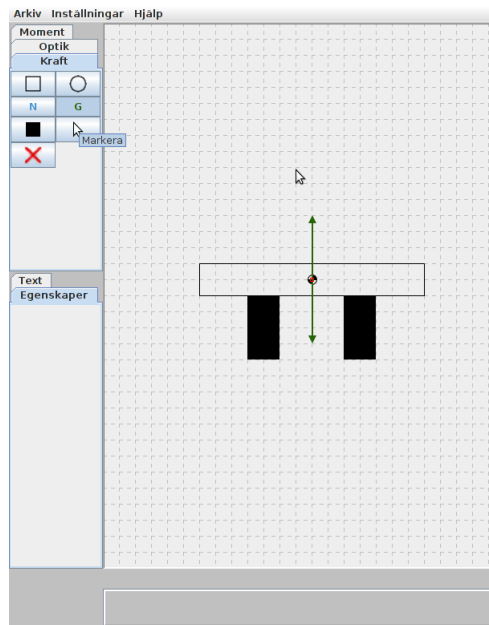
De begränsningar som gjorts i programmet har ur ett programmeringsperspektiv underlättat för själva arbetet avsevärt. Det har dock även funnits andra perspektiv som lett till att dessa begränsningar gjorts. Som du som läsare kanske reflekterat över, så är de krafter som är implementerade i programmet uppdelade i två grupper, normalkraft och gravitationskraft. Till en början hade jag som avsikt att inte skilja dessa krafter från varandra utan samla dem under en ”kraftknapp” och att användaren fick namnge dessa krafter till det man själv vill, exempelvis N eller G. Det skulle med andra ord inte finnas några begränsningar i hur man kunde rita sina modeller. Dock insåg jag att detta i slutändan rent ut sagt kunde bli konstigt. Låt mig illustrera detta med samma fiktiva exempel som användes för att visa på momentet i föregående kapitel, se avsnitt 2.2.2. Det första scenariot, se figur 3.1, känns förhoppningsvis inte alltför främmande och simulatorn kommer vid animering inte att flytta på plankan, ty den är i vila.



Figur 3.1: Ett scenario av en kropp i vila

Ett ytterligare scenario för simulatören utan begränsningar skulle kunna se ut som i figur 3.2, se nästa sida:

Denna bild skulle också simuleras som att plankan var i vila men man skulle ur ett fysikaliskt perspektiv kunna ifrågasätta vad den egentligen betyder. Poängen med detta exempel är att just de begränsningar som är satta i programmet är satta med målet att användaren inte enbart ska försöka få animationen att stå still, utan att användaren faktiskt ska identifiera de olika krafter som verkar, precis som tanken är med ett friläggningsdiagram. Dock finns det alltid en risk med att programmet själv ställer krav på användaren, exempelvis att gravitationen måste ha masscentrum som angreppspunkt. För mig har det varit svårt att balansera mellan att konstruera ett program som ger eleven ett facit, dvs. att eleven ges möjlighet till att bara prova sig fram tills programmet ger tummen upp, och risken att eleven inte får ut något av programmet alls. Som ytterligare exempel på detta vänder jag mig återigen till exemplet som visade på programmets momentfunktion, avsnitt 2.2.2. Som tydliggjordes för dig läsare så var avståndet mellan de två skilda normalkrafterna och masscentrum inte detsamma, vilket gav upphov till det momentet som skulle visas. Man skulle kunna säga att den vänstra normalkraften inte är rätt placerad. Det är dock värt att notera att om den högra normalkraften också hade varit missplacerad med samma fel, dvs. närmare masscentrum, så hade animationen även då visat på ett objekt i vila. Exempel på en lösning på detta problem är att programmet skulle kunna ha som krav att normalkraften måste



Figur 3.2: Ett ytterligare scenario av en kropp i vila

sätts ut i mitten på kontaktytan mellan de två angränsande objekten. Dock försvinner då helt möjligheten för användaren att kunna rita ut delar av den totala normalkraften. Kanske styr man till och med bort eleven från att förstå att normalkraften egentligen är en summa av mindre krafter, som verkar mellan hela kontaktytan. Istället blev min slutliga åsikt att just detta är något som man kan lämna till den diskussion som förhoppningsvis råder då ett exempel som detta kommer upp. Tanken är alltså att lärare och elever runt detta program ska kunna diskutera och resonera, och naturligtvis animera, för att få ett vidare perspektiv på hur krafter fungerar. Poängen är, som påpekats så många gånger tidigare, att detta program ska finnas som underlag för diskussioner, i enhet med den undervisningsmetodik som teoridelen har gjort anpråk på.

Annat som varit svårt att göra i ett projekt som detta är själva animeringen. Då inte ur ett programmeringsperspektiv, utan snarare från ett fysikaliskt perspektiv. För mig tog det faktiskt ett tag att själv inse att ett objekt som ligger på ett bord utan normalkraft kommer att åka igenom bordet. Det blev helt enkelt så överkligt att göra felet. Vid exemplet med moment, 2.2.2, påvisas ett ytterligare exempel på att det har varit svårt att animera. Tittar man momentant på bilden där plankan har vridits, så synes att normalkraften helt plötsligt inte verkar mellan två objekt. Normalkraften som satts ut finns egentligen inte kvar, den försvinner i det ögonblick då kontakten bryts. Däremot har dock denna kraft bidragit till ett moment, som då kan tänkas representeras av dessa kvarvarande normalkrafter. Egentligen kan man tycka att dessa krafter borde

ersättas av något bildligt moment, men detta har alltså inte gjorts.

Eftersom denna programvara först och främst endast bör ses som en prototyp, av ovan nämnda anledningar, och att programmet inte provats i en klassrumssituation gör att det säkerligen finns massvis med saker att vidareutveckla. Dock är det ett fåtal saker som är värda att nämna redan i detta stadium.

- Programmet saknar möjlighet att rita ut yttre krafter, exempelvis visualiseringen av en knuff.
- Programmet borde ge möjlighet till att gradera rutnätet.
- Programmet borde ha möjlighet att spara det som ritats ut.

Dessa små finesser skulle, enligt mig, bidra till en smidigare användning och ett bredare användningsområde för programmet. Gradering på rutnätet är en funktionalitet som är av stor vikt. Storleken på kraftpilarna är nu relativa varandra vilket kan vara förvirrande för vissa. Möjligheten att spara modeller är också något som säkerligen är mycket användbart och skulle exempelvis ge lärare möjlighet att förbereda experiment innan lektioner börjar.

Det finns även många viktigt fördelar av att använda sig av ljud, som Nugent<sup>1</sup> och Kensworthy<sup>2</sup> påpekar. Detta är något man borde beakta och definitivt något som borde finnas med i en vidareutvecklad version av denna typ av mjukvara. Detta kan ge möjlighet för eleverna att kunna pausa och repetera ljudet. Om man har en förklarande text till experimentet kan sämre läsare gå igenom en text flera gånger för att få förståelse eller för att de inte känner igen ett ord.

Eftersom programmet inte har prövats av elever, något som vore av stort intresse, är det även relevant att just diskutera, eller kanske främst lyfta fram, programmet i relation till Gagnés nio steg, se avsnitt 1.7. Dvs. lyckas programvaran skapa det intresse som Gagnés menar är så viktigt för att lyckas med att vara ett bra digitalt läromedel? Att mjukvaran ska användas som kognitivt verktyg är ju endast ett perspektiv på programmet i en undervisningssammanhang, vilket som tidigare nämnts ställer krav på undervisningssituationen. Ett annat perspektiv är hur väl mjukvaran i sig lyckas stimulera eleven till att utforska det berörda området, dvs uppfyller mjukvaran de kraven som ställs enligt Gagné. Hur reagerar eleven till den feedback som mjukvaran ger? Ger det upphov till ett sug av att vidare utforska området eller avsväljar intresset direkt? Alla dessa frågor är av hög relevans att studera om man väljer att använda detta simuleringsverktyg i undervisningen. Detta för att vidare få feedback om hur och vad programmet i sig behöver förbättra. Exempel på potentiella möjligheter till att exempelvis ge feedback är den textruta som är inlagd i programmet, en annan är ljud, som ännu inte är implementerat. Hur ska man använda dessa på ett effektivt sätt för att de ska ge eleven stimulans och möjlighet att få en djupare förståelse och ett djupare intresse för området? Dessa frågor måste, enligt mig bearbetas och undersökas innan man väljer att implementera ett

---

<sup>1</sup>Nugent, 1982.

<sup>2</sup>Kensworthy, 1993.

program av denna karaktär i undervisningen så att eleven påverkas positivt av just användandet av simulatoren. Målet är ju att hjälpa, inte stjälpa, eleven.

Som tidigare påpekats är alltså detta program inte tänkt att användas vid självstudier utan tanken är att detta program ska vara ett hjälpmedel i en undervisningssituation för att på ett smidigt sätt kunna representera och om-representera. Programmet ska kunna användas som en grund för de diskussioner som kan uppstå i klassrummet och kunna ge en möjlighet för eleverna att utveckla sina modeller och när som helst kunna välja att se hur dessa modeller skulle bete sig i ”verkligheten“, just genom simulering. Som tidigare studier visat, se 1.2, så är förståelsen för begreppet kraft fundamentalt sett ett representativt problem. Genom att använda ett program av denna karaktär, där just representation och om-representation står i fokus, tror jag att eleverna kommer få en djupare förståelse för begreppet kraft. Utöver detta tror jag även att lärarna kommer få ytterligare förståelse för hur eleverna egentligen förstår begreppet kraft och genom denna nyvunna kunskap kunna ge bättre möjligheter för att skapa en bra undervisningssituation. Dock är det viktigt att poängtera att klassrumsmiljön även måste ge möjligheter, och även uppmåna, till just representation för att ge bästa möjliga förutsättningar för ett program av denna karaktär. För att komma vidare ytterligare tror jag att det är av stort vikt att undersöka själva användandet av simuleringsprogrammet i en verklig situation, dvs. att man faktiskt provar ett program av denna karaktär i klassrummet, för att se exempelvis hur elevernas reaktioner är. Vill eleverna självmant använda programmet för att göra friläggningsdiagram eller måste läraren påtvinga (där påtvinga har samma betydelse som i avsnitt 1.2) eleverna att använda programmet, så som tidigare studier, se 1.2, menat på att ha en negativ påverkan på undervisningssituationen? Och kan programmet användas även vid enklare uppgifter, eller uppstår samma problematik som Kohl, Rosengrant och Finkelstein uppmärksammat, se avsnitt 1.2? Anledningen till att just friläggningsdiagram inte gav en positivt påverkan vid enklare uppgifter troddes ju bero på att eleverna hellre använde ett enklare arbetssätt. Men kan denna programvara, som just hade som syfte att förenkla arbetet med friläggningsdiagram, göra arbetssättet med friläggningsdiagram så pass enkelt så att eleverna ser detta som ett möjligt arbetssätt även i enklare exempel? Detta tror jag i sådant fall skulle vara en enorm vinst för undervisningen, då eleverna själva väljer att ha samma arbetssätt för alla uppgifter, oberoende av svårighetsgrad. Detta skulle ge en större vana av att använda friläggningsdiagram hos eleverna, vilket just Heckler<sup>3</sup> påpekade vara ett argumenten till att man inte skulle påtvinga friläggningsdiagram som arbetssätt.

För att avslutningsvis återkoppla till de frågeställningar som ställts under sektion 1.5 kan, och bör, en simulators roll i en undervisningssituation inom området friläggningsdiagram och krafter vara som ett kognitivt verktyg. Ensam kan inte en simulator garantera att ge eleverna någon djupare förståelse utan den måste kompletteras. I och med att simulatoren bör användas som ett kognitivt verktyg så kräver detta även att undervisningssituationen ger utrymme för

---

<sup>3</sup>Heckler, 2010, s. 1830.

ett kognitivt verktyg. Detta kognitiva verktyg ska alltså användas tillsammans med speciellt utformat material och i en undervisningssituation som är anpassad för detta. Viktigt att ha i åtanke är också att detta kognitiva hjälpmedel inte ska tvingas på eleven utan finnas där som ett hjälpverktyg, precis som avsnittet om friläggningsdiagram diskuterar, se 1.2. Själva utformandet av materialet och simulatoren måste sedan ta hänsyn till att det ska vara rent och tydligt, så att fokus hamnar på det som simulatoren ämnar visa. Symboler som används ska gärna vara tydliga och universella för att ge användaren en bekväm upplevelse och simulatoren ska även exempelvis kunna fånga uppmärksamhet och ge utrymme för feedback.

Sammanfattningsvis ställs det alltså krav på utformandet av simulatoren och själva undervisningen samt att det även är ett samspel dessa emellan, för att eleverna ska få bästa möjlighet till att få en djupare förståelse.

# Litteratur

- Bernhard, J. (2000). "Datorstöd i undervisning - ett tekniskt eller kognitivt verktyg?" I: *CN ITN - Hult (Red.) Undervisning och Lärande*. Linköpings Universitet.
- Doxygen* (2011). [www.doxygen.org](http://www.doxygen.org). Febr. 2011.
- Eclipse* (2011). [www.eclipse.org](http://www.eclipse.org). Febr. 2011.
- Forss, C. (2010). "Utveckling av laborationer till en datorbaserad simulator som simulerar en kokvattreaktor". Examensarb. Kungliga Tekniska Högskola och Stockholms Universitet.
- Geany* (2011). [www.geany.org](http://www.geany.org). Febr. 2011.
- Heckler, Andrew F. (2010). "Some Consequences of Prompting Novice Physics Students to Construct Force Diagrams". I: *International Journal of Science Education*, s. 1829–1851.
- Heuvelen, A. Van (1991). "Overview, case study physics". I: *American Journal of Physics*, s. 898–907.
- Hubber, Peter, Russell Tytler och Filocha Haslam (2010). "Teaching and Learning about Force with a Representational Focus: Pedagogy and Teacher Change". I: *Research in Science Education* n40, s. 5–28.
- Ipek, I. (1995). "Considerations for CBI screen design with respect to text density levels in content learning from an integrated perspective." I: *Imagery and Visual Literacy*. Selected Readings from the 261h Annual Conference of the International Visual Literacy Association.
- Kensworthy, N. (1993). "When Johnny can't read: Multimedia design strategies to accommodate poor readers." I: *Journal of Instruction Delivery Systems*.
- Kohl, Patrick B., David Rosengrant och Noah D. Finkelstein (2007). "Strongly and weakly directed approaches to teaching multiple representation use in physics". Diss. University of Colorado at Boulder och Kennesaw State University.
- Mattecoach på nätet* (2010). <http://www.mattecoach.se>. Okt. 2010.
- McFarland, R.D. (1995). "Ten design points for the human interface to instructional multimedia." I: *T.H.E. Journal* (febr. 1995).
- Minstrell, J. (1982). "Explaining the 'at rest' condition of an object". I: *The Physics Teacher*, s. 10–14.
- Nugent, G.C. (1982). "Pictures, audio, and print: Symbolic representation and effect on learning." I: *Educational Communication and Technology* v30.n3, s. 163–174.

- Orr, K.L., K.C. Golas och K. Yao (1994). "Storyboard development for interactive multimedia training". I: *Journal of Interactive Instruction Development* v6.n3, s. 18–31.
- Overbaugh, R.C. (1994). "Research based guidelines for computer based instruction development". I: *Annual Meeting of the Eastern Educational Research Association*. Boston, s. 37.
- Rambally, G.K. och R.S. Rambally (1987). "Human factors in CAI design." I: *Computers and Education* v11.n2, s. 149–153.
- Rosengrant, D., A. Van Heuvelen och E. Etkina (2004). "Physics education research conference". I: *Free-body diagrams: Necessary or sufficient?*, s. 141–158.
- Roth, Christopher och Seth Chaiklin (1987). "Emerging Consensus in Novice Physics Problem Solving Research". I: *Annual Meeting of the American Educational Research Association*, s. 20.
- Skolinspektionen (2010). *Kvalitetsgranskning: Fysik utan dragningskraft*. Rapport 2010:8.
- Skolverket (2010). *Ämnesplan Fysik: Fysik 1*. Aug. 2010.
- Stemler, Luann K. (1997). "Educational Characteristics of Multimedia: A Literature Review". I: *Educational Characteristics of Multimedia: A Literature Review* v6, s. 339–359.
- Stoffa, Veronika (2004). "Modelling and Simulation as a Recognizing Method in Education". I: *Educational Media International* v41.n1, s. 51–58.
- Taylor, C.D (1992). "Choosing a display format for instructional multimedia: Two screens vs. one." I: *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, s. 26.
- Wells, Malcolm, David Hestenes och Gregg Swackhamer (1995). "A modeling method for high school physics instruction". I: *Am. J. Phys.* v63, s. 606–619.
- Yeo m. fl. (2000). "Newton, we have a problem..." I: *Australian Science Teachers Journal* v46 (mars 2000), s. 9–13.