

# Gör ingenjörutbildningen attraktiv genom att öka det experimentella inslaget

## **Ingvar Gustavsson**

BTH Signalbehandling  
ingvar.gustavsson@bth.se

## **Mats Pettersson**

BTH Signalbehandling  
mats.pettersson@bth.se

## **Lars Håkansson**

BTH Signalbehandling  
lars.hakansson@bth.se

## **Thomas Lago**

Axiom EduTech  
thomas.lago@axiom-edutech.com

## **Ingvar Claesson**

BTH Signalbehandling  
ingvar.claesson@bth.se

## **Sammanfattning**

Många idéer till hur man skall få fler ungdomar att välja ingenjörsvetenskapen har diskuterats och provats men tyvärr utan större framgång. En ny ingrediens kan vara att öka det experimentella inslaget, något som ändå måste göras av andra skäl, varav ett är hållbar utveckling. Det är känt att genom experiment kan man lära känna naturens principer. Ingenjörer är de yrkesutövare som konstruerar många av de nyttigheter som bär upp vår civilisation. Vi använder teorier/modeller som verktyg, men dessa räcker inte alltid, utan man måste få experimentera och bygga prototyper samt verifiera. Den allmänna meningen bland lärare och andra initierade bedömare har hittills varit att laborationer är nödvändiga men lite sägs om vad de förväntas ge. Få lärosäten producerar ingenjörer med dokumenterad erfarenhet av laborativt arbete. Lärandemål för laborationer har saknats men de senaste åren har sådana börjat definieras.

Under senare decennier har undervisningsanslagen heller inte räknats upp i takt med studenttillströmningen. Eftersom laborativ undervisning är kostsam per student har lärosätena valt att reducera antalet laborationer, men Internets intåg ger nya möjligheter att öppna laboratorier för fjärrstyrning och låta studenter experimentera själva, utan risk att skada sig själva eller utrustningen. Studenter får således nya möjligheter att organisera sina studier i enlighet med vad Bologna-processen kräver och lärosäten kan utnyttja laboratorierna mera effektivt. Vi kan öka det experimentella inslaget i undervisningen. Internationellt samarbete både avseende läromedel och experimentell utrustning ser ut att ge möjlighet att sänka de löpande kostnaderna till den grad att det experimentella inslaget

kan ökas väsentligt inom befintliga anslagsramar, även om den initiala kostnaden för den forskning som först krävs då inte är inräknad.

Avdelningen för signalbehandling, ASB, vid BTH har öppnat övningslaboratorier för ellära och mekaniska vibrationsexperiment för fjärrstyrning. Båda används i reguljär undervisning sedan några år. Ett unikt användargränssnitt gör det möjligt att från valfri plats styra och manövrera experimentutrustning på samma sätt som i laboratorielokalerna. Studenterna får möjlighet att i förväg bekanta sig med instrumenten och utföra föreskrivna experiment enskilt eller tillsammans med andra. Dessa öppna laboratorier ger möjlighet att inkludera praktiska uppgifter i skriftliga tentamina, förutsatt att examination kan ske i datorsal, varvid erfarenhet av laborativt arbete enkelt kan examineras för varje enskild student. ASB har startat ett projekt VISIR (Virtual Systems in Reality) som handlar om att sprida BTH:s öppna laboratoriekoncept och formulera standarder inom området. Tillhörande programvara har publicerats som öppen källkod. BTH bjuder in andra lärosäten att delta i projektet och i dess vidareutveckling mot internationella standarder. Två internationella universitet har redan öppnat kopior av elläralaboratoriet och deltar aktivt i vidareutvecklingen. ASB har nyligen blivit inbjuden av ett universitet i Australien att delta ett projekt med titeln "Enriching Student Learning Experience through International Collaboration in Remote Laboratories". Detta beviljade projekt är ett resultat av nya pedagogiska möjligheter, som diskuteras i detta bidrag. ASB söker samarbete med pedagoger och andra forskare intresserade av experimentella inslag i ingenjörsutbildningen. Lärandemål för laborativt arbete, öppna laboratorier och internationellt samarbete kan bli ingredienser i en moderniserad och attraktiv ingenjörsutbildning.

## **Hållbar utveckling kräver ingenjörer med experimentvana**

Många idéer till hur man skall få fler ungdomar att välja ingenjörsbanan har diskuterats och provats men utan större framgång. Regeringen har nyligen tillsatt en teknikdelegation med Volvochefen Leif Johansson som ordförande. Delegationen skall arbeta med att öka ungdomars intresse för utbildningar inom matematik, naturvetenskap, teknik och IT. En ny ingrediens kan vara att göra ingenjörsutbildningen mera attraktiv genom att öka det experimentella inslaget. Om man frågar lite äldre yrkesverksamma ingenjörer om varför de valde detta yrke blir svaret ofta att egna experiment i ungdomen väckte deras nyfikenhet för teknik. Möjligheterna att experimentera hemma är inte längre lika goda som för tidigare generationer. Det är inte så upphetsande att t.ex. ta av höljet på en modern digital väckarklocka som att plocka isär mormors antika med alla spännande fjädrar och kugghjul. Apparater som vi rör oss med i vårt dagliga liv är inte längre så lätta att genomskåda och förstå hur de fungerar. Samtidigt har antalet laborationer i grund- och gymnasieskolan minskat och motsvarande minskning av laborationer är drastisk inom de tekniska utbildningarna vid våra universitet och högskolor. Det finns flera skäl att återigen öka det experimentella inslaget.

För mänskligheten har vägen från stenålder till dagens civilisation kantats av framsteg inom naturvetenskap och teknik och man torde kunna hävda att vårt nutida materiella välstånd baseras delvis på dessa. Vetenskapsmän har genom århundradena skapat teorier och matematiska modeller av fenomen i naturen, som t.ex. Newtons mekanik, genom att experimentera och iaktta. Modellerna har kontinuerligt kunnat förbättras genom att

mätmetoder och experimentell utrustning successivt utvecklats. Möjligen skulle man kunna säga att experiment är det ”språk” som man kan använda för att kommunicera med naturen och lära av den. Nationalencyklopedin skriver om experiment: ” Det vetenskapliga experimentet som metod att utforska naturen etablerades under renässansen”. Det är i denna betydelse som ordet experiment används i denna framställning. I våra dagar räcker det inte att utnyttja naturen. Den är redan överutnyttjad och det är nu viktigt att vara varsam och göra rätt saker för att inte förstöra den värld vi lever i, vilket gör att behovet av experiment ökar.

Ingenjörer är de yrkesutövare som konstruerar många av de nyttigheter som bär upp vår civilisation. De använder teorierna/modellerna som verktyg men dessa räcker inte utan man måste experimentera och bygga prototyper, samt verifiera att de fungerar i ett hållbart samhälle. Ingenjörer behöver bli medvetna om vad hållbar utveckling kräver, bl.a. genom att använda naturen som läromästare, något som talar för att det experimentella inslaget bör öka även i utbildningen. Under senare decennier har tyvärr detta inslag istället drastiskt reducerats, främst på grund av att undervisningsanslagen inte räknas upp i takt med studenttillströmningen. Eftersom laborativ undervisning är kostsam räknat per student har lärosätena nödsakats att reducera det experimentella inslaget. Det har kunnat ske omärkt då allmänt accepterade konkreta lärandemål saknas för laborativa kursmoment. Få lärosäten producerar ingenjörer med dokumenterad erfarenhet av laborativt arbete.

Traditionellt har ingenjörsutbildningar varit breda. På sextiotalet kunde t.ex. en nyutexaminerad elektroingenjör från KTH göra en enkel hållfasthetsberäkning för stålblock. Ingenjörnsrollen har sedan dess blivit mera specialiserad men också mångfacetterad bl.a. genom datorernas intåg. Ändå försöker lärosätena att behålla viss bredd i sina utbildningar. En vanlig uppfattning, som författarna mött bland studenter i programvaruteknik och liknande inriktningar, är att de inte kommer att behöva experimentera eller komma i kontakt med naturen i sin framtida yrkesroll, och följaktligen inte behöver ägna så stor uppmärksamhet åt kurser med praktiska inslag. Programvarusystem körs emellertid på datorer och producerar tjänster, som skall fungera i ett hållbart samhälle. Med tanke på den betydelse experiment har för vår tillvaro borde vissa experimentella inslag ingå redan i gymnasieskolan. Denna framställning ägnas åt ingenjörsutbildningar, där praktiska inslag är vanliga. Exempel på sådana utbildningar är elektroteknik, som under senare år tappat väsentligt i söktryck. För fyrtio år sedan var civilingenjörsutbildningen en påkostad utbildning med hög status jämförbar med läkarutbildningen, vilket knappast är fallet idag.

## **Simulatorer och experiment kompletterar varandra**

Ingenjörer använder simulatorer som konstruktionsverktyg och kompletterar med experiment för att få en uppfattning om skillnaden mellan aktuell modell och verklighet i de delar modellen misstänks inte beskriva verkligheten tillräckligt bra. Hur väl teori/modell beskriver verkligheten varierar från fenomen till fenomen. Att bli medveten om när simuleringar räcker, och när experiment behövs, ingår i ingenjörsutbildningen. Inom t.ex. ellära finns bra modeller, vilka ger studenter på nybörjarnivå en tillräckligt bra uppfattning om verkligheten. I exempelvis kurser i elkretsteori beskrivs bl.a. Kirchhoffs lagar som modellerar hur ström och spänning fördelar sig i en elektrisk krets.

Experimenten i motsvarande laborationer vid BTH innehåller tre steg. Som förberedelseuppgift handräknar (1) studenten fram ström- eller spänningsfördelning i en viss experimentkrets genom att tillämpa dessa lagar. Därefter använder studenten en simulator (2) för att ta fram nämnda fördelning igen. Om de två resultaten överensstämmer är det troligt att studenten räknat rätt och använt modellen på rätt sätt. Under laborationen kopplar studenten upp experimentkretsen och mäter fördelningarna (3). Om de mätta resultaten stämmer tillräckligt väl med tidigare teoretiska värden finns förutsättningar för studenten att tro att modellen beskriver verkligheten. Andra modeller inte lika lättanvända. Detta gäller t.ex. modeller av vibrerande mekaniska system. Inom detta område erfordras experiment för att säkerställa en vald modells överensstämmelse med den specifika struktur som den skall modellera. Simuleringar är då inte lika användbara. Både laborationer och simuleringar kan däremot användas för att illustrera hur teorier och modeller fungerar, även om simuleringar torde vara bättre, eftersom de representerar modellerna och inte ger brus och andra störande effekter.

### **Förslag till konkreta lärandemål för experimentellt arbete finns nu**

Håkan Hult har författat en intressant och läsvärd rapport "Laborationen – myt och verklighet" (Hult 2000). Rapporten är en kunskapsöversikt över laborationer inom teknisk och naturvetenskaplig utbildning producerad i NyIng-projektet. Han finner följande sju syften med laborationer:

1. Kompletterar teorin, visar tillämpningen av teorin och ger en känsla för teorin/fenomenet
2. Utvecklar en analytisk förmåga och förmågan att formulera mål
3. Hjälper studenterna till ett meningsfullt lärande
4. Underlättar förståelsen för vetenskapligt arbete
5. Ger färdighet och vana att använda tekniker som används i vetenskapligt arbete
6. Motiverar till tekniskt-naturvetenskapliga studier
7. Utvecklar den sociala kompetensen och den kommunikativa förmågan

Håkan Hult kondenserar dessa sju syften till fyra för laborationer centrala syften:

Det första är tanken att genom att laborera får studenten ökat stöd för ett meningsfullt lärande, den andra tanken är att genom laborerandet insocialiseras studenterna i den vetenskapliga världen, den tredje tanken är att laborerandet ger hantverksskicklighet och det fjärde antagandet rör motivationen för studierna.

Slående är att skillnaden mellan teori och modell inte nämns trots att experiment är den enda möjligheten som står till buds för att se denna skillnad. Rapporten är ändå - enligt förordet - baserad på en omfattande litteraturstudie där såväl pedagogisk och allmändidaktisk litteratur (exempelvis tidskrifter som Higher Education) som ämnesinriktad litteratur (såsom Journal of Chemical Education och American Journal of Physics). I förordet skriver Håkan Hult vidare att antalet artiklar, rapporter och böcker inom området är ganska många men inte så många som han trodde att det skulle vara. Andra författare har gjort samma iakttagelse (Feisel 2005). Praktiska moment har länge haft låg status. Experimenterande är ofta "kladdigt" och tar tid. Oförutsedda saker inträffar ofta vilket är sällan förekommande i modellernas värld. Lärare och forskare som vill komma snabbt fram i karriären väljer teoretiska områden.

Under senare år har intresset för laborativ undervisning ändå tagit fart. En starkt bidragande orsak torde vara Internets intåg. Idag är det lätt att fjärrstyra experimentell utrustning och s.k. Remote Labs är vanliga. ABET, Accreditation Board for Engineering and Technology, i USA har tagit initiativ till att formulera lärandemål för laborativt

arbete. Den 6 – 8 januari 2002 samlades ca 50 framträdande ingenjörutbildare, vilka representerade ett antal lärosäten och ämnesområden i San Diego. Man enades om följande lista:

*Objective 1: Instrumentation.* Apply appropriate sensors, instrumentation, and/or software tools to make measurements of physical quantities.

*Objective 2: Models.* Identify the strengths and limitations of theoretical models as predictors of real-world behaviors. This may include evaluating whether a theory adequately describes a physical event and establishing or validating a relationship between measured data and underlying physical principles.

*Objective 3: Experiment.* Devise an experimental approach, specify appropriate equipment and procedures, implement these procedures, and interpret the resulting data to characterize an engineering material, component, or system.

*Objective 4: Data Analysis.* Demonstrate the ability to collect, analyze, and interpret data, and to form and support conclusions. Make order of magnitude judgments and use measurement unit systems and conversions.

*Objective 5: Design.* Design, build, or assemble a part, product, or system, including using specific methodologies, equipment, or materials; meeting client requirements; developing system specifications from requirements; and testing and debugging a prototype, system, or process using appropriate tools to satisfy requirements.

*Objective 6: Learn from Failure.* Identify unsuccessful outcomes due to faulty equipment, parts, code, construction, process, or design, and then re-engineer effective solutions.

*Objective 7: Creativity.* Demonstrate appropriate levels of independent thought, creativity, and capability in real-world problem solving.

*Objective 8: Psychomotor.* Demonstrate competence in selection, modification, and operation of appropriate engineering tools and resources.

*Objective 9: Safety.* Identify health, safety, and environmental issues related to technological processes and activities, and deal with them responsibly.

*Objective 10: Communication.* Communicate effectively about laboratory work with a specific audience, both orally and in writing, at levels ranging from executive summaries to comprehensive technical reports.

*Objective 11: Teamwork.* Work effectively in teams, including structure individual and joint accountability; assign roles, responsibilities, and tasks; monitor progress; meet deadlines; and integrate individual contributions into a final deliverable.

*Objective 12: Ethics in the Laboratory.* Behave with highest ethical standards, including reporting information objectively and interacting with integrity.

*Objective 13: Sensory Awareness.* Use the human senses to gather information and to make sound engineering judgments in formulating conclusions about real-world problems.

Uppgifterna om sammanträdet och målen finns listade i en tidskriftartikel (Feisel 2005).

## **Övningslaboratorier öppnade genom fjärrstyrning ger nya pedagogiska möjligheter**

Flertalet traditionella övningslaboratorier kan bara hållas öppna då instruktör finns närvarande eftersom det finns risk att studenter skadar sig eller den ofta dyrbara och sköra utrustningen kan skadas genom olämpligt handhavande. Stöldrisk finns också. Utnyttjandegraden är ofta låg då laboratorielokalerna inte kan användas för andra ändamål. Tidigare var det vanligt med kontrollskrivningar före laborationer för att kontrollera att studenterna hade tillräckliga kunskaper för att genomföra aktuell laboration. Numera förekommer sådana mera sparsamt eftersom man inte anser sig ha råd att ordna extratillfällen för dem som inte blir godkända. Lärare vittnar om att studenter kommer helt oförberedda. I ellära är det vanligt att 16 studenter laborerar under ledning av en instruktör. Denna låga lärartäthet förutsätter att studenterna är förberedda. Ambitiösa men osäkra studenter utan tidigare experimenterfarenhet missgynnas då kanske oförberedda studenter med "vassa armbågar" tar handledarens uppmärksamhet och får hjälp.

I de öppna övningslaboratorierna vid BTH har studenterna möjlighet att göra laborationerna i förväg hemifrån på samma sätt som i laboratorielokalen. Osäkra och ovana studenter kan "tjuvträna" hemma och bli mästare på att hantera instrumenten. Möjligheterna att i god tid före varje laborationstillfälle kontrollera att studenterna är väl förberedda blir goda. Möjligheten att repetera experimenten efter laborationen finns naturligtvis också. BTH använder det öppna elläralaboratoriet i en kurs i elkretsteori för distansstudenter. Dessa laborerar enbart via fjärrstyrning. De flesta av dem har tidigare i sitt yrkesliv kommit i kontakt med kretskopplingar och instrument. I kursutvärderingar menar man att man inte saknar den fysiska kontakten med utrustningen. Laboratorier med fjärrstyrningsmöjlighet kan användas under föreläsningar och gränsen mellan föreläsning och laboration suddas ut. För att bedöma det öppna laboratoriers möjligheter själv gå gärna in på <http://openlabs.bth.se/electronics/>. Där finns demonstrationer och gästexperiment som är öppna för allmänheten. Nu finns experimentmöjligheter i den virtuella värld ungdomar lever i idag enligt Kairos Future.

ASB startade det s.k. distanslabbsprojektet 1999. Till dags dato har nästan 20 personår spenderats. Det mesta är gjort av projektanställda studenter och många examensarbeten ingår. Forskningen är inriktad mot vad som upplevs som den största utmaningen dvs. att ge studenterna en så genuin upplevelse som möjligt, oaktat bristen på direkt kontakt med den fysiska experimentutrustningen. För att få hjälp med forskning och vidareutveckling av detta kraftfulla koncept startades mot slutet av 2006 ett spridningsprojekt VISIR (Virtual Systems in Reality) i samarbete med två företag National Instruments och Axiom EduTech. Vinnova ger finansiellt stöd. Ett antal universitet utomlands har gått med i "VISIR Community". Två universitet FH Campus Wien och University of Deusto i Bilbao har redan implementerat egna kopior BTH:s öppna laboratorium och deltar i vidareutvecklingen, som styrs av BTH.

## **Studenter utspridda över världen kan laborera tillsammans**

ASB har nyligen blivit inbjuden av University of Southern Australia att delta ett projekt med titeln "Enriching Student Learning Experience through International Collaboration in Remote Laboratories". Detta beviljade projekt är ett resultat av nya pedagogiska möjligheter. Följande är tre citat ur den välskrivna ansökan riktad till Australian Learning and Teaching Council:

The increasing world economic globalisation supported by modern Internet technologies requires engineering graduates to be prepared for the work on international projects through a collaboration of distributed international professional teams in a diverse global work environment. This project addresses the need to develop these skills of emerging importance and will consequently enhance the competitiveness of Australian engineering graduates, and engineering profession in general, in the increasingly complex international job market. In this context, the engineering graduates need to be interculturably capable, that is, be able to negotiate meanings across languages and cultures (Crichton & Scarino 2007).

The core pedagogy of this project is based on the Community of Practice (CoP) concept (Lave & Wenger 1991; Wenger 1998), defined as a network of individuals who engage in a process of collective learning in a domain of shared interest. Members of CoPs build relationships that enable them to learn from each other. In a CoP students can engage in a given professional, meaningful task and actively participate in problemsolving. An RL is a modern technology that enables CoPs to be formed among internationally distributed teams.

Our experience shows that students mostly value RLs for their opportunity to repeat experiments whenever there is a discrepancy between their measurement data and their calculated results. This is reflected in their

better performance and grades in practical components of courses. Based on this experience the project aims to capitalise on students' eagerness to invest extra effort and "do the best they can" when the educational environment offers the opportunity. This project aims to stream this effort in the development of their international skills through forming CoP with students from different countries and different cultures while collaborating on remote experiments using RLs.

RL är akronym för "Remote Laboratory". Den australiska gruppen har liknande verksamhet som den grupp författarna leder på BTH. Deras laboratorium liknar BTH:s elläralaboratorium.

## **Slutsatser och inbjudan**

Nu finns konkreta lärandemål för laborationer vilket gör det möjligt att examinera laborativt arbete. Dessutom finns möjlighet att ge studenter fri tillgång till experimentell utrustning i vissa typer av övningslaboratorier på ett riskfritt sätt. Vi har för närvarande öppna laboratorier för ellära, signalbehandling (mekaniska vibrationsexperiment), radioteknik (antenn) och säkerhet (nätverk). Andra typer kommer att tillkomma. Vidare finns internationella nätverk verksamma inom området laborativ undervisning. Dessa tre ingredienser bör kunna bidra till att stärka forskningen om laborativ undervisning i ingenjörsutbildningen. Sådan forskning är tvärvetenskaplig och kräver kompetens såväl inom pedagogik som inom naturvetenskap och teknik. Forskningsgruppen inom ASB ingår i flera internationella nätverk och där finns bred kompetens. ASB-gruppen ser gärna att nätverken utvidgas och att svenska grupper engagerar sig för att stärka det praktiska inslaget i ingenjörsutbildningen. Målet är att svenska lärosäten skall få möjlighet att leverera ingenjörer med dokumenterad experimentell erfarenhet för ett hållbart samhälle.

## **Referenser**

Feisel, L & Rosa, A (2005). The Role of the Laboratory in Undergraduate Engineering Education, *Journal of Engineering Education*, January 2005.

Hult, H (2000). Laborationen – myt och verklighet. NyIng-projektet, Linköpings Universitet, CUP:s rapportserie Nr 6, ISBN 91-7219-687-4.

Gustavsson, I et al (2006). An Instructional Electronics Laboratory Opened for Remote Operation and Control, *Proceedings of the ICEE 2006 Conference, San Juan, Puerto Rico, July 23 - 28, 2006*.

Gustavsson, I et al (2007). The VISIR project – an Open Source Software Initiative for Distributed Online Laboratories, *Proceedings of the REV 2007 Conference, Porto, Portugal, June 25 – 27, 2007*.

Crichton, J & Scarino, A (2007). How are we to understand the 'intercultural dimension'?: An examination of the intercultural dimension of internationalisation in the context of higher education in Australia. , *Australian Review of Applied Linguistics*, vol. 30, no. 1, pp. 4.1-4.21.

Lave, J & Wenger, E (1991). *Situated learning: Legitimate peripheral participation*, Cambridge University Press.