



CHALMERS



Learn You a Physics for Great Good

Using domain specific languages to learn physics

DAVID FRISK

namn på "depart-
t"?

Institutionen för Data- och Informationsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2018

An Informative Headline describing the Content of the Report

A Subtitle that can be Very Much Longer if Necessary

Björn Werner
Erik Sjöström
Johan Johansson
Oskar Lundström



CHALMERS

Institutionen för Data- och Informationsteknik

Division of Division name

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2018

An Informative Headline describing the Content of the Report
A Subtitle that can be Very Much Longer if Necessary
NAME FAMILYNAME

© NAME FAMILYNAME, 2018.

Supervisor: Name, Company or Department
Examiner: Name, Department

Master's Thesis 2018:NN
Department of Some Subject or Technology
Division of Division name
Name of research group (if applicable)
Chalmers University of Technology
SE-412 96 Gothenburg
Telephone +46 31 772 1000

Cover: Wind visualization constructed in Matlab showing a surface of constant wind speed along with streamlines of the flow.

Typeset in L^AT_EX
Printed by [Name of printing company]
Gothenburg, Sweden 2018

An Informative Headline describing the Content of the Report
A Subtitle that can be Very Much Longer if Necessary
NAME FAMILYNAME
Department of Some Subject or Technology
Chalmers University of Technology

Abstract

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipisicing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

Keywords: lorem, ipsum, dolor, sit, amet, consectetur, adipisicing, elit, sed, do.

Sammanfattning

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipisicing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

Keywords: lorem, ipsum, dolor, sit, amet, consectetur, adipisicing, elit, sed, do.

Acknowledgements

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipisicing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

Name Familyname, Gothenburg, Month Year

Innehåll

Figurer	xv
Tabeller	xvii
Ordlista	xix
1 Introduktion	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Projektets mål	3
1.3 Avgränsningar	4
2 Teori	5
2.1 Domänspecifika språk	5
2.2 Haskell och funktionell programmering	6
2.3 Syntaxträd och deras evaluering	6
2.4 Fysik vi behandlar och Fysik för ingenjörer	7
2.5 Hemsidan	7
2.6 Litterat programmering och Literate Haskell	7
2.7 ARCS/didaktik	9
3 Genomförande: Konstruktion av läromaterial, skapande av hemsida och utvärdering med testgrupp	11
3.1 Konstruktion av läromaterialet	11
3.1.1 Selektion av fysikaliska områden att behandla	13
3.1.1.1 Grundläggande områden	14
3.1.1.2 Komposita områden	15
3.1.2 Implementation av DSL för områdena	16
3.1.3 Skriva lärotext	17
3.2 Sammanställning, presentation, och publicering	18

3.2.1	Beskrivning	19
3.2.2	Build-script	19
3.2.3	Hemsidan	19
3.3	Test och återkoppling	20
4	Resultat: Beskrivning av det resulterande läromaterial	21
4.1	Lärotexten i sig	21
4.1.1	Domänspecifika språk	22
4.1.2	Brödtexten	23
4.2	Hemsidan	24
4.3	Källkod	24
4.4	Återkoppling från testgrupp	25
5	Diskussion	27
5.1	Tillvägagångssättet av skapandet	27
5.2	Domänspecifika språk och fysik	28
5.2.1	Vad för slags områden är DSLs lämpligt att göra för? .	28
5.2.2	Gör DSLs så att fysik blir enklare att förstå?	29
6	Slutsatser	31
7	Etik	33
	Bibliography	35
A	Bilaga λ	I

Figurer

2.1	Bild!?	6
2.2	Ett exempel på hur en källfil till litterat programmering kan se ut. Exemplet är Litterate Haskell. Rader som börjar med < markerar att det är progamkod, medan rader utan markerar att det är text för människor.	8
3.1	Översikt över hur skapandeprocessen av läromaterialet såg ut. Processen kan delas upp utefter två axlar: kapitel och fas. Varje kombination är en del som arbetats med.	12
4.1	Ett smakprov över hur det resulterande läromateriet ser ut. .	21
4.2	Exempel på bild ur läromateriet	24

Tabeller

Ordlista

DSL Förkortning av *Domain Specific Language*, engelska för domänspecifikt språk.

Grundläggande område Ett område i läromaterialet som inte bygger på något annat område. Till exempel vektorer.

Komposit område Ett område i läromaterialet som bygger på andra områden. Till exempel lutande plan, som använder sig av vektorer.

Åke Fäldt Föreläsare och examinator i kursen Fysik för ingenjörer.

Fysik för ingenjörer En fysikkurs som är obligatorisk för studenter på Datateknik civilingenjör på Chalmers. Den ges i årskurs 2 och innehåller grunderna i mekanik, termodynamik och vågrörelselära.

Univerisity Physics Den fysikbok som används i Fysik för ingenjörer.

Läromaterialet Syftar på den pedagogiska text som projektet resulterat i.

1

Introduktion

1.1 Bakgrund

På civilingenjörsprogrammet Datateknik på Chalmers ingår den obligatoriska fysikkursen *Fysik för ingenjörer*. Tentastatistiken för denna kurs är inte jättebra[1]. Vi tror att många studenter på datateknik (“datateknologer”) finner denna kurs svår eller ointressant, och att detta leder till att ungefär en tredjedel av kursdeltagarna får underkänt på tentamen.

Examinatorn för kursen “Fysik för ingenjörer, TIF085 (2016)” Åke Fäldt, tycker att studenter i allmänhet verkar ha svårt för att sätta upp egna modeller. De baserar sina mentala modeller helt eller delvis på intuition och felaktiga antaganden, istället för definitioner och bevisade satser som man är säker på gäller. Detta leder till att de tar genvägar som ofta är fel.

Detta tror projektgruppen skulle kunna lösas med avstamp från kursen “Domain Specific Languages of Mathematics” (“DSLsofMath”) eller “Matematikens domänspecifika språk” vilket är en valbar kurs på kandidatnivå för studenter på Chalmers och Göteborgs Universitet. Domänspecifika språk, kan förklaras som ett språk konstruerat för ett specifikt område, d.v.s. en domän. Språket kan användas för att enklare uttrycka uttryck inom domänen, till exempel Newtons andra lag $F = m \cdot a$, än vad som är möjligt inom generella (programmerings) språk. Exemplet ovan kan i ett domänspecifikt språk evalueras enklare m.h.a. ett syntaxträd och mönstermatchning, gentemot ett

generellt språk där exempelvis en rekursiv switch-case sats skulle kunna användas. Dock med mer overhead. För vidare läsning rekommenderas *DSL for the Uninitiated*. [2] Projektgruppen ämnar implementera domänspecifika språk för att beskriva fysik ur en alternativ vinkel.

I kursen DSLsofMath, var år 2016 var Cezar Ionescu huvudföreläsare, och från 2017 är Patrik Jansson huvudföreläsare, vilka har beskrivit avseendet med kursen genom en artikel [4]. Det direkta målet med kursen DSLsofMath är att förbättra den matematiska utbildningen för datavetare och den datavetenskapliga utbildningen för matematiker, där den grundläggande idén bakom kursen är:

“[...] att uppmuntra studenterna att närma sig matematiska domäner från ett funktionellt programmeringsperspektiv: att ge beräkningsbevis (calculational proofs); att vara uppmärksamma på syntaxen för matematiska uttryck; och, slutligen, att organisera de resulterande funktionerna och typerna i domänspecifika språk.” [3][4]

Konkret så presenterar kursen matematik så som derivator, komplexa tal och matriser ur ett funktionellt programmeringsperspektiv i det funktionella programmeringsspråket Haskell. Dessa för studenterna bekanta verktyg används för att lösa matematiska problem så som modellering av syntax, evaluering till semantiska värden och datorassisterad bevisföring.

Vi vill alltså med hjälp av domänspecifika språk som vi implementerar presentera fysik ur ett alternativt perspektiv, likt på det sättet DSLsofMath presenterar kopplingar mellan matematik och programmering.

Eller:

Studenterna hade svårt för matte \rightarrow DSLsofMath.

Studenterna har svårt för fysik \rightarrow DSLsofPhysics.

Angående tidigare forskning och studier, finns även på MIT har en kurs inte helt olik DSLsofMath tidigare givits som berör både fysik och domänspecifika språk ("DSL"). "Classical Mechanics: A Computational Approach" gavs av Prof. Gerald Sussman och Prof. Jack Wisdom bl.a. år 2008. [5] Denna kurs på avancerad nivå studerar de fundamentala principerna av klassisk mekanik med hjälp av beräkningsidéer för att precis formulera principerna av

mekanik, med början i Lagranges ekvationer och avslut i perturbationsteori (teori för approximationer av matematiska lösningar). I kursen används boken “Structure and Interpretation of Classical Mechanics” av Sussman, Wisdom och Mayer, vilken förklarar fysikaliska fenomen genom att visa datorprogram för att simulera dem, skrivna i språket Scheme.[6]. Denna typen av kurser ter sig ovanliga, och är, till våran kännedom, den enda kursen bortsett från DSLsofMath på Chalmers som knyter samman matematik, fysik och programmering.

Utöver DSLsofMath-kursen har det även tidigare gjorts ett kandidatarbete om DSL här på Chalmers. Vårterminen 2016 utfördes kandidatarbetet “Programmering som undervisningsverktyg för Transformer, signaler och system. Utvecklingen av läromaterialet TSS med DSL” av fem studenter från Datateknik och Teknisk Matematik på Chalmers. Arbetet bestod av utveckling av läromaterial med tillhörande programmeringskod, uppgifter och lösningar, som komplement till existerande kurser i signallära.[7]

1.2 Projektets mål

Vår tanke med detta kandidatarbete är att, likt premissen bakom kursen DSLsofMath och kandidatarbetet från 2016, angripa fysik på ett sådant sätt att ämnet blir både intressant och roligt för datateknologer, och därmed förhoppningsvis också enklare. Med hjälp av domänspecifika språk skrivna i Haskell för att modellera fysik, d.v.s. samma pedagogiska verktyg som används inom datakurser, tror vi att kopplingen mellan fysikkursen och datateknikprogrammet kan göras tydligare och lärandet kan underlättas. Förhoppningen är att bl.a. det kraftfulla typsystemet i Haskell ska hjälpa studenter att bygga mentala modeller som är korrekta och inte bygger på felaktig intuition eller felaktiga antaganden.

Läromaterialet är menat att i slutändan bestå av en hemsida. Källkoden för projektet skall finnas offentligt tillgänglig.

Att ta reda på hur en kombination mellan fysik och domänspecifika språk kan se ut, samt om det finns en pedagogisk nytta.

Slutligen är det för oss inte uppenbart hur en kombination av fysik och domänspecifika språk kan se ut, vilket är något vi nämner under projektets mål att vi vill undersöka.

1.3 Avgränsningar

Läromaterialet begränsar sig till att enbart beskriva en del områden inom fysik som ingår i kursen Fysik för ingenjörer. Denna avgränsningen valdes dels för att det är den fysik gruppmedlemmarnas kunskaper begränsar sig till, samt att det är den nämnda kursen detta projekt kan bli mest relevant för, då kursen är en del av datastudenternas obligatoriska utbildning.

Fysik för ingenjörer behandlar grunderna inom de tre områdena mekanik (inklusive stelkroppsmekanik), termodynamik och vågrörelselära. Vi har valt att i första hand prioritera mekanik, vilket även innefattar tillämpad matematik i form av Euklidisk geometri och infinitesimalkalkyl. Dessutom har de områden där datateknologer haft svårigheter prioriterats. I mån av tid har vi valt att behandla termodynamik och vågrörelselära (WE WILL SEE).

Läromaterialet kommer testas inofficiellt av en testgrupp. Detta ty en formell undersökning hade krävt omfattande tid för att välja ut en testgrupp på ett lämpligt sätt, analysera återkopplingen, samt dokumentering av testningsförloppet. Även om projektets direkta syfte inte är att förbättra tentastatistiken på *Fysik för ingenjörer*, är vår förhoppning att förståelsen för de svåra delarna ska bli bättre.

Vilka är projektet relevant för: Projektet är relevant för datateknologer som läser en fysikkurs. Men det kan också bli relevant för en fysikstudent som är ute efter en inkörsport till funktionell programmering. Förhoppningsvis blir det också relevant för de som är intresserade av domänspecifika språk i stort, pedagoger och föreläsare inom de berörda områdena och kanske till och med programledningen som ser vår rapport som ett skäl att introducera innehåll av detta slag i till exempel fysikkursen.

2

Teori

2.1 Domänspecifika språk

Ett domänspecifikt programmeringsspråk är ett språk som är avgränsat till ett specifikt domän. Detta domän kan ta många former, det kan vara ett språk för att formatera text på en hemsida (HTML), det kan vara ett språk för att interagera med en databas (SQL), ett språk för att beskriva hur karaktärer ser ut (typsnitt). Användningsområden för dessa språk är väldigt smala men detta smala fokus gör det möjligt att utveckla ett rikt och lättanvänt språk för just detta område.

Motsatsen till ett domänspecifikt språk är ett generellt språk (C, Java, Python) som är turingkompleta, vilket betyder att det kan uttrycka alla beräkningsbara problem i dem och även lösa dem givet tillräckligt med tid och minnestillgångar. Begränsningen med dessa generella språk är just deras egen generaliserbarhet, eftersom de har stöd för alla typer av beräkningar så blir både läsbarheten och användarvänligheten lidande.

Ett domänspecifikt språk kan antingen implementeras som ett fristående språk eller bäddas in i ett redan existerande språk. De domänspecifika språk som utvecklats inom detta projekt är inbäddade i språket *Haskell*.

VARFÖR BLIR DET ENKLARE?

```

data Expr = Expr :+: Expr
           | Expr **: Expr
           | Const Double
           | VarX

exempel = (Const 7.0 :+: VarX) **: ((VarX :+: Const 10.0)
                                     **: VarX)

```

Figur 2.1: Bild!?

2.2 Haskell och funktionell programmering

Haskell är ett funktionellt programmeringsspråk som lämpar sig bra för att implementera ett domänspecifikt språk i. Anledningen till detta är den lätthet som man kan skapa nya datatyper och klasser för att representera grundstenarna i det nya språk, och även dess mönstermatchning som gör det möjligt att på enkelt sätt bryta isär komplexa datatyper för evaluering.

2.3 Syntaxträd och deras evaluering

???Osäker på om detta avsnitt är nödvändigt???

Ett typexempel på ett domänspecifikt språk är ett syntaxträd för algebraisk uttryck, här kodat i Haskell.

I detta exempel visar hur uttrycket $(7 + x) * ((x + 10) * x)$ kodas.

Ha med en bild på detta.

!!!Plus förklaring om evaluering!

2.4 Fysik vi behandlar och Fysik för ingenjörer

Fysik för ingenjörer är en obligatorisk kurs för studenterna på det datatekniska programmet. Kursen täcker grundläggande fysikområden såsom mekanik, termodynamik och vågrörelselära. Det ingår även en del tillämpad matematik såsom vektorer och differentialkalkyl. Dessa områden ämnas att täckas in av de domänspecifika språken och det tillhörande läromaterialet.

2.5 Hemsidan

Programfilerna har skrivits i ett språk som kallas *Literate Kaskell* som kombinerar vanlig Haskell-kod med brödtext till något som kan tolkas av en kompilator som två separata saker. *Pandoc* är ett program som används för att generera html-filer med läromaterialet som är den slutgiltiga produkt som finns tillgänglig på hemsidan.

2.6 Litterat programmering och Literate Haskell

Litterat programmering (engelska *literate programming*) är ett alternativt sätt att programmera som introducerats av Donald Knuth.[8] Istället för att skriva ett program för en dator, skriver man ett program som ska läsas av människor. Det visar sig på följande två sätt.

Det en sättet är att jämfört med traditionella program får dokumentationen en ökad betydelse. I traditionella program är programkoden den viktiga delen. I litterata program däremot är dokumentationen minst lika viktig. Den används till att förklara koden, sätta den i relationen till andra delar och så vidare. Detta jämbördiga förhållande syns konkret genom att titta på hur källkoden är skriven i ett literat program. Det kan till exempel se ut som i

figur 2.2 där man ser att källkod och text för människor är sammanvävda på ett jämbördigt sätt, där den ena inte är viktigare än den andra.

How does all this tie together? First the type is decided ,

```
< type ExampleType = Quantity T.Length Double
```

then a value of that type is created

```
< exampleValue :: ExampleType
```

```
< exampleValue = Quantity V.length 5.3
```

Note that the Quantity data type has both value-level and

Figur 2.2: Ett exempel på hur en källfil till litterat programmering kan se ut. Exemplet är Litterate Haskell. Rader som börjar med < markerar att det är programkod, medan rader utan markerar att det är text för människor.

Det andra sättet ett litterat program skiljer sig åt är ordningen programkod står i. Traditionellt används top-down eller bottom-up. Dessa tillvägagångssätt står i kontrast till den som används i litterat programmering, där man betraktar ett program som ett nät av många delar som hänger ihop, utan att de nödvändigtvis har en övergripande hierarki som de traditionella metoderna bygger på. Detta utnyttjas genom att då presentera programkoden i den ordning som är lättast att förstå för den mänskliga läsaren.

Litterate Haskell är literat programmering för Haskell.[9] Att programmera i Litterate Haskell går till på samma sätt som vanlig Haskell, med skillnaden att programkod och text vävs ihop i en och samma fil. Det kan se ut som i figur 2.2. Filen, med tillägget `.lhs`, går att använda direkt med Haskell-kompilatorn GHC. All text ignoreras och programkoden behandlas som om den tillhörde en vanlig Haskell-fil. `.lhs`-filen kan också kompileras till material avsett för människor. Det finns flera verktyg som gör det men det som används i detta projekt är *Pandoc*[10]. Med *Pandoc* kan texten märkas up med både **markdown** (används i projektet) och **Latex**. Det går att exportera till bland annat HTML och PDF.

2.7 ARCS/didaktik

3

Genomförande: Konstruktion av läromaterial, skapande av hemsida och utvärdering med testgrupp

Projektets genomförande har bestått av tre delar. Den första delen var konstruktionen av själva läromaterialet. Den andra delen var skapandet av hemsidan läromaterialet publicerats på. Den tredje delen var utvärdering av läromaterialet med en testgrupp.

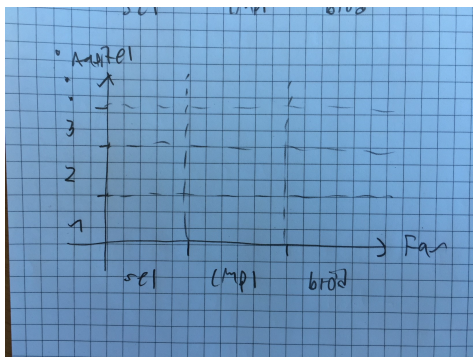
Konstruktionen av läromaterialet har varit den största delen och har även fortgått genom hela projektets gång. När läromaterialet var halvvägs färdigt skapades en hemsida dit läromaterialet publicerats. Publiceringen skedde sedan dess löpande. I slutet av projektet gjordes utvärderingen, där en testgrupp fick svara på frågor om vad de tyckte om läromaterialet.

3.1 Konstruktion av läromaterialet

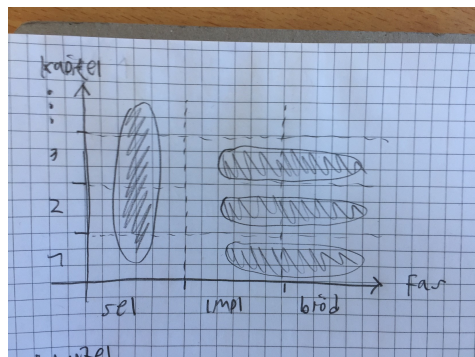
Läromaterialet består av ett antal kapitel som vardera behandlar separata fysikaliska områden. Skapande av varje kapitel skedde därför till största delen fristående från andra kapitel. Skapande av alla kapitel bestod i sin tur av tre faser, som såg likadana ut för alla kapitel. Dessa faser var selektion av område, implementation av domänspecifika språk för området samt skrivande

av brödtext till området.

Denna skapandeprocess kan delas upp i två axlar: en uteder kapitel och en uteder fas. Det här illustreras i figur 3.1a. Figuren visar att varje kombination av kapitel och fas är en del i projektet som arbetades med.



(a) Delarna visas distinkta och var för sig.



(b) Delarna visas med gränsöverskridande överlapp.

Figur 3.1: Översikt över hur skapandeprocessen av läromaterialet såg ut. Processen kan delas upp uteder två axlar: kapitel och fas. Varje kombination är en del som arbetats med.

Även om detta sätt att dela upp processen är översiktlig är den inte helt verklighetstrogen. I praktiken fanns det överlapp mellan olika delar, både med avseende på kapitel och fas. Det här illustreras i figur 3.1b. Där ser man att selektionen av områden skedde för flera kapitel samtidigt. Detta då arbetet med att hitta områden ofta gav flera områden samtidigt. I figuren ser man också att implementation av domänspecifika språk och skrivande av brödtext skedde samtidigt.

De tre följande avsnitten beskriver i mer detalj hur de tre faserna selektion, implementation och skriande såg ut. Det är viktigt att då minnas att, som nämndes ovan, att det finns överlapp både mellan faserna och mellan kapitlen.

3.1.1 Selektion av fysikaliska områden att behandla

Ett domänspecifikt språk modellerar ett specifikt och avgränsat område. Därför var det naturligt att söka och tänka i termer av avgränsade områden inom fysiken. För att mer konkret hitta områden att behandla kontaktades Åke Fäldt, examinator för *Fysik för ingenjörer*, samt så studerades fysikkursens bok, *Univeristy Physics*.

Fäldt befrågades om vilka områden han i allmänhet tycker studenter verkar ha svårt för. Detta för att i enlighet med projektets mål börja med de, för studenterna, problematiska områdena. Enligt Fäldt är ett allmänt problem att egna mentala modeller för problem är felaktiga eftersom studenter ofta tar genvägar, som inte bygger på saker man är säker gäller. En annan erfarenhet från honom är att så länge första raden i en uppgiftslösning är rätt, så är resten också rätt. Med andra ord, har studenten väl identifierat vilken typ av problem det rör sig om brukar det inte vara några svårigheter att lösa uppgiften.

Med hjälp av insikterna från Fäldt drogs två slutsatser. Den första slutsatsen var att matematisk analys var ett område värt att behandla i detalj. Den andra slutsatsen var att genom att ge struktur till olika typer av problem kan det förhoppningsvis kunna underlätta för studenter att lära sig identifiera vilken typ av uppgift de handskas med.

En inledande selektion gjordes för att hitta mer specifika områden att arbeta. Detta gjordes genom att studerade kursboken *University Physics*. Speciellt av intresse var de kapitel som behandlade mekanik (i enlighet med projektets mål att börja med mekanik), matematisk analys samt de kapitel som använde sig av en specifik syntax. Domänspecifik syntax var av intresse att finna då en betydlig del av domänspecifika språk är modellering av just syntaxen. Även områden som projektgruppen fann personligen intressanta, och områden som inte var av direkt intresse, men som utgjorde en viktig beståndsdel av mer intressanta områden, valdes ut. .

Allteftersom arbetet fortskred blev det tydligt att det fanns en distinktion mellan *grundläggande* och *komposita* områden. De grundläggande områdena är fristående, lade grunden till mer komplexa områden och är i sig (dimensioner undantaget) inte av direkt intresse för fysik. De krävs däremot som ett

bakomliggande matematiskt ramverk till de komposita områdena. De komposita områdena skiljer sig genom att vara närmare fysiken, vara av tillämpad natur och bygga vidare på mer underliggande koncept. Ett exempel är rörelseproblem som kan använda sig av både matematisk analys och dimensioner.

3.1.1.1 Grundläggande områden

Grundläggande områden hittades främst genom den tidigare nämnda inledande selektionen (se avsnitt 3.1.1). Det omvända förhållandet gäller också. Den inledande selektionen gav främst grundläggande områden.

Fler grundläggande områden har hittats efterhand. Avslutande av den inledande selektionen innebar alltså inget stopp för sökandet av grundläggande områden, även om de flesta redan hittats. Fler grundläggande områden hittades bland annat även genom att studera kursmaterialet som tillhörde *Fysik för ingenjörer*.

Sökandet i kursboken och kursmaterialet gav viktiga kunskaper om områden att behandla. Men minst lika viktiga var de experiment som gjordes för att se huruvida ett område lämpade sig till att göra ett domänspecifikt språk av. När områden kodades upp till domänspecifika språk var det långt ifrån alla gånger det kunde göras på en meningsfullt sätt. De områden som inte gick fick skrotas eller behandlas annorlunda (se avsnitt 3.1.1.2). Förenklat sagt var de områden som innehöll tydliga ”data och operationer” väl lämpade att göra domänspecifika språk av. Lämpligheten hos olika områden diskuteras utförligare i avsnitt 5.2.1.

När grundläggande områden valdes ut definierades de så att det i största möjliga utsträckning var fristående. Detta för att kunna arbeta med parallellt. De grundläggande områden som under projektets gång valdes ut blev vektorer, dimensioner, matematisk analys och bevis. OCH FLER

Vektorer eftersom det är en viktig grundsten i mekanik. Alla krafter, hastigheter och accelerationer betraktas oftast som vektorer i planet eller rymden, och dessa är alla fundamentala element i mekanik.

Dimensioner eftersom det är viktigt för studenter att förstå sig på hur di-

mensioner påverkas av algebraiska operationer. Det kan också vara hjälpsamt att kunna utföra automatisk, datorassisterad dimensionsanalys på ens beräkningar.

Matematisk analys eftersom alla koncept i klassisk mekanik är relaterade genom matematisk analys. Mer specifikt används differenser för att beskriva medelrörelse, och infinitesimalkalkyl för att beskriva momentanrörelser. Vidare var infinitesimalkalkyl just det område som Fäldt pekade ut som speciellt viktigt och något som studenter har svårt för.

Bevis eftersom det ger en insikt i hur de formler man använder faktiskt uppstår. För att genomföra bevis krävs också att formler och beteckningar görs rigorösa, vilket ger en bättre förståelse till dem.

OCH FLER

3.1.1.2 Komposita områden

Komposita områden uppstod då det framgick att inte alla områden var lämpliga att göra domänspecifika språk av (se avsnitt 5.2.1). Lösningen blev därför att tillämpa domänspecifika språk från de grundläggande områdena.

Ett sätt komposita områden hittades var därmed som ett resultat av sökandet och experimenterandet med grundläggande områden. Ett annat sätt var att även komposita områden söktes direkt efter. Då användes precis som tidigare främst kursboken och kursmaterialet tillhörande *Fysik för ingenjörer*. Komposita områden inkluderades för att täcka områden med mer direkt koppling till fysik. Till exempel har lutande plan en mer direkt koppling än vad analys har.

SKA VI HA MED DESSA?

De komposita områden som valdes ut blev: momentan- och medelrörelse OCH FLER.

Momentan- och medel-rörelse eftersom de direkt utgör en stor delmängd av alla problem inom mekanik i *Fysik för ingenjörer*. Väldigt många av de upp-

gifter studenter lär sig lösa inom mekanik är sträcka/hastighet/acceleration/-kraft problem. Hur lång tid tar det att åka en sträcka om man har en viss medelhastighet? Om ett objekt med massa m påverkas av en kraft som varierar enligt $\sin(t)$, vad är då momentanhastigheten vid $t = 10$?

OCH FLER

3.1.2 Implementation av DSL för områdena

Implementationen av ett domänspecifikt språk till ett område började alltid med experimentering. Även om en del experiment redan gjorts i selektionsfsen behövdes mer göras. Det finns ingen absolut kanonisk form att skriva ett domänspecifikt språk på, framförallt inte för fysik. Experimentering var därför viktigt för att finna lämpliga representationer av syntax och andra element av domänspecifika språk.

Vad som ansågs vara en bra, eller åtminstone tillräckligt bra, representation var i huvudsak baserat på gruppmedlemmarnas intuition om Haskell och diskussion med handledaren. Implementationerna skulle vara både naturliga, i den mening att de gick att använda smidigt rent tekniskt. Men de skulle även vara lättförståliga. Den progamtekniskt elegantaste implementationen användes därför inte alltid. I praktiken var de slutgiltiga implementationerna oftast också de minsta implementationerna, med avseende på bland annat antal kodrader.

De olika områdena krävde i varierande mån inläsning och studering av Haskell, Agda, fysik, matematik och domänspecifika språk. Till exempel krävde kapitlet om dimensioner inläsning om typnivå-programmering i Haskell. För att kunna implementera bevis bra studerades Agda.

HÄR BEHÖVER JAG HJÄLP ATT EXPANDERA JOHANS STYCKEN

I allmänhet implementerades DSL i Haskell som en kombination av syntax-träd, funktioner för att manipulera dessa träd, och evalueringsfunktioner till någon slags semantisk domän. Komposita DSL var istället mer TODO: beskrivning. Varje DSL, grundläggande och komposit, parades även ihop med en mängd fysikproblem att appliceras på, sådant att läsaren ska få förståelse

för hur DSLen kan brukas utöver hur de implementeras.

HUR DETALJERAT SKA NEDANSTÅENDE VARA? FRÅGA PATRIK OCKSÅ

Syntax analyserades och modellerades i syntaxträd. För vissa områden (enheter?) definierades även ett semantiskt värde som representerade en slags kanonisk form.

För vektorer gjordes ...

För enheter gjordes ...

För analys gjordes ...

För annat gjordes ...

TESTER!!!

KOMPOSITA ASPEKTER

Till de komposita områdena implementerades inga domänspecifika språk. Istället användes de tidigare språken som skapats för de grundläggande områdena. SKRIV MER HÄR NÄR VI GJORT NÅGRA KOMPOSITA

Importera DSLerna för varandra för att göra mer komplicerade grejer.

Eller, *Bruk av de mer fundamentala/teoretiska DSLerna för att angripa områden av mer "tillämpad" natur (såsom Krafter, Arbete, etc))(?)*

3.1.3 Skriva lärotext

I samband med att ett område implementerades skrevs brödtext till det. Till en början skrevs brödtext som fokuserade på att förklara programkoden. Detta var ofta ett naturligt val. Det var viktigt att programkoden gick att förstå innan kopplingar till matematik och fysik kunde förklaras. Det var nämligen brödtext av det slaget som skrevs senare. Avslutningsvis skrevs

inledning och avslutning till kapitlet.

Generellt under skrivningen av brödtexten togs det hänsyn till ARCS som presenterats i avsnitt 2.7. TODO: skriv mer här när vet om ARCS.

Lättsamt språk o en gnutt humor för att hålla kvar uppmärksamhet. Relaterat till Attention i ARCS modellen (2016 använde den. Såg vettig ut).

TODO: Expandera. Vad exakt använder vi för didaktisk metod? Samma som appliceras i Learn You a Haskell, mer eller mindre. Fånga uppmärksamhet med lite humor och lättsamhet etc.

Brödtexten och programkoden skrevs sammanvävt i samma fil, i *Literate Haskell*, se avsnitt 2.6. Literat programmering passade bra ihop med hur läromaterialet skulle se ut då bägge betonade det jämbördiga förhållandet mellan progamkod och förklaringar. För att läromaterialet skulle vara lättförståeligt var det också viktigt att presentera materialet i den ordning som en mänsklig läsare, och inte datorn, tyckte var enklast.

TODO: Motivera varför vi valde Markdown istället för LaTeX i LHS filerna. Är detta viktigt att ha med?

KOMPOSITA ASPEKTER

Vari vi visar att DSLerna både är praktiskt användbara, likt Wolfram Alpha, och att implementationen+applikationen hjälper oss förstå mekanik i allmänhet och probleminstanserna i synnerhet.

3.2 Sammanställning, presentation, och publicering

Läromaterialet publiceras på en internethemsida, varpå man kan läsa allt o ha skoj.

TODO: Ska vi ha i målet att vi ska göra en hemsida istället för PDF, och sedan säga varför i diskussion om etik?

3.2.1 Beskrivning

Ett build-script hämtar .lhs källfilerna, i vilka brödtexten är skriven med markdown. Rendrar med pandoc, och sätter in lite navigationselement etc. med hjälp av eget templating-system. Manuellt läggs sedan stoffet på gh-pages branchen för att automatiskt visas på dslsofmath.github.io/BScProj2018.

Obs: Medan bygget är scriptat så är inte publiceringen det, och ingenting genereras/publiceras automatiskt kontinuerligt. Måste köra scriptet manuellt och lägga stoff på gh-pages branchen.

3.2.2 Build-script

I.e. implementation av python-build-scriptet i mer detalj.

TODO: Är detta ens intressant? Viktigt för att producera sidan såklart, men inte intressant ur varken matte eller haskell/DSL perspektiv.

3.2.3 Hemsidan

Nåt om design, läslighet, grafik(?), navigation, avsiktligt undvikande av javascript, etc.

Tänker lite samma med denna sektion som ovan. Har ju ingenting med varken matte eller DSL att göra i sig, så kanske inte så intressant? Samtidigt är det kanske lite intressant ur pedagogik-aspekten. Kan det kanske vara lättare/roligare att lära sig om sidan är fin och lättläst? Att javascript inte krävs gör att sidan kan visas ordentligt även om man sitter i U-land med dålig/gammal/billig telefon.

3.3 Test och återkoppling

Test på försöksstudenter. Återkoppling med Åke(?).

Nog bra att vara explicit här med att det inte är en rigorös empirisk studio, om inte det redan täckts väl i Avgränsningar.

4

Resultat: Beskrivning av det resulterande läromaterial

4.1 Lärotexten i sig

Läromaterialet blev i slutändan, precis som målet var, en sammanvävning mellan domänspecifika språk som modellerar fysik och brödtext som förklarar både fysiken i sig, men också förklarar de domänspecifika språken.

Figur 4.1 visar ett smakprov över det resulterande läromaterialet. Som figuren visar är brödtext sammanvävt med Haskell-kod för domänspecifika språk.

Läromataterialet behandlar ett flertal områden inom fysik, samt matema-

How does all this tie together? First the *type* is decided, for instance

```
type ExampleType = Quantity T.Length Double
```

then a *value* of that type is created

```
exampleValue :: ExampleType
exampleValue = Quantity V.length 5.3
```

Note that the `Quantity` data type has both value-level and type-level dimensions. As previously mentioned, value-level in order to print prettily and type-level to only permit legal operations.

Figur 4.1: Ett smakprov över hur det resulterande läromateriet ser ut.

tik som används inom fysik. Fokuset är på mekanik samt till det området tillhörande matematik. I sin fullständighet är de behandlade områdena

- Analys
- Bevis
- Dimensioner
- Fysikaliska kroppar
- Vektorer

Analys handlar om matematisk analys och bygger upp ett syntaxträd... TODO: kolla mer detaljrikt.

I *Bevis*-kapitlet presenteras bevisföringen med hjälp av Haskell's typsystem. Det exemplifieras genom att kinematiska formler bevisas.

Dimensioner behandlar dimensioner, storheter och enheter inom fysiken. Dimensioner införs på typnivå i Haskell för att kunna visa på likheten mellan Haskell's typsystem och hur man måste förhålla sig till dimensioner inom fysiken.

Fysikaliska kroppar vet ej TODO: ta reda på

Vektorer vet ej TODO: ta reda på

I läromataterialet finns, förutom de fem ovanstående separata områdena, även tillämpningar av de områdena på exempelproblem. Till exempel används *Dimensioner* till att lösa problem med fritt fall. TODO: fyll på när vet mer om hur tillämpningarna ser ut.

4.1.1 Domänspecifika språk

De domänspecifika språken är avgränsade och behandlar separata områden. De är avgränsade för att det är enklare att förstå dem om de är det. Av samma skäl behandlar de separata områden. Om det skulle uppstå behov kan de kombineras istället.

De domänspecifika språken modellerar områden snarare än att vara problem-

lösare. *Analys* exemplifierar detta väl. Det språket består av ett syntaxträd över algebraiska uttryck samt operationer som derivering och integration. Med hjälp av det kan man modellera uttryck och analytiska operationer på dem. Däremot löser det inte problem åt en. Man kan med andra ord inte mata in en differentialekvation och automatiskt få en lösning.

TODO: Detta kanske passar bättre i diskussion: Hur bra våra moduler blev samt varför de inte är problemlösare utan modellerare istället.

4.1.2 Brödtexten

Brödtexten finns till som ett förklarande komplement till de domänspecifika språken. Texten förklarar dels den bakomliggande fysiken, dels den Haskell-kod som finns. Generellt står förklaring av kod för en stor del av brödtexten. Detta för att det är själva modellerandet som är den stora delen - det är egentligen ganska lite fysik som presenteras. Därav behöver koden en utförlig förklaring. Dessutom används avancerade koncept i Haskell, bland annat typnivå-programmering, som läsaren inte förväntas kunna sedan innan. Av naturliga skäl kräver dessa en längre förklaring.

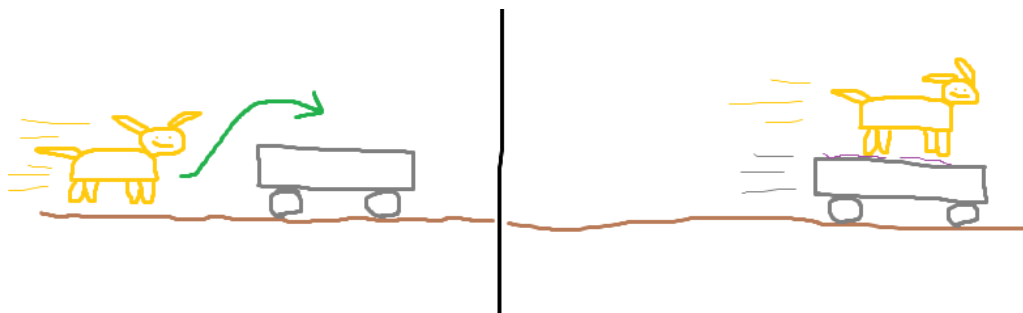
Texten är skriven på engelska för att komma fler till gagn än om den varit skriven på svenska.

Språket i texten är vardagligt och lättsamt. Detta för att vara en kontrast mot hur kursböcker vanligtvis ser ut.

I brödtexten finns bilder. De har en rolig och medvetet kladdig stil. Syftet är att muntra upp läsaren. Figur ?? är ett exempel på en bild som finns i läromateriet. Den visar den humoristiska och oseriösa ritningstekniken.

Valet att skriva på engelska, den lättsamma stilen och de roliga bilderna har inspirerats av **Learn You a Haskell**. TODO: referens. Läromaterialet är tänkt att vara något liknanden, men för fysik istället för Haskell.

TODO: Blev det en bra text? Kanske ska vara i diskussionen istället



Figur 4.2: Exempel på bild ur läromateriet

4.2 Hemsidan

Läromaterialet finns tillgängligt på en hemsida, som består av grundläggande HTML, CSS och javascript. På hemsidan finns en innehållsförteckning med klickbara länkar till de olika kapitlen. Hemsidan är öppen för alla och bör fungera i de flesta webbläsare. Javascript är inget krav för hemsidan. Matematiska formler visas ändå, om än inte lika tydligt.

4.3 Källkod

En del av projektets mål var att all källkod skulle finnas fritt tillgänglig. Det gör den också. Det finns tillgänglig på internet på projektes GitHub-repository `TODO`: referens.

Källkoden som finns är all den som använts under projekets gång, både slutversion och alla mellanversioner sedan projekets början. Källkoden är inte bara läromaterialet i sig, utan även kod till hemsidan, rapporter (inklusive denna) och mötesprotokoll.

4.4 Återkoppling från testgrupp

För att utvärdera huruvida läromaterialet är intressant och hjälpsamt har vi haft en informell återkoppling med en testgrupp. TODO: Skriv mer när vi faktiskt gjort detta.

5

Diskussion

5.1 Tillvägagångssättet av skapandet

Tanke: I metod/teori varför vi valde att just Haskell o.s.v. Beskrivning av vårt iterativa arbetssätt, hur vi sökte i mörkret. Här i diskussion kanske mer varför det var nödvändigt...

Annan tanke: antingen separat resultat-kapitel för misslyckadeförsök, som DSL för lutande plan, eller att vi har det här..

Vi har kanske inte varit så strukturerade, utan bara valt ut något område på måfå som vi kände för, t.ex. valet av termodynamik.

Blev så för svårt att veta vad som DSL lämpligt för.

Största svårigheten var att välja områden som skulle passa bra för DSL. Som att famla i mörkret.

Kan skriva om misslyckade försök att skapa DSLer för vissa saker. T.ex. lutande plan (DSL för det, ej problemlösning av det området med andra DSL:er), bevis med Haskell's typsystem...

5.2 Domänspecifika språk och fysik

5.2.1 Vad för slags områden är DSLs lämpligt att göra för?

Analys känns som ett område där DSLs kan vara lämpligt. Likaså dimensioner och vektorer. Vad har dessa gemensamt?

Gemensamt för de ovanstående är att de är matematiska, har en fix struktur, rigoröst hur de fungerar och har data och operationer".

Orkar inte göra Latex tabell... | DSL / data | Ex operationer | |—————
—|—————| | Dimensioner | Multiplikation, division | | Vektorer
| Skalarprodukt, vektorprodukt | | Analys, funktioner | Derivera, multiplicera
|

Operationerna på datan resulterar också i ny data av samma slag (t.ex. vektorprodukt av två vektorer ger en ny vektor)

Varför gör detta dem lämpliga att göra DSLs för? För datan har en fix form. Och operaion av data blir ny data som evalueras till någon av formerna.

Detta gör DSL till områdena lämpliga ur två synvinklar. Dels enkelt att göra det rent praktiskt i Haskell. Dels för att man med DSL:et strukuretat upp och tydliggjort all data och operationer som går att göra.

Skillnad på enkelt att göra rent tekniskt, och vad som är lämpliga DSLs för att underlätta förståelsen av något.

DSLs var svårare för lutande plan och termodynamik (och problemlösning i allmänhet). Vad har dessa gemensamt?

Gemensamt för dessa är att det finns teoretiska samband/ekvationer som relaterar olika egenskaper i problemet. T.ex. för det lutande planet ' $a = g \cdot \sin v$ ' är sambandet mellan ' a ' och ' v ' (och ' g ' som dock är en konstant bara). För termodynamik är det att t.ex. samband mellan inre energi, antal atomer i gasen och temperaturen.

Visst kan man modellera dessa samband. Men vad för nytta gör det? Problemlösning handlar om att känna till vilka samband som finns och tillämpa dem på olika sätt beroende på uppgift.

Man kan ju programmera en ekvationslösare, men den måste vara väldigt mekanisk av sig. Gör det kanske inte enklare för en själv att lösa problem.

Och vad är skillnaden mellan dessa två kategorier av områden?

Den viktiga skillnaden är att t.ex. analys har tydlig data och operationer medan problemlösning som lutande plan har ett gäng samband som man använder beroende på behov.

5.2.2 Gör DSLs så att fysik blir enklare att förstå?

Ex med lutande plan: man kan betrakta ett sådant problem som en samling ekvationer. Man har några kända värden och med hjälp av ekvationerna ska man hitta den sökta obekanta. Hjälper verkligen ett DSL till att man blir bättre på detta?

Med enheter, räcker det inte att förklara skillnaden mellan storheter, dimensioner och enheter på ett så grundligt sätt vi gjorde, utan att blanda in DSLs? Problemet i fysik för Data kanske är att det inte förklaras grundligt och mycket är underförsått. Behöver man ens förstå enheter grundligare för att klara fysik bättre?

Man kan också se det som att DSLs och denna extrakunskap vi presenterat är för att göra fysik intressant genom att visa på vad för kopplingar till

programmering man kan göra, även om områdena vi behandlat inte är direkt de områden som man behöver förstå för att klara kursen. Projektet kan ses som ren kuriositet som kan vara intressant.

6

Slutsatser

Beskriv vad vi kom fram till i diskussionen. Varför är det svårt med vissa områden. Tips till dem som vill testa något liknande.

7

Etik

blablabla

Litteraturförteckning

- [1] G. Johansson, “Statistik över kursresultat”, 2018. [Online]. Tillgänglig: <http://document.chalmers.se/doc/00000000-0000-0000-0000-00001C968DC6>, hämtad: 2018-01-30.
- [2] D. Ghosh, “DSL for the Uninitiated”, *Queue*, vol. 9, nr. 6, s. 10-21, jun. 2011. [Online]. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1145/1989748.1989750>, hämtad: 2018-03-07.
- [3] C. Ionescu och P. Jansson, “Domain Specific Languages of Mathematics: Lecture Notes”, 2018. [Online]. Tillgänglig: <https://github.com/DSLsofMath/DSLsofMath/tree/master/L/snapshots>, hämtad: 2018-01-30.
- [4] C. Ionescu och P. Jansson, “Domain-Specific Languages of Mathematics: Presenting Mathematical Analysis Using Functional Programming”, i *Proceedings of the 4th and 5th International Workshop on Trends in Functional Programming in Education*, Sophia-Antipolis, France and University of Maryland College Park, USA, 2015, ss. 1-15. [Online]. Tillgänglig: <https://doi.org/10.4204/EPTCS.230.1>, hämtad: 2018-01-30.
- [5] G. J. Sussman och J. Wisdom, “Classical Mechanics: A Computational Approach”, 2008. [Online]. Tillgänglig: [urlhttps://ocw.mit.edu/courses/earth-atmospheric-and-planetary-sciences/12-620j-classical-mechanics-a-computational-approach-fall-2008/](https://ocw.mit.edu/courses/earth-atmospheric-and-planetary-sciences/12-620j-classical-mechanics-a-computational-approach-fall-2008/), hämtad: 2018-01-30.
- [6] G. J. Sussman, J. Wisdom och M. E. Mayer, *Structure and Interpreta-*

tion of Classical Mechanics. Cambridge, MA, USA: MIT, 2001. [Online]. Tillgänglig: <https://mitpress.mit.edu/sites/default/files/titles/content/sicm/book.html>, hämtad: 2018-03-07.

- [7] F. Lindahl, C. Rosvall, P. Ngo, J. Jonsson och J. Olsson, “Programmering som undervisningsverktyg för Transformer, signaler och system: Utveckling av läromaterialet TSS med DSL”, Chalmers tekniska högskola, Göteborg, Sverige, 2016.
- [8] D. Knuth, “Literate Programming”, *The Computer Journal*, vol. 27, nr. 2, ss. 97-111, jan. 1984. [Online]. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1093/comjnl/27.2.97>, hämtad: 2018-03-14.
- [9] Haskell Wiki, “Literate Programming”, 2017. [Online]. Tillgänglig: https://wiki.haskell.org/Literate_programming, hämtad: 2018-03-14.
- [10] Pandoc, “Pandoc: a universal document converter”, 2018. [Online]. Tillgänglig: <https://pandoc.org/>, hämtad: 2018-03-14.
- [11] B. Werner, E. Sjöström, J. Johansson och O. Lundström, “Learn You a Physics for Great Good!”, 2018. [Online]. Tillgänglig: <https://dslsofmath.github.io/BScProj2018/>, hämtad: 2018-03-14.
- [12] B. Werner, E. Sjöström, J. Johansson och O. Lundström, “BScProj2018”, 2018. [Online]. Tillgänglig: <https://github.com/DSLsofMath/BScProj2018>, hämtad: 2018-03-14.
- [13] M. Lipovača, “Learn You a Haskell for Great Good!: A Beginner’s Guide”, 2011. [Online]. Tillgänglig: <http://learnyouahaskell.com/chapters>, hämtad: 2018-03-08.

A

Bilaga λ

Inläsning

- Identifikation av problemområden.
 - Kontakt med Åke Fäldt och DNS. Studera kursutvärderingar.
 - Reflektera över vad vi själva tyckt varit svåra områden då vi läst kursen.
- Studerande av existerande läromaterial, både inom ren fysik och liknande vårt material.
 - Fysikboken.
 - Åke Fäldts egna material.
 - Boken *Structure Interpretation of Classical Mechanics*[6].
 - Kursboken till kursen *Matematikens domänspecifika språk*.
- Existerande implementationer.
 - OpenTA.
 - Hamilton.
 - MasteringPhysics.
- Tidigare forskning.
 - Cezar och Patriks 2015 forskningsartikel.
 - 2016 års kandidatarbete.
 - Artikeln *DSL for the Uninitiated*.
 - *Communicating Mathematics: Useful Ideas from Computer Science*

Implementation av domänspecifika språk

Vid implementationen av ett/flera domänspecifika språk behöver nedanstående punkter genomföras.

- Hitta relevanta grundtyper inom fysik, exempelvis sträcka och massa.
- Hitta relevanta komposittyper, exempelvis hastighet och tryck.
- Utförligt typs-system.
- Dimensionskontroll.
- Modellera fysikens syntax i språket.
- Pedagogiska syntaxträd.
- Kombinatorer och konstruktörer.
- Hålla våra typer polymorfa.

Skrivande av läromaterial

Vid skrivandet av läromaterialet kommer följande punkter ligga till grund.

- En gemensam vokabulär som fungerar när man skriver om både fysik och programmering (generics kontra polymorfism), och som gör det möjligt att prata om dem i samma mening utan att byta språk och på så sätt brygga det semantiska gapet mellan områdena.
- Övningar
 - Modellera ett fysikaliskt problem med vårt domänspecifika språk.
 - Lös ett ”vanligt” fysikaliskt problem med hjälp av vårt domänspecifika språk.
 - Simuleringar i stil med *Bouncing Balls*.
 - Delar av fysiken vi inte behandlat lämnas som övning att själv implementera.
- Gå igenom allmän teori (t.ex. Newtons lagar, krafter som verkar, etc) tillsammans med en parallell utveckling av ett domänspecifikt språk.
- Materialet ska vara enkelt att ta till sig.
- Verkligen exponera det DSL som vi gemensamt bygger för att påvisa kopplingen mellan fysik och programmering.