



PRAKTISK PROBLEM- LÖSNING

PRAKTISK
PROBLEM -
LÖSNING

Anders Axelsson

Högskoleverket 1998

Högskoleverket • Birger Jarlsgatan 43 • Box 7851, 103 99 Stockholm
tfn 08-453 70 00 • fax 08-453 70 50 • e-post hsv@hsv.se • www.hsv.se

Praktisk problemlösning

Producerad av Högskoleverket i juni 1998

Högskoleverkets rapportserie 1998:5 S

ISSN 1400-9498

ISRN HSV-SS--98/5--SE

Innehåll: Anders Axelsson

Grafisk form: Högskoleverkets informationsavdelning

Tryck: Printgraf, Stockholm, juni 1998

Innehållsförteckning

Summary	5
1 Bakgrund	7
2 Varför bör vi förändra laborationerna?	9
2.1 Frikopplade laborationskurser	9
2.2 Dyrt men viktigt med laborationer	10
2.3 Förståelsen av grundläggande fysikalisk-kemiska fenomen	11
2.4 Laborationen borde stimulera ett kreativt arbetssätt	16
2.5 Problematiska undervisningen	18
2.6 Laborationen behöver inte bara bestå av tråkigt arbete utan får också vara rolig	19
3 Förutsättningar och miljö	21
3.1 Lärarnas förhållningssätt till undervisning och utbildning	21
3.2 Teknologernas förhållningssätt till inläring	23
3.3 Systemets (universitetets) förhållningssätt till utbildning	24
4 Slutsatser	25
5 Vilka har studerat liknande problem?	26
6 Praktisk problemlösning – hur går det till?	27
Uppläggning och organisation	27
7 Exempel på praktiska problem och hur man går till väga för att lösa dem.	28
7.1 Herons fontän	28
7.2 Fördelningsrör	29
8 Sammanställning av Praktiska Problem	34
8.1 Strömningsteknik	34
8.2 Värmeteknik	34
8.3 Separationsprocesser	35
9 Hur väljer man ut ett ”bra” Praktiskt problem?	36
9.1 Vad är det som gör ett problem pedagogiskt användbart?	36
9.2 Vilka krav ställer vi på ett Praktiskt Problem?	36
9.3 Problem som inte passar som PP	36
10 Uppläggning och genomförande av projektet	38
10.1 Syftet med projektet	38

10.2	Arbetsgång vid val av praktiska problem	38
10.3	Hur har vi gjort för att utveckla nya problem?	39
10.4	Projektorganisation	39
11	Utvärdering	42
11.1	Våra egna erfarenheter	42
11.2	Några viktiga erfarenheter att tänka på:	43
11.3	Kunskap och förståelse	44
11.4	Attitydundersökning	46
12	Projektpresentationer	47
12.1	Användning av praktiska problem i lärarutbildning	47
12.2	Rekryteringsprojekt	47
12.3	Praktisk problemlösning vid andra institutioner	47
12.4	Presentation vid konferenser och seminarier	48
12.5	Studiebesök	48
13	Litteraturreferenser	49
Appendix 1	Kursutvärderingar	53
Appendix 2	Praktisk problemlösning (PP) Strömningsteknik	59
1.	Hérons fontän	60
2.	Mariotte-flaska	60
3.	Reynolds experiment	61
4.	Tryckfall i rörledningar	61
5.	Laminär och turbulent strömning	62
6.	Fördelningsrör (Manifold)	63
7.	Laminär hastighetsprofil	64
8.	Aerodynamiska paradoxen	65
9.	Vattenstrålpump – tryckmätning	65
10.	Kavitation	66
11.	Vattenspridare	66
12.	Omströmmade kroppar	67
13.	Centrifugalpumpens arbetssätt	67
14.	Flödesmätning	68
15.	Omrörning	69
16.	Vätskeseparering	70
17.	Sedimentation i Dorrfortjockare	71
18.	Hydraulisk transport	72
19.	Kompressibel strömning	73
20.	Tryckfall i fluidiserad bädd.	74
21.	Spouted-bed	75
22.	Cyklon	75
23.	Hydraulisk vädur (hydraulic ram)	76
24.	Två roliga vattentricks – hemuppgift	77

Summary

Solving Practical Problems in Chemical Engineering

For many years education in chemical engineering has been treated as in other technical and scientific subjects. Lectures, tutorials, and laboratory work have been the main methods of teaching.

The laboratory exercises often live their own lives separated from the theoretical aspects raised during the lectures. There is often no challenge for the students to find an experimental approach of their own. Still, conventional laboratory work is important because of the many different skills that are developed: planning of experiments, dexterity, oral presentation of the results, writing of reports etc. However, when looking critically at an ordinary lab course in chemical engineering, it is surprising how often only a small part of the actual laboratory experiment is remembered by the students.

By introducing practical problems as a complement and sometimes as an alternative to the ordinary chemical engineering laboratory work we have found a way to build “creative islands” within the existing courses. The exercises in solving practical problems are now usually called “PP’s”, or “PP-labs”, and they have become very popular with the students.

Much of the development work was carried out within a project partly funded by the Council for the Renewal of Undergraduate Education. The objective was to develop new ways of introducing problem-solving and creative thinking into the undergraduate courses in chemical engineering. The project started in 1991 and was finished in 1996.

During the project several practical problems have been developed and been integrated into the basic undergraduate courses in chemical engineering: fluid dynamics, heat engineering and separation processes. Each course has about 100 students. The problems have to be presented in a meaningful way regardless of the large number of students i.e. the problems have to be discussed and solved in close connection with the theoretical aspects raised during the lectures. The majority of problems are selected to give the student

an insight into an important engineering problem or into an interesting phenomenon. It should also contain an intellectual challenge for the student.

The problems have to be solvable in a practical way as well as with theoretical considerations, preferably within 15–30 minutes. The students work together in small groups. They train not only their problem-solving capabilities but also their abilities to explain their own views on the technical problems for others. For a technician this communication skill is very important.

The problem-based approach makes the students more active and eager to discuss the problems and to find alternate ways of solving them.

Our experience with this approach has been excellent:

- It is fun for the students.
- It is fun for the teachers.
- It makes the students eager to find a “creative” way of solving the problems.
- The teachers are stimulated by new views on old problems.
- The results in written examinations have improved.
- The students gain not only experience in problem-solving but also self-confidence. This last factor is very often neglected and its importance very much underestimated.

Most ideas presented in this work can be applied to any natural science course on different levels although this study has focused on chemical engineering students.

I Bakgrund

Vid avdelningen för Kemisk Apparatteknik (KAT), Lunds tekniska högskola (LTH), introducerades redan på 80-talet ett nytt arbetssätt som ersättning för en stor del av de gamla laborationerna, nämligen Praktisk Problemlösning: numera oftast benämnt PP. Trots att metodiken fungerade väl hade vi svårt att få tiden att räcka till för att utveckla arbetssättet ytterligare – pedagogiskt och metodiskt. Vi hade inte heller resurser att ta fram tillräckligt bakgrundsmaterial. Genom Rådet för grundläggande högskoleutbildning har vi kunnat utveckla metoden ytterligare i projektet ”Praktisk Problemlösning” (dnr 47/90 och 135/92).

Föreliggande rapport ger en översikt av projektet som tilldelades medel 1991 och sedan pågick till mitten av 1996 (1, 2, 3).

Undervisningsprojektet har utförts vid KAT, LTH. Avdelningens undervisning sker inom kemiteknikprogrammet på den 4,5-åriga civilingenjörsutbildningen och är fördelad på tre grundkurser om vardera 5 p: Strömningsteknik, Värmeteknik och Separationsprocesser som ges under årskurserna 2, 3 och 4. Projektet har omfattat samtliga tre kurser men tillämpats i första hand på Strömningsteknik och Värmeteknik. Cirka 100 teknologer följer respektive kurs varje år.

Rapporten är disponerad på följande sätt:

Inledningsvis diskuterar jag allmänt laborationens roll i undervisningen och försöker också leda i bevis att det är av vikt att vi förändrar arbetssättet i de tekniska utbildningarna (kapitel 2). I kapitel 3 kommenterar jag kortfattat teknologernas, lärarnas och universitetens förhållningssätt till undervisning och utbildning. Normalt benämner vi våra elever teknologer eller studenter. Jag använder stundtals beteckningen elever för att ge framställningen en mer allmängiltig karaktär.

Den som vill veta vad vi gör och slippa alltför mycket teoretiskt resonemang kan gå direkt till kapitel 6, där jag beskriver hur vi går till väga, och till kapitel 7, där jag redovisar två exempel: ”Herons fontän” och ”Fördelningsrör”. Dessförinnan har jag i kapitel 5 gett några referenser till arbeten gjorda på

andra håll som kan vara av intresse i detta sammanhang. I kapitel 8 finns en sammanställning av de praktiska problem vi använder i våra grundkurser.

Projektarbetet som genomförts diskuteras i kapitel 9–12, där jag dessutom behandlar utvärderingen av projektet och redovisar en del av den utåtriktade verksamhet vi haft under projektets genomförande.

2 Varför bör vi förändra laborationerna?

Det finns ett gammalt ordspråk som brukar citeras i inlärningssammanhang:

Det räcker inte med att se och höra – man måste göra.

Detta illustrerar det de flesta av oss egentligen tycker är självklart: inlärningen kräver att studenterna får bearbeta det de sett genom att göra något själva.

I tekniskt tillämpade ämnen är dessutom problemen ofta hämtade från industriella tillämpningar och är därför ofta av praktisk natur. Det faller sig då naturligt att problemen inte bara är av teoretisk och beräkningsmässig karaktär. Vi har därför valt att i många kurser arbeta med Praktisk Problemlösning (PP) som en naturlig del av undervisningen. Våra erfarenheter är mycket positiva. Vi tror att mycket av det vanliga laborerandet skulle kunna ersättas av dessa s.k. PP-labbar.

Undervisningen i de flesta laborativa ämnen följer av tradition ett likartat mönster: föreläsningar och gruppövningar kombineras med laborationer av olika slag. Detta gäller en stor del av de ämnen som undervisas vid de tekniska högskolorna, inte minst i kemi-, fysik- och kemiteknikämnen.

Det är av stor vikt att förnya arbetssättet av flera skäl. I det följande avsnittet försöker jag redovisa några av motiven och drivkrafterna till vårt arbete med att förändra laborationerna.

2.1 Frikopplade laborationskurser

Det finns ett visst slentriantänkande när det gäller att organisera laborationerna för ett stort antal studenter: när man efter stora vedermödor lyckats lägga ett laborationsschema som passar alla inblandade (ekonomiansvariga, kursansvarig, studenter, parallellämnen, etc.) finns det inget utrymme kvar för pedagogiken.

Traditionellt lever laborationskursen sitt eget liv mer eller mindre frikopplad från övriga delar av kursen. Ibland är man t.o.m. tvungen att laborera på något som man inte hunnit studera i kursen. Detta beror på att det är svårt att organisera undervisningen för ett stort antal studenter under en begränsad tid på ett begränsat utrymme. Av detta förstår man också att problemet är störst i de första årskurserna (150–200 teknologer/kurs). Kurserna under utbildningens sista år ges däremot i små grupper (15–20 teknologer/kurs), vilket skapar flexibilitet både vad gäller arbetssätt och kursinnehåll. Laborationskurserna under det sista året brukar därför innehålla alla de moment som man önskar att ett laborativt arbete skall innehålla: litteraturstudium, försöksplanering, skriftlig och muntlig presentation, etc.

Det är alltså i de första årskurserna man främst skulle behöva förnya arbetssättet.

2.2 Dyrt men viktigt med laborationer

Laborationer är mycket tids- och kostnadskrävande. Därför borde vi lägga mycket möda på att utveckla dessa så att inlärningsresultatet står i rimlig proportion till kostnaden. Tyvärr är detta ofta inte fallet.

Att det är viktigt att naturvetenskapen och tekniken tar sin utgångspunkt i det experimentella arbetet gäller inte minst ingenjörer och tekniker. Einstein har vid något tillfälle uttryckt sig om experimentellt arbete i fysik på följande sätt (4):

”In the matter of physics, the first lessons should contain nothing but what is experimental and interesting to see.

A pretty experiment is in itself often more valuable than twenty formulae extracted from our minds; it is particularly important that a young mind that has yet to find its way about in the world of phenomena should be spared from formulae altogether. In his physics they play exactly the same weird and fearful part as the figures of dates in Universal History.” (Albert Einstein)

Formler och ekvationer är lika oviktiga för att förstå fysiken som årtalsexercisen är för att förstå historien.

Experimenten ger den bas på vilken studenten bygger sina egna konkreta modeller av fenomenen. I textböckerna beskrivs dessa ofta med abstrakta matematiska modeller. I en effektiv inlärningsprocess varvas dessa olika modeller med varandra.

Experimenten behöver inte vara komplicerade. Låt mig återigen ta Einstein som exempel (5):

Einsteins tekopp

I Naturwissenschaften 1926 publicerade Einstein ett arbete på 3 sidor som behandlade följande problem:

Varför samlas tebladen i mitten på tekoppen när man rör om?

Det sägs att Einsteins vän Schrödinger vid ett tillfälle hade fått frågan av sin fru. Eftersom han inte kunde reda ut det hela lät han frågan gå vidare till Einstein. Efter lite funderande publicerade Einstein så småningom sina tankar omkring det praktiska problemet – helt utan ekvationer. Med tebladsexemplet förklarade han samtidigt varför meandrar bildas och varför nord-sydgående floder är djupare på den östra sidan på norra halvklotet och tvärtom på södra halvklotet.

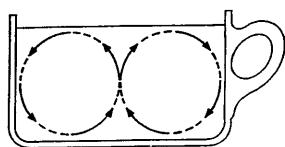


Fig 1

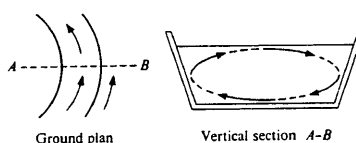


Fig 2

Vid lösningen av det till synes triviala problemet måste man diskutera många grundläggande fysikaliska principer. Med det enkla exemplet som utgångspunkt generaliserar Einstein resultatet till att gälla storskaliga fenomen.

2.3 Förståelsen av grundläggande fysikalisk-kemiska fenomen

Utökningen av kunskapsstoffet har ofta gått ut över förståelsen av väsentliga grunder. Sålunda saknar ofta studenterna tillräckligt med tid för att egentligen förstå vad de lär sig, vilket medför alltför mycket memorering och ytinläring på bekostnad av djupinläring och förståelse (6).

KALLE & HOBBE



Figur: "Newtons gravitationsteori = YakkafobgrugPubbaWup" (Ur Kalle och Hobbe)

Studenternas uppfattning om de fysikaliska fenomenen och deras bakomliggande orsaker är förvånansvärt ofta mycket "primitiv". Man har inte tagit sig tid (eller kanske hellre – man har inte getts tid) att egentligen förstå sambanden. Detta problem är inte unikt för högskolan utan har tyvärr ofta grundlagts redan i högstadiets och gymnasiets naturvetenskapsundervisning. Jag vill belysa med några exempel.

Exempel 1: Uppfattning av kraft

När min son Johan studerade fysik i årskurs 1 på gymnasiet kom man som vanligt in på kraftbegreppet inom mekanikavsnittet. Följande problem behandlas:

Vilka krafter verkar på ett klot som rullar utmed marken?

Johan konstaterade att kroppen går framåt och använder sitt sunda förnuft och menar att det verkar en kraft i rörelsens riktning. När jag rättar honom och säger att krafter verkar på kroppen i alla andra riktningar utom framåt tittar han frågande på mig.

Det är här läraren måste ta sin utgångspunkt – att acceptera den förutfattade mening om vad kraft och rörelse är för något. Det tråkiga är att många elever aldrig kommer förbi denna frågan. De tror att de är mindre begåvade ("korkade") och att det där med fysik inte är något för dem. I synnerhet som det finns så många andra i klassen som verkar ha förstått det hela. De svarar i alla fall rätt på lärarens frågor och ritat ut krafterna exakt som läraren gör.

Det värsta är att vi lärare alltför ofta förnekar elevernas skepsis. Johan har samma åsikt som Aristoteles hade en gång. Aristoteles menade att "kroppar

har sin naturliga plats i universum – när kroppen upptäckt sin naturliga plats förblir den vilande där om den inte rubbas av en yttre kraft”. Hans bild stämmer överens med vår uppfattning om att hur hårt vi än kastar en sten så kommer den till slut att falla till marken.

Newtons bild av verkligheten är att det naturliga tillståndet är rörelse. Vila är bara ett specialfall med hastigheten = 0. En kropp rör sig i en rät linje eller förblir i vila i all oändlighet om inte någon kraft inverkar på den. Detta strider vid första anblicken mot sunda förnuftet. Om vi tar hänsyn till friktionen och luftmotståndet kommer kroppen att stanna så småningom. Eftersom dessa krafter ofta försummas i skolfysiken beskriver skolfysiken inte elevernas verklighet. Den Newtonska kraftuppfattningen har alltså inte slagit igenom – mest på grund av alltför många friktionsfria och lufttomma klassrum.

Hela problemet har beskrivits ingående i ett projekt där man studerade Chalmerteknologernas kraftuppfattning (7). Även där visade man att den aristoteliska kraftuppfattningen var mycket vanlig och att den lever kvar långt upp på universitetsnivå.

Vad kan vi lära av detta exempel?

Fysiken förenklas ofta till att diskutera och lösa ett problem i taget trots att man inte kan isolera de olika faktorerna i det verkliga experimentet. Gör vi det stämmer inte teorin med vår erfarenhet – och då tappar vi tron på naturvetenskapens förmåga att beskriva naturen.

Det stora problemet är att elever misstror fysiken och naturvetenskapen. Den stämmer ju inte med den intuitiva uppfattningen. Vi lärare måste ta vår utgångspunkt i elevernas egna erfarenheter och förklara de fenomen som uppträder. Om man förenklar fysiken alltför långt duger den inte längre som förklaringsmodell för de naturvetenskapliga fenomenen. Eleverna övergår från förståelseinläring till memorering. Detta är säkerligen en av orsakerna till att vi förlorar s.k. ptn-elever (potentiella teknik- och naturvetenskapsstuderande) till andra områden.

Exempel 2: Erfarenheter och förutfattade meningar om temperaturmätning

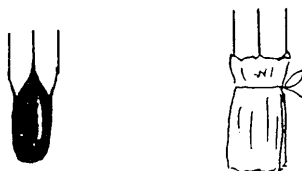
För ett antal år sedan deltog jag i ett projekt där vi utvecklade ett experimenthäfte för låg- och mellanstadiet (8, 9, 10). Vi åkte runt och presenterade projektet

på ett stort antal studiedagar i södra Sverige. Vi lät lärare på låg- och mellanstadiet själva göra de experiment de senare skulle låta barnen göra.

Ett av experimenten går ut på att mäta temperaturen med en termometer. Handledningen för experimentet ser ut på följande sätt.

Experiment 24: Är man bara torr om fötterna så...

1. Tag en termometer och mät temperaturen i rummet: _____°C
2. Fläkta med en pappskiva så att det blåser kraftigt på termometern. Vad får du för temperatur? _____°C
3. Sätt nu en strumpa på termometerkulan genom att vira om lite hushållspapper och knyta fast med sytråd.



Blöt strumpan med vatten som stått i rummet ett tag.

Fläkta på termometern. Läs av temperaturen när den inte sjunker mera.

_____°C

Vad är det som gör att det blir kallt?

Varför känns det kallare ute när det blåser än när det är vindstilla?

Varför ska man vara noga med att vara torr om fötterna?

Ur Experimenthäfte för flickor och pojkar och deras lärare (8, 9, 10)

Först mäter man alltså temperaturen i rummet (1). Därefter mäter man temperaturen på luften i rörelse. Luften sätts i rörelse genom att man viftar med en pappskiva (2). Slutligen mäter man med en fuktig termometer (3).

Vårt budskap med det tredje experimentet är att det blir kallare när termometern är fuktig. Vi ville också diskutera vad det berodde på: att vatten avdunstar – att det krävs energi för att vattnet skall kunna avdunsta och att denna energi tas från vattnet vars temperatur därför sjunker, osv. Vi ville med det andra experimentet visa att luftens hastighet inte påverkar temperaturen.

Döm om vår förvåning då 19 av 20 lärare i en grupp faktiskt mätte upp en lite

lägre temperatur när de viftade med den torra termometern i luften – ibland bara 0.1–0.5 grader lägre – men ändå. När de såg att vi var lite skeptiska till resultatet upprepades mätningen varvid man inte längre mätte någon temperatursänkning. Vid den efterföljande diskussionen menade många lärare att det är klart att det blir kallare när det blåser: ”Det vet vi av erfarenhet!”; ”Det är klart att det måste synas på termometern.” Inte förrän vi diskuterade det tredje försöket började man riktigt acceptera att den kylande effekten inte beror på vindhastigheten utan i stället beror på avdunstningen av vatten från huden.

Vad kan vi dra för slutsats av detta?

Vi har förutfattade meningar som vi vill bekräfta vare sig vi är forskare eller studenter, grundskolelärare eller skolbarn. Experimentet eller laborationen är ju till för att bekräfta eller förkasta våra hypoteser. Återigen är det viktigt att bygga på de erfarenheter elever och studenter har, men också att få dem att kritiskt granska sina observationer.

Exempel 3: Briohunden

Vid ett tillfälle för flera år sedan besökte jag min bror i Stockholm. Hans son Mattias var då bara drygt två år gammal. Det var på den tiden då hemdatorerna inte hade slagit igenom. Det är t.o.m. så länge sedan så att de fjärrstyrda leksaksbilarna bara fanns i mycket exklusiva utföranden. Den mest högteknologiska leksaken på den tiden var en leksaksbil med en lång sladd till en manöverenhet med vilken man kunde stoppa, gasa och styra bilen. Givetvis skulle jag ha en present med mig till Mattias. Eftersom min bror alltid varit mycket elektronikintresserad var Mattias försedd med allehanda teknikprylar – inte minst elektriska bilar med manöversladd. Brodern från landet, dvs. jag, skulle givetvis ha något annorlunda med sig. Valet föll på en s.k. Briohund – en liten röd blank trätax med vajande svans i form av en metallfjäder. Trätaxen var försedd med hjul och kunde dras i ett färgglatt snöre med en rund, röd träknopp i änden.

När Mattias öppnat paketet inser han genast att detta är något som skall rulla på golvet. Han placerar hunden på golvet, tar snöret och trycker på den röda knoppen och tittar sorgset på mig och säger att den nog är sönder. Han var för liten för att undra om det fanns några batterier till den.

Vad vill jag säga med denna lilla historia?

Redan som barn stöter man på mängder av tekniska prylar som man

använder utan att förstå hur de egentligen fungerar. Man är mer intresserad av användningen än av hur de fungerar. Man tittar på TV utan att förstå katodstrålerörets princip, spelar datorspel utan att veta att datorinformationen består av ettor och nollor och vi kör bil utan att veta speciellt mycket om vad som finns under motorhuven.

Vi har alltså inte en naturlig drivkraft att ta reda på varför något fungerar som det gör. Vi har lärt oss acceptera alltför mycket som vi inte förstår. Det gör att många av de grundläggande fysikalisk-kemiska fenomenen inte är befästa.

Detta gör att fysikläraren kan förklara växelström för eleverna i årskurs 9 genom att rita en sinuskurva. Det värsta är att barnen accepterar detta som en förklaring.

2.4 Laborationen borde stimulera ett kreativt arbetssätt

Det utökade kursinnehållet har gjort att studenterna av ren självbevarelse-drift hela tiden försöker hitta genvägar för att ta sig igenom ett orimligt stort kunskapsstoff. Dessa genvägar utgörs t.ex. av gamla tentor med lösningar, tips från äldre teknologer, gamla laborationsrapporter, etc. Genvägarna gör att man sällan behöver söka sig till biblioteket för att ta reda på någonting som är oklart. Man söker hellre efter genvägarna än att konsultera läroboken, som ofta är på engelska och kräver en extra arbetsinsats. Nu när tillgången på datorer är stor finns en risk att detta i första hand utnyttjas för att skapa egna databaser som innehåller gamla lab. rapporter, gamla tentor, tentamensstatistik, etc. All kreativitet kommer att kanaliseras till att komma förbi den konventionella laborationen med en så liten arbetsinsats som möjligt. I stället borde man försöka komma på kreativa lösningar av den egentliga laborationsuppgiften.

Om man ger ut instuderingsfrågor inför tentamen kommer många studenter att lägga all möda på att leta efter svaren i kurslitteraturen. De får därigenom ofta en fragmentarisk bild av kursen, eftersom de avbryter letandet så snart de tycker sig ha hittat svaret på den aktuella frågan. De tycker sig inte ha tid att arbeta på det omvända sättet: att läsa kurslitteraturen för att därigenom kunna svara på frågorna.

Orsaken till denna missriktade ambition vill jag belysa med följande exempel:

Schimpansexemplet

I en vetenskaplig studie (Desmond Morris: *Biology of art*) studerade man schimpansers beteende (11). Vid ett tillfälle försåg man schimpanserna med målardukar, penslar och olika färger. Mycket snart insåg de att de kunde sätta färg på dukarna. Schimpanserna uppslukades snart helt av sitt målande. De skapade balanserade färgmönster som man faktiskt skulle kunna karakterisera som modern konst. Man har till och med kunnat lura professionella konstförståsigpåare med deras alster. Det viktiga var att de var helt absorberade av uppgiften: de glömde bort att äta, de glömde sex – de uppfyllde definitionen på vad vi brukar kalla kreativitet.

Så småningom började man ge schimpanserna en belöning för det dom åstadkommit – en banan eller något annat de uppskattade. Ganska snart började konstverken degenerera. De producerade exakt så mycket som krävdes av dem för att de skulle få sin belöning – inte ett dugg mer. Till slut drog de på sin höjd ett snabbt streck med penseln och sprang sedan till sin vårdare för att få sin banan.

Det man ville visa med detta experiment var att belöningen eller hotet om ett straff minskar kreativiteten. Det fanns inte längre någon lidelse eller någon spänning i uppgiften.

Slutsatsen man kan dra är att aktiviteten i sig inte har någon betydelse. Det är belöningen eller det uteblivna straffet som är det viktiga.

Det ligger inte långt borta att dra parallellen att kursen och kursinnehållet är oviktigt i jämförelse med ”tentan”. Tentamen styr *vad* man läser och *hur* man läser. Följaktligen befordrar inte tentamen ett kreativt arbetssätt – snarare tvärtom.

Det är inte speciellt spännande eller stimulerande att göra en 2- eller 4-timmarslaboration som man vet har gjorts på exakt samma sätt tidigare år. Allt är tillrättatlagd för att man skall hinna göra de nödvändiga momenten på den stipulerade tiden och lab-handledaren blir lyckligast då gruppen kan reproducera vad han själv och andra gjort tidigare. Lab-rapporten sätts sedan in i en pärm tillsammans med oräkneliga andra identiska lab. rapporter.

2.5 Problematisera undervisningen

Min åsikt är att det är viktigt att problematisera undervisningen. I den rikhaltiga litteraturen som behandlar problembaserat lärande eller problem-baserad inläring (PBL eller PBI) motiveras angreppssättet från flera angreppspunkter (12, 13, 14, 15). Genom det probleminriktade arbetssättet får studenterna ett annat förhållningsätt till studierna och till innehållet i kurserna.

Följande historia om två äldre tyska herrar tycker jag illustrerar detta.

Herr Laubermann och Herr Fritz

För en tid sedan deltog jag i ett dagslångt seminarium i Göteborg. Ett företag som sålde utrustning inom partikelteknologiområdet hade organiserat dagen genom att bjuda in representanter från sina europeiska leverantörer. Under dagen presenterade de sina produkter under korta anföranden på 25 min med 5 min frågestund, varpå nästa föredragshållare började. Cirka 140 deltagare från olika företag i Sverige hade varit och en betalade en tusenlapp + resa + övernattningskost på Hotell Sheraton för ytterligare en tusenlapp. För mig var det extra trevligt att vara där, eftersom jag träffade åtminstone tio f.d. teknologer som nu var spridda inom den svenska kemiska industrin.

Framåt eftermiddagen hade turen kommit till ett tyskt företag som skulle presentera sina krossar. En grånad Herr Laubermann med sin äldre kollega Herr Fritz anträdde podiet. På bordet lades en pärm innehållande en ca 10 cm tjock bunt med overheadbilder. Herr Fritz plockade ut bilderna ur pärmen, gav dem till Herr Laubermann, fick tillbaka dem och satte in dem efter att de visats och kommenterats av Herr Laubermann. De hann igenom ALLA bilderna på 25 min. Våra studenter brukar ange opm-tal (overheads per minute) för sina föreläsare. Jag vågar inte tänka på vad Herr Laubermann och Herr Fritz kom upp till. Kanske något för Guinness Book of Records? Jag sneglade på mina f.d. teknologer. Alla verkade mycket koncentrerade och lyssnade noggrant på vad som sades. I kaffepausen efter föredraget såg jag några av dem inbegripna i ett engagerat samtal om en av det tyska företagets krosstyper.

Om Herr Laubermann hade hållit samma föredrag för samma teknologer under tiden de var kvar på universitetet hade han "sågats" obönhörligt i kursutvärderingen. Man hade inte heller gått på nästa föreläsning.

När man är student har man oftast inte något speciellt intresse av, eller något speciellt förhållningssätt till innehållet i en föreläsning. I stället tenderar intresset att fokuseras på framförandet och inte på innehållet. När vi deltog i Göteborgsmötet gjorde vi det för att vi var intresserade av vad Herr Laubermann och övriga hade att presentera. Vi hade ett annat förhållningssätt till kunskapsstoffet. Vi hade kanske ett aktuellt problem som vi fick belyst. Dessutom visste vi att de som stod för presentationerna var auktoriteter inom respektive område.

På universitetet har vi givetvis också mycket kunniga personer som är experter inom sina specialområden – ofta ligger de i forskningsfronten inom sina discipliner. Studenterna har emellertid ett annat förhållningssätt till det presenterade kunskapsstoffet. De har inte något problem som de kan applicera det på.

Vad kan vi lära av denna historia?

Problematisera undervisningen så att studenterna får ett intresse av ämnesområdet. Detta ger en naturlig drivkraft för inläring: människor tycker inte om frågor – de tycker om svar.

2.6 Laborationen behöver inte bara bestå av träget arbete (lat. labora = arbeta) utan får också vara rolig

Det finns en gammal föreställning om att medicin som smakar illa är effektivare än en välsmakande medicin. Det verkar ibland som om denna inställning också varit förhärskande inom pedagogiken.

Jag tror att laborationen eller de enskilda experimenten ibland skall fungera som aptitretare. De får gärna verka förbryllande genom att de ger oväntade resultat. Inom strömningstekniken har vi använt oss av detta genom att behandla de s.k. paradoxerna: hydrostatiska och aerodynamiska paradoxen. De får gärna vara roande utan att vara jippobetonade.

Under de senaste åren har vi vid kemiteknikprogrammet drivit ett rekryteringsprojekt med målsättningen att intressera barn för naturvetenskap och teknik. Kemiteknologer har gett sig ut till femteklasser och visat roliga experiment samt låtit barnen själva få göra enklare försök. När jag startade detta projekt hade jag en utbildningskväll med ett tiotal teknologer där jag visade hur man kunde lägga upp en lektion. Jag hade givetvis inkluderat ett

antal spektakulära försök, t.ex. med självlysande vätskor och ”magiska” vätskor som skiftar färg av sig själva. Döm om min förvåning när jag upptäckte att teknologerna aldrig hade sett dessa roliga experiment. Under kemiteknikutbildningens två första år behandlas den grundläggande kemin ingående. Allmän, oorganisk, organisk, fysikalisk och analytisk kemi samt miljökemi och biokemi studeras. Här finns ju mängder av möjligheter att använda roliga, spektakulära experiment som aptitretare eller för att problematisera undervisningen.

Uppenbarligen bedrar vi teknologerna på en del av den roliga fysiken och kemin.

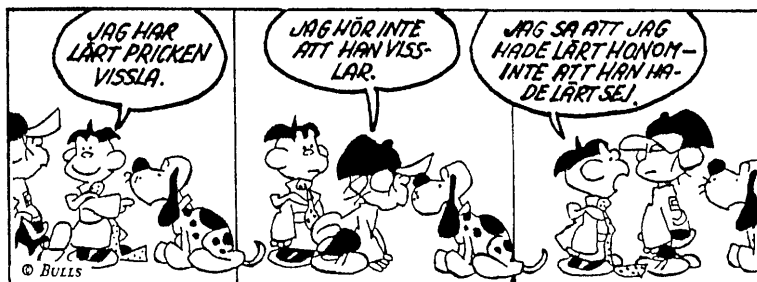
3 Förutsättningar och miljö

I föregående kapitel har jag gett sex olika skäl till att det finns anledning att omorganisera undervisningen och speciellt laborationerna. Det finns dock begränsningar för vad som är möjligt att enkelt genomföra. De begränsningarna finns hos oss lärare, hos teknologerna och i systemet självt.

3.1 Lärarnas förhållningssätt till undervisning och utbildning

Vi är många olika lärartyper som trivs med att undervisa på vårt eget sätt. Man måste ju tro på den metod man använder. Det gör läraren trovärdigare och därmed mer engagerande. Det finns ingen ”ultimat” metod som är överlägsen andra metoder – det finns inget ”Sesam öppna dig”. I stället kan det vara en fördel med ett varierat utbud – ett smörgåsbord av undervisningsmetoder. Eftersom olika inlärningsstrategier tillämpas av olika elever finns det alltid något som passar respektive elev.

Det första problemet med oss lärare är att vi ofta tror att det är vi som lär studenterna allt. Vi glömmer bort att en stor del av det kunskapsstoff som presenteras ”faller mellan stolarna”. Kraven på en godkänd tentamen ligger ju i regel obetydligt över 50 procent av maximalt möjliga poäng. Vi vägrar ofta se verkligheten – vi tror att vi uppnått det vi avsett från början.



Figur: "Att lära eller att läras – det är frågan" (Tiger)

Många av oss är alltid lika besvikna varje gång vi rättar tentor och inser vilka luckor som finns hos vissa studenter. Vi minskar sällan på kursomfånget. I

stället skapar vi nya inläsningsanvisningar eller behandlar svåra avsnitt mer ingående vid nästa årskurs. Vi glömmer också bort att det vi testar är det de kommer ihåg – inte det de verkligen lär sig.

Lärarens aldrig sinande tro på att det är i skolan man lär sig allt, gör att man ofta hamnar i detaljdiskussioner om läroplaner och kursinnehåll. Skall kursen omfatta 3, 4 eller 5 poäng? Numeriska metoder lär man sig i kurser i numeriska metoder och ingen annanstans. Statistik lär man sig i kurser i statistik och ingen annanstans. Så är det givetvis inte alls. Ibland kanske de viktigaste tillämpningarna återfinns i helt andra ämnen än man trott från början.

Det andra problemet är att forskningen tar mycket tid och att det i regel får gå ut över undervisningen. Varför är det så? Jo, det är genom forskningen man skapar internationella kontakter och därmed resurser inom den egna institutionen. Det är genom forskningen man meriterar sig för undervisningstjänster eller professurer. Här brukar jag alltid bli avbruten av en del kollegor med kommentaren att man numera väger in också pedagogiska meriter vid tjänstetillsättningar. Det finns visserligen vackert formulerade tankar om detta, men jag menar att inget i praktiken ändrats under de 20 år jag varit universitetslärare. Den akademiska traditionen är djupt rotad. Helt fel är det väl inte heller. Ett universitets renommé beror ju inte på att undervisningen är bra utan på hur framgångsrik forskning man har.

För den nya typen av universitetslektorer, med 50 procent forskning och 50 procent undervisning i tjänsten, är arbetssituationen stundtals mycket frustrerande. De utför den undervisning de är satta att utföra och deltar i de möten de måste delta i (och de är inte få!). Den tid som blir över ägnas åt forskning, vilket i praktiken innebär att en stor del av fritiden går åt till detta.

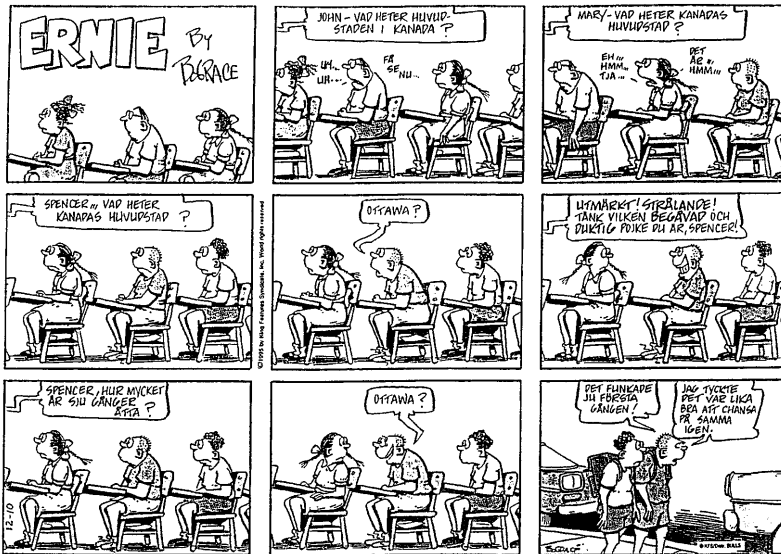


Figur: "Lärarens meningslösa årtal" (Kalle och Hobbe)

3.2 Teknologernas förhållningsätt till inläring

En pressad utbildning med alltför mycket kunskapsstoff tvingar teknologerna att snabbt slå in och memorera kunskaper utan att egentligen förstå sammanhang och innebörd.

Hur är det möjligt att klara av detta med den enorma mängd kunskaper som skall inhämtas? Lite elakt kan man säga att studenterna är för duktiga! Egenskapen att lära sig läxan och svara på det sätt som läraren förväntar sig har gjort att de fått bra betyg och antagits till utbildningen på högskolan.



Figur: "7x8 = Ottawa" (Ernie)

Förståelse ger bestående kunskap, en djupinläring. Ett visst mått av memoreringskunskap krävs dock fortfarande. Man säger ofta, att det är väl bra att vi tränar teknologernas förmåga att arbeta under stress, att på kort tid sätta sig in i ett omfattande material, dra slutsatser och sammanfatta de väsentligaste resultaten. Det kan väl vara nog så bra, men färdigheten behöver inte tränas i den omfattning som nu görs.

Som nämnts tidigare är högstadie- och gymnasieskolans naturvetenskapsutbildning ofta alltför inriktad på att kunna reproducera det som står i läroboken eller det som läraren säger. Kunskap reduceras till att vara en viss kvantitet av fakta. Kommer man ihåg tillräckligt många fakta blir man godkänd, annars inte.

Teknologernas dominerande attityd till inläring är alltså: ”Vad kommer på tentan?” Denna tentamensfixering gör att mycken möda läggs på att hitta genvägar för att klara tentorna. Lyckligtvis eller tyvärr.

”Lyckligtvis”, eftersom genvägarna gör det möjligt för teknologerna att få ut sin examen inom rimlig tid. Mängden kunskapsstoff som skall inhämtas enligt kursplanen är orimligt stor (eller vackrare uttryckt alltför ambitiös), vilket gör att en undersökande, förståelseinriktad inlärningsmetodik är svår att tillämpa.

”Tyvärr”, eftersom den förtar många av de goda ambitioner som man har som lärare. Man vågar som teknolog inte ge efter för nyfikenheten att lära sig mer. Tiden är för knapp och stoffet är för stort.

Det finns emellertid en enorm kreativ potential i studenterna som tyvärr sällan utnyttjas i det nuvarande systemet. Studentikos verksamhet överlag bär ju sannerligen kreativitetens särmärke.

3.3 Systemets (universitetets) förhållningssätt till utbildning

Systemets (läs universitetets) förhållande till undervisningssystemet har berörts något ovan. Formerna för studierna vid teknisk fakultet är som följer.

Läsåret är organiserat i 4 läsperioder vardera följd av en tentamensvecka. Teknologerna studerar 2–4 olika ämnen samtidigt. I regel löper ämnena över en läsperiod vilket gör att man tenterar 2–4 ämnen under en tentamensperiod. Detta pågår under 4,5 år – minst. Den stora mängden tentor förklarar också tentamensfixeringen. Man förstår också uppkomsten av ”tentamensvrålet”. På något av studenternas bostadsområden blev det en tradition att gå ut och vråla på balkongen klockan nio på fredagskvällen under tentamensveckan.

Av dem som kommer in på kemiteknikutbildningen tar ca 60 procent ut sin examen. Övriga hoppar av till andra utbildningar eller jobbar som halvfärdiga civilingenjörer – i många fall mycket framgångsrikt. Under de senaste åren har man från universitetets sida satt upp ett mål på 70-procentig examinationsfrekvens.

4 Slutsatser

Jag har försökt beskriva olika motiv till att förändra eller komplettera det laborativa arbets sättet i naturvetenskapliga och tekniska ämnen på följande sätt:

1. Laborationskurserna, speciellt under inledningen av en utbildning, är stereotypa och borde förnyas.
2. Det är viktigt men dyrt med laborationer.
3. Många av de grundläggande fysikalisk-kemiska fenomenen är inte be-fästa.
4. Laborationen borde stimulera till ett kreativt arbets sätt.
5. Genom att problematisera undervisningen får studenterna ett nytt för-hållningssätt till kursinnehållet.
6. Laborationen behöver inte bara bestå av tråget arbete utan får också vara rolig.

Den nuvarande organisationen av speciellt den tekniska utbildningen gör det dock svårt att inom ett enskilt ämne åstadkomma några större föränd-ringar. Förutom rent lokalmässiga begränsningar utgör såväl lärarnas som teknologernas attityder en hämsko för förändringar. Den akademiska tradi-tionen att forskningen är den primära uppgiften är också svår att komma förbi.

Vilka omedelbara slutsatser drog vi av detta?

Vi borde egentligen omorganisera utbildningen så att den skapar bättre inlärningsförutsättningar. Förutsättningarna och miljön har dock gjort att vi likt militären måste "gilla läget" och skapa något bra inom befintliga ramar.

Vi har därför skapat s.k. kreativa öar genom att i befintliga grundkurser införa Praktisk Problemlösning. Innan jag går in i detalj på vad vi själva gjort kan det vara intressant att se vad andra gjort för att förändra den tekniska utbildningen på universitetsnivå vad gäller det laborativa arbets sättet.

5 Vilka har studerat liknande problem?

Forskning om inläring på universitetsnivå har förekommit mycket sparsamt i Sverige. Det saknas därför en tradition inom området ”Chemistry Education” och ”Chemical Engineering Education” i Sverige.

Under 70- och 80-talet genomfördes intressanta forskningsprojekt av en forskargrupp vid Pedagogiska institutionen i Göteborg (Marton-Dahlgren-Johansson) där man bl.a. studerade ekonomistuderenter. Som nämnts tidigare studerades bl.a. Chalmersteknologernas uppfattning om några grundläggande fenomen inom mekaniken (6). Man har i sina arbeten nära kopplat högskolestudierna till studenternas omvärldsuppfattning (5). Vi har inte genomfört några sådana studier men vi har inspirerats av deras arbeten och slutsatser.

I och med tillkomsten av Rådet för grundläggande högskoleutbildning har dock flera arbeten som syftar till att studera och förbättra undervisningen på universitet och högskolor genomförts.

Under de senaste åren har det publicerats några arbeten som har samma syfte som detta projektet (16, 17, 18, 19, 20). I den största amerikanska kemitekniktidningen, Chemical Engineering, har det till och med presenterats som ”den nya vågen” inom Chemical Engineering (16). Det finns de som talar om ett nytt paradigm inom Chemical Engineering, vilket skulle innebära att en större tyngd ges åt det laborativa arbetet. Vid MIT i USA blir det allt vanligare att det traditionella examensarbetet (Master’s thesis) ersätts av en s.k. Chemical Engineering Practice School (20).

6 Praktisk problemlösning – hur går det till?

Uppläggning och organisation

Studenter, i grupper om fyra stycken, konfronteras med ett praktiskt problem, som kan lösas såväl teoretiskt som praktiskt under loppet av en halvtimme. Problemet presenteras av läraren, varefter studenterna diskuterar och "laborerar" så att man kommer fram till en lösning. I en avslutande gruppdiskussion med läraren presenterar studenterna sina lösningar och nya infallsvinklar tas upp.

Under loppet av fyra timmar hinner man med sex problem med en kaffepaus i mitten. Efter att man diskuterat och löst de sex problemen samlas hela gruppen på ca 24 studenter till en gemensam genomgång av samtliga problem. Då kan kompletterande information lämnas och nya infallsvinklar diskuteras.

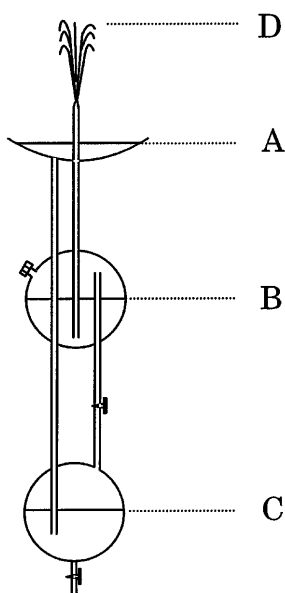
Vi har inga krav på lab. rapporter. Vi har inte heller någon förkunskapskontroll före PP-labbarna.

Vi försöker begränsa den skrivna informationen inför PP-labben så mycket som möjligt. Apparaturen bör inte vara försedd med alltför mycket kringutrustning. Allt för att man skall koncentrera sig på det aktuella problemet.

Det är av stor vikt att mycket grundläggande fenomen studeras speciellt i inledningsskedet av en kurs. Det gör att studenterna får en bättre bas för inläring av mer komplicerade fenomen under kursens senare skede. Därför schemaläggs kursen så att teori- och beräkningsveckor varvas med veckor som domineras av PP och vanliga laborationer.

7 Exempel på praktiska problem och hur man går till väga för att lösa dem.

7.1 Herons fontän



I Herons fontän rinner vatten från nivå A till en lägre nivå.

Som resultat av detta sprutar fontänen D upp vattnet till en högre nivå än A.

Perpetuum mobile? Gäller energiprincipen?

Hur fungerar den?

Hur ska man göra för att få fontänen att spruta högre?

Beräkna hur högt fontänen maximalt kan spruta i denna försökupställning!

Mät hur högt den sprutar!

Vad beror skillnaden på?

Heron, matematiker och fysiker från Alexandria, uppfann denna ca 100 f. Kr. En variant av Herons fontän användes som brandspruta.

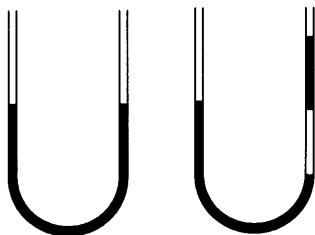
Lösning

Problemet presenteras under den andra veckan av kursen i Strömningsteknik. Under den första veckan har energiekvationen i form av den s.k. Bernoullis ekvation behandlats.

Vid första anblicken tycker de flesta teknologer att Herons fontän strider mot sunda förnuftet – och energiekvationen. Det ser ut som en paradox – energi ser ut att nyskapas. Så småningom upptäcker man dock att vattennivån sjunker i den mellersta behållaren och att nivån i den nedersta behållaren ökar. Man kommer snart till slutsatsen att lägesenergin för

vätskan minskar. Denna energi används uppenbarligen för att skapa fontänen. För dem som fastnar i någon mindre fruktbar diskussion brukar vi ge någon lämplig ledtråd, t.ex.:

1. Hur ställer vätskenivåerna in sig i ett U-rör? En alltför självklar fråga på detta stadium. Kommunikerande kärl behandlas redan på mellanstadiet.



2. Hur ställer vätskenivåerna in sig om det av någon anledning fastnat en luftbubbla i den ena skänkeln (som i det högra U-röret i figuren ovan)? Detta blir genast inte lika självklart. Så småningom inser de att vätskenivån blir lika mycket högre i den ena skänkeln som luftbubblan är stor.

Denna ledtråd åstadkommer ofta en aha-upplevelse. Man inser att U-röret med luftpelaren kan jämföras med de upp- och nedåtgående rören i Herons fontän. Man kan snabbt också uppskatta hur hög fontänen borde bli. Diskussionen kan sedan fortsätta med att förklara varför höjden i verkligheten blir något mindre än förväntat.

7.2 Fördelningsrör (21)

1. Vatten strömmar till ett glaströr försett med hål enligt figuren. Ur vilket hål strömmar mest vätska?



Visa detta experimentellt och förklara resultatet! Rita tryckprofilen i figuren!

Vad händer om röret har en mycket skrovlig inneryta?

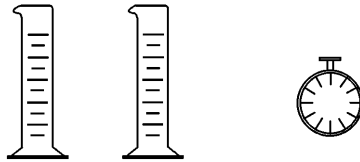
Lösning

Det är intressant att studera hur olika studentgrupper går till väga då de löser problemet. Nedan ger jag några exempel på lösningsmetoder med stigande nivå av kreativitet.

Alternativ 0 – icke-ingenjören

Den absolut lägsta nivån av kreativitet är den då man frågar hur man skall få vattnet att strömma i systemet. De som inte kan ansluta en vattenslang till systemet samt följa denna slang till väggen för att sätta på vattenkranen bör sannolikt omvärdera sitt yrkesval till civilingenjör. Det är en ovanlig lösningsmetod som tur är.

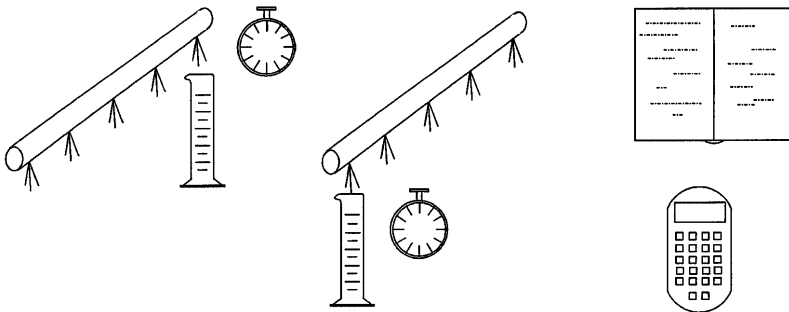
För att studera hur arbetssättet påverkas av de hjälpmedel som finns till hands såg vi till att det fanns två mätcylindrar och ett tidur tillgängliga i utrustningen.



Hjälpmedel

Alternativ 1 – det demokratiska arbetssättet

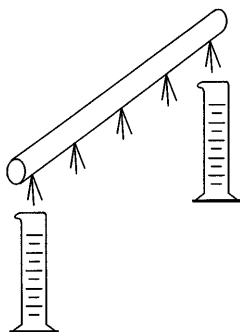
Student nummer 1 tar den första mätcylindern, student nummer 2 tar hand om klockan och sköter tidtagningen. De mäter volymen vatten som strömmar ut ur det första hålet under en viss tid. Student nummer 3 beräknar resultatet med sin miniräknare varvid student 4 bokför resultatet. Hela processen upprepas genom att flödet ur hålet i den andra änden av fördelningsröret mäts.



Alternativ 1 – det demokratiska arbetssättet.

Eftersom ett visst antal hjälpmedel finns till hands förutsätter studenterna att dessa måste användas. Uppenbarligen styr detta lösningsmetodiken. Problemet löses på ett demokratiskt sätt där alla deltar i arbetet vilket ger dem ett visst mått av tillfredsställelse. Metodiken är dock långsam och det blir inte mycket tid kvar för att diskutera varför det strömmar mer i den ena änden.

Alternativ 2 – kreativitet i grupp

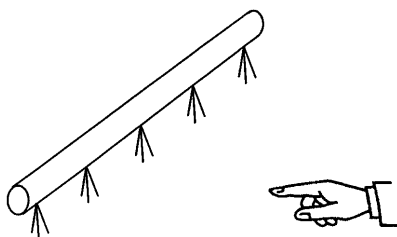


Alternativ 2 – kreativitet i grupp

Denna grupp använder inte tiduret. Man tar de båda mätcylindrarna och börjar fylla vatten från två hål i respektive ände av fördelningsröret samtidigt. Man ser ganska snabbt i vilket hål det strömmar snabbast och man kan därför relativt snabbt börja diskutera olika möjliga förklaringar.

Alternativ 3 – den late studenten

Den late studenten sägs ofta vara kreativ. Man försöker alltid hitta ett enklare och mindre jobbigt sätt att lösa problemet på. I detta fall genom att sätta in fingret i respektive stråle för att känna vilken som strömmar snabbast.

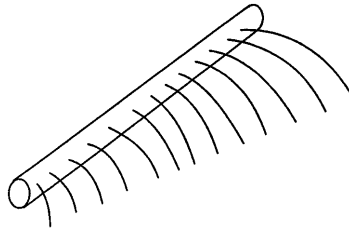


Alternativ 3 – den late studenten

Alternativ 4 – det kreativa sättet

De som är mest kreativa vågar helt bortse från de hjälpmedel som finns

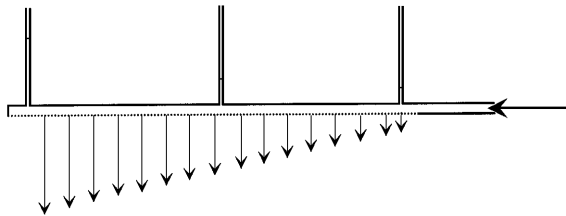
tillgängliga. Man inser att det är möjligt att vrida röret 90° i sin hållare. Genom att titta på parablerna som bildas av strålarna ser man inom loppet av några sekunder var det strömmar mest.



Alternativ 4. – det kreativa arbetssättet

Vad såg de och hur förklarade de sina resultat?

Det experimentella resultatet visas i figuren nedan. Det strömmar mest vätska i slutet på röret där trycket är högst. Storleken på det statiska trycket kan man avgöra från de tre stigrören som är placerade längs fördelningsröret.



Experimentellt resultat.

Några studenter inser ganska snabbt att tryckets storlek avgör var det kommer att strömma mest. Med frågan vad som kommer att hända om röret hade varit mycket skrovligt inuti leds de in på en diskussion om tryckfallet i rörledning. Ett skrovligare rör ger ett större tryckfall varför tryckprofilen skulle kunna bli den omvända och det experimentella resultatet omvänt.

Under diskussionerna uppstår flera nya frågeställningar, t.ex.:

- Hur kan man åstadkomma en helt jämn fördelning av vattnet i hålen? Det är ju detta man i regel vill åstadkomma i kemiteknisk apparatur, som vid fördelning av vätska i ett absorptionstorn.
- Vad händer om hålen görs större eller mindre?
- Vad händer om fördelningsrörets tvärsnitt ändras i storlek längs röret?
- Vad händer om man gör röret avsevärt längre?

De frågor som kommer upp ställer handledaren på svåra prov. Samtidigt utvecklar frågorna problemet ytterligare och har i detta fall gjort att vi utvecklat ny utrustning för att demonstrera vad som händer i de olika fallen.

Eftersom människor inte tycker om frågor utan föredrar svar, gissar jag att läsaren av dessa rader skulle vilja ha en lite mer ingående förklaring. Principen för att fördela vätskan jämnt är att skapa ett stort motstånd för den. Detta kan man åstadkomma genom att till exempel göra hålen mycket små. För en mer ingående förklaring hänvisas till den refererade litteraturen (21, 22, 23, 24).

8 Sammanställning av Praktiska Problem

Nedan följer ett antal praktiska problem som användes i kurserna i Strömningsteknik och Värmeteknik.

8.1 Strömningsteknik (25)

Den nuvarande kursen innehåller 18 praktiska problem. Dessa återges i sin helhet i Appendix 2, tillsammans med andra exempel.

Heron's fontän	Pumpar
Mariotteflaska	Flödesmätning
Reynolds experiment	Ventiler
Tryckfall i rörledningar	Omrörning
Laminär och turbulent strömning	Vätskeseparering
Fördelningsrör	Sedimentation
Laminär hastighetsprofil	Hydraulisk transport
Aerodynamiska paradoxen	Kompressibel strömning
Viskositetsmätning	Tryckfall i packad bädd
Vattenstrålpump	Tryckfall i fluidiserad bädd
Tryckmätning	Spouted bed
Kavitation	Cyklon
Roterande vattenspridare	Hydraulisk vädur
Omströmmade kroppar	Centrifugalpumpens arbetsätt

8.2 Värmeteknik

I värmeteknikkursen ingår såväl teknisk termodynamik som värmetransport. För närvarande innehåller kursen 12 praktiska problem.

Värmeväxlare	Avsvalning av plattor – konvektion och strålning
Heat pipe	Termosflaska – konvektion och strålning
Temperaturmätning	Kompressibel strömning
Värmestrålning	
Värmeledning	

Kompressorer
Maxwells demon
Kokning i tub
Kaffebruggare

Värmepump
Mikrovågsuppvärmning
Kokparadoxen

8.3 Separationsprocesser

I kursen i separationsprocesser har vi inte renodlat använt oss av praktisk problemlösning. De områden som behandlas ligger inom ramen för den forskning som bedrivs vid avdelningen. Det gör att det blir mer av forskningssinformation och demonstrationer än problemlösning i grupp. Likväl kräver alla momenten att teknologerna är aktiva.

Experimentell bestämning av fasjämvikter
Diffusionsmätning i vätskor och gaser
Holografisk laserinterferometri för studier av koncentrationsprofiler
Torkning i fluidiserad bädd
Indunstning i fallfilmsindunstare
Extraktion i pulskolonn och mixer-settler
Ångtorkning
Kyltorn
Silbottenkolonn
Tryckfall i absorptionskolonn

9 Hur väljer man ut ett ”bra” Praktiskt problem?

9.1 Vad är det som gör ett problem pedagogiskt användbart?

- Det skall helst kunna knyta an till ens tidigare erfarenhet.
- Det skall vara en utmaning att lösa problemet. Bäst är om det finns ett visst överraskningsmoment i problemet. Om experimentet ger ett oväntat resultat stimuleras nyfikenheten (t.ex. hydrostatiska och aerodynamiska paradoxen).
- Det viktiga är inte att förklara *hur* en apparat fungerar utan *varför* den fungerar dvs. ”*know-why*” är viktigare än ”*know-how*”.

9.2 Vilka krav ställer vi på ett Praktiskt Problem?

Problemet skall:

- illustrera ett intressant kemiskt-fysikaliskt fenomen eller en viktig kemiteknisk tillämpning
- minska teknologernas motstånd mot att ”vrída på kranar och trycka på knappar”
- göra att teknologerna har roligt
- kunna lösas såväl praktiskt som teoretiskt på ca 15–30 minuter
- ge teknologerna en övning i att lösa praktiska problem – det får gärna vara enkelt så att alltför mycket kringutrustning inte stör själva problemlösningen
- stimulera teknologerna till att själva ställa frågor

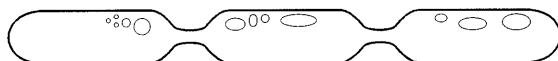
9.3 Problem som inte passar som PP

Problem som utnyttjar utrustning som är dyr eller kräver mycket instruktion innan man kan använda den passar oftast inte för PP-metodiken. Ibland kan man dock dela upp en laboration i olika moment där vissa delar utformas som självständiga praktiska problem och andra delar som ordinära demonstrationer.

Ibland kan man förledas av enkelheten i en del praktiska problem så att man automatiskt tror att de kan anpassas till PP-metodiken. För att klargöra vad jag menar väljer jag ett mycket roligt knep-och-knåp - problem som inte fungerar för praktisk problemlösning på det sätt som vi vill.

Glasröret med luftbubblor

Förflytta luftbubblorna till mitten av röret!



Det förslutna glasröret är försett med två förträngningar och fyllt med en vätska och några luftbubblor.

Lösningsmetod

Det finns de som vänder och vrider på röret utan att närma sig lösningen. Man följer inte någon speciell strategi utan arbetsättet är mycket chansartat. Gruppmedlemmarna upprepar varandras misstag i stället för att komma med nya angreppssätt. Diskussionen i gruppen är inte heller speciellt avancerad. Däremot har man trevligt med mycket skratt och glam i gruppen.

Många grupper lyckas inte lösa det alls. Någon lyckas ibland lösa problemet mer eller mindre av en tillfällighet genom att lägga röret på bordet eller på golvet och sätta snurr på det. P.g.a. centrifugalkraften rör sig luftbubblorna till mitten av röret. De övriga i gruppen ser att problemet är löst men uppfattar inte alltid hur det gick till. De känner sig inte delaktiga i problemets lösande. En del känner sig snarare lurade på konfekten eftersom de velat komma på lösningen själva.

Man skulle kunna kalla det för ett on-off-problem. Med det menar jag ett problem som kan lösas på några sekunder eller inte alls. Processen fram till problemlösningen innehåller inte någon diskussion som bygger på några av de elementära begrepp som vi avser att träna. Arbetsättet är snarare av typen trial and error än av typen hypotes-och-hypotesprövning.

10 Uppläggning och genomförande av projektet

Projektarbetet inleddes under hösten 1991 med en probleminventering och inledande litteraturstudier. Eftersom alla de deltagande lärarna har sin försörjning huvudsakligen från undervisning har givetvis projektets framskridande berott på hur respektive lärares undervisning varit fördelad under läsåret.

10.1 Syftet med projektet

Vi formulerade följande målsättning för projektet:

1. Att ny- och vidareutveckla praktisk problemlösning som ett komplement och ersättning för konventionella laborationer.
2. Att ge en teoretisk och praktisk bakgrund till de praktiska problemen. Detta gäller såväl arbetsmetodikerna som de teoretiska förklaringsmodellerna.
3. Att utvärdera metoden i den praktiska undervisningen.
4. Att skapa en dokumentation som underlättar arbetet för PP-handledarna.

10.2 Arbetsgång vid val av praktiska problem

Vid utvecklingen av nya problem har ett stort antal praktiska problem undersökts. Det ställs stora krav på problemet för att det skall fungera bra ur de aspekter vi tänkt oss. Det är av stor vikt att såväl problemets teoretiska bakgrund som dess praktiska tillämpning belyses. Viktiga punkter som diskuteras vid en värdering och val av problem är följande:

Varför?

Vilken eller vilka frågor skall det praktiska problemet belysa? I vilka tillämpningar används det? Vad skall man ha lärt sig när man bearbetat problemet? Finns det någon intellektuell utmaning i problemformuleringen?

Teoretisk bakgrund

Vilken är den bakomliggande teorin? Vilka begrepp och vilken apparatur måste man känna till för att förstå problemet?

Praktiskt utförande

Hur planerar man försöken? Vad/Hur skall man mäta? Hur bearbetas iakttagelserna? Kan problemet bearbetas med ett minimum av förhandsinformation, dvs. är problemet självförklarande? Kan det lösas på en begränsad tid?

Flera av de praktiska problemen har hämtats från de tidigare ordinära laborationerna. En källa till problemidéer utgör teknikhistorien. Herons fontän (kap. 7.1) presenterades till exempel redan för över 2000 år sedan. Den hydrauliska väduren (Appendix 2) uppfanns av bröderna Montgolfier under 1800-talet.

10.3 Hur har vi gjort för att utveckla nya problem?

Varje delprojekt i form av ett Praktiskt Problem har bearbetats på ett likartat sätt; företrädesvis enligt nedanstående mall (26, 27, 28):

- Problemidé.
- Litteraturstudier som ger den teoretiska bakgrunden och tillämpningsområden. I förekommande fall även en historisk bakgrund.
- Uppbyggnad av apparatur.
- Experimentell undersökning. Metodik vid problemlösning.
- Pedagogisk förankring av problemet.
- Test av problemet i undervisningssituation.
- Sammanställning av arbetet i internrapport. Denna dokumenterar allt arbete och utgör därför bakgrundsmaterial för handledarna vid lab. kurserna.

10.4 Projektorganisation

10.4.1 Projektgrupp av lärare

En projektgrupp bestående av de kursansvariga lärarna har inom sina ordinarie tjänster arbetat med projektet parallellt med undervisningen. Gruppen har haft till uppgift att:

- Initiera och planera nya praktiska problem
- Publicera
- Sköta externa kontakter
- Ta fram nytt undervisningsmaterial
- Hålla kontakt med studenterna
- Undervisa
- Utvärdera

Följande lärare har deltagit i projektgruppen:

*Anders Axelsson, Tekn. Dr; Projektledare; Kursansvarig Strömningsteknik
Britta Kjellin-Bolmstedt, Civ. ing.; Undervisar i Strömningsteknik, Värmeteknik och Separationsprocesser
Ingemar Dolby, Tekn. Lic.; Kursansvarig Värmeteknik*

10.4.2 Anställda inom projektet

Förutsättningen för projektets genomförande var att en person anställdes med uppgift att ta fram tillräckligt underlag för varje praktiskt problem. I arbetsuppgifterna ingick att:

- Genomföra experiment
- Göra litteraturstudier
- Föreslå och testa experimentell utrustning
- Föreslå och testa experimentell metodik
- Hålla fortlöpande kontakter med verkstäderna
- Bygga upp och justera utrustningen
- Dokumentera

Det som gör det så viktigt att en person arbetar praktiskt med projektet är den nära kopplingen mellan den experimentella metodiken, problemlösningsmetodiken och den pedagogiska metodiken.

De som arbetat med projektet på detta sätt har varit:

*Thomas Olsson, Tekn. Dr; anställd 1992 inom ramen för projektet. Undervisar i Strömningsteknik, Värmeteknik och Separationsprocesser vid högskoleingenjörsutbildningen i Helsingborg.
Kenneth Dahlqvist, anställd under 1993 (28).
Per Holmberg, anställd 1994–1995.*

Under de senaste åren har vi haft nyss utexaminerade teknologer anställda (Kenneth och Per). Detta har varit mycket lyckosamt för projektet. Förutom att de har tillräckliga förkunskaper kan de också se problemet i sitt sammanhang, eftersom de normalt har kurserna i färskt minne. Detta är något man önskar alla laborativa ämnen – att utnyttja nyss utexaminerade studenter till att förbättra och utveckla undervisningen i samarbete med lärarna.

10.4.3 Hjälpa från institutionen

Vi har en stor fördel genom att ha tillgång till mekanisk verkstad och glasblåsningssverkstad på Kemicentrum. Tekniker *LeifStanley* och forsknings-

ingenjör *Hans-Olof Jedlid* vid vår avdelning har därför varit ovärderliga för projektets genomförande. Likaså har Kemacentrums glasblåsare *Sigfrid Klein* inte bara tillverkat ett flertal av de utrustningar som använts, utan också föreslagit förbättringar och alternativa lösningar.

Projektet har förutsatt att ny utrustning byggts. *Avdelningen för Kemisk apparatteknik* har ställt material och arbetstid till förfogande för detta ändamål.

10.4.4 Doktorander

Doktoranderna på avdelningen har deltagit aktivt vid de praktiska proble-
mens pedagogiska uppläggning. I egenskap av handledare har de kunnat
studera utfallet och föreslå förbättringar. Speciellt vid introduktionen av nya
problem har diskussionerna varit intensiva.

10.4.5 Examensarbetare

Robert Larsson, student vid högskoleingenjörsutbildningen i Malmö, ut-
förde examensarbetet *Partiklar i strömningsfält* 1993 (26).

Jens Larsson och Tomas Jarevång, studenter vid högskoleingenjörsutbildningen
i Helsingborg, utförde examensarbetet *Praktisk problemlösning i Kemisk
apparatteknik* 1992 (27).

10.4.6 Teknologer

Sist men inte minst – alla *teknologer* för vilka PP-labbarna utvecklats. Deras
positiva attityd har gjort att vi stimulerats att vidareutveckla projektet. De
har också hjälpt till genom att utvärdera kursen i sin helhet.

II Utvärdering

II.1 Våra egna erfarenheter

Vi tror att vi funnit en undervisnings- och inlärningsmodell som kan tillämpas i de flesta laborativa ämnen på olika nivåer i vårt utbildningssystem.

Teknologerna blir mycket engagerade. De kommer på nya frågor som de vill undersöka. Några har t.o.m. kommit tillbaka dagen efter för att undersöka ytterligare någon problemställning. Tyvärr är det ofta svårt att uppfylla sådana önskemål p.g.a. det stora antalet studenter. Varje läsår har vi 3x100 teknologer inom civilingenjörsutbildningen som samtliga lotsas genom våra praktiska problem. Dessutom genomför elever från bl.a. ingenjörsutbildningarna i Malmö och Helsingborg praktiska problem på vår avdelning.

Vi har byggt en del av våra PP-uppställningar som små flyttbara riggar på flyttbara bord. Dessa kan lätt förflyttas till vanliga seminariesalar där de utgör startpunkt för större beräkningsproblem som kräver ca två lektionstimmars beräkningsarbete för att lösas.

Ett intressant framtida scenario är att avsätta ett rum där riggarna finns uppställda, så att studenterna, så ofta de vill, kan studera problemen på egen hand. Det vi vinner med detta är att utrustningen är disponibel för studenterna vid andra tillfällen än vid laborationstillfället.

Det är viktigt att läraren hela tiden håller sig i bakgrunden. Vi brukar säga att om man står närmare än 7 meter föredrar studenterna att tala med läraren i stället för med sina lab.kompisar.

Det är ett viktigt moment att studenterna diskuterar på egen hand i gruppen. Där argumenterar man för sin uppfattning gentemot andra, lyssnar på andras argument och försöker se problemet från de andras synvinklar. Det är ju ofta på detta sätt som kunskapen används i den framtida yrkesrollen.

Erfarenheten av arbetssättet är alltså mycket god:

- det är roligt för studenterna och lärarna,

- studenterna tränas i ett kreativt arbetssätt,
- de praktiska problemen fungerar som kreativa öar inom kursen och stimulerar alltså kreativa idéer,
- det stimulerar till att skapa nya problemlösningsuppgifter,
- tentamensresultaten har förbättrats,
- utrustningen är relativt enkel och billig,
- lätt att organisera med många studenter,
- studenterna får ett ökat självförtroende,
- det är organisatoriskt möjligt att använda arbetssättet i konventionella kurser med många elever som undervisas under en kort tid,
- genom att teori och praktiska övningar varvas schemamässigt förstärks förståelsen och begreppsbyggnaden.

Det har alltså lyckats att få den s.k. ”omöjliga ekvationen” att gå ihop, dvs. bättre undervisning och inläring till samma och ibland t.o.m. till lägre kostnad. Samtidigt har lärarrollen förändrats positivt genom att de kursansvariga lärarna deltar i samtliga moment i utbildningen (föreläsningar, räkneövningar, designuppgifter och praktisk problemlösning).

11.2 Några viktiga erfarenheter att tänka på:

De första råden vi ger är:

Till handledaren: Håll dig borta så mycket som möjligt och håll tyst! Invänta rätt tillfälle för eventuella ledtrådar;

Till studenterna: Glöm inte att använda ert sunda förnuft!

Andra viktiga erfarenheter vi gjort under arbetet är:

- Det ställer stora krav på handledaren.
- Gruppsammansättningen är viktig. Man måste vara relativt jämspelta i gruppen. Det duger inte att någon vill spela ”bror Duktig” och svara på alla frågor innan alla har fått möjlighet att fundera färdigt på egen hand.
- Undvik att ge för mycket handledning vid presentationen av uppgiften.
- Förbered studenterna på arbetssättet.
- Efterarbete problemen genom en gruppdiskussion vid slutet av dagen.
- Diskutera arbetssättet med studenterna. Försök få dem att tänka på hur de går tillväga när de löser problemen.

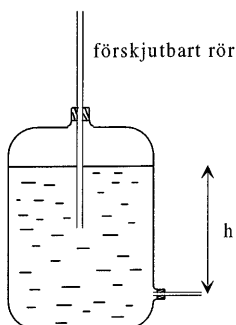
11.3 Kunskap och förståelse

Vi har för mindre studentgrupper också använt några av våra praktiska problem vid examination. Fördelen med detta är att examinationstillfället också blir ett inläringstillfälle. Det avslöjas snabbt om man förstått sammanhanget och om man kan tillräckligt mycket för att diskutera sig fram till en lösning. På grund av det stora antalet studenter är det svårt att genomföra det i större skala.

Vi försöker däremot på våra tentamina att alltid hämta några problemställningar från våra PP-labbar. Vi har då dock oftast försökt vända på problemen så att de verkligen testar förståelsen. Nedan ges några exempel.

Exempel 1: Mariotteflaska

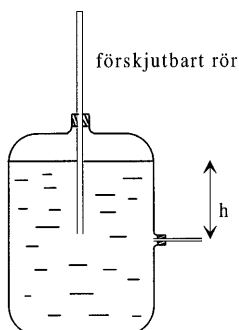
Mariotte kan sägas vara fransmännens Boyle (Boyle's lag heter Mariotte's lag i Frankrike). Han har bland annat fått den s.k. Mariotte-flaskan uppkallad efter sig. Det är en sinnrik flaska ur vilken det alltid rinner ett konstant flöde oberoende av hur vätskeytan står. Följande PP presenteras teknologerna för:



Hur påverkas flödet då röret förskjutes uppåt eller nedåt i flaskan?

Hur varierar flödet ut ur flaskan med vätskenivån (h) då röret inte rubbas?

Visa detta experimentellt och förklara resultaten teoretiskt med hjälp av Bernoullis ekvation!



I denna Mariotteflaska är utloppet placerat högre upp.

Vad händer om röret skjuts ned under utloppet?

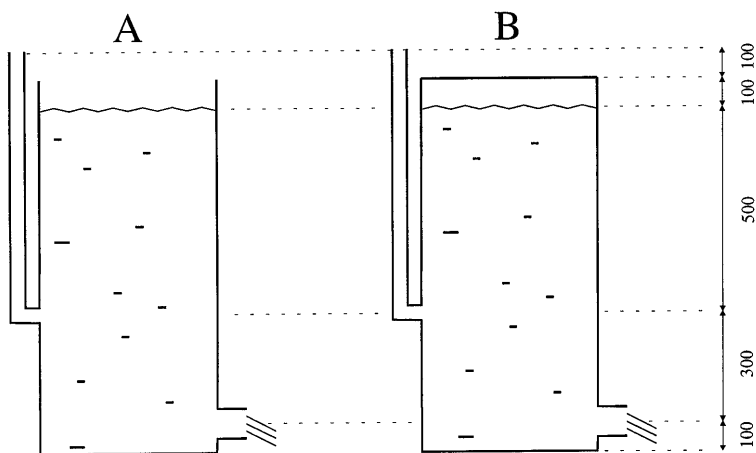
Vilket tryck råder i luften i flaskan?

På tentamen (max 60 poäng, 4 beräkningsuppgifter, ca 10–12 teoriuppgifter, 5 timmars tentamenstid) har vi varierat problemställningen på följande sätt:

1. En vattentank är försedd med en nivåmätare i form av ett stigrör enligt figuren nedan.

- Med vilken hastighet strömmar vattnet ut i fall A?
- Med vilken hastighet strömmar vattnet ut om man sätter på ett tätslutande lock som i fall B?

Motivera resultatet! Engångsförluster i utströmningsmunstycket kan försummas! (4p)



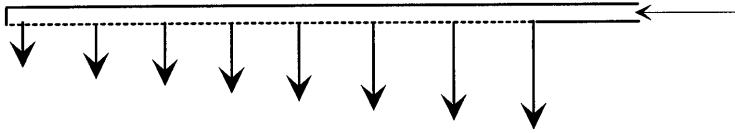
Givetvis finns det fortfarande teknologer som inte klarar problemet. De som deltagit aktivt i kursen brukar ändå se likheterna och därför kunna lösa problemet.

Fördelningsrör

Fördelningsröret, som presenterades i kapitel 7.2, har vi ägnat en hel del uppmärksamhet eftersom det är en viktig teknisk princip som illustreras.

Det vi hoppas är att man skall ha trängt tillräckligt djupt in i problemet för att kunna förstå hur man skall bära sig åt för att fördela en vätska jämnt. Det testas vi på tentamen genom att t.ex. presentera ett fördelningsrör som ger den omvända fördelningen jämfört med vad de experimentellt studerade i samband med PP-labben:

4. Ett fördelningsrör ger en fördelning av vätskeflödet enligt nedanstående figur. Ge tre förslag på olika åtgärder som kan åstadkomma en jämn fördelning. Motivera! (3p)



Det bör väl påpekas att det är viktigt att kunskaperna förvärvade i samband med PP-laborationerna också redovisas på tentamen – det är ju denna som styr inläsningen och som visar vad som anses viktigt i kursen.

11.4 Attitydundersökning

Innan vi introducerade PP gjorde vi ett försök att ersätta en del av laborationerna med demonstrationer. Dessa tillgick så att man under en räkneövning tog en paus och gruppvis gick ner till vår apparthall för att få ett fenomen eller en apparat demonstrerad. Vid den efterföljande kursutvärderingen framkom att dessa demonstrationer var det i särklass populäraste inslaget i undervisningen. När vi ställde frågor på dessa avsnitt vid den efterföljande tentamen visade det sig att man totalt glömt det man sett. Man skall alltså inte förledas av en positiv attityd till ett kursmoment i kursutvärderingen – det kan likväl ge ett dåligt inlärningsresultat.

Efter att vi infört PP-labbarna förbättrades inlärningsresultatet dramatiskt. Återigen visar vi vikten av att var och en tvingas att fundera på ett problem utan att få allt serverat för sig.

Studenterna är faktiskt de största tillskyndarna av våra PP-labbar. Jag har vid ett tillfälle föreslagit att ta bort momentet med Praktisk problemlösning och ersätta det med en problembaserad större projektlaboration. Samtliga teknologer var emot denna förändring. Teknologernas positiva attityd smittar av sig på oss lärare och gör att vi lättare kan bibehålla vår entusiasm.

I Appendix 1 finns en sammanställning av teknologernas egna kursutvärderingar. Jag har också bifogat samtliga enskilda kommentarer – positiva och negativa. Dessa kan många gånger ge en bättre indikation på hur arbetsättet fungerar än de nummerbetyg som åsatts olika moment i kursen.

12 Projektpresentationer

12.1 Användning av praktiska problem i lärarutbildning

Vi använder praktiska problem regelmässigt i kurser för olika lärarkategorier. Problemen tjänstgör som en inkörsport för att diskutera problemlösningens roll, metodik vid problemlösning samt problembaserad inläring.

- Inspirationskurs för LTH-lärare, 1993, 1994, 1995 (20 lärare per år)
- Lärarkurs för lärare vid matematisk-naturvetenskaplig fakultet, november 1994 (20 lärare)
- Lärarkurs för lärare vid brandteknikutbildningen, mars 1993 (20 lärare)
- Studiedagar för gymnasielärare och högstadielärare, oktober 1994 (totalt ca 50 lärare)

12.2 Rekryteringsprojekt

De praktiska problemen har också använts i rekryteringssammanhang för elevgrupper på lägre stadier. I dessa fall har en del förenklade varianter av problemen använts.

- Scienceprojekt tillsammans med högstadieskola i Bara, oktober 1994 (40 elever)
- "Flickor på teknis" (60 flickor/år)
- Teknikens dag (1000 besökare/år)
- Studiebesök av gymnasister inför högskolevalet (100–200 st/år)

12.3 Praktisk problemlösning vid andra institutioner

- Pågående projekt vid högskolan i Karlstad som leds av Bengt Eriksson och som har ekonomiskt stöd från Grundutbildningsrådet.
- Kemisk apparatteknik, Chalmers tekniska högskola, använder sedan 1993 en del av våra praktiska problem i sina grundkurser.
- Ingenjörsutbildningen vid LTH-Helsingborg.

12.4 Presentation vid konferenser och seminarier

Projektet har presenterats i form av föreläsningar vid flera konferenser och seminarier:

- Seminarium för lärare vid Tandläkarhögskolan i Malmö, 1990
- Seminarium för lärare vid medicinsk fakultet, Lunds universitet, mars 1991
- Idéseminarium organiserat av PUS; Lunds universitet 4/2 1994: ”Aktivt lärande genom praktisk problemlösning”. Seminariet gavs tillsammans med Bengt Eriksson, Högskolan i Karlstad.
- Kemiteknikkonferens: Pedagogik i Kemiteknik, Sollentuna, 17–19/8 1992
- Konferens om kemiingenjörsutbildning-KIL IV, Lökeberg, 6–7/5 1993
- Nordisk kemiteknologkonferens, Lund, 30/9–2/10 1993
- Kemiteknikkonferens/SPUCK, Lingatan 15–17/8 1994
- Konferens: Intressanta och effektiva kemilaborationer, Växjö, 23–24/8 1994
- Teaching Science for Technology at Tertiary Level, KTH, Stockholm 6–9/6 1994
- Seminar at University of Queensland, Brisbane, Australien, 12/3 1996
- Kemilärare vid MNF-fakultet, Lunds universitet, maj 1996
- UPC-konferens, Lunds universitet, juni 1996

12.5 Studiebesök

- Besök av skollärdare från Blekinge, juni 1993
- Studiebesök av ett stort antal lärare och elever från alla stadier
- Besök av Prof. Don Anderson, Australiens grundutbildningsråd, 17/2 1994
- Besök från fakultet MMT (Maskin-Material-Teknik), KTH, juni 1994
- Besök av Dr. Ken Morison, Chem. and Process Engineering, Nya Zeeland, maj 1995
- Besök av Dr. Cynthia Mitchell, Chem. Eng., University of Queensland, Brisbane, Australien, 1996

13 Litteraturreferenser

1. Axelsson, A., ”Praktisk problemlösning”, projektrapport för Högskolans Grundutbildningsråd, Dnr 47/90 (1992)
2. Grundutbildningsrådet informerar, ”Praktik för kunskap”, s. 9 (1992)
3. Axelsson, A., ”Solving Practical Problems in Chemical Engineering” i Annual Report 1991/92 och 1993/94, Council for Renewal of Undergraduate Education, s. 42–43 respektive s. 63–64 (1992 resp. 1995)
4. Einstein, A., Föredrag 15 oktober 1936 publicerat i en uppsats: ”On Education, Out of My Later Years”, Philosophical Library, Philadelphia (1950)
5. Einstein, A., ”The cause of the formation of meanders in the courses of rivers and the so-called Baer’s Law”, Föredrag vid den preussiska akademien 7 januari 1926 publicerat i Die Naturwissenschaften, Vol. 14 (1926)
6. Dahlgren, L-O., Pramling, I., ”Högskolestudier och omvärldsuppfattning” Rapport från Pedagogiska Institutionen 1981:01, Göteborgs Universitet (1981)
7. Johansson, B., ”Krafter vid rörelse. Teknologers uppfattning av några grundläggande fenomen inom mekaniken”, Rapport från Pedagogiska institutionen 1981:14, Göteborgs Universitet (1981)
8. Axelsson, A., Hansson, E., Johansson, L., Jönsson, L., Peetre, I-B., ”Experimenthäfte för flickor och pojkar och deras lärare”, Kemicentrum, Lunds Universitet, 1983, reviderad 3:e uppl. (1995)
9. Johansson, L., Axelsson, A., Hansson, E., Jönsson, L., Peetre, I-B., ”Enkla experiment”, Esselte Studium (1984)
10. Johansson, L., Axelsson, A., Hansson, E., Jönsson, L., Peetre, I-B., ”Enkla experiment – Lärarhandledning”, Esselte Studium (1984)
11. Morris D., ”The Biology of Art” i översättning ”Apor och konst”, Natur och Kultur (1963)
12. Valtonen, K., Ingemarsson, I., ”Fyra år med PBI – erfarenheter från telekommunikationsutbildning på LiTH”, Rapport LiTH-ISY-R-1629, Linköpings tekniska högskola (1995)

13. Ingemarsson, I., "Problembaserad inläring i teknisk utbildning", Rådet för Kvalitetsutveckling LiTH, Rapport ISRN: LIU-KVALR-R-1-SE, Linköpings tekniska högskola (1995)
14. Margetson, D., "Beginning with the Essentials: Why Problem-based Learning Begins with Problems", *Education for Health*, Vol.9. No.1 (1996)
15. Schmidt, H.G., "The Rationale Behind Problem-based Learning", Ur "New Directions for Medical Education, Schmidt, H.G., Lipkin, M., de Vries, M.W., Greep, J.M. (eds), Springer Verlag, New York (1989)
16. Parkinson, G., "Hands on learning – The New Wave in Chemical Engineering Education", *Chemical Engineering*, s. 45–49, oktober (1994)
17. Van Wie, B.J., Poshusta, J.C., Greenlee, R.D., Brereton, R.A.: "Fun ways to learn fluid mechanics and heat transfer", *Chemical Engineering Education*, s. 188–192, Summer (1994)
18. Dudgeon, D.J., Rogers, J.W.Jr., "Demonstrations to complement a course in general engineering thermodynamics", *Chemical Engineering Education*, s. 108–113, Spring (1996)
19. Davies, W.A., "Design competition for second-year students – a retrospective", s. 102–107 Spring (1996)
20. Landau, R., "Education: Moving from Chemistry to Chemical Engineering and Beyond", s. 62–65 *Chem. Eng. Progr.*, januari (1997)
21. Axelsson, A., "Solving practical problems - an alternative in the chemical engineering laboratory", *Proceedings at the conference on Teaching Science for Technology at Tertiary Level*, Juni 7–9 1994 (1995)
22. Axelsson, A., "Solving practical problems – an alternative in the chemical engineering laboratory", LUTKDH/(TKKA- 7003)/1-10/(1994)
23. Kaminski, D.A (ed.), "Fluid Flow Data Book", General Electric Co, Schenectady, New York (1980)
24. Perry, R.H., Chilton, C.H. (eds.), "Chemical Engineers' Handbook", 5th ed., kap. 5, s. 47–49, McGraw-Hill, New York (1973)
25. Axelsson, A. "Praktisk Problemlösning", kursmaterial i Kemisk Apparatteknik – Strömningsteknik (1996)
26. Larsson, R., "Partiklar i stömningsfält", examensarbete vid ingenjörsutbildningen i Malmö (1993)

27. Larsson, J., Jarevång, T., ” Praktisk problemlösning i Kemisk apparat-
teknik”, examensarbete vid ingenjörsutbildningen i Helsingborg (1992)
28. Dahlqvist, K., Axelsson, A., ”Den hydrauliska väduren”, Rapport vid
Kemisk Apparatteknik, LTH, LUTKDH/(TKKA-7007)/1-20/(1993)

Appendix I

Kursutvärderingar

Teknologerna utvärderar närvaro, hemtid samt betygsätter olika moment i kursen. Skalan förändrades 1996 från en 6-gradig till en 5-gradig skala.

	1993	1994	1995	1996
Betygsskala	1-6	1-6	1-6	1-5(1-6)
Betygsätt hur du upplevde föreläsningarnas innehåll och uppläggning	4.9	4.90	5.3	4.3(5.2)
Betygsätt hur du upplevde övningarnas innehåll och uppläggning	4.4	4.21	4.4	4.3(5.2)
Betyg på labbar	3.9		4.3	3.1(3.7)
Betyg på PP-labbar	5.0	4.97		4.4(5.3)
Betyg på engelsk kurslitteratur	3.0	2.83		2.4(2.9)
Betyg på kurslitt.			3.8	
Betyg på svensk kurslitteratur	5.1	4.48		3.9(4.7)
Svarsfrekvens (%)	51	59	41	67
Procent godkända vid första tentamen	65	70	79	80

Kommentarer till kursutvärderingarna om PP-labbar 1993

46 st enkätsvar av 90 totalt på kursen

Positivt:

Bra att man gavs tillfälle att själv lösa problem.

Mycket givande.

Jättebra, gav ökad förståelse.

Mycket intressanta och roliga.

Ett idealt sätt att lära sig på.

Bra med kommentarer efteråt. Annars hade det varit svårt att komma ihåg allt.

Jättekul att praktiskt se att teorin stämmer. Mycket pedagogiska. Roligt att få pilla på alla kranar etc.

Bästa sorts labbar jag varit med om.
Nyttigt att få skruva och ratta själva.
Bra att man fick lära sig förstå och se hur en pump och ventil fungerar.
Gav förståelse för teorin.
Mycket bra. Lärde mig mycket!
Mycket intressanta.
Mycket bra att man fick se hur ”maskinerna” funkade.
Bra att få se teorin i praktiken.
Bra, de gav bättre förståelse.
Fungerade precis som de skulle dvs. åskådliggjorde mycket av det man läst;
gav förståelse för teorin.
Var ganska bra. Ökade förståelsen.
Kul, bra.
Mkt bra.
Mkt bra.
Bra att få inblick i den praktiska verkligheten.
Man lär sig lättare när man kan titta på hur saker och ting fungerar.
Bra att få se apparaterna i verkligheten.

Negativt

Stressigt.
Mycket intressant, men lab-handledaren borde vara ännu mer mån om att
alla förstår och inte bara de högljudda.
Alldeles för stora lab. grupper.
Roligt, men tempot blev lite för högt emellanåt.
Lärorikt. Undvik genomgång i bullrig miljö.
Bra, men gick för snabbt. Hann knappt tänka efter vad man kom fram till.

Kommentarer till kursutvärderingarna om PP-labbar 1995

39 enkätsvar av 96 totalt på kursen

Positivt

Roligt.
Roliga och tankeväckande.
Mycket bra. Bra för förståelsen.
Intressanta och lärorika.
Bra, gav förståelse.

Bra att få lite små inblickar på allt möjligt.
Fantastiskt bra.
Mycket bra, gav förståelse.
Extremt lärorika.
Mycket bra. Gjorde att man kände sig som ingenjör.
Bra för förståelsen.
Bra.
Roliga och lärorika.
Mycket bra.
Mycket givande; gör att man lättare förstår teorin.
Mycket bra.
Mkt bra! Skapade klarhet i det mesta.
Mycket bra. Bättre att leka sig till förståelse.
Mycket bra.
Mycket bra. Lärorika. Intressanta.
Mycket bra! Lämpliga för att få inblick i verkligheten och inte bara i böcker.
Bra de ökar förståelsen.
Jättebra för att förstå. Bra att man får ut stencilerna i förväg så att man kan fundera lite.
Bra.
Mycket bra.
Relativt väldigt roligt sätt att laborera på. Gav mer förståelse.
Bra, det gjorde det lättare att förstå bilder, teori, osv.
Roligt och givande.
Instruktiva, jättebra.
Gav en bra förståelse för det man räknade på och läste om.
Det bästa i hela kursen. Betyg 6.
De var bra.

Negativt

För många personer i varje grupp så det var svårt att ta del av dem.
De 7 sista var dock något meningslösa.
Bra! Nyttigt! Men de är för stressiga. Sätt in lite mer tid för de tidskrävande momenten.
De var ibland ganska roliga, men jag är inte säker på att de gav mig särskilt mycket.
Bra, men ibland för kort tid per station.
Bra, men stimmiga.

Kommentarer till kursutvärderingarna om PP-labbar 1996

65 st enkätsvar av 97 totalt på kursen

Positivt

Jättebra! Enkla uppställningar så att all tid går ut på att man ska förstå.

Bra att se i verkligheten det man hört på föreläsningarna.

Trevliga handledare.

Mycket aha-upplevelser.

Givande. Intressant att få laborera tankemässigt.

Jättebra.

Bra då de skapade mening och förståelse i räkningarna.

Mycket bra, man förstår vad man räknar på.

Väldigt bra.

Mycket bra för snabb inläring och förståelse för grundläggande strömning.

Man lärde sig mycket och fick verklighetsanknytning till teorin.

Mycket nyttiga; bra att få tänka själv.

Bäst hittills.

Bra lätta att förstå principen på.

Bra, mycket lärorika.

Mycket bra. Man fick verkligen "tänka till". Belyste teorin bra.

Jättebra! Man lärde sig förstå.

Jättebra idé. Lärde sig mycket. Trevliga handledare.

Mycket intressanta.

Bra sätt att lära sig på. Första var bäst ty man fick tänka mest på den.

Intressanta och roliga.

Givande. Roliga. Labbar utan krav som labtenta och labrapport bidrar till större intresse för själva labben och kreativitet.

Jättebra! Roligt att få pröva saker själv.

Gav bra förståelse.

Genomgången efter är bra.

Jättebra.

Lab. handledarna var jättebra.

Jättebra att se hur allting fungerar och verkligen tvingas förstå.

Negativt

De roligaste labbarna; svårt att koncentrera sig i slutet.

Nyttiga, men jag har otroligt svårt att tänka i den bullriga apparathallen.

Lite stressiga.

Stressigt ibland.

Det blir lite tråkigt i slutet – lite långa (betyg 4).

Bra. Man hinner se och lära sig mycket på kort tid. Ibland där räkningar ingick hann man inte klart. Fler bord i apparathallen så att man kan skriva.

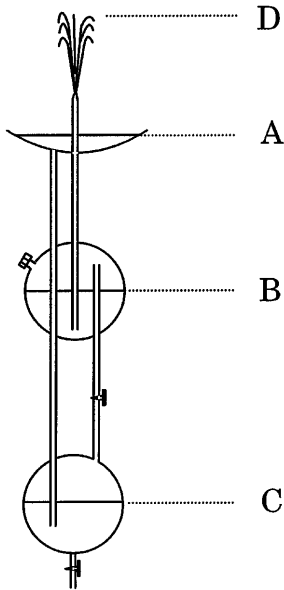
Bra och nyttigt fast det är så lite tid att man inte alltid hann att sätta sig in i problemen. Bör inte vara räkning på PP-labbar. Bra med genomgång efteråt.

Appendix 2

Praktisk problemlösning (PP)

Strömningsteknik

I. Herons fontän



I Herons fontän rinner vatten från nivå A till en lägre nivå.

Som resultat av detta sprutar fontänen D upp vattnet till en högre nivå än A.

Perpetum mobile? Gäller energiprincipen?

Hur fungerar den? Hur ska man göra för att få fontänen att spruta högre?

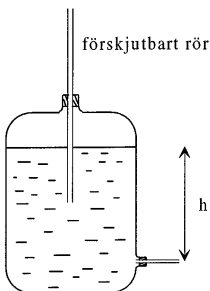
Beräkna hur högt fontänen maximalt kan spruta i denna försökuppställning!

Mät hur högt den sprutar!

Vad beror skillnaden på?

Heron, matematiker och fysiker från Alexandria, uppfann denna ca 100 f. Kr. En variant av Herons fontän användes som brandspruta.

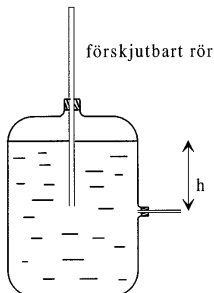
2. Mariotte-flaska



Hur påverkas flödet då röret förskjutes uppåt eller nedåt i flaskan?

Hur varierar flödet ut ur flaskan med vätskenivån (h) då röret inte rubbas?

Visa detta experimentellt och förklara resultaten teoretiskt med hjälp av Bernoullis ekvation!



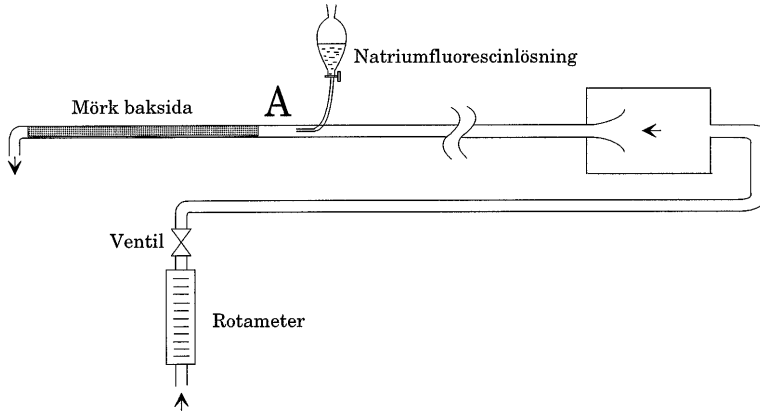
I denna Mariotteflaska är utloppet placerat högre upp.

Vad händer om röret skjuts ned under utloppet?

Vilket tryck råder i luften i flaskan?

Mariotte var en fransk fysiker och munk som levde under 1600-talet. Oberoende av Boyle visade han Boyle-Mariottes lag.

3. Reynolds experiment



Vatten rinner genom ett rör. Flödet mäts med hjälp av en rotameter (kalibreringskurva finns vid labplatsen).

Natriumfluoresceinlösning injiceras i röret som en punktkälla vid A från en behållare. Genom att höja och sänka behållaren kan "lagom" mängd erhållas.

Studera den laminära och turbulenta strömningen.

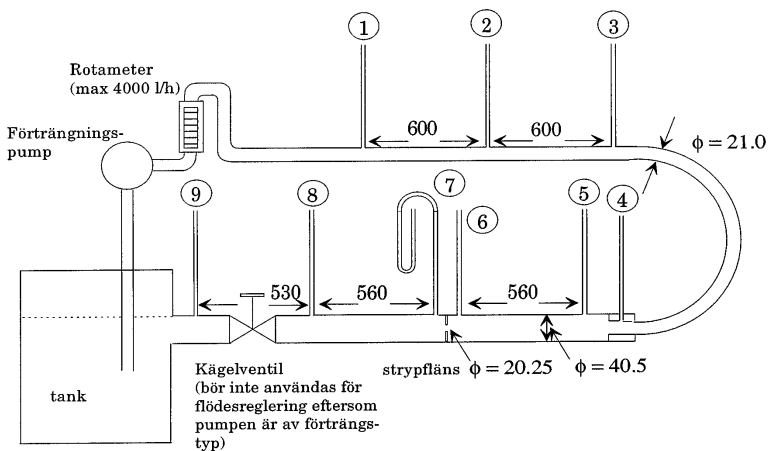
Undersök mellan vilka Reynolds tal omslaget sker!

Data: $\phi = 5 \text{ cm}$

$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

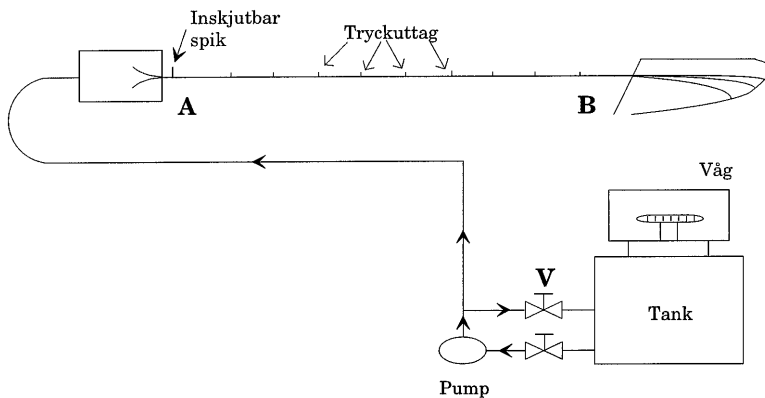
$\mu = 1 \times 10^{-3} \text{ kg/m s}$

4. Tryckfall i rörledningar



- Rita upp en tryckprofil över anläggningen från punkt 1 till 9! (Använd måttlinjal och rita i figuren ovan.)
Förklara utseendet!
- Vid mätpunkt 7 kan tryckkuttaget öppnas mot atmosfären med en kran. Vad händer?
Förklara!
- Vad händer om man stryker på ventilen? (Se upp!)
- Beräkna friktionsfaktorn f !
- Flödet kan mätas på 2 sätt i anläggningen. Vilka?

5. Laminär och turbulent strömning



OBS! Flödet regleras med ventilen V (kallas by-passreglering eller shuntreglering).

Studera hur strålen ser ut då flödet ökas gradvis!

Skjut in spiken (vid A) och studera hur strålen ser ut då flödet ökas gradvis!

Ställ in flödet så att det ligger på gränsen mellan laminär och turbulent strömning (strålen skall vara turbulent).

Dra ut spiken och studera hur tryckfallet över A-B ändras samt hur strålen ser ut med spiken inskjuten resp utdragen.

Förklara resultatet!

Beräkna Re !

Data: $\rho = 853 \text{ kg/m}^3$
 $\mu = 24.2 \times 10^{-3} \text{ kg/m s}$
 $\phi = 1.905 \text{ cm}$

Flödet mäts med hjälp av vågen (assistenten visar hur den används).

6. Fördelningsrör (Manifold)

1. Vatten strömmar till ett glasrör försett med hål enligt figuren. Ur vilket hål strömmar mest vätska?

Visa detta experimentellt och förklara resultatet! Rita tryckprofilen i figuren!



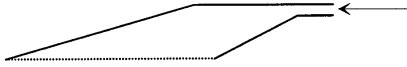
2. Rör med mindre hål

I detta fördelningsrör har hålen minskats till 1.6 mm diameter. Hur fördelar sig vätskan nu? Hur ser tryckprofilen över röret ut?



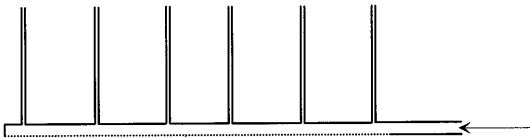
3. Rör med annat tvärsnitt

I detta rör har röret gjorts triangulärt. Hur och varför påverkas flödesfördelningen av det förändrade tvärsnittet. Hur fördelar sig vätskan nu? Hur ser tryckprofilen ut?



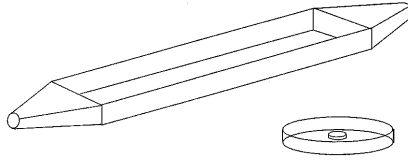
4. Långt rör

Hur fördelar sig vätskan? Hur ser tryckprofilen ut?



Hur påverkas resultatet om röret har en mycket skrovlig inneryta?

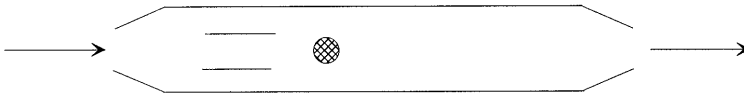
7. Laminär hastighetsprofil



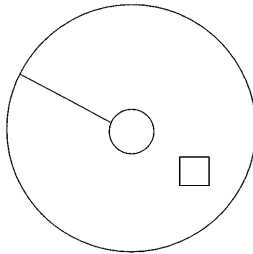
1. Den laminära strömningen studeras i den öppna rännan genom att man med injektionsspruta lägger in tunna linjer av natriumfluoresceinlösning.
- En rak linje injiceras tvärs över rännan. Vad händer? Studera den bildade hastighetsprofilen.



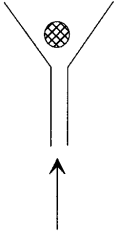
- Placera ett cirkulärt hinder i rännan. Injicera linjer enligt figuren nedan och studera strömningen omkring kroppen.



2. Plexiglasskålen fylls med högviskös vätska. Injicera en rak linje radiellt samt en kvadrat. Vrid den inre cylindern. Vad händer? Studera det stillastående gränsskiktet! Försök vrida tillbaka cylindern så att linjen återställs i utgångsläget.



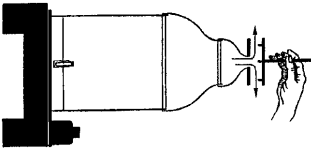
8. Aerodynamiska paradoxen



Luft strömmar till en tratten enligt figuren. I tratten ligger en bordtennisboll. Vad händer?

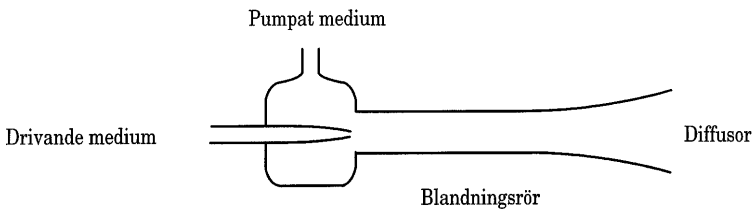
Förklara resultatet!

Vänd tratten upp och ner! Vad händer?



För den runda metallplattan mot öppningen i vindtunneln! Vad händer? Förklara fenomenet!

9. Vattenstrålpump – tryckmätning



Vattensugen är ett exempel på en strålpump (ejektor) med vatten som drivmedium. Andra drivmedier kan vara vattenånga (t.ex. i termokompressor) eller gas.

- Skruva sönder vattensugen och studera dess uppbyggnad och förklara vad som händer!
- Hur fungerar vattensugen?
- Anslut vattensugen till tryckmätarna (bourdonrör och kvicksilvermanometer) och mät hur lågt tryck som erhålles.
- Anslut exsickatorn till vattensugen. Ställ in en bägare med varmt vatten och starta vattensugen.
- Vilken temperatur måste vattnet lägst ha för att du skall kunna koka det i exsickatorn?

10. Kavitation

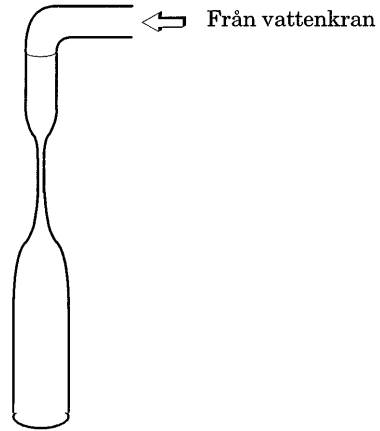
I denna demonstrationsanläggning får vatten strömma genom ett glasrör försett med en förträngning.

- Vad händer?
- Förklara!

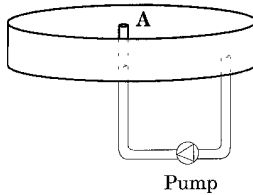
Beräkna trycket i rörförträngningen. Jämför detta tryck med vattnets ångtryck vid aktuell temperatur.

Data:

- Diameter i förträngningen = 2.1 mm
- Rörets diameter före förträngningen = 9.6 mm
- Rörets diameter efter förträngningen = 16.8 mm

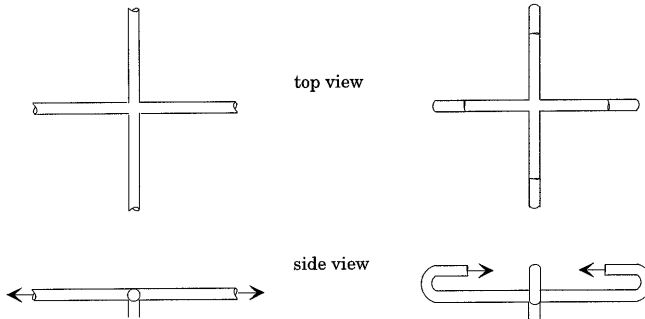


11. Vattenspridare



A Placera spridarna här

Vatten pumpas till ett rör i botten på en vattenbassäng. Ovanpå röret kan olika spridare placeras.



Olika typer av munstycken

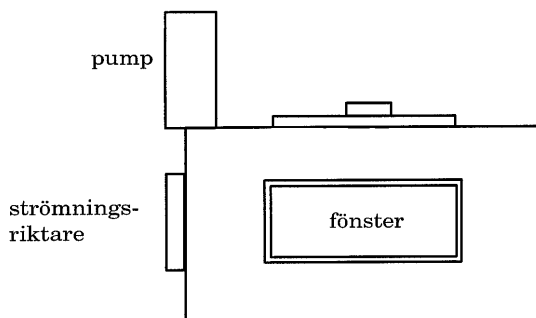
- Snurra spridaren för hand.
- När strålen sprutar utåt böjs strålen av bakåt.
- Varför?
- Snurra den omvända spridaren.
- Hur böjs strålen av?
- Förklara!

Använd gärna datorn för att förklara. Där kan du skjuta ut enskilda droppar och se hur dessa lämnar munstycket.

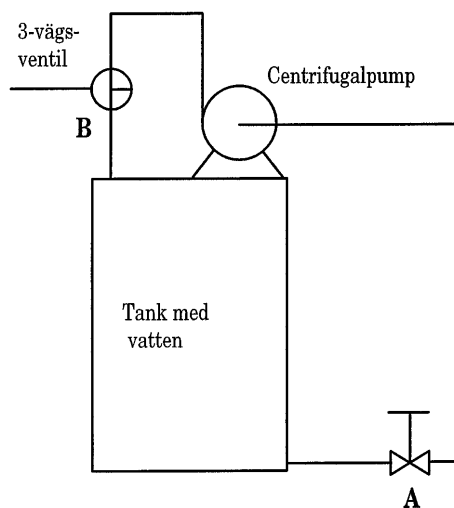
12. Omströmmade kroppar

Vätska med små plastkuler kan fås att strömma förbi fönstret. Olika hinder kan skjutas ner i fönstret i det strömmande fluidet och den omströmmade kroppen kan studeras.

- Studera hur virvlar uppstår bakom cylindern! (von Karmans virvelgata)
- Studera hur strömningen sker runt flygplansvingen.



13. Centrifugalpumpens arbetsätt

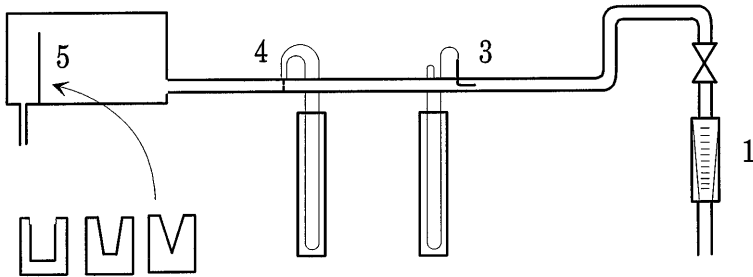


1. Starta pumpen och ordna så att vattnet pumpas runt i systemet. Förklara tillvägångsättet!
2. Undersök hur systemet reagerar då man stryker på trycksidan (B). Förklara!
3. Undersök hur systemet reagerar då man stryker på sugsidan (A). Förklara!
4. Beräkna tillgängligt NPSH för systemet då ventilen A är helt öppen!

Diskutera:

- En centrifugalpump bör startas mot stängd eller nästan stängd ventil på trycksidan. Varför?
- Centrifugalpumpar placeras ofta med en ordentlig tillrinningshöjd. Varför? (Ange två orsaker!)
- Vad menar man när man säger att pumpen "släpper"?
- Antag att en viss centrifugalpump klarar av en uppföringshöjd av 15 m då den pumpar vatten ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$) med ett flöde på $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$. Vilken uppföringshöjd klarar den vid samma flöde om en vätska med densiteten $\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$ pumpas? Hur stor är effektförbrukningen i de båda fallen?

I4. Flödesmätning



Apparatur

Identifiera ingående flödesmätare och förklara deras funktion. (1–5)

Jämför flödets storlek uppmätt med

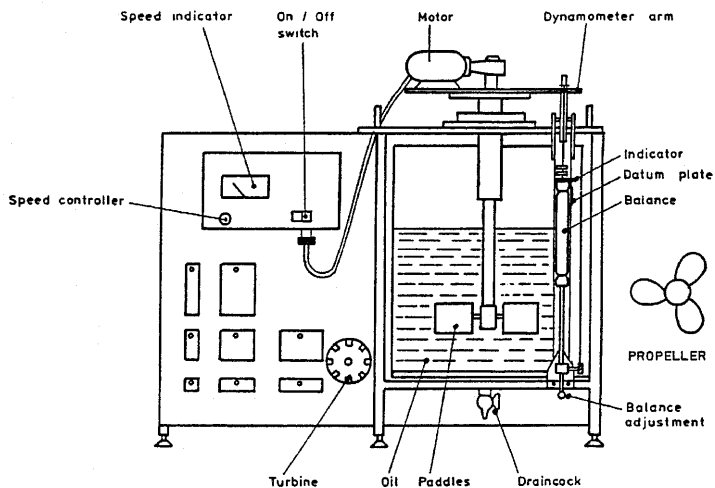
- rotameter (1)
- pitotrör (3)
- strypfläns (4)
- skibord (30°) (5)

(Använd 100 % utslag på rotametern. OBS! Öka inte flödet ytterligare!)

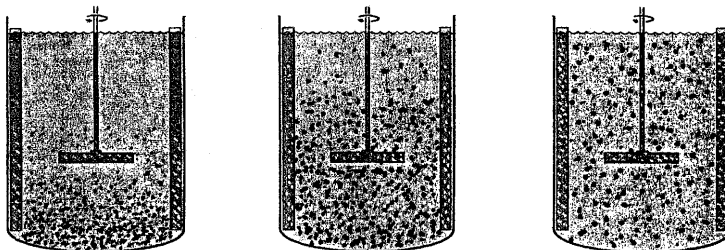
Allmänna data:

- Rörets diameter 32 mm
- Strypflänsens diameter 16 mm
- I u-rörsmanometrarna CCl_4 , $\rho = 1596 \text{ kg/m}^3$
- Fullt utslag på rotametern 1500 l/h (linjär skala)

15. Omrörning



1. Strömningsskildringen kan studeras genom att plastkulornas rörelse iakttas.
2. Omvandlingseffektiviteten kan studeras genom att
 - a) iaktta hur homogen suspensionen är. Jämför med nedanstående figur!

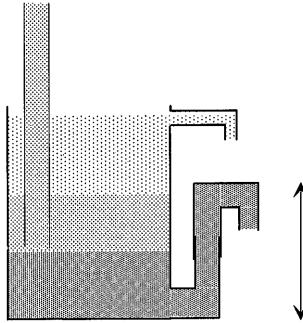


- b) tillsätta en liten mängd NaOH-lösning till tanken, som innehåller vatten och fenoltalein. NaOH-lösningen höjer pH-värdet, varvid fenoltaleinet ger upphov till rödfärgning.
3. Studera hur sugtratt och vätskerotation uppstår!
 4. Studera hur bafflar påverkar sugtratt, vätskerotation, effektförbrukning (dynamometern ger ett mått på effektförbrukningen) och omvandlingseffektiviteten.

16. Vätskeseparering

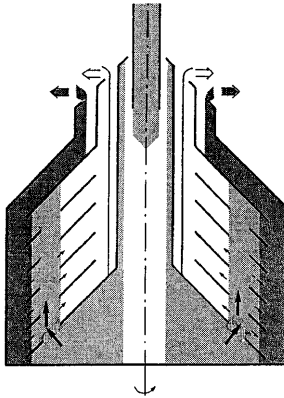
Studera hur separering sker i en skiljeflaska och en tallrikscentrifug!

A. Skiljeflaska



Diskutera valet av bräddavloppshöjd!

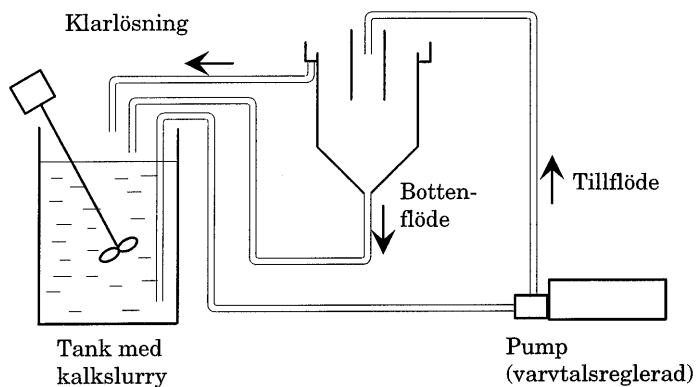
B. Tallrikscentrifug



Studera hur en tallrikscentrifug fungerar och identifiera anslutningarna för in- och utgående vätska!

1. Vilken funktion har tallrikarna?
2. Jämför effektiviteten av en enkel centrifug (separatorkula) och en tallrikscentrifug!

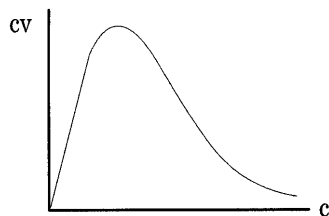
17. Sedimentation i Dorrfortjockare



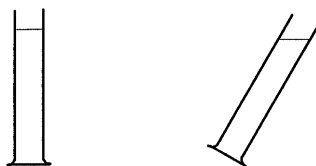
I en apparatupställning, enligt figuren ovan, kan sedimentering av kalkslurry i en kontinuerlig förtjockare studeras.

1. Reglera tillflöde och bottenflöde!

Hur påverkas driftlinjen när tillflöde/bottenflöde ändras?



2. Tag prov på klarlösning, bottenflöde och slurry. Studera sedimenteringen i mätklas!
3. Studera sedimenteringen av kalkslurry i mätklas, med resp utan tillsats av polyelektrolyt!
4. Låt kalkslurry (med tillsats av polyelektrolyt) sedimentera i mätklas! Gör om försöket, men luta mätklasen något!



Förklara resultatet med hjälp av Hazens ytbelastningsteori!

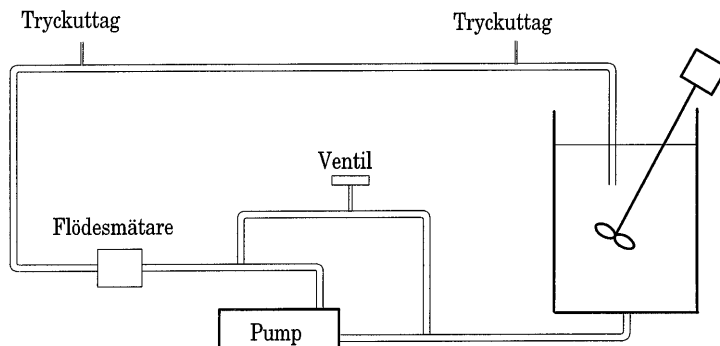
18. Hydraulisk transport

I denna anläggning pumpas en slurry av sand och vatten.

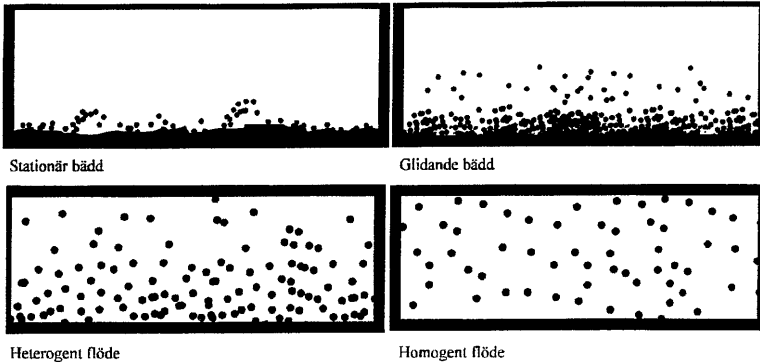
Studera de olika flödesregimerna: stillaliggande bädd, glidande bädd, heterogen suspension, homogen suspension.

Hur påverkas tryckfallet då flödet ökas?

Jämför med de diagram som finns i veckoblad och Coulson-Richardson!

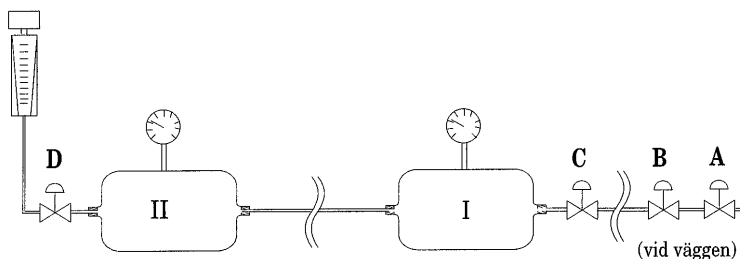


Principskiss över anläggningen för hydraulisk transport



19. Kompressibel strömning

Demonstrationen avser att visa att mängdbegränsning inträffar vid en viss trycksänkning, då luft får strömma från en behållare till en annan.



Arbetsgång

1. Se till att alla röranslutningar, slangklämmor o. dyl. är väl åtdragna. Anslut slangen till tryckluftsuttaget om inte detta är gjort.
2. Öppna ventilerna A, B, C och D så att tryckluften strömmar genom behållarna. Vrid på reduceringsventilen B så att trycket i behållare I blir 4 atö.
3. Stäng ventil D. Trycket stiger nu i båda behållarna. Till slut är trycken lika. Ingen tryckluft strömmar nu genom röret.
4. Injustera trycket i behållare I till exakt 4 atö med hjälp av reduceringsventilen B. Trycket i behållare I skall hela tiden vara insturerat på 4 atö (dvs 5 at) för att tätheten i behållare I skall vara konstant.
5. Injustera trycket i behållare II enligt nedanstående tabell med hjälp av ventil D. Låt rotameterutslaget stabilisera sig mellan varje tryckinställning och avläs utslaget. Notera!

P_I (at)	P_{II} (at)	P_{II}/P_I	Rotameterutslag
5.0	4		
5.0	3.5		
5.0	3.0		
5.0	2.5		
5.0	2.0		
5.0	1.5		
5.0	1.0		

6. Rita diagram P_{II}/P_I som funktion av rotameterutslaget. Jfr med formelsamling. Mängdbegränsning har inträtt då en sänkning av trycket P_{II} ej ökar rotameterutslaget.
7. Stäng av tryckluften (A, B, C). Känn på röret och iakttag temperaturförändringen.

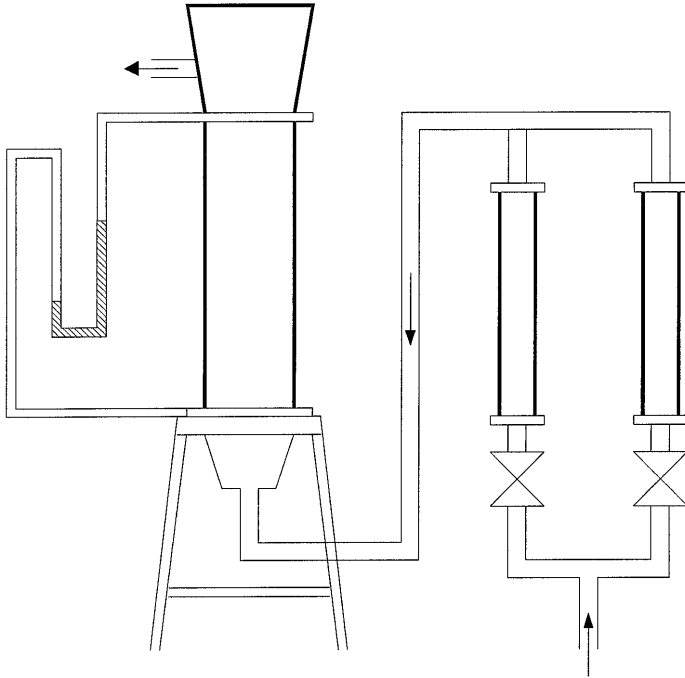
Varför blir röret kallt då man stänger för tryckluften?

20. Tryckfall i fluidiserad bädd.

I två apparatuppställningar av likartat utseende (enligt figur ovan) kan fluidisering gas/fast fas resp vätska/fast fas studeras.

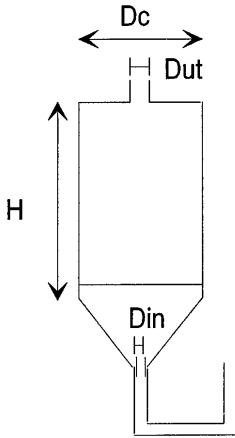
När erhålles homogen resp heterogen fluidisering? Studera dessa båda typer av fluidisering!

Studera hur tryckfall och porositet (bäddhöjd) varierar med vätskans respektive gasens hastighet!



21. Spouted-bed

I denna spouted-bed fluidiserar senapskorn av luft.



Hur sker lufttillförseln i denna spouted-bed jämfört med en vanlig fluidiserad bädd?

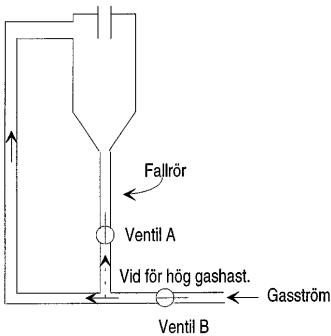
Hur transporteras partiklarna i bädden?

Diskutera dess möjliga användning i samband med dragering av tabletter och granulering av partiklar!

Om vi har olika stora partiklar – vilka har längst uppehållstid – små eller stora?

22. Cyklon

Studera funktionen av cyklonen. Öppna först ventil A så att sand fylls på i fallröret. Därefter öppnas ventil B försiktigt!



Hur påverkas avskiljningsgraden då gasflödet ökas?

Om man vill avskilja mycket små partiklar – skall man använda en cyklon med liten eller stor diameter?

Vad har centralröret i cyklonen för funktion?

Cyklonuppställning

23. Hydraulisk vädur (hydraulic ram)

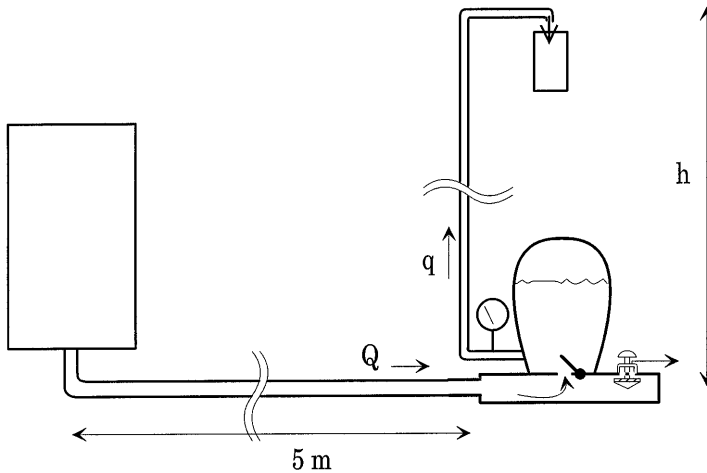
Denna vattenpump lyfter vatten från en lägre nivå till en högre nivå utan någon yttre energitillförsel!

- Perpetuum mobile? Gäller energiprincipen? Hur fungerar den?
- Hur startas den?
- Hur stoppas den?
- Varför fungerar den?
- Hur kan man förändra uppfodringshöjden?
- Hur kan man förändra vattenflödet som pumpas?

Undersök experimentellt:

1. Hur beror det uppfodrade flödet q av uppfodringshöjden h ?
2. Hur beror det uppfodrade flödet q av slaglängden på stötventilen?

Diskutera: När har pumpen högst verkningsgrad ?



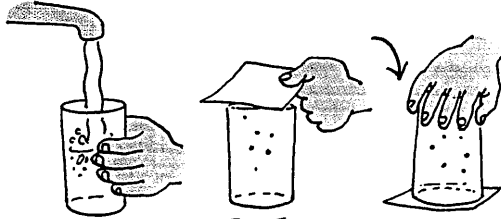
Figur Försöksupställningens utseende

- Uppfunns vid sekelskiftet 1800 av bröderna Montgolfier (de med varmluftballogen).
- Slogs ut vid elektricitetens introduktion i början av 1900-talet.

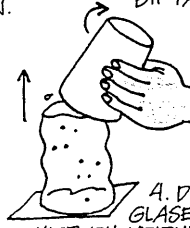
24. Två roliga vattentricks – hemuppgift

Två roliga vattentricks

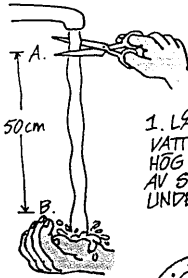
Skilsm



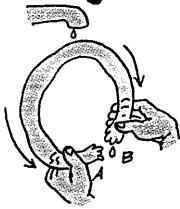
1. Fyll ett stort glas till brädden.
2. Täck över det med en bit papper.
3. Vänd kvickt glaset upp och ner på bordet.



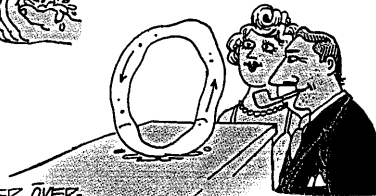
4. Dra nu långsamt glaset av vattnet med en vridning. Med lite övning kommer du att få vattnet att stå vid ungefär åtta av tio försök.



1. Låt en halv meter vatten rinna från en hög kran. Klipp sedan av strålen strax under kranen.



2. Vrid försiktigt ner överdelen (A) och fäst ihop den med underdelen (B) till en cirkel, utan att klamma. Sätt ner cirkeln på en jämn yta.
3. Vattnet fortsätter att rinna så här i flera minuter (p.g.a. den hydrokinetiska fusionsprincipen.)



© 1965 Judith Komman Klauvåst, by Universal Press Syndicate

Figur: "Stående vatten och hydrokinetiska fusionsprincipen" (Larsson)

Högskoleverkets skriftserie

Etnologiutbildningen – En utvärdering
Högskoleverkets skriftserie 1995:1 S

Multimedia och informationsteknologi i språkutbildningen vid universitet och högskolor i Sverige
Högskoleverkets skriftserie 1996:1 S

Kontrakt och utvärdering vid franska universitet – Rapport från en studieresa
Högskoleverkets skriftserie 1996:2 S

Financing and Effects of Internationalised Teaching and Learning
Högskoleverkets skriftserie 1996:3 S

Organizing Innovation – An Evaluation Report on the Work of the Swedish Case Method Centre
Högskoleverkets skriftserie 1996:4 S

Gender-inclusive Higher Education in Mathematics, Physics and Technology
Högskoleverkets skriftserie 1996:5 S

1993 års högskolereform – Vad blev det av den? Sju vittnesmål efter tre år
Högskoleverkets skriftserie 1996:6 S

Quality Assessment – The Australian Experiment
Högskoleverkets skriftserie 1996:7 S

Quality assurance as support for processes of innovation – The Swedish model in comparative perspective
Högskoleverkets skriftserie 1997:1 S

Grundläggande högskoleutbildning: Politik och planering eller den osynliga handen i full verksamhet?
Högskoleverkets skriftserie 1997:2 S

Uppfattningar om examination – en intervjustudie av högskolelärare
Högskoleverkets skriftserie 1997:3 S

Kvalitet och förbättringsarbete vid universitet och högskolor – Föredrag vid en konferens i Uppsala 9–10 januari 1997
Högskoleverkets skriftserie 1997:4 S

Studenters upplevelser av examinationen – om hur högskolestuderande retrospektivt ser på examinationen vid högskolan
Högskoleverkets skriftserie 1997:5 S

Prefekter om effekter – en studie av auditprocesser i Sverige
Högskoleverkets skriftserie 1997:6 S

Förnyelse av grundutbildningen i fysik vid universitet och colleges i USA
Högskoleverkets skriftserie 1997:7 S

National Policies for the Internationalisation of Higher Education in Europe
Högskoleverkets skriftserie 1997:8 S

Examensarbetet – examination och genomförande
Högskoleverkets skriftserie 1997:9 S

Examination vid universitet och högskolor – ur studentens synvinkel
Högskoleverkets skriftserie 1997:10 S

Extern medverkan i examinationen – Nordiska och brittiska traditioner. Svenska försök
Högskoleverkets skriftserie 1997:11 S

En auktoritär prövning eller en prövning av auktoritet? – Examination vid universitet och högskolor
Högskoleverkets skriftserie 1997:12 S

Tillträde till högre utbildning – en evighetsfråga
Högskoleverkets skriftserie 1997:13 S

Råd och idéer för examinationen inom högskolan
Högskoleverkets skriftserie 1997:14 S

Costs of Study, Student Income and Study Behaviour in Sweden
Högskoleverkets skriftserie 1998:1 S

External relations as support for internal renewal
Högskoleverkets skriftserie 1998:2 S

Recruiting Female Students to Higher Education in Mathematics, Physics and Technology – An Evaluation of a Swedish Initiative
Högskoleverkets skriftserie 1998:3 S

Hur styrs den svenska högskolan? Varför ser styrsystemet ut som det gör?
Högskoleverkets skriftserie 1998:4 S

I skriftserien finns utredningar och analyser som utförts på Högskoleverkets uppdrag. Innehållet speglar inte nödvändigtvis verkets uppfattning.

Högskoleverkets skriftserie 1998:5 S
ISSN 1400-948X
ISRN HSV-R--98/5--SE

Högskoleverket är en central myndighet för frågor som rör universitet och högskolor. Verket arbetar med kvalitetsbedömningar, uppföljningar, utveckling av högre utbildning, utredningar, tillsyn, internationella frågor och studieinformation. Dessutom ansvarar verket för samordningen av det svenska universitetsdatornätet SUNET.



HÖGSKOLEVERKET
National Agency for Higher Education