

Uniped, årg. 38, nr. 4-2015, s. 293–302
ISSN online: 1893-8981

PEER REVIEWED ARTICLE

Prosjektbaserad labundervisning inom grundläggande fysik för civilingenjörstudenter

Erik Wahlström
Førsteamanuensis
Institutt for fysikk
NTNU
erik.wahlstrom@ntnu.no

Jonas Persson
Førsteamanuensis
Program for lærerutdanning
NTNU
jonas.persson@ntnu.no

SAMMANFATNING

Vi presenterar resultat från en pågående omläggning av laborationerna i fysik för civilingenjörstudenter till en projektbaserad arbetsform baserad på enkla försök med tydliga ingenjörsbetonade uppgifter. Studenternas svar på en kursutvärdering och observationer i laboratoriesalen ligger till grund för en analys av studenternas respons till förändringen. De studenter som förstått idén bakom omläggningen förefaller vara positiva, samtidigt som examensfokuserade studenter tycks anse laboratoriearbete som slöseri med tid. Vi diskuterar de problem som uppstår ur studentperspektiv från en utbildnings- och studiekontext, och den roll harmonisering med både studieprogram och examensformer spelar för att uppnå optimalt resultat. Vi diskuterar också assistenternas ökade roll i en projektbaserad laborationsform, särskilt vid massundervisning.

Nøkkelord

laboratorieøving, fysikk, prosjektbasert, sivilingeniørstudier, omstrukturering.

ABSTRACT

We present results from an ongoing restructuring of the labs in physics for engineering students to a project-based methodology based on simple experiments with emphasis on the engineering perspective of physics. The students' response to course evaluations and observations in the laboratory hall form the basis of the analysis of their responses to the change. The students who understood the concept behind the shift appear to be positive, while exam-focused students appear to consider the laboratory work as a waste of time. We


UNIVERSITETSFORLAGET

 idunn.no
Nordiske tidsskrifter på nett

This article is downloaded from www.idunn.no. © 2015 Erik Wahlström og Jonas Persson. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons CC-BY 4.0 License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), allowing third parties to copy and redistribute the material in any medium or format and to remix, transform, and build upon the material for any purpose, even commercially, provided the original work is properly cited and states its license.

discuss the problems arising from a student perspective, in an educational and teaching context. We analyse the role of harmonization with both the study and exam forms for achieving optimal results. We also discuss the assistants' increased role in a project-based laboratory form, especially in mass education.

Keywords

laboratory exercises, physics, project based, engineering study programmes, restructuring.

INLEDNING/MOTIVATION

Laborativt arbete ses av många som en viktig del i grundutbildningen i ingenjör- och naturvetenskap (Science, Technology, Engineering and Mathematics, STEM). Syftet med laborativt arbete är däremot inte alltid klart, här finns det ett antal möjliga roller (Angell et al., 2011); ett sätt att bli förtrogen med utrustning, introduktion i ett ämne, illustration av lag eller princip, som facit för en hypotes, som övning i att planera och genomföra experiment. Utöver dessa kommer också målet att få mer allmänna kunskaper och färdigheter t.ex. i journalföring, rapportskrivning, samarbete och kreativitet. Beroende på vad syftet är med laborationerna kommer betydelsen av dessa roller att variera. Många traditionella laboratoriekurser, består av fördesignade experiment, där studenterna förväntas följa en färdig procedur. Denna typ av upplägg kan fungera när det gäller att skapa en laborativ färdighet och som en experimentell illustration av teorin, men ger inga färdigheter i design och planläggning, samtidigt som kreativiteten inte utmanas. Det har framförts att ovan nämnda skäl kan vara en bidragande orsak till lågt intresse hos STEM-studenter (Olson & Riordan, 2012). En orsak till att fördesignade experiment har utvecklats och kommit att dominera massundervisningen (>100 studenter/kurs) är att det är relativt lätt att administrera med en relativt hög grad av studentnöjdhet främst när det gäller tidsåtgång och relativt liten arbetsinsats. Vi kommer här att ta upp bakgrunden till och syftet med förändringen till mer öppna och oppgifter där samarbete, kreativitet och allmänna kunskaper och färdigheter i laborativt arbete ligger mer i fokus, om vi uppnått de resultat som förändringen syftade till, samt de faktorer som vi ser som avgörande för ett lyckat genomförande an sådan förändring.

BAKGRUND

Vid Norges Tekniska och Naturvetenskapliga Universitet (NTNU) läser samtliga civilingenjörstudenter en obligatorisk fysik-kurs med en laborationsdel. Tidigare har laborationerna varit inriktade på fysik med en procedurbaserad form med fördesignade experiment, där studenterna följer en fastlagd, oftast detaljerat beskriven instruktion. Genom att kopplingen till det framtida föränderliga yrkeslivet bör stärkas har vi sett behovet av att inrikta labkursen på mer allmänna kunskaper och färdigheter. Därutöver kan en övergång från en procedurbaserad labkurs till en labkurs där fokus ligger mer på att uppgifter for-

mulerade mot «egenforskning» och design ska öka intresset (Fortenberry, 2007). Studier har visat att labkurser där mål och metoder noga har beaktats visat sig ha signifikanta effekter på studenters attityder och arbetssätt (Etkina et al., 2006, 2010).

Med utgångspunkt i dessa observationer om mål och möjliga motivationsfaktorer så har vi startat en omläggning av labkurserna från en traditionell med resultat och procedurbaserad laborationsform med fördesignade experiment till en mer öppen problembaserad form. Studenterna ges en kort introduktion i modern mätteknik och informationssystem som bas för att själva designa ett försök som skall besvara en given problemställning. Fokus är med detta flyttat till en mer praktisk (ingenjörsmässig) inriktning, där användningen av fysik i kombination med modern utrustning och design av experimentet blir viktiga. Här är samtidigt inte resultatet det centrala utan det är viktigare med tillämpning av teorin och utförandet. Genom att arbetsmetoderna får ökat fokus, läggs dessutom stor vikt vid att studenterna skall skaffa sig nödvändiga erfarenheter av dessa och hur man arbetar effektivt, detta genom instruktioner, problemlösningstrategier och användning av lab-journaler samt rapportskrivning. Det är också mycket viktigt att information om detta kommuniceras till studenterna så att de förstår syftet och laborationerna tydligt.

Då detta rör sig om ett nytt arbetssätt är vi intresserade av hur studenterna arbetar och vad de upplever att de lär sig, utöver samarbetet och samspelet mellan studenter och studenter och labassistenter. För att utvärdera dessa olika aspekter genomfördes en kursutvärdering om upplevelsen och samarbetet hos studenterna. Assistenterna har också utvärderat kursen via ett diskussionsmöte där både problem med upplägget samt eventuella förbättringar diskuterades. För att få en kontinuerlig utvärdering har en av författarna gjort observationer under laborationerna och noterat uppkomna problem. I samband med dessa har assistenterna fått handledning och hjälp med att själva problematisera och lösa svårigheter.

Problemställningen handlar främst om hur man skall gå tillväga för att genomföra en omläggning av en labkurs och sekundärt hur detta påverkar studenternas upplevelse av att behärska ämnet, särskilt med avseende på laborativa procedurer som rapportskrivning, journalföring samt att planlägga, genomföra och tolka experiment.

Vi har arbetat med en gemensam grundläggande problemställning som studenterna arbetar med under 8 timmar och tre separata problemställningar beroende på vilket studieprogram studenterna går. Det gemensamma problemet baserades på att studenterna skall karakterisera friktionen för två klossar sammanbundna med snöre för att sedan kunna beräkna den vinkel vid vilken massorna glider med konstant hastighet (se figur 1). Frågan var formulerad med ett krav om att de själva skulle karaktärisera systemet gott nog för att genomföra både beräkningar och försök som verifierar varandra, med av studenterna specificerad precision. Samtidigt som detta baserar sig på grundläggande koncept så

ligger svårigheten i att karaktärisera systemet så att de kan använda teorin för att ställa upp ett villkor som sedan skall verifieras. En karaktärisering av uppgifterna, enligt frihetsgraderna i ett experiment definierade av Angell et al. (2011, sid 189), ger två eller tre frihetsgrader. Problemet i sig är givet men måste omformuleras och konkretiseras av studenterna. Metoden är i sig definierad av utrustningen men öppen i genomförandet. Även resultatet kan ses som öppet genom att det egentligen inte finns ett entydigt svar, utan svaret kopplas till teorin och de individuella parametrarna hos uppställningen

En viktig resurs i laboratoriet är assistenterna som består av stipendiater och studenter på master-nivå. Stipendiaterna har detta som obligatoriskt arbete medan studenterna söker om att få bli assistenter, där uppnådda resultat i studierna fungerar som urval. Stipendiaterna har genomgått en kortare kurs medan studenterna kan göra detsamma med högre lön som resultat.

Basisoppgave (Friksjon på skråplan):

I denne oppgaven skal dere studere friksjon på skråplan for to klosser forbundet med en snor.

Sluttmålet er å bestemme vinkelen som kreves for at to ulike klosser og friksjonslag (ditt valg) og masse (assistentens valg) forbundet med hverandre sklir med konstant hastighet nedover et skråplan. Fra dine forberedende eksperimenter skal vinkel beregnes med en nøyaktighet som baserer seg på dine basisparameters unøyaktighet.

Det er viktig at dere teoretisk kan forklare systemet, har eksperimentelt målt de ulike parameterne som påvirker systemet og kan utføre en usikkerhetsanalyse av de målte parameterne.

Når dere er ferdige med disse tre punktene, og føler dere har god kontroll, ta kontakt med en labveileder for å få en avsluttende oppgave. Denne går ut på at dere får en gitt masse for de klossene/friksjonslag dere har valgt, og **dere kan da bruke 15 minutter** på å forberede et oppsett der klossene sklir med konstant hastighet.

Etter dette skal dere presentere resultatene. Presentasjonen skal på under 5 minutter kunne vise modell, beregninger og grunnleggende data fra tidligere eksperimenter, sammen med eksperimentelle data fra det nye eksperimentet.

Figur 1, Eksempel på frågeställning, den uppgift som användes som förstauppgift inom mekanik för alla studenter, tar ca 6–8 timmar att genomföra för en genomsnittlig studentgrupp.

Med omläggningen ändras lab-assistenternas roll från att hjälpa till med praktiska problem, till att bli en handledare som hjälper studenterna med planering, journalföring, rapportskrivning och förståelse av den grundläggande fysiken i uppgiften. Lab-assistenterna skall även vara aktiva och själva initiera interaktion med studenterna, något som visat sig positivt för studenternas engagemang (Stang & Roll, 2014). Assistenternas roll är inte främst att assistera vid praktiska problem, dessa adresseras i ett separat via en wiki-sida (Fysikklab-wiki, 2015), som studenterna har tillgång till hela tiden.

Omläggningen av inriktning har även påverkat logistiken. De traditionella laborationerna på 4 x 4 timmar, med tydliga uppgifter och metoder, har ersatts med de två projektbaserade uppgifterna som går över 2 x 4 timmar. Därutöver har studenterna 1 timmes muntlig genomgång av rapporterna i grupp, där de får direkt respons på sina rapporter och hur dessa kan förbättras. Laboratoriet har modifierats till ett generellt mätlaboratorium med totalt 50 platser, och ett «lab in a box»-system, där det ingår i uppgiften att bygga upp/ställa undan experimentet så att olika laborationer kan utföras utan problem. Genom att studenterna måste ställa undan utrustningen ställer det krav på en ordentlig dokumentation i lab-journalerna för att kunna återuppta laborationen vid nästa tillfälle.

RESULTAT

Studenternas och labassistenternas arbetsmetoder och interaktioner observerades av en av författarna, som ett led i att hitta och åtgärda eventuella problem så tidigt som möjligt. Observationerna visade på att studenterna initialt hade svårt att anpassa sig till en för dem ny situation där de själva skulle ta egna initiativ och använda sin kreativitet. Detta ändrades delvis under labkursens gång och många studenter gjorde mer än vad som förväntades av dem. Journalföringen var ett annat område som studenterna inte var vana vid, då detta var något majoriteten av dem inte gjort tidigare. Genom att labassistenterna instruerades att interagera och ge mer kommentarer om detta ökade studenternas användning av journalerna. Här var särskilt motiveringen att journalerna fungerar som ett underlag för själva rapporten viktig. Observationerna visade som studien av Stang & Roll (2014) att labassistenterna spelade en stor roll för studenternas eget engagemang och genomförande av laborationen.

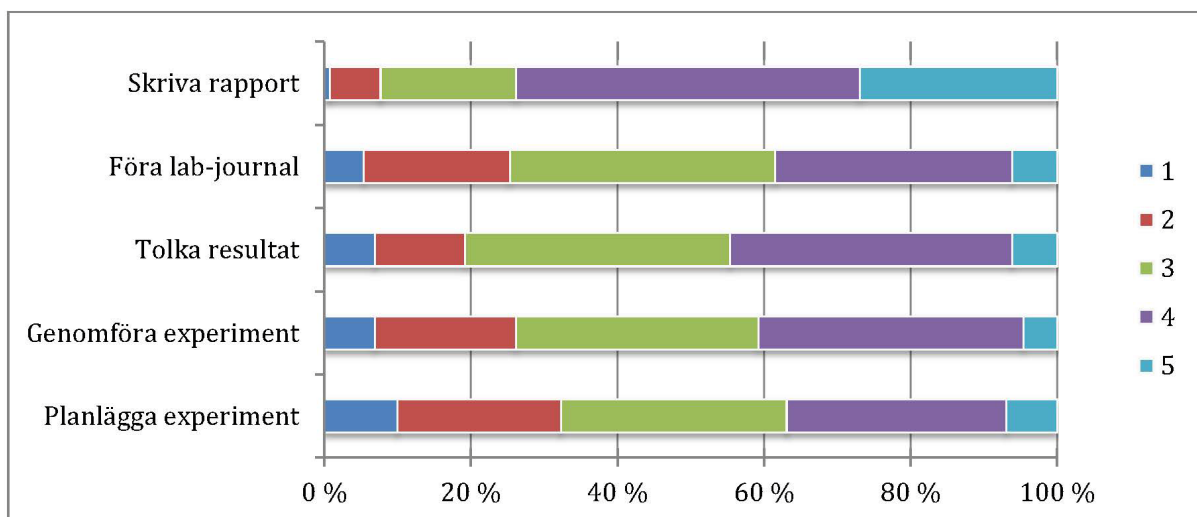
Ett problem var att det visade sig vara svårt att möta behovet av förberedelser för labassistenterna särskilt då de flesta labassistenter inte hade tidigare erfarenhet av den nya laborationsformen. Variationer i personlighet, olika tolkningar av handledningsrollen samt ganska lång initieringsfas innan alla assistenter funnit en god handledningsform gav en tydlig diversitet i bemötande av studenterna samt skapade en initial osäkerhet under genomförandet. Detta skapade en betydande variation i bemötande och upplevd kvalitet av handledningen hos studenterna. En lösning på detta var uppföljning med instruktioner och typexempel på beteende som överfördes via personliga möten och mejl/wiki systemet.

Efter avslutad labkurs ombads studenterna att svara på en särskild utvärdering om labkursen, baserad på ett antal flervalsfrågor (5-gradig Linkertskala) om a) egen förmåga, om hur lab-kursen gav studenten en upplevelse av att ge erfarenhet och förmåga att behärska experimentellt arbete; b) upplevelser om respons och samarbete, c) tidmässig indikation om olika situationer. Därutöver gavs möjligheter att kommentera i fritext både det de upplevde att de lärt sig och att ge förslag på förändringar.

Exempel på frågor var: «Hur väl gav kursen dig erfarenheter och förmåga att föra en god lab-journal?», «Hur väl gav kursen dig erfarenheter och förmåga att skriva en rapport?» och «I hur stor grad uppmuntrade lab-assistenten dig till diskussioner?». Den tidsmässiga situationsindikatorn var formulerad som:

Indikera hur ofta följande inträffade under lab-sessionerna?
 A = Inte alls B = sällan C = då och då D = ganska ofta E = nästan hela tiden
 Gruppen diskuterade uppgiften.
 Gruppen diskuterade fysiken bakom uppgiften.

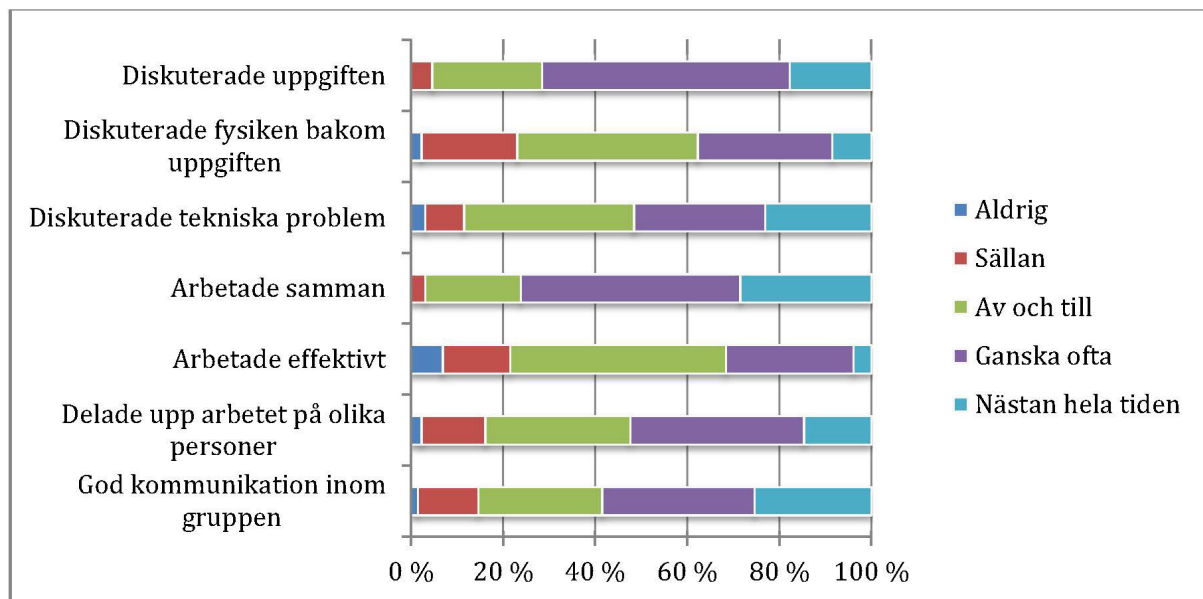
Av 1010 studenter, svarade 130, en svarsprocent på 13 %. Detta är en låg svarsfrekvens, men i paritet med motsvarande kursutvärderingar. I den specifika utvärderingen av labkursen var 33 % av svaren från kvinnor, varför dessa är något överrepresenterade. En möjlig förklaring till att kvinnor är överrepresenterade är att de upplevde arbetssättet som mer konstruktivt och därför var mer positiva till att besvara en utvärdering. Frågorna i utvärderingen fokuserade mer på studenternas erfarenheter och egentliga lärdomar av situationen och samarbete än på studenternas subjektiva åsikter om kursen. Studenterna angav att kursen gav dem goda kunskaper i att planera, genomföra och tolka resultat från ett experiment (3.02, 3.12, 3.25, på en skala från 1 till 5) (se figur 2). Även journal-föringen ansågs som god (3.12) medan förmågan att skriva rapport var mycket god (3.92), vilket stämmer väl med våra intentioner att studenterna skall få träning och utveckla färdigheter i allmänt laboratoriearbete såsom journalföring och rapportskrivning utöver planering och genomförande av experiment.



Figur 2 Fördelning av svar för hur studenterna uppfattade vad dom lärt sig under laboratoriekursen. (5 är bäst)

Förutom det upplevda lärandet var tidsåtgången för olika aktiviteter intressanta, då ett av målen med omläggningen var att öka samarbetet mellan studenterna, samt reell tid som ägnades åt att lösa det formulerade problemet. Här handlar det både om diskussioner och om fördelning av arbete, något som är

av stor vikt i yrkeslivet. Då fokus i oppgifter flyttes fra fysiken og mer over til arbeidssattet fann vi en lagre aktivitet med diskusjoner om fysiken samtidsig som oppgiften og tekniske problem diskuteres i store omfang (figur 3). Positivt var aven en relativt hog grad av samarbeid, arbeidsfordeling og kommunikasjon. Problemstillingene varierende med avseende pa hur arbeidet skall utforas, visse momenter kraver ett narre samarbeid, medan andre bor delast mellom studentene, aterigen en avspegling av det framtidige yrkeslivet. Her var det viktig at studentene fann ett lamplig tilvagangssatt for att oppna beste resultat tidsmessig. Den opplevde effektiviteten var dock lagre vilket ar forvantat i den aktuelle situasjonen, da studentene ikke ar vane vid dette satt att arbeide.



Figur 3 Fordeling av svar hur ofta ulike situasjoner intraffade under laborationstillfellene

Assistentenes nye rolle att vare mer aktiv nar det galler rapporter og diskusjoner, uppskattades av studentene og var i overrensstemmelse med observasjonene. Dessutom var fritext-kommentarene i labkurs-evalueringen overvagende positive.

Student 1: «Jeg har fatt en bedre opfatning av hvordan man beide planlegger og utforer eksperiment. Særlig fotele jeg at jeg har blitt mye flinkere til å tenke kritisk nar jeg leser om andre eksperiment, da man må ta høyde for at det kan vare flere mulige feilkilder.»

Student 2: «Hvordan en rapport skrives, da dette er relevant for oss nar vi skal skrive mastersoppgave. Forstå hvordan et eksperiment gjennomføres, og vurdere ulike faktorer som spiller inn i forsøket. Jobbe i team.»

Student 3: «Hvordan det er å jobbe med eksperimenter/oppgaver/prosjekt hvor man ikke får tildelt alt av nødvendige data, metoder osv på forhånd. Det var lærerikt å selv måtte vurdere, samt finne ut hva som måtte gjøres, parametre som spiller inn.»

När det gäller den subjektiva upplevelsen hos studenterna i de ordinarie kursutvärderingarna är den betydligt lägre (i genomsnitt 2.5). Man kan undersöka detta vidare genom att analysera de kommentarer som studenterna kan lämna. Vi finner här många kommentarer i enlighet med labutvärderingen. Men vi hittar även många kommentarer som är mer fokuserade på tidsåtgång och relevans i förhållande till tentamina. Detta är på intet sätt överraskande då många studenter har en stark tentamensfokusering och ser det som inte kommer på tentamen som någonting onödigt och negativt. Det är tydligt att vi inte lyckats full ut med att kommunicera intentionerna med labkursen till studenterna. Dock är det tydligt att tentamensfokuserade studenter troligtvis alltid kommer att se laborationer som onödiga tidstjuvar.

Assistenterna har också utvärderat kursen via ett diskussionsmöte där både problem med upplägget samt eventuella förbättringar diskuterades. Ett tydligt resultat av utvärderingen är att detta är ett helt nytt arbetssätt även för dem, vilket innebär en osäkerhet om hur de skall agera. På samma sätt som det är viktigt att förbereda ämnesinnehållet och pedagogiska innehållet är det viktigt att förbereda assistenterna på den uppgift som väntar dem. Det är av betydelse att assistenterna är trygga i sin roll som «handledare». Både assistenterna och studenterna måste vara förberedda på den, för många, nya situation i laboratoriet med en laborationsuppgift med större antal frihetsgrader än de stött på tidigare.

DISKUSSION

Tidigare studier (Etkina et al., 2006, 2010) har visat att ett mer utforskande arbetssätt har inverkat positivt på studenters engagemang och utveckling av laborativa färdigheter. I vårt fall skiljer sig kontexten från dessa studier. Här är det inte bara den (allmän-)kulturella kontexten som skiljer sig utan även utbildningskontexten och studiekontexten. Med den kulturella kontexten menar vi nationella skillnader i utbildningsväsendet. Då olika utbildningar har olika inriktning och tradition, kommer mer praktiska utbildningar att ha en annan kontext än den rent teoretiska, även om kursen i fråga är eller ses som relevant för utbildningen, detta definierar vi som utbildningskontexten. Därutöver kommer den individuella studiekontexten, med studenternas lär- och studie-stilar, och fokusering på tentamen eller lärande.

Då det förekommer utforskande arbetssätt i den norska skolan, bör inverkan på grund av kulturella skillnader vara liten. De faktorer som blir viktiga är utbildnings- och studiekontexten. Även om arbetssättet passar in i utbildningskontexten, krävs det att arbetssättet är ett genomgående tema i hela utbildningsförloppet. I vårt fall är detta den första gången som studenterna träffar på detta på högskolan. Man kan då förvänta sig att man får vissa inkörningsproblem. Här är det då viktigt att motivera studenterna och visa att arbetsättet passar in. En större utmaning ligger i studiekontexten och då särskilt med tentamensfokuserade studenter, då dessa troligen kommer att se detta som slöseri med tid. Här kan man dock diskutera om det överhuvudtaget är möjligt att nå fram med

intentionerna för laborationen och arbetssättet till dessa studenter. En möjlighet ligger i att laborationen ingår i examinationen och då inte bara med deltagande. Det blir med detta svårt att få med sig alla studenter när det gäller att ta till sig arbetssättet.

Det är viktigt att öka engagemanget och motivationen hos studenterna, detta kan göras genom, för dem, relevanta och intressanta problemställningar. Stang och Roll (2014) har visat att interaktionen mellan studenter och assistenter är viktigt för engagemanget. Detta gör att man bör lägga mycket tid på att sätta in assistenterna i frågeställningen, målen med laborationen och arbetssättet. Assistenterna måste vara duktiga i ämnet för att kunna se fel och leda studenterna rätt genom att ställa kritiska frågor. Assistenternas roll är att fungera som guider och inte ge «svaren» direkt utan låta studenterna själva göra det.

Detta medför att det är viktigt med kommunikation mellan alla nivåer. Problemställningen, utbildningsmålen och arbetssättet måste kommuniceras tydligt till både assistenter och studenter. Dessutom måste assistenterna vara aktiva i att initiera kommunikation med labgrupperna, men också vara drivande i en kommunikation internt i de enskilda grupperna samt i lab-journalerna.

Organisatoriskt och resursmässigt är detta en utmaning för utbildning inom en större kurs – ett av de mest effektiva sätten att ta itu med problem som rör studiekontext och utbildningskontext är via en god vägledning. Detta kräver en mycket högre nivå av kvalitetssäkring inom utbildning och förberedelser av assistenterna än vid de laborationsformer som traditionellt utvecklats inom massutbildning och laborationer. De är oftast baserade på utförliga labtexter som blir en extra nivå av kvalitetssäkring i laborationen.

SLUTSATSER

Att planera och genomföra en omorganisation av en kurs och särskilt en labkurs är en utmaning. Förutom de rent ämnesmässiga hänsyn som måste tas, såsom innehåll och utbildningsmål, måste man tydliggöra målen för studenterna så att de sätter in lab-kursen i rätt sammanhang. Det är också viktigt att se en omläggning i ett längre tidsperspektiv än ett till två år. För implementering av nya rutiner krävs en betydande insats av kursansvariga och personer involverade i kursen. I det sammanhanget är labassistenterna en mycket viktig faktor, då det är de som är närmast studenterna. Ett relativt omfattande introduktionssystem för assistenter är därför en kostnad man måste räkna med för att uppnå en god effekt med projektbaserad laboratorieundervisning på grundläggande nivå för stora mängder studenter.

En sekundär effekt var att studenternas upplevelser av kunna hantera procedurer såsom rapportskrivning, vilket var en av intentionerna med att anpassa laborationerna till ett framtida yrkesliv. Vi såg också positiva effekter när det gällde diskussioner och gruppdynamik ifråga om samarbete och arbetsfördelning.

REFERENSER

- Angell, C., Bungum B., Henriksen, E.K., Dankert Kolstø, S., Persson, J., & Renström, R. (2011). *Fysikdidaktikk*. Kristiansand: Höyskoleforlaget
- Etkina, E., Murthy, S., & Zou, X. (2006). Using introductory labs to engage students in experimental design. *American Journal of Physics*, 74(11), 979–986. <http://dx.doi.org/10.1119/1.2238885>
- Etkina, E., Karelina, A., Ruibal-Villasenor, M., Rosengrant, D., Jordan, R., & Hmelo-Silver, C. E. (2010). Design and reflection help students develop scientific abilities: Learning in introductory physics laboratories. *The Journal of the Learning Sciences*, 19(1), 54–98. <http://dx.doi.org/10.1080/10508400903452876>
- Fortenberry, N. L., Sullivan, J. F., Jordan, P. N., & Knight, D. W. (2007). Engineering education research aids instruction. *SCIENCE-NEW YORK THEN WASHINGTON-*, 317(5842), 1175–1176. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1143834>
- Fysikklabwiki (2015). <https://www.ntnu.no/wiki/display/fysikklab/Velkommen+til+lab>.
- Olson, S., & Riordan, D. G. (2012). Engage to Excel: Producing One Million Additional College Graduates with Degrees in Science, Technology, Engineering, and Mathematics. Report to the President [of the United States of America]. *Executive Office of the President*. Released Feb 7 (2012).
- Stang, J. B., & Roll, I. (2014). Interactions between teaching assistants and students boost engagement in physics labs. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 10(2), 020117.