

NA-SPEKTRUM

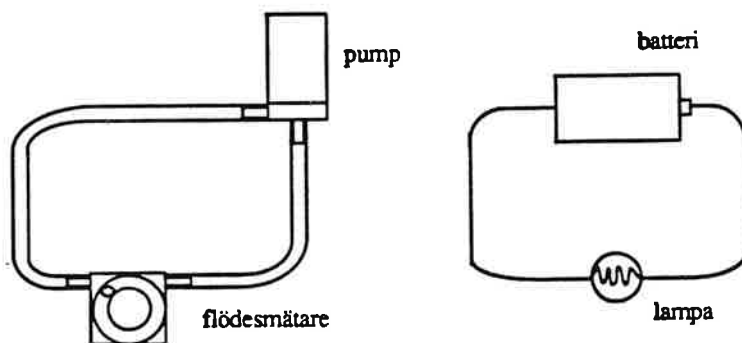
STUDIER AV NATURVETENSKAPEN I SKOLAN

NR 2

ANALOGITÄNKANDE OCH LÄRANDE

MED VATTENKRETS-ELKRETS SOM EXEMPEL

Björn Andersson, Frank Bach, Jonas Emanuelsson



Göteborgs universitet
Inst för ämnesdidaktik
Avd för naturvetenskap
Box 1010, S-43126 MÖLNDAL
Telefon: 031-679000



Red: Björn Andersson

ISSN 1102-5492

ANALOGITÄNKANDE OCH LÄRANDE

MED VATTENKRETS-ELKRETS SOM EXEMPEL

Björn Andersson, Frank Bach, Jonas Emanuelsson

NA-SPEKTRUM

Nr 2

INNEHÅLL

	sid
FÖRORD	4
1 BAKGRUND OCH PROBLEMSTÄLLNING	5
2 ANALOGITÄNKANDETS STRUKTUR	6
2.1 Analogitänkande kan vara en sond ut i det okända	6
2.2 Begrepp för att karaktärisera analogier	7
2.3 Analogin vattenkrets-elkrets	9
3 ELEVERS BEGREPP OM EL-KRETSAR	12
3.1 Källa-förbrukarmodellen	12
3.2 Koppling av lampa och batteri - några undersök- ningsresultat	14
3.3 Sekvenstänkande	17
3.4 Spänning	20
3.5 Studier av lärande	23
4 ETT UNDERVISNINGSPROGRAM BASERAT PÅ ANALOGIN VATTENKRETS-ELKRETS (AVE)	25
4.1 Önskemål om analogins egenskaper	25
4.2 Analys av möjliga analogier	25
4.3 AVE-programmets innehåll	29
5 FRÅGOR, METODER OCH URVAL	36
5.1 Frågor och metoder	36
5.2 Urval av elever	37
6 VAD HÄNDER DÅ ELEVERNA MÖTER AVE-PRO- GRAMMET?	42
6.1 Lektion 1. Vattenflöde i linjära system	42
6.2 Lektion 2. Polaritet och slutna krets	48
6.3 Lektion 3. Lysar lampan?	55
6.4 Lektion 4. Seriekopplingar	57
6.5 Vad tycker eleverna?	60
6.6 Resultat av eftertest	61
7 ANALYS OCH DISKUSSION	62
7.1 Vilka svar har vi på våra frågor?	62
7.2 Vatten- och elkretsar: samma begrepps- liga svårigheter	64
7.3 Vattenkretsar och orsakstänkande	65
7.4 Idéer om en fortsättning på AVE-programmet	65
8 REFLEXIONER OM ANALOGIER	69
8.1 Några begreppsliga distinktioner	69
8.2 Analogitänkande - en grundläggande aspekt av kognitionen?	70
8.3 Paketanalogin för kommunikation	71
REFERENSER	74

FÖRORD

Ärade läsare!

Du håller nu i din hand ett nummer av skriftserien NA-SPEKTRUM, som redovisar STUDIER AV NATURVETENSKAPEN I SKOLAN. Dess hemvist är Avdelningen för naturvetenskap vid Institutionen för ämnesdidaktik, Göteborgs universitet. Serien är en fortsättning på ELEVPERSPEKTIV. Motivet för namnändringen är att förståelse för elevens perspektiv är nödvändigt men inte tillräckligt när det gäller hur skolans naturvetenskapliga undervisning skall utformas. Vi försöker nu gå vidare på olika sätt.

-Vi strävar efter att använda kunskaper om hur eleven tänker till att konstruera, pröva och utvärdera nya undervisningssekvenser inom centrala begreppsområden.

-Vi försöker kombinera elev - och samhällsperspektiv till nya mål och nya begreppsstrukturer för olika åldrar.

-Vi strävar efter att samordna de olika naturvetenskapliga ämnena och att skapa länkar mellan naturvetenskap, teknik och samhälle.

Vägledande för vårt arbete är följande uttalanden i propositionen 'Växa med kunskap' (1990/91:85, sid 43-44):

Ansvaret för vår gemensamma framtid är globalt, men det får inte bli en undanflykt från vårt nationella ansvar. Sverige bör därför på nytt bli ett föregångsland, denna gång för hur kunskaper om ett ekologiskt uthålligt samhälle kan utvecklas och tillämpas.

Hoten mot vår miljö är svåra att uppfatta för den som saknar elementära naturvetenskapliga insikter. En rationell debatt om miljöproblemen har blockerats av ett allmänbildningsideal som utesluter naturvetenskapliga kunskaper.

Den nödvändiga miljömedvetenheten förutsätter en naturvetenskaplig alfabetisering som omfattar hela folket, om besluten skall vara gripbara för en demokratisk debatt och för ett demokratiskt beslutsfattande.

De åsikter, värderingar och slutsatser som framförs i ett givet nummer är författarnas, och delas inte nödvändigtvis av Avdelningen för naturvetenskap.

Den forskning som redovisas i detta nummer har finansierats av HSFR-Humanistiskt- Samhällsvetenskapliga Forskningsrådet.

Mölndal, januari 1992

Red

1. BAKGRUND OCH PROBLEMSTÄLLNING

För några år sedan studerade en av oss en artikel av Dedre Gentner betitlad 'The structure of analogical models in science' (Gentner 1981). Gentner presenterade en ganska detaljerad begreppsapparat varmed man kan betrakta analogier. Detta födde idén att koppla samman denna begreppsapparat med de nya kunskaper som kommit fram angående elevers tänkande om elektriska kretsar och den gamla idén om att använda analogier för att förstå elkretsar. Det finns några nya möjligheter i detta:

-Gentners begrepp gör det möjligt att göra didaktiska analyser av analogier med större klarhet och precision än tidigare. Detta kan vara en hjälp vid val av en lämplig analogi för elkretsar (det finns ett flertal förslag till analogier i den metodiska litteraturen).

-Forskningen om elevers begrepp om elkretsar visar på icke tidigare kända vardagsuppfattningar, t ex att batteri och lampa är enpoliga och att elström förbrukas. Detta leder till nya krav på välbekanta analogier, samtidigt som nya möjligheter öppnas för att hjälpa elever till förståelse via analogitänkande.

Genom att använda de ovan nämnda nya kunskaperna kom vi fram till att en viss variant av vattenkretsar var lämplig som analogi. Vi skisserade ett litet undervisningsprogram, avsett för åk 7-9. Det fick namnet AVE - Analogin Vattenkrets-Elkrets. Allteftersom det tog form ställde vi oss olika frågor: Kommer programmet överhuvud taget att fungera? Förstår eleverna vad som motsvarar vad då man i tanken rör sig mellan vattenkrets och elkrets? Kan de använda kunskaper om vattensystemet för att göra förutsägelser om motsvarande elsystem? Vi var med andra ord nyfikna på den detaljerade dynamiken i elevernas tänkande under pågående lektioner. Vi hoppades att vårt program kunde hjälpa eleverna att överge sitt vardagstänkande om elkretsar och anamma en del av skolkursens vetenskapliga begrepp, som visat sig vara oanat svåra att förstå.

Men detta är inte det enda motivet för våra ansträngningar. Vi anser bl a att analogitänkande har ett egenvärde. Det är en ganska vanligt förekommande tankeform som vi tycker att elever på grundskolan bör få möta på ett systematiskt och stimulerande sätt. Om vårt program fungerar så har vi fått fram ett lämpligt område för träning av analogitänkande och dessutom angett hur man kan lägga upp undervisningen inom just detta område.

I den här rapporten berättar vi hur långt vi har kommit i vårt arbete. I kapitel 2 diskuterar vi analogitänkande i allmänhet och Gentners begreppsapparat i synnerhet. I kapitel 3 redogör vi för forskningsresultat angående elevers tänkande om elkretsar. I kapitel 4 sätter vi samman kunnandet från kapitlen 2 och 3. Först diskuterar vi olika möjliga analogier och väljer för vårt arbete en egen variant av analogin vattenkrets-elkrets. Sedan redogör vi för vårt undervisningsprogram, både dess konkreta utformning och motiven för de olika inslagen. I kapitel 5 preciserar vi de frågor vi söker svar på, liksom motiven för att ställa just dessa frågor och de metoder vi använder för att få svar. I kapitel 6 berättar vi hur det gick då fjorton högstadiel elever med utpräglat vardagstänkande om elkretsar undervisades enligt programmet. Varje elev har undervisats enskilt vid fyra lektionstillfällen. I kapitel 7 analyseras och diskuteras vunna erfarenheter, och i kapitel 8 slutligen tar vi upp mer allmänna aspekter på analogier.

2. ANALOGITÄNKANDETS STRUKTUR

2.1 Analogitänkande kan vara en sond ut i det okända

Den som försöker förstå det mindre kända eller det helt okända måste använda sig av det han eller hon redan kan och vet. Det gäller att kombinera erfarenheter och begrepp så att nya idéer och nya mönster uppstår. Dessa testas sedan mot det mindre kända, vilket kan leda till revisioner.

Ett sätt att begripa det mindre kända är analogitänkande. Dess kärna är att avbilda det som är väl känt på det som är mindre känt och som man vill förstå bättre. Här följer ett första exempel.

I mitten på 1700-talet experimenterade Benjamin Franklin med elektricitet. Han visste att om man närmade ett föremål, t ex ett finger, till en laddad Leydenflaska, så uppstod en gnista mellan flaska och föremål. Gnistan blev kraftigare om föremålet var spetsigt.

I atmosfären observerade Franklin blixar då åskan gick. Han spekulerade över om åskan kunde vara ett elektriskt fenomen. Det fanns ju vissa likheter mellan en åskblix och blixten mellan finger och Leydenflaska. Kunde molnen vara ett slags jättelika Leydenflaskor och fingrets motsvarighet uppstickande föremål på jordytan? Denna djärva analogi födde tanken på åskledare - spetsiga stavar eller spiror som kunde ladda ur åskmoln.

Det gällde nu för Franklin att bevisa sin åskteori genom att avleda elektricitet från ett förbipasserande åskmoln. Franklin tänkte på stavar och spiror, genom vilka man skulle kunna leda ner elektricitet till Leyden-flaskor. Men de praktiska svårigheterna visade sig oövervinnerliga för honom. Då kom idén att sända upp en drake - en dramatisk förändring i den ursprungliga analogin. Drakar fanns som en erfarenhet från Franklins barndom. På somrarna brukade han driva omkring på rygg i sjön, buren av en svävande drake... Draken blev Franklins finger som pekade mot åskmolnet - Leydenflaskan. Resultatet blev det förväntade, och åskledaren fick sitt genombrott.

Analogitänkande kan vara till glädje och nytta både för vetenskapsmannen och novisen. För båda är det fråga om att flytta fram kunskapens gränser och att få fördjupad förståelse. Här följer några fler exempel.

Man kan studera egenskaper hos vattenvågor i en tank (böjning, interferens mm) och avbilda denna konkreta erfarenhetsbas på fenomen som gäller ljud och ljus.

Man kan se analogin mellan en boll som kastas i en båge och en planet som rör sig i en bana runt solen, och på så sätt få fördjupad förståelse för den universella gravitationen.

Man kan se analogin mellan vätgasballongen som stiger i luft och en kork som flyter upp genom vatten och generalisera Arkimedes princip till att också gälla gaser.

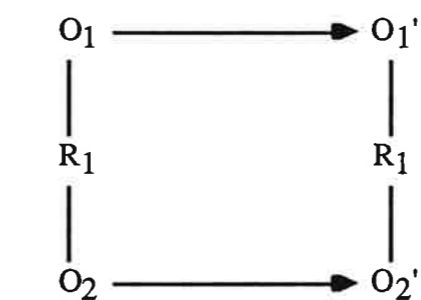
2.2 Begrepp för att karaktärisera analogier

Analogi används i detta avsnitt som en allmän beteckning, vilken innefattar liknelser, metaforer och analog modeller.

Gentner (1981) beskriver analogier som en avbildning av ett bassystem på ett målsystem. Bassystemet är vanligen välkänt och konkret, målsystemet mindre känt och kanske abstrakt. Bassystemet består av objekt (som inte nödvändigtvis är föremål) som har vissa egenskaper och mellan vilka råder vissa relationer. Bassystemets objekt motsvaras av andra objekt i målsystemet. En del egenskaper hos bassystemets objekt kan återfinnas hos motsvarande objekt i målsystemet. En del av de relationer som råder mellan objekten i bassystemet finns också mellan motsvarande objekt i målsystemet.

Två exempel

En heliumballong flyter upp genom luft i analogi med att en kork flyter upp genom vatten.



bassystem

målsystem

O₁: kork

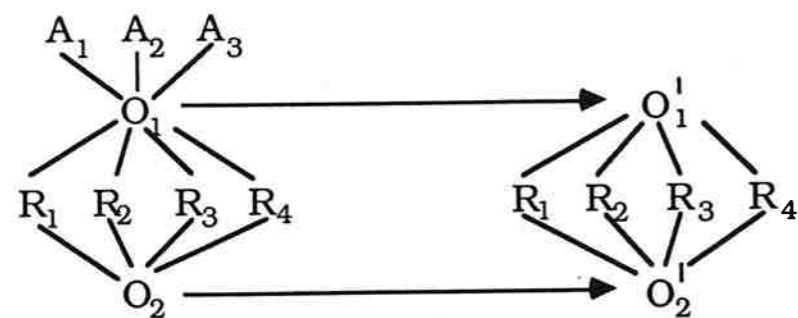
O₁': heliumballong

O₂: vatten

O₂': luft

R₁: mediets lyftkraft är lika med den undanträngda mediemängdens tyngd

Den nyss beskrivna analogin är enkel. Det är få objekt i systemen, och bara någon enstaka relation som avbildas. En mer komplex analogi är solsystemmodellen för atomen, vilken infördes av Rutherford, och som under en period hade betydelse för atomfysikens utveckling. Den kan något formaliserat beskrivas på följande sätt (se nästa sida):



O₁: solen
O₂: planet

R₁: attraherar
R₂: har större massa än
R₃: går runt
R₄: tomrum mellan

A₁: gul
A₂: het
A₃: gasformig

O₁': atomkärna
O₂': elektron

I den här analogin överförs många relationer från bas- till målsystem, men få egenskaper.

Gentner (1981) föreslår ett antal aspekter för att i detalj karaktärisera analogier. Den första är basens specificeringsgrad. För en bra analogi krävs att basen är väl specificerad, dvs basens struktur skall vara väl analyserad och väl förstådd. Eftersom målsystemets relationer är en partiell avspeglning av bassystemets, så blir förståelsen av det förra inte bättre än det senare. Det är nödvändigt, men ej tillräckligt, att basen är väl specificerad för att analogin skall leda till god förståelse.

Det här aspekten har didaktisk betydelse. Ett bassystem kan vara väl specificerat för läraren, men inte för eleven. Då saknas förutsättningar för att börja använda analogin som ett verktyg för förståelse. Om eleven inte förstår bassystemet, så kan han inte via detta komma till en förståelse av målsystemet.

Nästa aspekt är klarhet. För att en analogi skall vara bra måste det vara klart och entydigt vilket objekt i basen som motsvarar vilket i målsystemet. Om ett objekt i basen avbildas på två eller flera i målsystemet blir analogin oklar, likaså om flera objekt i basen avbildas på ett objekt i målsystemet. Klarhet innebär också att man vet vilka relationer i bassystemet som kan överföras till målsystemet.

Ett annan aspekt är rikedom. Ju fler egenskaper och relationer som kan överföras från bas till mål, desto rikare är analogin. I naturvetenskapliga sammanhang är det analogier där många relationer kan överföras som är intressanta.

Ett annat karaktäristikum för en analogi är dess abstraktionsgrad. För att klargöra innebörden av detta noterar vi att från bas till målsystem kan överföras egenskaper

hos objekten, relationer mellan objekten och relationer mellan relationer (högre ordningens relationer). Om bara egenskaper hos objekten i basen överförs till målsystemet så är analogin mycket konkret. Om bara högre ordningens relationer överförs är analogin mycket abstrakt. Ju större proportion av överförda egenskaper och relationer som är högre ordningens relationer, desto abstraktare blir analogin.

Nästa aspekt är grad av systematik. Om överförda relationer bildar någon form av sammanhang så är analogin mer systematisk än om relationerna inte är kopplade till varandra. Analogin solsystem-atom är t ex systematisk genom att 'attrahera' enligt mekanikens lagar leder till 'gå runt' och vice versa.

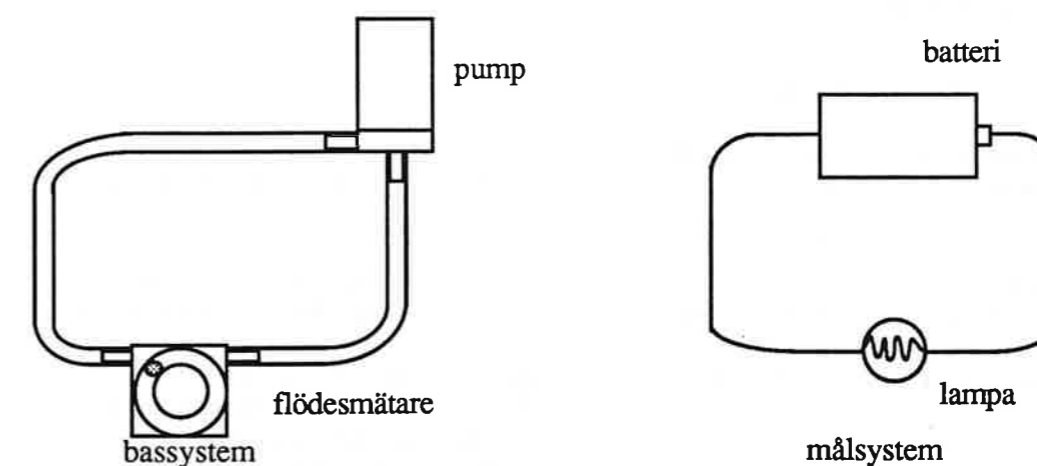
En analogi måste, för att leda till insikt, förståelse och korrekta förutsägelser, besitta en viss grad av validitet. Det innebär att vissa egenskaper och relationer som är sanna i basen också är sanna i målsystemet. I en analogi är det dock aldrig så att alla egenskaper och relationer i basen överförs till målsystemet. Ej heller är alla egenskaper och relationer som råder i målsystemet täckta av dem som råder i basen. Överföringen är med andra ord alltid partiell.

Den nu skildrade begreppsapparaten kan användas för att karaktärisera och bedöma såväl liknelser som metaforer och analoga modeller. (Den kan inte skapa nya analogier.) Vi väljer som exempel att närmare studera en variant av analogin vattenkrets - elkrets.

2.3 Analogin vattenkrets - elkrets

I denna analogi är vattenkretsen bas, och elkretsen målsystem. Idén är att använda den konkreta och påtagliga vattenkretsen för att förstå elkretsen. (Man kan också kasta om bas och målsystem. Vatteningenjörer som vill veta hur vattnet flödar i ett komplicerat römnät kopplar upp nätet elektriskt och mäter strömmen i olika grenar!)

I sin enklaste form kan vattenkretsen bestå av en pump, slangar och en förträngning, t ex en enkel flödesmätare. Se figur 2.1! Det vatten som strömmar genom flödesmätaren får en liten kula att rotera. Rotationshastigheten är ett mått på vattenflödet. Motsvarande elkrets är ett batteri och t ex en glödlampa.

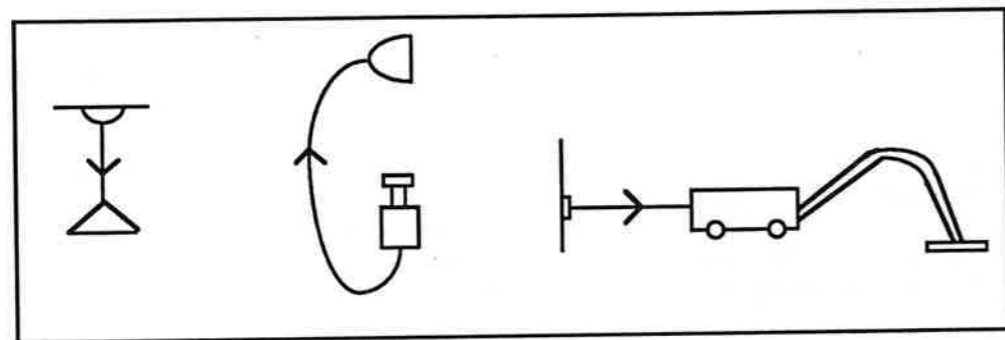


Figur 2.1 Vattenkrets och motsvarande elkrets

3. ELEVERS BEGREPP OM ELKRETSAR

3.1 Källa-förbrukarmodellen

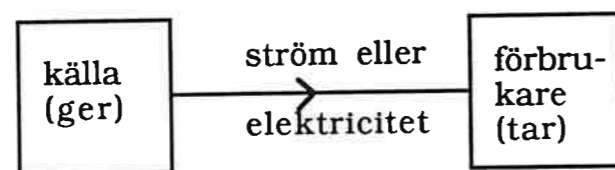
Den som iakttar elektriska apparater i vardagslivet kan se att det går en sladd till var och en. Lampan i taket, lyktan på cykeln och dammsugaren på golvet är några exempel. Det ligger nära till hands att tänka sig, att det överförs något från uttaget i väggen genom sladden till apparaten ifråga. Om man förutom att iaktta också lyssnar på olika uttryck i dagligt tal, så förstår man att detta något är ström eller elektricitet och att det förbrukas. Folk säger ju t ex: "Slösa inte med strömmen!" "Vad dyr strömmen är!" "Vi måste hålla nere elförbrukningen."



Figur 3.1 Elektriska system i vardagslivet.

Med dessa erfarenheter som grund, så är det naturligt att konstruera en källa-förbrukarmodell för elektriska fenomen i vardagslivet. Väggtuttagen betraktas som strömkällor, liksom batterier av olika slag. Stora batterier innehåller mycket ström, små lite. Om man etablerar en förbindelse mellan källa och elektrisk apparat, så ger källan ström till apparaten, som förbrukar densamma, helt eller delvis. Man kan också säga att förbrukaren tar ström från källan. Bara vissa ämnen - metaller - leder ström. Och det måste vara kontakt mellan källa och sladd, respektive sladd och förbrukare. Själva ordet 'ström' torde genom sina associationer till rinnande vattenströmmar förstärka uppkomsten av en linjär modell. Vattnet i åar, älvar och kranar rinner ju linjärt, inte cirkulärt. Med begreppen från förra kapitlet kan vi säga att ordet 'ström' leder lyssnaren till att välja en mindre lämplig bas för avbildning på elektriska system.

Källa-förbrukarmodellen sammanfattas i figur 3.2 nedan.

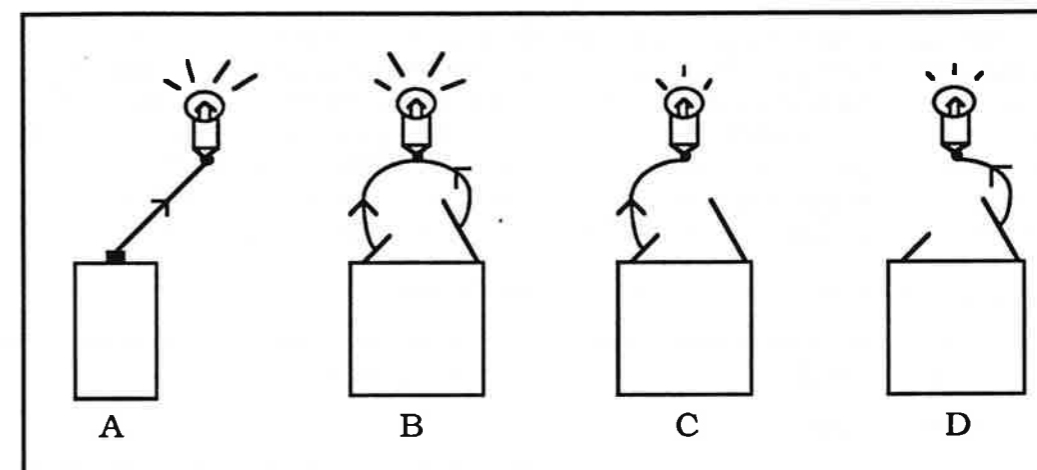


Figur 3.2 Källa - förbrukarmodellen.

Värt att notera är att begreppet spänning, som förklarar varför en ström sätts igång, inte behövs i källa-förbrukarteorin. Ström eller el uppfattas som något som finns i batterier och andra källor, och det är lika naturligt för t ex batterier att avge ström som det är för sockerdricka att rinna ur en flaska om betingelserna är de rätta. Det naturliga behöver ingen närmare förklaring.

Låt oss nu fundera lite över vilka förutsägelser angående lampor och batterier man skulle kunna tänkas göra med hjälp av källa - förbrukarmodellen. Hur skall man t ex ansluta en lampa till ett batteri så att lampan lyser?

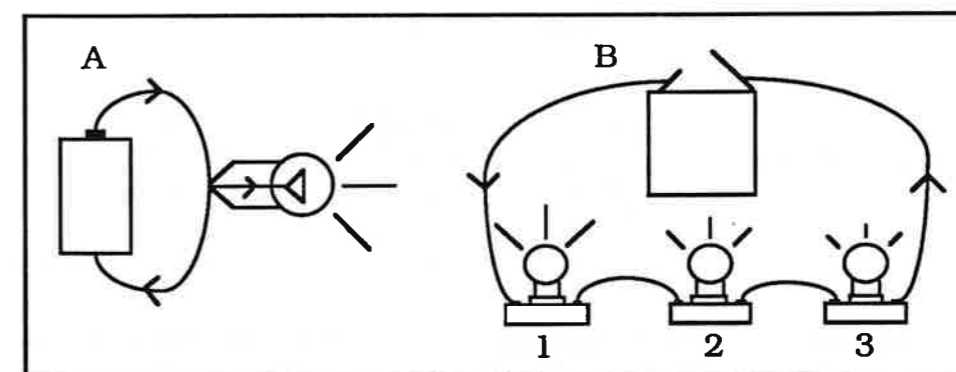
Om det gäller ett runt batteri, så kopplar man sannolikt som i figur 3.3A. Den lilla knoppen är den enda del på batteriet som sticker ut, och är därför en naturlig kontaktpunkt. Beträffande lampan, så används gängorna till att skruva fast lampan i en hållare. Återstår därför att koppla till lampknoppen! På ett platt batteri verkar det finnas två ställen att få ström ifrån. Det ligger nära till hands att koppla som i figur 3.3B. Kanske man tror att det lyser svagare om man ansluter som i 3.3C och 3.3D.



Figur 3.3 Exempel på förutsägelser utifrån källa-förbrukarmodellen.

Om nu en elev i skolan lärt sig att ett batteri är tvåpoligt och att strömmen går runt, så kan han likväl tillämpa källa-förbrukarmodellen. Exempelvis kan han tänka sig, att lampan i figuren 3.4A nedan lyser, eftersom ström tappas av via lampknoppen.

Också elever som har klart för sig att alla kretselement är tvåpoliga kan använda källa-förbrukarmodellen. Om flera lika lampor kopplas (tvåpoligt) i serie, som i figur 3.4B, så kan nämnda modell leda till förutsägelsen att lampa 1 förbrukar ström. Lampa 2 får då mindre ström, och lyser svagare. Lampa tre lyser ändå svagare. Ett alternativ är att tänka sig, att lamporna delar på strömmen. De tar en tredjedel var och lyser därför lika starkt.



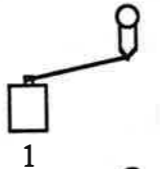
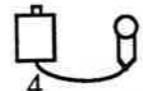
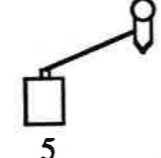
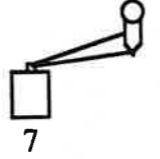

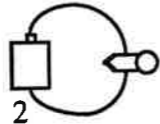
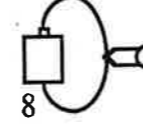
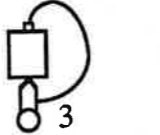
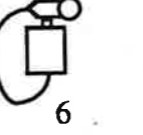
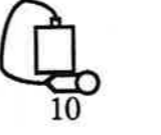
Figur 3.4 Exempel på förutsägelser med hjälp av källa-förbrukarmodellen.

För lekmannen verkar den nu beskrivna vardagsteorin med dess olika tillämpningar tämligen naturlig. Fysikläraren däremot torde skaka på huvudet och undra om man verkligen kan tänka så konstigt. Det måste väl i så fall vara före undervisningen. Faktum är emellertid, att den nu beskrivna källa - förbrukarmodellen är vanligt förekommande. Den är dessutom robust, seglivad och mycket "undervisningsresistent". Underlaget för dessa påståenden redovisas i de följande avsnitten.

3.2 Koppling av en lampa till ett batteri - några undersökningsresultat

Två svenska undersökningar med större elevgrupper har gjorts, en på grundskolan (Andersson & Kärrqvist, 1979) och en på gymnasiet (Östklint & Rönnlund, 1981). Eleverna fick bl a besvara ett antal papper- och pennauppgifter. En av dessa gällde att förutsäga om lamporna i tabell 3.1 på nästa sida lyser eller ej. (Siffrorna under respektive koppling anger placeringsordningen på elevens svarsblankett. Typ av kontakt var självfallet ej angiven på blanketten. För eleverna gällde det att hela tiden göra förutsägelser. De fick ej reda på om en given förutsägelse var rätt eller ej.)

Tabell 3.1 Lyser lampan eller ej? Översikt av testproblem.

Typ av kontakt		Exempel		
batteri	lampa			
enpolig	enpolig			
enpolig	tvåpolig			
tvåpolig	enpolig			
tvåpolig	tvåpolig			

Eleven visar tecken på en enpolig lampuppfattning, om han/hon förutsäger, att minst en av lamporna i problem 1, 4, 5, 2 och 8 lyser. Eleven visar tecken på en enpolig batteriuppfattning om han/hon förutsäger att minst en av lamporna i problem 1, 4, 5, 7 och 9 lyser. I båda fallen är det fråga om indikationer på att

källa-förbrukarmodellen används. Med nämnda kriterier erhöles de resultat som visas i tabell 3.2. (Likströmskretsen brukar behandlas i åk 7, elektromagnetism i åk 8, och elektrisk energiöverföring i åk 9. Gymnasieeleverna på linjerna N, T och Te läser fysik som ett särskilt ämne. Ellära ingår i åk 1 och 2. Eleverna på linjerna E, H, S och So undervisas i ämnet naturkunskap. En del av grundskolans ellära repeteras.)

Tabell 3.2 Procentuell fördelning av elevsvar på olika lamp- och batteriuppfattningar.

batteri lampa		enpoligt enpolig	enpoligt tvåpolig	tvåpoligt enpolig	tvåpoligt tvåpolig
åk 6	(n=131)	56	6	22	14
åk 7	(n=171)	46	5	31	18
åk 8	(n=118)	39	4	37	19
åk 9	(n=132)	31	1	48	20
åk 1+2, E,H,S,So	(n=281)	39	2	48	11
åk 1+2, N,T,Te	(n=282)	7	3	29	60

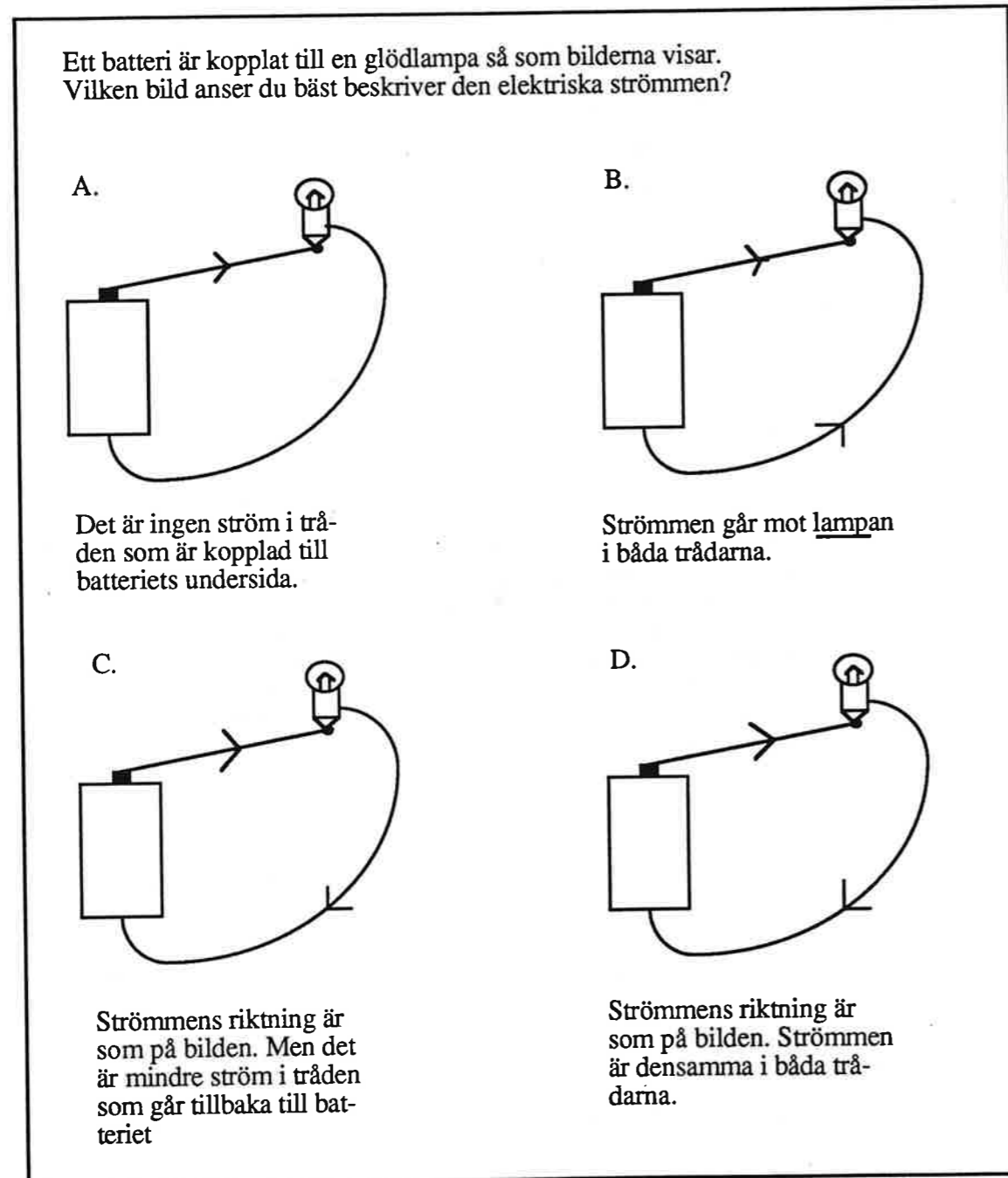
Åtskilliga studier av elevers tänkande om el-kretsar har gjorts på den internationella arenan. Exempelvis har Maichle (1981) bitt västtyska elever att ta ställning till ett antal påståenden. Om de håller med om ett givet påstående svarar de ja, om inte nej. Två av påståendena, och svar från olika grupper, framgår av tabell 3.3. Grupp 1 utgörs av 300 elever från åk 8, Realschule (13-15 år gamla). Grupp 2 är 100 elever från åk 8, Gymnasium (13-15 år gamla). Grupp 3 är 36 blivande fysiklärare, som studerar fjärde eller femte terminen vid universitet, och grupp 4 tio experter, dvs fysiker eller erfarna fysiklärare.

Tabell 3.3 Håller du med om påståendet? Procentuell fördelning av elevsvar på "ja" eller "nej".

påstående	grupp 1 (realsch)		grupp 2 (gymn)		grupp 3 (lärkand)		grupp 4 (fysiker)	
	ja	nej	ja	nej	ja	nej	ja	nej
I varje nytt batteri är en viss mängd elström lagrad.	84	12	85	14	40	60	0	100
Strömmen i ett batteri förbrukas med tiden av elektriska apparater.	82	14	87	13	41	59	0	100

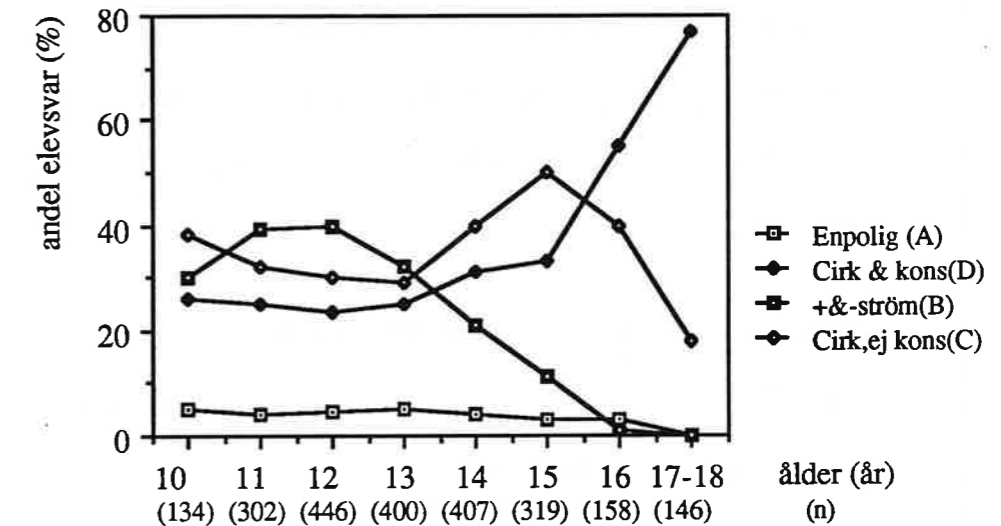
Källa-förbrukarmodellens popularitet bekräftas av dessa resultat. Mer än 80% av eleverna i åk 8, och 40% av de blivande lärarna, tycks tänka sig ström som en substans, som kan lagras och konsumeras.

I en undersökning på Nya Zeeland (Cosgrove, Osborn & Carr, 1984) gavs problemet i figur 3.5 på nästa sida till över 2000 elever. Testuppgiftens olika strömmodeller hade framkommit i intervjuer (Osborne, 1981, Osborne, 1983 och Osborne & Gilbert, 1980).



Figur 3.5 "Strömmodeller". Testuppgift i ellära.

Alternativ A, B och C är alla att betrakta som varianter av källa-förbrukarmodellen. Elever i kategori B kan t ex tänka sig, att det leds ström både från plus- och minuspol fram till förbrukaren - lampan. De har ibland idén om en plusström och en minusström som möts i lampan. Själva mötet alstrar värme och ljus. Anhängare av modell C tänker sig ofta, att lampan förbrukar ström. De kan också tänka sig att lampan visserligen inte förbrukar strömmen men ändå påverkar den så att den går långsammare efter lampan. Det senare är ett exempel på vad Closset (1983) och Shipstone (1984) kallar sekvenstänkande (se vidare i nästa avsnitt). Den procentuella fördelningen av elevsvar på de fyra olika modellerna framgår av figur 3.6. Liknande resultat har erhållits av Shipstone (1984) i England.



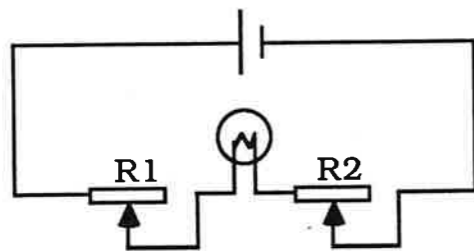
Figur 3.6 Testuppgift "strömmodeller". Procentuell fördelning av elevsvar på olika kategorier. 'Kons' betyder konservation av strömmen.

3.3 Sekvenstänkande

Då en glödlampa kopplas med ett par sladdar till ett batteri utbildas utomordentligt snabbt ett elektriskt fält i kretsen. Metallatomernas lättroliga yttre elektroner längs kretsen känner av det elektriska fältet så gott som samtidigt, och börjar röra sig mot fältriktningen. Men elektronkollektivets rörelse är ganska långsam. Det är fråga om bråkdelar av millimeter per sekund (elektronernas sk drifhastighet).

Elektronkollektivet kan kvantmekaniskt betraktas som en nästan inkompressibel vätska (Walz, 1984) vilket betyder att en förändring på ett ställe omedelbart märks i hela kretsen. Om man t ex ökar motståndet någonstans i kretsen, så utbreder sig elektromagnetiska pulser åt båda håll. Dessa går med ljusets hastighet för materialet, och leder till att ett nytt stationärt tillstånd utbildas mycket snabbt. Strömmen minskar praktiskt taget samtidigt i hela kretsen. Det sagda innebär att man måste beakta hela kretssystemet om man vill förutsäga och förstå vad som händer då man gör en lokal ändring. Detta systemtänkande försvåras av djupt rotade vanor att analysera förlopp i linjära sekvenser, vilket med önskvärd tydlighet framgår av flera undersökningar. Här följer några exempel.

Shipstone (1984) har gett problemet i figur 3.7 till cirka 230 engelska elever.



R1 och R2 är två motstånd som kan öka eller minska.

- a) Om R1 minskas, kommer ljusstyrkan på lampan att
 öka minska eller vara oförändrad?

Förklara hur du tänkte!

- b) Om R2 ökas, kommer ljusstyrkan på lampan att
 öka minska eller vara oförändrad?

Förklara hur du tänkte!

- c) Om R1 ökas, kommer ljusstyrkan på lampan att
 öka minska eller vara oförändrad?

Förklara hur du tänkte!

- d) Om R2 minskar, kommer ljusstyrkan på lampan att
 öka minska eller vara oförändrad?

Förklara hur du tänkte!

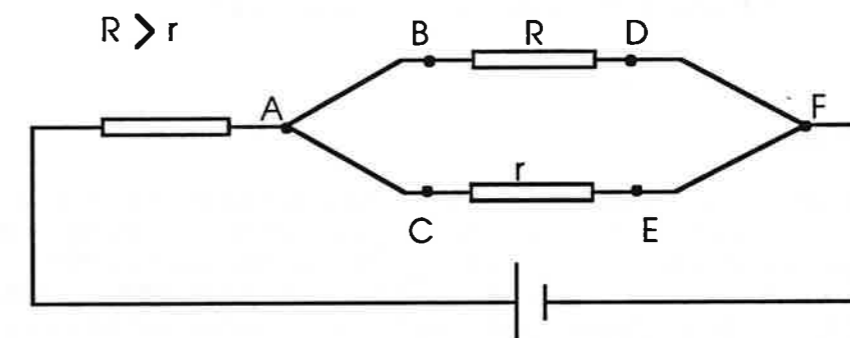
Figur 3.7 "Före och efter". Testuppgift i ellära.

Ett typiskt elevsvar är följande: Om R1 minskar, så ökar ljusstyrkan, ty "om motståndet minskar, så blir strömmen större". Men om R2 ökar så ändras inte ljusstyrkan, ty "motståndet ökar, men det sitter på minussidan av lampan". Eleverna tänker sekvensiellt. Strömmen påverkas i tur och ordning av de krets-element den träffar på. Om en förändring görs i ett givet element, så påverkas strömmen först

när den kommer fram till detta element. Med andra ord kan man säga, att en förändring på ett ställe i kretsen har konsekvenser nedströms, men inte uppströms.

Andelen elever i Shipstones undersökning som använder sekvensmodellen ökar från cirka 35% till 75% mellan 12 och 14 års ålder, och minskar sedan till 35% i intervallet 14-16 år. Ökningen beror bl a på att eleverna överger idén om att det går två motsatta strömmar från plus- respektive minuspol, till förmån för en cirkulerande strömmodell, som används sekvensiellt. Shipstone har också testat 18 blivande fysiklärare, med universitetsstudier i fysik bakom sig. Sju av dem använde sekvensmodellen. Shipstone menar, att eleven inte konserverar ström av två skäl. Det första är att källa-förbrukarmodellen tillämpas. Ström konsumeras i t ex en lampa, och därför minskar den. Det andra skälet är att sekvensmodellen används. Lampan förbrukar inte ström, men påverkar den så att den går långsammare. Man kan givetvis tala om sekvenstänkande i båda fallen, och i praktiken är det svårt att skilja dem åt. Shipstone lägger emellertid den mer preciserande innebörden "påverkan men inte förbrukning" i sin "sekvensmodell".

Sekvenstänkande har också undersökts av Closset (1983, 1984). Ett av hans problem visas i figur 3.8



- a) Är strömmen i AB starkare än, svagare än, eller samma som den i AC?

- b) Är strömmen i DF starkare än, svagare än, eller samma som den i EF?

Förklara hur du tänkte!

Figur 3.8 "Grenledningen". Testproblem i ellära.

Problemet har getts dels till belgiska gymnasister, som fått grundläggande undervisning om elektriska kretsar, dels till belgiska och franska universitetsstudenter, som haft ytterligare kurser i ellära. Elevsvaren framgår av tabell 3.4 på nästa sida.

Tabell 3.4 Testuppgift "grenledningen". Procentuell fördelning av elevsvar på olika kategorier.

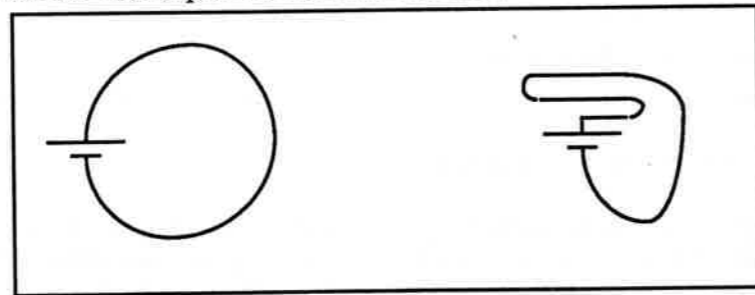
svarskategori	gymnasium, fysikkurs 17-18 år n=47	universitet, fysikkurs 1:a året 19-20 år n=52	2:a året --- n=59
	AB < AC och DF < EF (rätt svar)	36	57
AB = AC och DF < EF (sekvensmodell)	51	37	15
AB = AC och DE = EF	6	4	9

Så här lyder ett par typiska exempel på sekvenstänkande: "I AB och i AC är det inte möjligt att se skillnaden mellan R och r." "Det finns ingen anledning för strömmen att vara större i A-B eller A-C, eftersom ingen resistans inverkar."

3.4 Spänning

I klassisk fysik förklaras rörelseändring hos en partikel med att den påverkas av en nettokraft. Att en elektron börjar röra sig längs en ledare beror alltså på att den påverkas av en kraft, närmare bestämt $F=qE$, där q är elektronens laddning och E fältstyrkan i tråden. Då elektronen rört sig sträckan Δx längs tråden har den fått energin $qE\Delta x$ från fältet. Denna energi överförs genom kollisioner till atomgittret, där den yttrar sig som ökad värmerörelse.

Hur alstras då det homogena fältet inuti en ohmsk ledningstråd? Det kan t ex inte komma från laddningen på batteriets poler. I så fall skulle vi få olika fält om en given tråd går på olika sätt, t ex i böjar fram och tillbaka eller i en båge (se figur 3.9). Detta strider mot experimentella erfarenheter.



Figur 3.9 Olika trådkonfigurationer i en krets.

Walz (1984) framhåller, att det homogena fältet kan förklaras om man antar att det utbildas en ytladdning längs tråden, och att laddningstätheten ändras linjärt.

Ett elektriskt fält kan beskrivas inte bara med vektorstorheten E , utan också med den skalära storheten potential (V). Potentialskillnaden, eller spänningen, mellan

två punkter A och B i ett fält definieras som det arbete som utförs då en enhetsladdning flyttas från A till B. Genom denna definition sammankopplas E och V . Känner man V för ett område kan man räkna ut E och vice versa. Som förklaring till att en ström uppstår i en ledningstråd kan man säga antingen att det finns ett elektriskt fält i tråden eller att det råder en potentialskillnad. Fältstyrka och spänning är med andra ord att betrakta som mer primära begrepp än ström. En spänning eller ett elektriskt fält kan existera utan att det finns någon ström, men ger upphov till en sådan om det finns rörliga laddningar i fältet. För eleverna är emellertid ström det primära begreppet. Spänning ses som en egenskap hos, eller en konsekvens av, ström. Här följer exempel på undersökningsresultat.

Maichle (1981) har som nämnts i avsnitt 3.2 bett västtyska elever att ta ställning till ett antal påståenden. Om de håller med svarar de ja, om inte nej. Tre påståenden gällande ström och spänning, och svar från olika elevgrupper, redovisas i tabell 3.5. Grupp 1 är 300 elever från åk 8, Realschule (13-15 år). Grupp 2 är 100 elever från åk 8, Gymnasium (13-15 år). Grupp 3 är 36 blivande fysiklärare, som studerar fjärde eller femte terminen vid universitet och grupp 4 tio experter, dvs fysiker eller erfarna fysiklärare.

Tabell 3.5 Håller du med om påståendet? Procentuell fördelning av elevsvar på "ja" och "nej".

påstående	grupp 1 (realsch)		grupp 2 (gymn)		grupp 3 (lärkand)		grupp 4 (fysiker)	
	ja	nej	ja	nej	ja	nej	ja	nej
1. Spänning kan finnas även om det inte finns någon ström.	23	63	30	69	94	6	100	0
2. Spänning är intensiteten eller kraften hos strömmen.	40	49	24	69	6	94	0	100
3. Spänning är en del av strömmen.	70	22	77	22	11	89	0	100

En annan av Maichles uppgifter presenteras i figur 3.10 på nästa sida. Endast 2% av eleverna i grupp 1, 8% i grupp 2 och 75% i grupp 3 besvarade denna uppgift rätt, dvs angav att det finns ström i C och spänning i A, B och C. Liknande procentsiffror med en nästan identisk uppgift ges av von Rhöneck (1983).

Maichle sammanfattar sina resultat av nu redovisade och andra testuppgifter sålunda: "Mellan 60 och 80% av eleverna i grupp 1 och 2 tänker sig spänning som en del av, eller egenskap hos, eller identisk med ström, och ström och spänning uppträder alltid tillsammans." Denna slutsats bekräftas av intervjuer gällande problemlösning som Maichle har gjort.

Betrakta figurerna A, B och C! Läs varje mening nedan, och sätt ett kryss i rutan om meningen är sann.

	A	B	C	Vet ej
1. Det finns elektrisk ström i figur	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Det finns elektrisk spänning i figur	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figur 3.10 "Ström och spänning". Ett testproblem i ellära.

Liknande slutsatser, men baserade på andra testuppgifter, drar Cohen, Eylon och Craniel (1983): "Ström är det primära begrepp som används av eleverna, under det att potentialskillnad betraktas som en konsekvens av strömmen, inte dess orsak. Vi tänker oss att potentialskillnad är det primära begreppet eftersom det orsakar en ström. Trots att en avsevärd tid läggs ner på att undervisa om potentialskillnad i skola och på universitetet, så hävdar vi att många elever inte förstår dess centrala roll, utan tänker sig att ström är det primära begreppet. Ett möjligt botemedel är att introducera halvkvantitativa modeller eller analogier som förklarar att källans roll inte bara är att avge energi utan också att 'skjuta på' laddningar med ett visst 'tryck'".

von Rhöneck (1983) har noterat, att elevernas strömbegrepp har energikaraktär. Strömmen kan lagras, transporteras och transformeras, exempelvis till ljus och värme. Den kan också förbrukas, på samma sätt som vi i vardagslag säger att olja och bensin förbrukas. Den här uppfattningen kallas av von Rhöneck för "the energy-view", i kontrast till skolfysikens "U/I/R-view". (U betecknar spänning, I ström och R resistans. Begreppet sluten krets är underförstått.) von Rhöneck har efter intervjuer utvecklat ett antal testfrågor, som innebär att eleven avgör om ett antal påståenden är sanna eller falska. En del av testets felaktiga påståenden är hämtade från intervjuerna. Testet har bl a getts till cirka 100 västtyska elever före, och 100 franska elever efter, undervisning om U/I/R-modellen. Resultaten skiljer sig inte särskilt mycket åt mellan grupperna. Så t ex instämmer nästan 90% av eleverna i påståendet "Lampan förbrukar den elektriska strömmen". Cirka 80% håller med om att "Spänning och ström alltid finns samtidigt". Mindre än 20%

tycker att "Lampan hindrar den elektriska strömmen", och cirka hälften anser att det finns ström i de sladdar som går till en tom lampsockel i taket.

Att elevernas strömbegrepp har energikaraktär har även konstaterats av Duit (1984). Det intressanta med hans undersökning är att han inte var ute efter att undersöka elevers begrepp om elektricitet, utan om energi. Likväl visar det sig att cirka hälften av 147 elever i åk 6 förknippar ordet energi med ström. Det är också notabelt att ordet ström nästan aldrig (1%) associeras med "något som strömmar".

3.5. Studier av lärande

Huvudsyftet med att kartlägga elevers begrepp om naturvetenskapliga fenomen är att få underlag för förbättrad undervisning. Känner man utgångsläget kan man börja på rätt ställe. Värt att notera är att de begreppsliga svårigheter som beskrivits är vanligt förekommande i många länder. Detta har bl a dokumenterats i en undersökning som omfattar fem europeiska länder. (Shipstone et al., 1988). Testproblem i ellära besvarade av ett slumpmässigt norskt riksurval ger ytterligare bevis (Horsfjord, 1988, s 85-88).

Men steget från kartläggningsresultat till konkret undervisning är långt ifrån självklart, vilket bl a framgår av rapporten "Aspects of understanding electricity - proceedings of an international workshop" (Duit, Jung & von Rhöneck, 1984). Den innehåller 35 artiklar om elevers förståelse av ellära, av vilka hälften är fokuserade på undervisning. Man får en god bild av det aktuella forskningsläget, och kan konstatera att något genombrott ej har skett när det gäller att effektivt hjälpa elever att övergå från "the energy-view" till "the U/I/R-view". Men det finns ett flertal analyser, erfarenheter och löftesrika undervisningsprogram, som kan tjäna som vägledning och inspiration för den som vill pröva nya metoder i ellära. I det följande ges några exempel på idéer och vunna erfarenheter.

Flera författare (Cosgrove, Osborn & Carr, 1984, Kärrqvist, 1984, von Rhöneck, 1984 och Closset, 1984) menar att om man vill förändra föreställningar, så måste man utmana dem. Detta kan ske t ex genom att eleven gör en förutsägelse enligt sin vardagsmodell, och sedan erfar att experimentresultatet blir ett annat. Eleven kan också göras uppmärksam på motsägelser i sin begreppsvärld. Idén är med andra ord att störa elevens tankemässiga jämvikt, vilket förväntas göra honom benägen att konstruera nya begrepp så att störningen regleras, dvs en ny jämvikt uppstår.

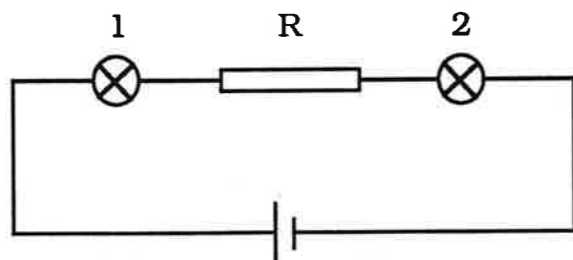
Den samlade erfarenheten hittills visar emellertid, att detta enbart inte leder till den begreppsliga förändring man hoppas på. Eleven gör små modifieringar, som reglerar den störning som just har upplevts, men inte mer. Här följer några exempel.

von Rhöneck (1984) har frågat elever från åk 9 (15-16 år), som vet att strömmen är densamma i hela kretsen, vad som menas med att ett batteri blir oanvändbart. Frågan ställer eleverna i en konflikt som de försöker lösa på olika sätt. De kan t ex säga, att lampan egentligen förbrukar lite ström, så att batteriet med tiden tar slut. Här är ett annat exempel.

-Kan du förklara varför batteriet blir tomt när hela strömmen går tillbaka? -*Strömmen blir utsliten.* -Vad händer i lampan? -*Den förbrukar lite grann, och den använda strömmen flyter tillbaka.* -Hur fungerar detta? -*I en el-ledning skickas*

strömmen iväg med många volt. Färre volt kommer tillbaka till uttaget. Volten försvinner på vägen. Det är likadant i detta fall.

Closset (1984) har på lektioner ställt följande fråga till sina elever, som är universitetsstudenter (se figur 3.11). "I den här kretsen är 1 och 2 likadana lampor, och R ett motstånd. Lyser lampa 1 starkare, lika starkt eller svagare, än lampa 2?"



Figur 3.11 "Motstånd mellan lampor". Testproblem i ellära.

Eleverna svarar ofta att lampa 2 lyser svagare, eftersom motståndet förbrukar, eller hindrar, strömmen. Experimentet görs, och eleven kan se att lampa 1 och 2 lyser lika starkt. Jämvikten störs, och olika försök görs att reglera den. En elev förnekar resultatet. Det måste vara fel på materien. En annan säger att motståndet inte är så stort att strömminskningen märks på lampa 2. En tredje elev bygger en krets med ett motstånd på 470 ohm i serie med, och före, en glödlampa. Lampan lyser inte, och eleven anser sig ha bevisat, att om motståndet bara är tillräckligt stort, så tar det så mycket ström att lampan inte lyser alls. Ytterligare en elev säger: Ström är som vatten. Den saktar in i motståndet, men återtar sedan sin ursprungliga fart.

Exemplen ovan illustrerar en betydelsefull egenskap hos mänskligt tänkande, nämligen att vi inte ändrar våra föreställningar på ett genomgripande sätt efter att ha observerat en enstaka anomali (dvs något som inte passar in i föreställningsvärlden). Vi tenderar snarare att skydda de föreställningar vi har genom små modifikationer. En utmaning behöver därför följas upp. Elevens svar på densamma uppmuntras och värdesätts, men diskuteras också, samt följs av planmässiga begreppsintroduktioner och en rikhaltig begreppsanvändning. Denna undervisningsfilosofi har använts av Kärrqvist (1985) Hon har genom test valt ut fyra normalpresterande högstadielärover med utpräglat källa-förbrukartänkande, bl a enpoliga uppfattningar om batterier och lampor. Varje elev har undervisats enskilt framför en TV-kamera, cirka tio lektioner per elev. Syftet har varit att i detalj kartlägga hur en enskild individ reagerar på olika utmaningar, hur han eller hon förstår olika begreppsintroduktioner (tvåpolig, sluten krets, ström mm), samt på vad sätt eleven använder införda begrepp i enkla men nya problemsituationer. Kärrqvist lyckas få eleverna att i praktiska situationer använda en sluten kretsmodell, men hon bearbetar inte sekvenstänkandet och begreppet spänning.

De ovan nämnda studierna av lärande är försök till undervisningsmetodiskt nyskapande, baserade på forskningsresultat angående elevers begrepp om elkretsar. De är att betrakta som viktiga framsteg, men knappast något genombrott för en betydligt effektivare undervisning än den traditionella.

4. ETT UNDERVISNINGSPROGRAM BASERAT PÅ ANALOGIN VATTENKRETS - EL-KRETS (AVE)

4.1 Önskemål om analogins egenskaper

I förra kapitlet presenterades relativt nytt kunnande om elevers begrepp om elkretsar. Detta leder till ett antal önskemål om vad en analogi för elkretsar skall hjälpa till med då läraren undervisar nybörjare på området:

1. Analogin skall underlätta förståelse för att det krävs tvåpoliga anslutningar av kopplingselement för att elkretsen skall fungera.
2. Den skall underlätta förståelse för att strömmen är densamma över allt i en enkel krets och att den rör sig åt ett håll i ett givet ögonblick.
3. Den skall underlätta förståelse för att en ändring lokalt påverkar förhållanden i hela kretsen.
4. Den skall hjälpa eleverna att skilja på ström och energi. (Batteriet är ingen strömkälla. Laddning finns överallt i materian. Den kan sättas i rörelse av ett batteri. Ström är laddning i rörelse. Laddningen förbrukas ej, den bevaras. Strömmen kan ses som något som överför energi från batteri till lampa.)
5. Den skall hjälpa elever att skilja på spänning och ström. Spänning är det primära. Finns det en spänning kan laddning sättas i rörelse.

Utöver detta kan man uppställa önskemål om hjälp att förstå seriekoppling och parallellkoppling av batterier respektive lampor (motstånd).

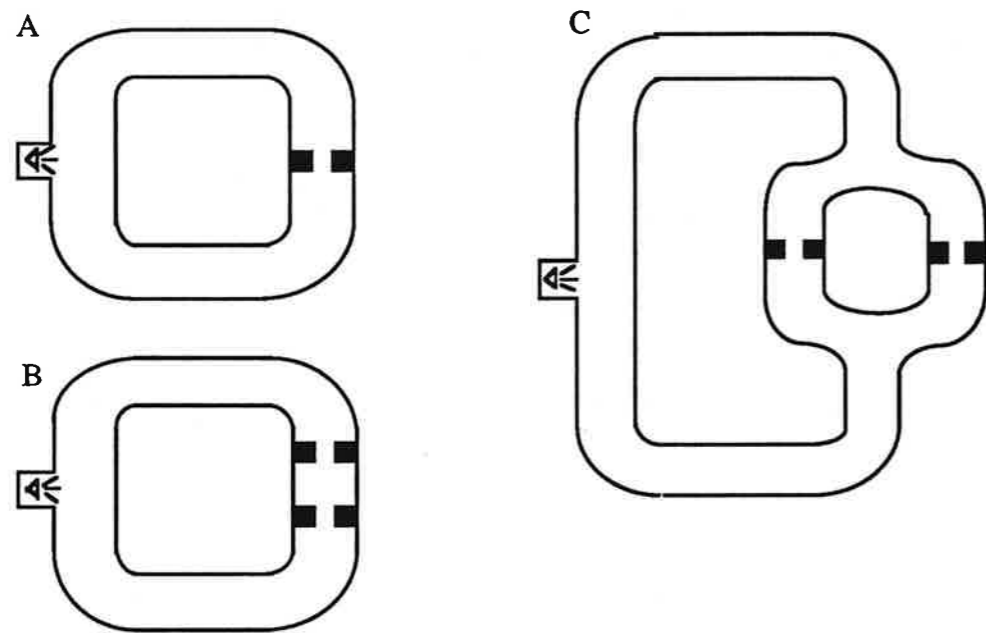
Vi har nu fått två utgångspunkter då vi granskar analogier. Den ena är de olika önskemålen ovan. Den andra är de allmänna kriterier för goda analogier som gavs i avsnitt 2.2. Vilka analogier håller då måttet för en sådan granskning?

4.2 Analys av möjliga analogier

Myllrande hopen-analogin

Gentner och Gentner (1983) använder sig av en analogi som de kallar 'myllrande hopen'. Hopen kan t ex vara möss, som springer runt en bana. Mössen motsvarar laddade partiklar, och antalet möss som passerar ett tvärsnitt av banan per sekund motsvarar strömmen. Grindar i banan motsvarar motstånd. Se figur 4.1 på nästa sida!

Fördelarna med denna analogi är enligt författarna att den underlättar förståelse av serie-och parallellkoppling av motstånd. Det är svårare för hopen att ta sig igenom två grindar efter varandra (B) än genom en (A). (Vi tycker inte detta är självklart.) Det är lättare för hopen att ta sig igenom två parallella grindar (C) än genom en (A).



Figur 4.1 Illustrationer till myllrande hopen-analogin

Författarna hävdar vidare att analogin hjälper eleverna att skilja på ström och spänning. De säger i början av sin artikel: 'Voltage corresponds to how powerfully they push' (Gentner & Gentner, 1983, p 111). Vi tycker att detta snarare bidrar till att blanda samman begreppen, nämligen att spänning är något som strömmen har, dvs en egenskap hos strömmen (jämför punkt 5 i avsnitt 4.1). Senare i artikeln inför författarna en högtalare som ropar uppmuntrande till mössen (spring, spring!). Härigenom skapas ett slags tryck på mössen, som kan varieras. Detta är en förbättring när det gäller att skilja på ström och spänning, men det skapar andra problem. Författarnas anslutning av högtalaren är väl närmast enpolig (se figur 4.1!). Den kunde också stå bredvid banan och ha samma verkan, dvs ingen anslutning alls (jämför punkt 1, avsnitt 4.1). Det är alltså oklart vad som motsvarar batteriets poler. Avbildningen brister med andra ord i klarhet (jämför avsnitt 2.2).

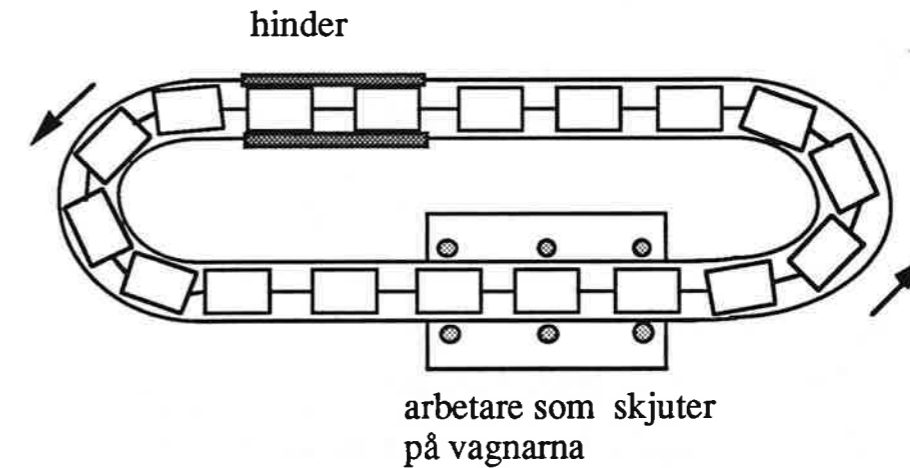
Vidare noteras att mössen ej överför någon energi från högtalaren till något annat system som motsvarar t ex en lampa. Mössen är sin egen energikälla, vilket kan bidra till att energi och ström rörs ihop i stället för att differentieras i elevernas tänkande. (Jämför punkt 4, avsnitt 4.1!)

Överhuvud taget är det problematiskt med levande organismer som analogi till laddade partiklar. Organismerna har vilja, och man vet inte hur de kommer att bete sig under olika förhållanden. Analogins bas kan därför inte sägas vara väl specificerad. (Jämför avsnitt 2.2!) Vidare noteras att den här analogin ligger på tankeplanet. Den är svår att förverkliga konkret, vilket kan vara en nackdel i undervisningssammanhang.

Sammanfattningsvis tycker vi att myllrande hopen-analogin är dålig för våra syften.

Tåganalogin

Dupin och Joshua (1989) har använt en analogi som de kallar tåganalogin. Ett slutet set av kopplade vagnar skjuts runt på en räls av arbetare. Vagnarna påverkas av ett hinder. Se figur 4.2!



Figur 4.2 Illustration till tåganalogin.

Arbetarna som skjuter motsvarar batteriet, vagnflödet ström, rälsen sladdar etc. Läsaren ser direkt att analogin uppfyller önskemålen 2, 3 och 4 i vår lista i avsnitt 4.1. Exempelvis medför en ökning av hindrets motstånd att vagnflödet minskar i hela kretsen samtidigt, i analogi med vad som sker då man ökar ett motstånd i en elkrets. Punkt 5 i vår önskelista leder till vissa problem. Batterispänning motsvaras av arbetarnas skjutkraft, vilken är klart skild från flöde/ström. Detta är positivt, även om kraft och spänning är olika storheter. Men begreppet lokal potential, dvs potentialen i en godtycklig punkt i kretsen, har ingen motsvarighet i analogin, vilket författarna påpekar.

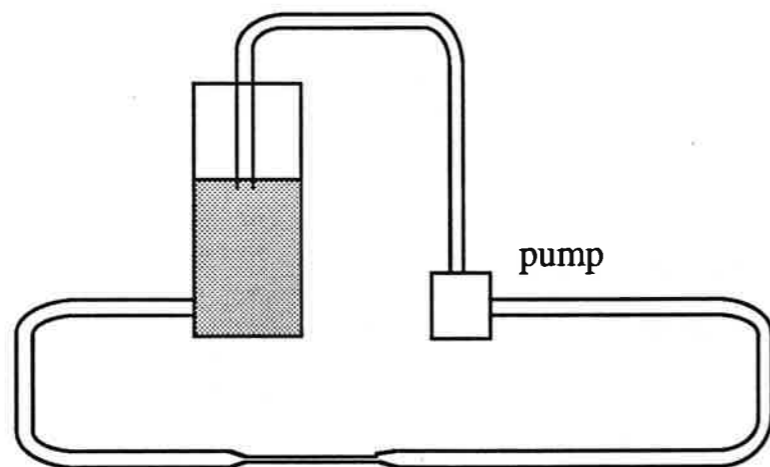
Vidare är det svårt att i tågsituationen se en motsvarighet till parallellkopplade motstånd respektive batterier.

Våra tidigare kommentarer om levande varelser, i detta fall människor, i systemet är också på sin plats här. Man vet aldrig vad dessa tar sig för, vilket bidrar till att göra basen ospecificerad.

Trots nämnda invändningar anser vi att tåganalogin är ganska bra. En av dess stora fördelar är att basen torde vara väl känd också av eleverna.

Vattenanalogier

Såväl Gentner och Gentner (1983) som Kircher (1984) har använt en vattenkrets av den typ som visas i figur 4.3 på nästa sida. Vattenflödet motsvarar ström, en förträngning motstånd och vattentryck spänning. Gentner och Gentner hävdar att analogins styrka ligger i att den underlättar förståelse av spänning. Höjden på vattnet i cylindern, som är ett mått på trycket och motsvarar batterispänning, är ju mycket påtaglig. Exempelvis ger en fördubbling av höjden en fördubbling av trycket och därmed flödet i kretsen, vilket motsvarar seriekoppling av två batterier.

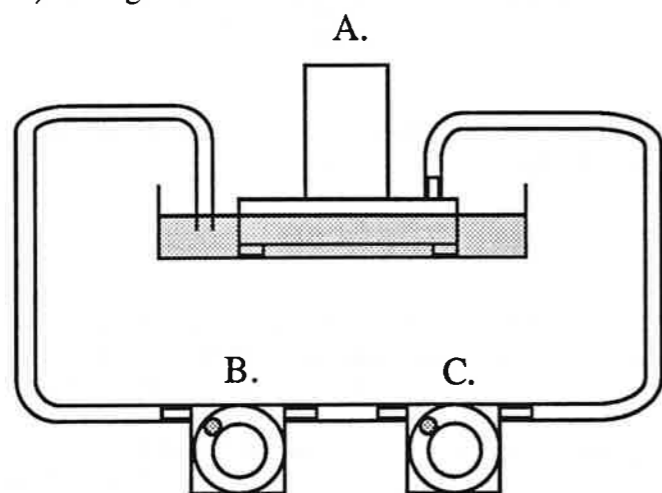


Figur 4.3 Exempel på vattenkrets.

Parallellkopplar man två cylindrar med sina pumpar och har samma vattenhöjd i båda som i en cylinder med sin pump, så ändras inte trycket som driver vattnet. Detta beror ju bara av vattenhöjden. Flödet blir alltså oförändrat, vilket motsvarar vad som händer med strömmen då man parallellkopplar två batterier. Det förtjänar också påpekas att man kan visa trycket på olika ställen i vattenkretsen (vilket motsvarar lokal potential) genom att ansluta lodräta rör. Vattenhöjden i dessa är ett mått på trycket. All denna hydromekanik torde dock vara ganska svår för de flesta elever, varför basen kan betraktas som mindre känd - en klar didaktisk nackdel.

Ett annat problem med analogin är att det inte finns något tydligt mått på vattenflödet. Visserligen torde små luftbubblor i systemet göra vattenströmmen synlig, men det är svårt att se om flödet är detsamma i olika delar av kretsen. Detta gör att önskemålen 2 och 3 i avsnitt 4.1 är problematiska att uppfylla. Ej heller finns det någon tydlig energimottagare, vilket försvårar för eleverna att skilja på ström och energi. Man kan också notera en svårighet när det gäller avbildningens klarhet, nämligen vad i vattenkretsen som motsvarar batteriet. Det torde inte vara självklart för eleverna att det är pumpen *och* cylindern med vatten.

En del av de nämnda nackdelarna kan elimineras med material använt av Schwedes (1984). Se figur 4.4!



Figur 4.4 Exempel på vattenkrets.

A är en pump som står i en skål med vatten, B och C är flödesmätare, som också utgör motstånd. Då vatten strömmar genom flödesmätaren snurrar en kula runt. Antalet varv per tidsenhet är ett mått på flödet. Genom utplacering av flera mätare är det lätt att se att flödet är detsamma i olika delar av kretsen och att en ändring lokalt påverkar hela kretsen. Vidare är kulans rotation ett tecken på att den mottar energi, vilket kan hjälpa eleven att skilja på ström och energi.

Motsvarigheten till spänning är inte lika tydlig. Man kan intuitivt tala om pumpkraft. Vill man ha större stringens får man införa tryck och tryckskillnad och lämpliga mätare härför (anslutna rör, i vilka vattnet antar olika höjd).

Motsvarigheten till batteriet är inte helt självklar. Man kan betrakta skålen med vatten *och* pumpen som batteriets motsvarighet, men man kan också räkna skålen med vatten som en sladd. En öppen vattenyta i kretsen kan möjligen göra det svårare för eleven att förstå kontinuitetsvillkor för flödet i slangarna.

Vi har som vår egen vattenanalogi valt Schwedes variant men med förändringen att skål med vatten plus pump ersatts av enbart en pump. Delsystemet vatten blir på så sätt helt slutet. Vår analogi är utförligt beskriven i avsnitt 2.3.

4.3 AVE-programmets innehåll

Den allmänna förutsättningen för vårt program, som vi kallar AVE (Analogin Vattenkrets - Elkrets), är att eleven, då undervisningen börjar, har ett utpräglat vardagstänkande om elektricitet. Det betyder att han/hon använder källa-förbrukarmodellen, vilket kan innebära att kopplingselement uppfattas som enpoliga, strömmen som något som förbrukas mm.

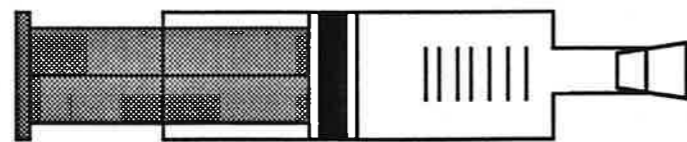
Ursprungligen förutsattes desutom att vattenkretsen är tämligen lätt att förstå bl a genom att den är konkret och påtaglig. Detta antagande har vi fått revidera allteftersom vi tagit del av andras undersökningsresultat och gjort egna erfarenheter. Gentner och Gentner (1983) påpekar t ex att deras försökspersoner, som hade college-utbildning, tänkte sig att 'flödet är starkt och snabbt vid källan, men försvagas gradvis allteftersom det går fram i röret. Det reduceras drastiskt efter att ha passerat en förträngning.' Försökspersonerna tänker sig att vattenflödet har en allmän styrkeegenskap, som är ett konglomerat av hastighet, tryck, kraft och flöde. På ett likartat sätt tillskriver de elektriciteten i en ledning en allmän styrkeegenskap som är ett konglomerat av ström, spänning, hastighet, tryck och kraft. Denna begreppsoppa kan göra den mest optimistiske lärare en smula modfärd!

Schwedes (1984) har låtit elever i åldern 10-16 år bygga och experimentera med vattenkretsar (jämför figur 4.4). I samband med detta har hon noterat olika alternativa uppfattningar. Beträffande en krets med pump och flera flödesmätare kopplade i serie tänker sig eleverna t ex att vattnet rör sig fort före en förträngning och långsamt efter. Omvändningen förkommer också - en del elever tycks tänka sig att då vattnet kommit igenom förträngningen så kan det flöda fritt.

Dessa rapporter gjorde att vi bestämde oss för att ägna en hel del tid åt att försöka ta reda på och avhjälpa elevens eventuella svårigheter att förstå olika aspekter av vattenkretsar innan vi utnyttjade dessa för att klargöra förhållanden i motsvarande elkrets. Så här blev vår lektionsplanering (som nämndes i kapitel 1 undervisas eleven enskilt).

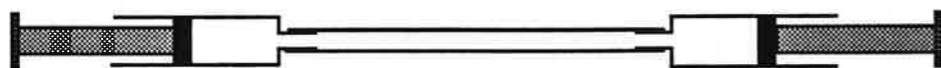
Lektion 1

Vi börjar med att låta eleven erfara att vatten, till skillnad från luft, är inkompressibelt. Eleven får försöka trycka in kolven på en spruta fylld med vatten och en med luft efter att först ha gjort en förutsägelse.



Figur 4.5 Går det att trycka in kolven om sprutan är fylld med vatten respektive luft?

Så övergår vi till systemet i figur 4.6. Det är vatten i sprutan och mellanliggande slang.

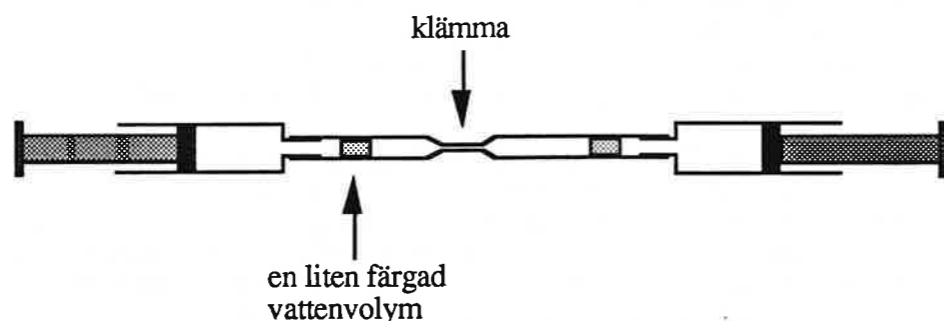


Figur 4.6 Kopplade sprutor

Vi ställer ett antal frågor och eleven svarar i tur och ordning genom att göra en förutsägelse och omedelbart herefter ett experiment för att kontrollera om förutsägelsen stämmer med verkligheten. Ett resonemang förs hela tiden mellan lärare och elev om de olika experimenten. Så här lyder frågorna:

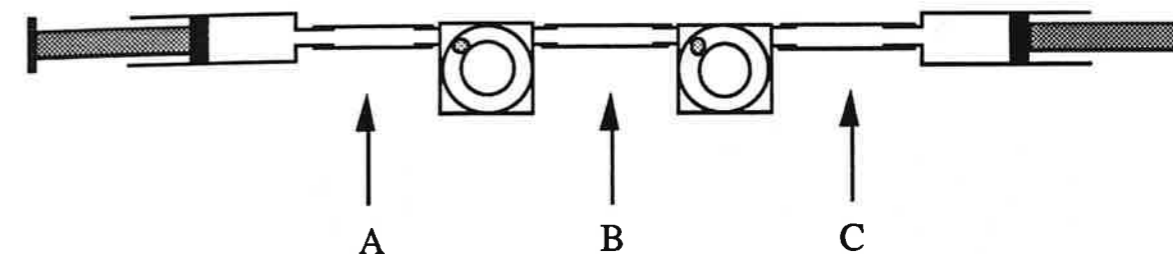
- Om man trycker in den ena kolven 20 enheter, vad händer med den andra?
- Om man drar ut den ena kolven 55 enheter, vad händer med den andra?
- Om man trycker in den ena kolven fort, hur rör sig den andra?
- En klämma anbringas på slangen mellan sprutorna. Hur känns det nu att trycka in en kolv?
- Om man nu (med klämma anbringad) trycker in den ena kolven 20 enheter, vad händer med den andra?

Vi låter sedan eleverna göra tankeexperiment där små volymer av vattnet färgats - se figur 4.7. Hur flyttar sig två sådana volymer i förhållande till varandra när man trycker eller drar i någon av sprutorna? Frågor ställs både med och utan klämma.



Figur 4.7 Kopplade sprutor med förträngning på slangen och med två små vattenvolymer utritade.

Nu introduceras flödesmätaren och dess funktion går igenom. Sedan blir systemet i figur 4.8 föremål för frågor och experiment. Sprutorna, slangarna och flödesmätarna är fyllda med vatten.



Figur 4.8 Koppling av sprutor och flödesmätare.

De första frågorna är:

-Hur snurrar kulorna i förhållande till varandra om man trycker in den vänstra kolven i kopplingen?

-Hur mycket åker kolven på den högra sprutan ut om man trycker in den vänstra 20 enheter?

Efter förutsägelser genomförs experimenten. Tid lämnas också för fri undersökning av konstruktionen.

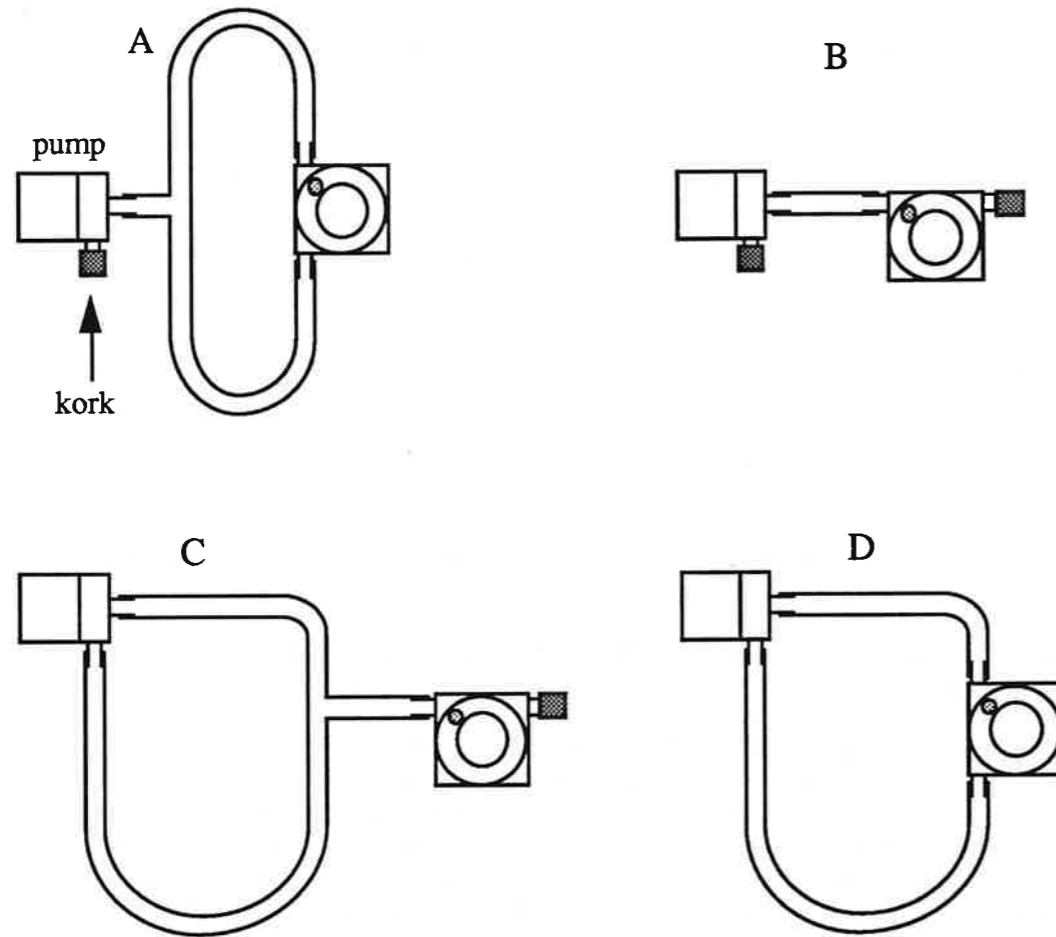
Den andra uppgiften går ut på att göra förutsägelser om hur kulorna snurrar om man klämmer åt slangen på tre olika ställen (A, B och C, jämför figur 4.8) och trycker in någon av sprutorna. Hur fort kommer kulorna att snurra i förhållande till varandra om vi klämmer åt vid A och trycker in den vänstra sprutan? Samma fråga upprepas för punkterna B och C. Efter förutsägelser genomförs försöken och tid lämnas också till fri undersökning av vilken betydelse klämmorna har.

Det torde stå klart att experimenten i lektion 1 är en första 'attack' mot det vanligt förekommande sekvenstänkandet.

Lektion 2

Nu introduceras en eldriven vattenpump. Vi visar hur den fungerar med en öppen slang. Därefter lägger vi upp fyra olika kopplingar med pumpar, slangar och flödesmätare och ber eleverna förutsäga hur de olika kretsarna kommer att uppföra sig, dvs kommer kulorna att snurra eller ej? Se figur 4.9 på nästa sida!

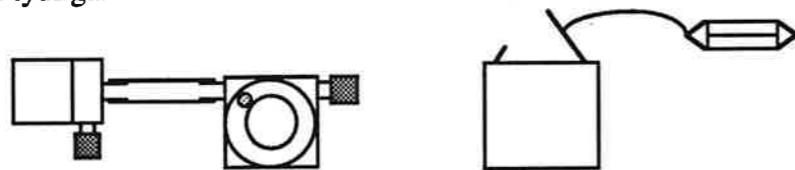
På samma sätt som tidigare får eleverna, efter att ha förutsagt vilka av kulorna i A t o m D som kommer att snurra, pröva sina teorier. Om förutsägelse stämmer får de försöka förklara varför. Om förutsägelse inte stämmer får de försöka förklara det också, vilket innebär att de stimuleras att söka efter en ny teori. Läsaren noterar att vi med dessa vattenkopplingar närmar oss begreppen tvåpolighet och slutet krets. Allt kunnande från de tidigare experimenten behöver inte användas här. Det kommer till användning senare.



Figur 4.9 I vilka vattenkretsar snurrar kulan?

Efter kopplingarna i figur 4.9 är det så dags att jämföra vattenkretsen med elkretsen. Först gäller det att sammanlänka batteri-pump, slang-sladd, flödesmätare-lampa och vatten med laddning. Vi säger till eleven: I en vattenkoppling har vi en pump, flödesmätare och slangar. I en elektrisk koppling har vi sladdar, lampa och ett batteri. Vad tycker du en pump kan liknas vid om man jämför en vattenkoppling med en elektrisk koppling? Samma fråga ställs om de övriga komponenterna i vattenkretsen. Vi förklarar för eleven att vattnet motsvaras av något som kallas laddning och att en lampas lysande motsvaras av att kulan snurrar.

Eleven får sedan försöka utföra de elkopplingar som är motsvarigheten till vattenkretsarna A till D och förutsäga om lampan lyser eller ej och redogöra för var det går ström eller ej och hur strömmen i så fall går. Innan kopplingen är konkret förverkligad, får eleven förutsäga om lampan lyser eller ej. Vi använder ett platt batteri och en rak lampa av säkringstyp. För båda komponenterna gäller att polerna är tydliga.



Figur 4.10 En vattenkoppling och dess elektriska motsvarighet

Lektion 3

Under denna lektion går vi in lite mera i detalj på analogin vattenkrets - elkrets. Som en repetition får eleverna rita de fyra elkretsar som motsvarar vattenkopplingarna i figur 4.9. Vi repeterar också att pump motsvaras av batteri, slang av sladd, 'snurra' av lampa och vatten av laddning. Vi framhåller: Laddning finns överallt i materia. Det finns laddning i alla föremål och i alla material, t ex penna, bord, stål, trä. Om vi kan skapa sådana förutsättningar att vi kan få laddning att flytta sig i en viss riktning så säger vi att en elektrisk ström går genom materialet. Vi försöker i samtal med eleven skriva ned en fortsättning:

'ut' på pumpen pluspol på batteriet

'in' på pumpen minuspol på batteriet

'in/ut' på 'snurran' två poler på lampan

Vi kan också tala om in/ut (för laddningen) på batteri respektive lampa.

vatten som rör sig laddning som rör sig

vattenflöde elström

om pumpen sätts igång så
börjar vattnet röra sig
i hela kretsen samtidigt om batteriet kopplas in så
börjar laddningen röra sig
i hela kretsen samtidigt

för att kulan skall snurra
måste pump och mätare
kopplas samman 'tvåpoligt' för att lampan skall lysa måste
både batteri och lampa anslutas
tvåpoligt

Eleverna får så tillfälle att tillämpa sina kunskaper genom att avgöra om lamporna i figur 4.11 lyser eller ej.

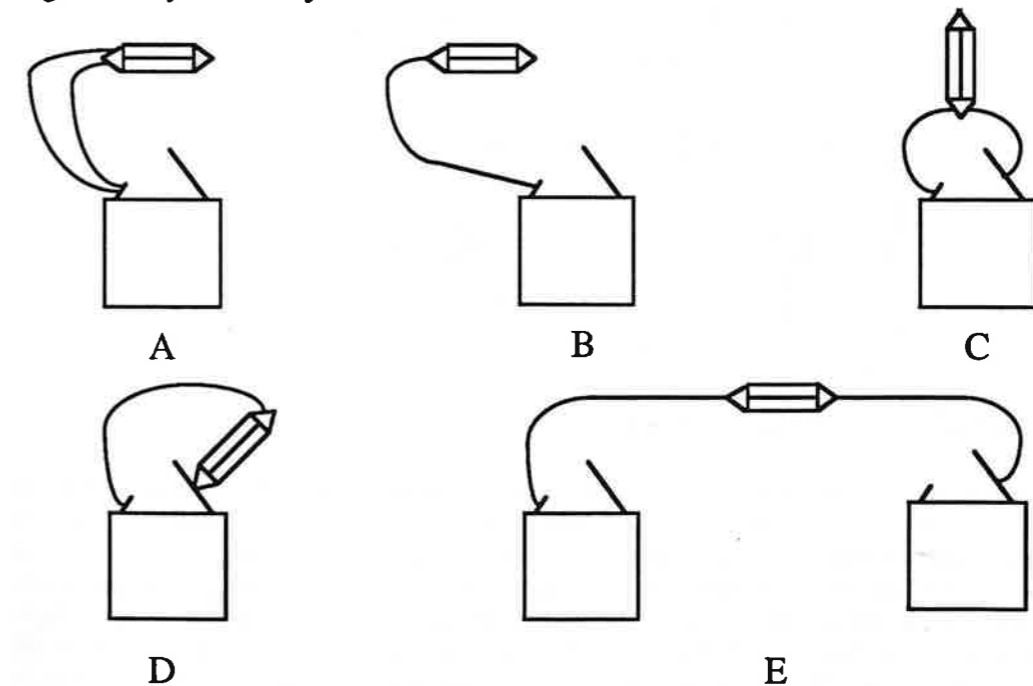
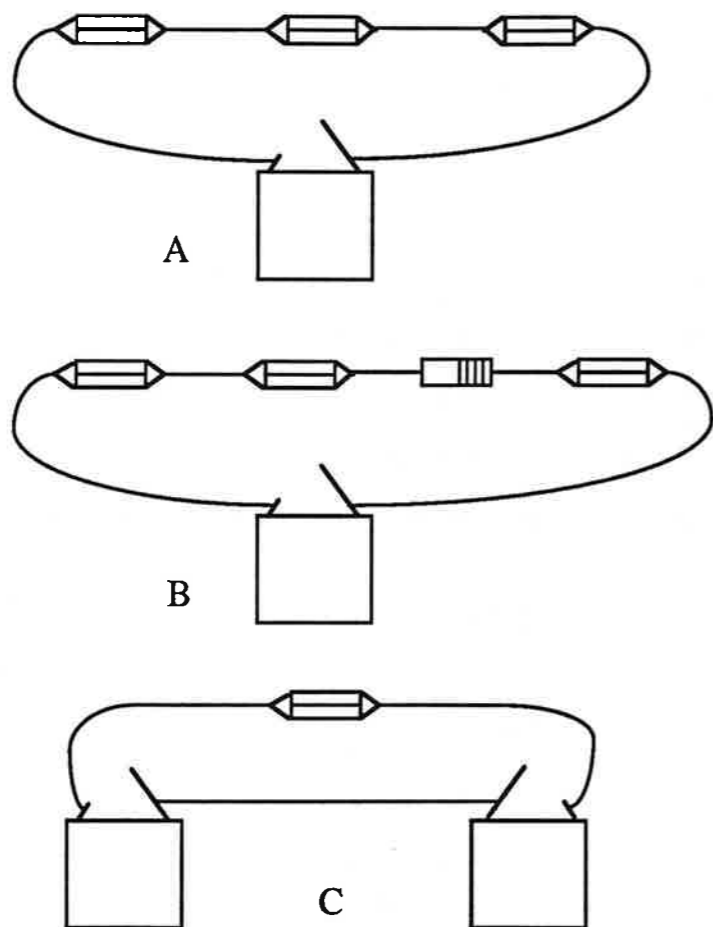


Fig 4.11 Olika elkopplingar

Kopplingarna A tom D är små variationer på de kopplingar som eleverna tidigare gjort som avbildningar av vattensystemen i figur 4.9. Exempelvis är det bara en sladd i koppling D i stället för två. Koppling E är helt ny. Vi är intresserade av om eleverna i tanken spontant använder sig av vattenkretsar för att lösa elproblemen. Om eleverna förutsäger fel uppmanar vi dem, och hjälper dem, att använda vattenkretsar i sitt tänkande.

Lektion 4

Denna lektion gäller de elkopplingar som visas i figur 4.12.



Figur 4.12 Elkopplingar för lektion 4

Vi har haft olika bedömningar om det lämpligaste sättet att behandla dem. Därför finns det två lektionsvarianter. Den första börjar med att en vattenkrets med tre flödesmätare i serie tas fram. Eleven får fundera på hur fort en viss mätare snurrar jämfört med de andra. Sedan anbringas en klämma, så att man får en förträngning. Också här får eleven fundera på hur fort varje mätare snurrar jämfört med övriga. Eventuella problem att förstå tas upp till utförlig behandling. Härefter går vi över till elkretsarna A och B. Vi förklarar för eleverna vad ett motstånd är, och sedan får de fundera över lampornas inbördes ljusstyrka i respektive koppling. Vi är intresserade av att se om de överför sitt kunnande om vattenkretsarna till motsvarande

elkretsar. Slutligen får eleven försöka lista ut hur lampan i koppling C lyser jämfört med om man kopplar den till bara ett batteri.

Den andra varianten börjar med elkretsarna. För A och B gäller det att förutsäga hur varje lampa lyser i förhållande till de andra i kretsen. För C görs jämförelsen med en lampa kopplad till ett batteri. Vidare skall eleven uttala sig om strömmens storlek i olika delar av kretsen i förhållande till strömmen i någon referenspunkt. Om eleven behärskar en given krets går vi vidare till nästa. Om inte tas motsvarande vattenkrets fram och blir föremål för diskussion och experiment. Så får eleven gå tillbaka till elkretsen och försöka igen.

Läsaren noterar att lektion 4 är konstruerad så att den skall utmana det vanligt förekommande sekvenstänkandet både när det gäller el- och vattenkretsar.

Vi tyckte det var lämpligt att planera så här långt och sedan börja undervisa eleverna. Vi har emellertid en hel del idéer om hur fortsättningen kan se ut. Dessa redovisas i slutet av kapitel 7.

Vi vill framhålla att det ovan beskrivna är en skiss till ett undervisningsförlopp. Vad som händer med en viss elev under en viss lektion kan avvika en hel del från planeringen, eftersom en anpassning kontinuerligt måste ske till elevens reaktioner och tänkande. (Strängt taget är ordet 'program' väl pretentiöst, men vi använder det ändå för att ha ett enkelt ord för vår lektionssekvens.)

Vi vill också nämna, att det finns andra undervisningsprogram som utnyttjar analogier för att stimulera till förståelse av elkretsar. Se t ex Gentner och Gentner (1983), Schwedes (1984) och Dupin & Johsua (1989). Så långt vi kan sluta oss till av de relativt knapphändiga beskrivningar som getts, så skiljer sig vårt program från andra genom att starta från en mycket elementärare nivå, både när det gäller vattenkretsar och elkretsar. Vi tar t ex upp att vatten är inkompressibelt (lektion 1) och vi behandlar utförligt polaritet, som motsvaras av 'in - ut' för komponenter i vattenkretsen (lektion 2). Detta görs veterligen inte i andra program.

5. FRÅGOR, METODER OCH URVAL

5.1 Frågor och metoder

Vår överordnade frågeställning är om lektionssekvensen i avsnitt 4.3 fungerar eller ej med de elever från åk 6-9 i grundskolan som vi väljer ut. Härunder ryms mer preciserade frågor:

1. Vilka svårigheter har eleverna att förstå vattenkretsar?
2. Kan eleverna utveckla och förbättra sin förståelse av vattenkretsar med hjälp av undervisning? Hur går det i så fall till?
3. Kan eleven avbilda vattenkretsar på elkretsar?
4. Kan eleven använda kunskaper om vattenkretsar för att förutsäga och förklara vad som händer i motsvarande elkretsar?
5. Får eleven någon långsiktig behållning av våra undervisningsansträngningar?

Den metod vi använt för att försöka svara på frågorna 1 - 4 är att undervisa elever enskilt och registrera vad som då händer med videokamera. Vi har sedan tittat igenom gjorda inspelningar och skrivit en berättelse om varje elevs lärande. Nästa steg har varit att försöka hitta generella drag i de olika lektionsförloppen.

Svaret på fråga fem har vi sökt med hjälp av ett test, som givits cirka sju månader efter undervisningen. Det är samma som det förtest respektive elev fått (se vidare avsnitt 5.2).

Som framgår av de ställda frågorna är vi inriktade på att beskriva. Vi vill veta vad som händer då eleverna undervisas, och framför allt få svar på om vårt program fungerar på ett bra sätt. Det finns ett antal skäl för detta.

Först och främst är det angeläget att grundskolans undervisning i elementär ellära förbättras (jämför med de resultat som redovisades i kapitel 3!) Vårt program är ett försök att lämna ett bidrag till detta arbete. Av tradition betraktas den elektriska kretsen som ett viktigt inslag i grundskolans undervisning. Den finns ju i så enormt många tekniska tillämpningar.

Vidare anser vi att analogitänkande har ett egenvärde. Det är en relativt vanlig tankeform, och således ett inslag i vår kultur. Det används och uppskattas inom vetenskapen. Keplers uttalande är klassiskt: 'And I cherish more than anything else the Analogies, my most trustworthy masters. They know all the secretes of Nature, and they ought to be least neglected in Geometry.'

Elever i grundskolan torde för närvarande inte möta denna tankeform på ett systematiskt sätt. Om vår undervisning fungerar har vi fastlagt ett område inom vilket analogitänkande kan praktiseras och diskuteras och skapat ett sätt att gå fram. Vi öppnar med andra ord dörren till något nytt som kan berika undervisningen. Från naturvetenskapligt analogitänkande kan man sedan försöka ta steget till analogier i språket och diskutera strukturen i analoga modeller, metaforer och liknelser. Mera härom i sista kapitlet.

För det tredje noterar vi, att praktiserande lärare omvittnar att elever, ställda inför problem i fysik, söker efter en formel, i vilken de kan sätta in givna värden och lösa problemet. Denna strategi kallas 'novice problem-solving' och är vanligt förekommande på exempelvis gymnasiet N- och T-linjer. Detta brukar jämföras med en annan strategi, som kallas 'expert problem-solving', och som innebär att man till att börja med ägnar en hel del tid åt att förstå det givna problemet kvalitativt. Experten varierar i tanken betingelser och försöker få en känsla för hur det aktuella systemet beter sig. Härigenom får han bättre underlag för att välja en lämplig formel och för att kontrollera om det värde han räknar fram är rimligt. Vårt undervisningsprogram är exempel på hur kvalitativt tänkande och kvalitativ förståelse skulle kunna tränas. Sådant behövs det mera av i grundskolans naturvetenskapliga undervisning, som för närvarande är mycket faktaspäckad, vilket kraftigt reducerar möjligheterna att tänka. Om vårt program fungerar så har vi funnit ett lämpligt område och en lämplig metod för sådan träning.

Som sista punkt vill vi framhålla att kunskap om vattenkretsar, t ex flödesvillkor, har ett egenvärde. Tillämpningsområden är bl a vattenledningsnät och blodomlopp. Grundläggande är insikten om materiemängdens (massans) bevarande vilket utgör en koppling till begreppet kretslopp. Om vårt undervisningsprogram fungerar får eleverna inte bara förbättrade kunskaper om el- utan också om vattenkretsar.

Avslutningsvis vill vi nämna en fråga som vi funderat över, men avstått från att ställa: Leder vårt program till bättre lärande om elektricitet än undervisning om enbart el, dvs utan analogi? Problemet med frågan är vilket undervisningsprogram om enbart el man skall jämföra med. Det rimliga är ett som beaktar allt som redovisats i kapitel 3 om elevers vardagstänkande om elkretsar. Något sådant program finns inte i bruk ute i skolan. Om man då jämför vårt program med konventionell undervisning så vet man inte om en positiv effekt beror på att detaljerade kunskaper om elevtänkande har utnyttjats, eller på att en lämplig analogi har använts eller bådadera. Att konstruera ett adekvat jämförelseprogram har legat utanför våra ekonomiska möjligheter, varför vi fått avstå från att försöka besvara frågan.

5.2 Urval av elever

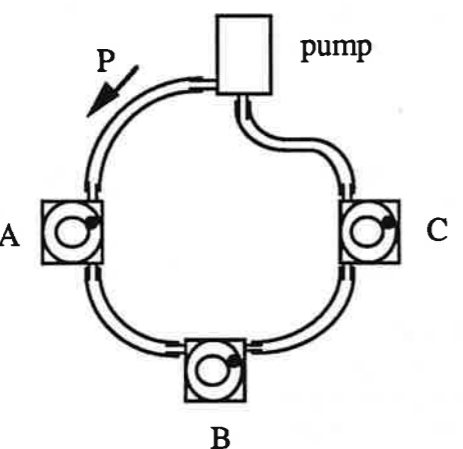
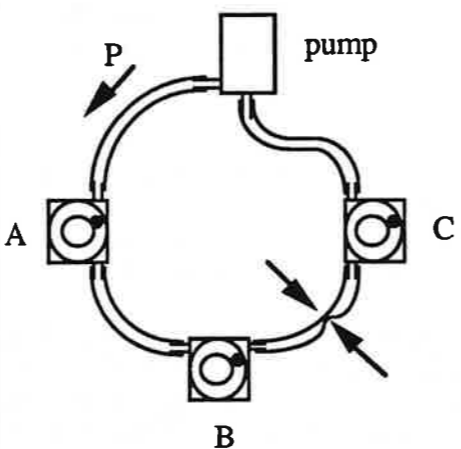
Urvalet av elever gjordes under en fas av vår verksamhet, då vi utvecklade undervisningsprogrammet. Vi prövade i tanken olika ansatser, och debattens vågor gick höga. En bieffekt härav blev att vårt urvalsinstrument också ändrades allteftersom vi diagnosticerade olika klasser. Detta har ingen avgörande betydelse i förhållande till de frågor som vi vill ha svar på, men kan framstå som onödigt komplicerat för läsaren. Vi redovisar dock precis vad vi gjort, ehuru med ett visst beklagande.

Urvalet har gått ut på att hitta elever med utpräglat vardagstänkande om elektricitet, t ex enpolig uppfattning av lampa och/eller batteri, föreställningar om motsatta strömmar, strömförbrukning mm. Vi har också tagit med ett par elever med goda skolkunskaper om elektriska kretsar.

Urvalsinstrumentet har varit papper-och pennaproblem, vilka som nämnts modifierats något under testningens gång. Från början använde vi runda batterier och vanliga glödlampor i våra frågor, men gick sedan över till den materiel som vi avsåg att använda under våra lektioner. Skillnaden har betydelse för en uppgift.

Efter hand lade vi också till en uppgift (se nedan). Åtta klasser har testats (två åk 6, tre åk 7, en åk 8 och två åk 9) och fjorton elever har valts ut.

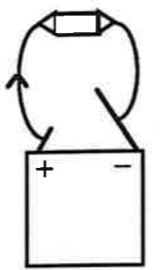
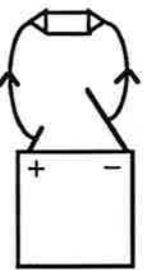
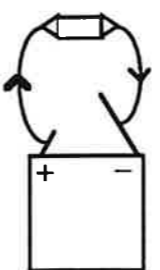
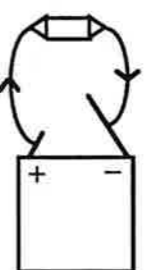
Alla elever fick följande två uppgifter (1 och 2) om vattensystem. Den aktuella materien för dessa, liksom för övriga uppgifter, visades för eleverna i klassen, och dess funktion förklarades vid behov, dock utan att ge ledtrådar till lösningar på uppgifterna.

Uppgift 1	Uppgift 2																
																	
<p>Vattenkretsen i figuren ovan ligger på ett bord. Pumpen pumpar vattnet runt i kretsen åt det håll som pilen visar. Vattenmätaren mäter hur mycket vatten som passerar genom den. Passerar mycket vatten snurrar kulan fort. Passerar lite vatten snurrar kulan långsamt.</p> <p>Alla kulor snurrar. Kulan i B snurrar normalt, dvs varken mycket eller lite vatten passerar genom B. Hur snurrar de andra kulorna, dvs hur mycket vatten passerar genom de andra vattenmätarna? Sätt kryss!</p> <table border="0"> <tr> <td>A snurrar</td> <td>C snurrar</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> fort</td> <td><input type="checkbox"/> fort</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> normalt</td> <td><input type="checkbox"/> normalt</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> sakta</td> <td><input type="checkbox"/> sakta</td> </tr> </table>	A snurrar	C snurrar	<input type="checkbox"/> fort	<input type="checkbox"/> fort	<input type="checkbox"/> normalt	<input type="checkbox"/> normalt	<input type="checkbox"/> sakta	<input type="checkbox"/> sakta	<p>Vattenkretsen i figuren ovan ligger på ett bord. Pumpen pumpar vattnet runt i kretsen åt det håll som pilen visar. <u>Alla kulor snurrar</u>. En slangklämma klämmer ihop slangen på ett ställe. Kulan i B snurrar normalt (normalt mycket vatten passerar genom B). Hur snurrar de andra kulorna? Sätt kryss!</p> <table border="0"> <tr> <td>A snurrar</td> <td>C snurrar</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> fort</td> <td><input type="checkbox"/> fort</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> normalt</td> <td><input type="checkbox"/> normalt</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> sakta</td> <td><input type="checkbox"/> sakta</td> </tr> </table>	A snurrar	C snurrar	<input type="checkbox"/> fort	<input type="checkbox"/> fort	<input type="checkbox"/> normalt	<input type="checkbox"/> normalt	<input type="checkbox"/> sakta	<input type="checkbox"/> sakta
A snurrar	C snurrar																
<input type="checkbox"/> fort	<input type="checkbox"/> fort																
<input type="checkbox"/> normalt	<input type="checkbox"/> normalt																
<input type="checkbox"/> sakta	<input type="checkbox"/> sakta																
A snurrar	C snurrar																
<input type="checkbox"/> fort	<input type="checkbox"/> fort																
<input type="checkbox"/> normalt	<input type="checkbox"/> normalt																
<input type="checkbox"/> sakta	<input type="checkbox"/> sakta																

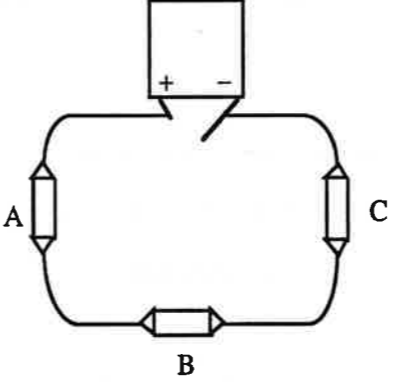
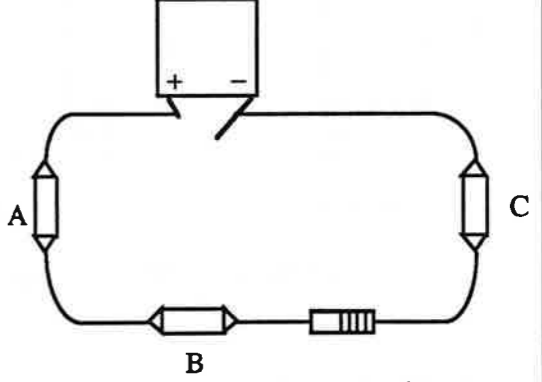
Alla elever fick följande uppgift (3), antingen med vanliga glödlampor och runda batterier eller med raka lampor av säkringstyp och platta batterier. Komponenterna var ritade som de ser ut och korrekt inkopplade. Vi betraktar de båda varianterna som likvärdiga.

Uppgift 3

Ett batteri är kopplat till en glödlampa så som bilderna visar. Vilken bild anser du bäst beskriver den elektriska strömmen? (Eleven väljer en av bilderna A tom D.)

<p>A.</p>  <p>Det är ingen ström i tråden som är kopplad till det långa blecket.</p>	<p>B.</p>  <p>Strömmen går <u>mot</u> lampan i båda trådarna</p>
<p>C.</p>  <p>Strömmens riktning är som på bilden, men det är mindre ström i tråden som går tillbaka till batteriet.</p>	<p>D.</p>  <p>Strömmens riktning är som på bilden. Strömmen är densamma i båda trådarna.</p>

Alla elever fick följande uppgifter (4 och 5), antingen med vanliga glödlampor eller med raka lampor av säkringstyp. I båda fallen användes platta batterier. Vi betraktar de båda varianterna som likvärdiga. Komponenterna var ritade som de ser ut.

Uppgift 4	Uppgift 5																
 <p>Tre lika glödlampor är kopplade till ett batteri. Alla lampor lyser. Lampa B lyser normalt. Hur lyser de andra lamporna? Sätt kryss!</p> <table border="0"> <tr> <td>Lampa A lyser</td> <td>Lampa C lyser</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> starkt</td> <td><input type="checkbox"/> starkt</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> normalt</td> <td><input type="checkbox"/> normalt</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> svagt</td> <td><input type="checkbox"/> svagt</td> </tr> </table>	Lampa A lyser	Lampa C lyser	<input type="checkbox"/> starkt	<input type="checkbox"/> starkt	<input type="checkbox"/> normalt	<input type="checkbox"/> normalt	<input type="checkbox"/> svagt	<input type="checkbox"/> svagt	 <p>Tre lika glödlampor är kopplade till ett batteri. Alla lampor lyser. Lampa B lyser normalt. Mellan lampa B och lampa C är ett motstånd inkopplat. Hur lyser lampa A och lampa C? Sätt kryss!</p> <table border="0"> <tr> <td>Lampa A lyser</td> <td>Lampa C lyser</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> starkt</td> <td><input type="checkbox"/> starkt</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> normalt</td> <td><input type="checkbox"/> normalt</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> svagt</td> <td><input type="checkbox"/> svagt</td> </tr> </table>	Lampa A lyser	Lampa C lyser	<input type="checkbox"/> starkt	<input type="checkbox"/> starkt	<input type="checkbox"/> normalt	<input type="checkbox"/> normalt	<input type="checkbox"/> svagt	<input type="checkbox"/> svagt
Lampa A lyser	Lampa C lyser																
<input type="checkbox"/> starkt	<input type="checkbox"/> starkt																
<input type="checkbox"/> normalt	<input type="checkbox"/> normalt																
<input type="checkbox"/> svagt	<input type="checkbox"/> svagt																
Lampa A lyser	Lampa C lyser																
<input type="checkbox"/> starkt	<input type="checkbox"/> starkt																
<input type="checkbox"/> normalt	<input type="checkbox"/> normalt																
<input type="checkbox"/> svagt	<input type="checkbox"/> svagt																

6 VAD HÄNDER DÅ ELEVERNA MÖTER AVE-PROGRAMMET?

6.1 Lektion 1. Vattenflöde i linjära system

Vi startade den första lektionen med en jämförelse mellan luft och vatten i en spruta. Går det att pressa ihop dessa båda ämnen? De flesta eleverna förutsade att det möjligen skulle gå att trycka ihop luft, men svårigen vatten (se tabell 6.1). Många såg likväl förvånade ut när de fick lov att pröva hur det kändes att trycka på sprutan med vatten. Det är ju helt stumt! Flera av eleverna blev också förvånade över att luften gick att trycka ihop så mycket.

Tabell 6.1. Går luft respektive vatten att trycka ihop? Antal elever fördelade på olika svarsalternativ.

	ja	lite	nej
luft	7	3	3
vatten	0	4	9

Härifrån tog vi steget till att låta eleverna förutsäga vad som kommer att hända när man förflyttar vatten mellan två sprutor förbundna med en slang (fig 6.1).

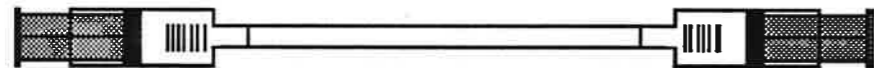


Fig 6.1 Kopplade sprutor, fyllda med vatten.

De flesta hade inga problem att inse att om man trycker in en spruta ett visst antal enheter, så åker den andra ut lika mycket. Före första försöket var det dock flera som ansåg att det inte skulle gå att trycka in sprutan överhuvudtaget. Detta förvånade oss till att börja med och vi resonerade om hur eleverna tänkte. En möjlig förklaring är att de enbart fokuserar sprutan som skall tryckas in och inte hela systemet. De kanske gör en koppling till förra experimentet, som ju visade att vatten är inkompressibelt. Detta är i så fall ett exempel på "lokalt tänkande", varmed menas att inte ta hänsyn till hela systemet utan i stället koncentrera sig på den del som för tillfället står i fokus.

Några typiska replikskiften under denna sekvens kunde låta så här. Vi börjar med elev E3.

-Går det att trycka in en av sprutorna? -...Nej, det tror jag inte för det finns vatten i den andra sprutan. E3 prövar. -Det går. -Om man tittar i andra änden... -Den åker ut. -Om man trycker från 90 till 70 (ml på skalan), vad händer då? -Den andra åker ut. -Kan du säga hur mycket? -Den kanske åker ut 20.

Intervjuaren och E3 gör ett par olika försök, även ett där E3 drar i en spruta. Hennes förutsägelser är riktiga hela tiden.

En annan elev, E1, reagerar så här på motsvarande situation:

-Om man trycker från 60-30 (ml på skalan), hur mycket kommer då den andra sprutan att flytta sig? -På 60 (vilket den också gör). -Om jag trycker fort kommer det att vara någon skillnad då? -Nej!

Alla var inte lika säkra som E1 på att farten inte skulle ha någon betydelse. Eleven E10 har samma uppfattning om vattenmängderna som förflyttas så länge man trycker långsamt:

-Tror du att det går att trycka in den sprutan? -Ja. Hon prövar och ser att det stämmer. -Om man trycker in tre långa streck här, hur långt åker den andra ut? -Tre. E10 gör försöket, ser att det stämmer och får följande fråga: -Om man trycker fort, så fort man kan, resten av sprutan, hur långt kommer den andra då? -Hälften så långt tror jag. När hon gör försöket ser hon glatt förvånad ut, och säger överraskat: -Ungefär samma blev det. Hon prövar igen med samma resultat, och intervjuaren säger: -Det stämmer inte riktigt... -Neej... -Vad tror du det är som gör att det inte stämmer? -Jag vet inte riktigt hur jag tänkte...

De flesta eleverna hade inga större svårigheter att svara på våra frågor, men som nämnts var det några som tvekade när sprutan skulle tryckas in så fort det går. Efter att ha gjort försöken, funderat och diskuterat verkar det dock som om de förstår att det inte kan ha någon betydelse hur fort man trycker vattnet mellan sprutorna. Vattnet måste ju vara kvar i systemet hela tiden.

Nästa fas i lektionen var att ta reda på vad eleverna hade för uppfattningar (och om nödvändigt, försöka ändra dem) om vad som händer med de förflyttade vattenmängderna om man sätter en klämma på slangen för att minska flödet. Här visade det sig att de flesta eleverna hade samma syn på vad som skulle ske, nämligen att vattenmängden som förflyttas över till den andra sprutan är mindre än den mängd som trycks ut ur den första sprutan. Här har vi ett moment som vi anser vara mycket viktigt att förstå för att kunna använda sig av analogin vatten-elkrets. Därför lade vi ganska lång tid på detta avsnitt. Här följer först en dialog med eleven E3. (En klämma har just skruvats åt på slangen.)

-Om du nu trycker från 60 till 40? -Det går trögare i så fall och så stiger den (den andra sprutan). -Stiger den lika mycket som förut? -Nej, klämman sitter där och då kommer det inte fram lika mycket vatten.. nej jag vet inte! -Kan du säga hur mycket du tror att den stiger? -Den stiger till 40 eller 50. -Förklara, hur tänker du när du säger 40 och när du säger 50? -Jag vet inte jag säger 50. E3 gör experimentet. -Kan du nu efteråt förklara varför du ville ha 50? -Om man trycker in 20 så åker den ut 20. Klämman spelar ingen roll det finns ju ett litet hål där vatten kan gå igenom ändå. Om det inte fanns något hål skulle den inte gå upp. Nu görs ett par experiment där E3 visar att hon kanske inte är lika säker som hon antyder i sin förklaring ovan. Till slut sammanfattar hon och säger: -Den andra sprutan åker alltid upp lika mycket som man trycker in. -Om man drar istället? -Lika mycket. -Mängden vatten som flyttas, påverkas den av klämman? -Nej, jag tror inte det.

Eleven E1 resonerar så här:

-Om jag sätter på en klämma här på mitten och skjuter in den ena sprutan från 80-60, hur mycket kommer den andra då att åka ut? -Till 20 (rätt svar: 30). -Varför det? -Det tar väl lite längre för vattnet att komma igenom när klämman sitter där. Den kanske inte pressar ihop lika mycket så att det kommer inte lika mycket vatten hit. -Pröva! -Hmm...

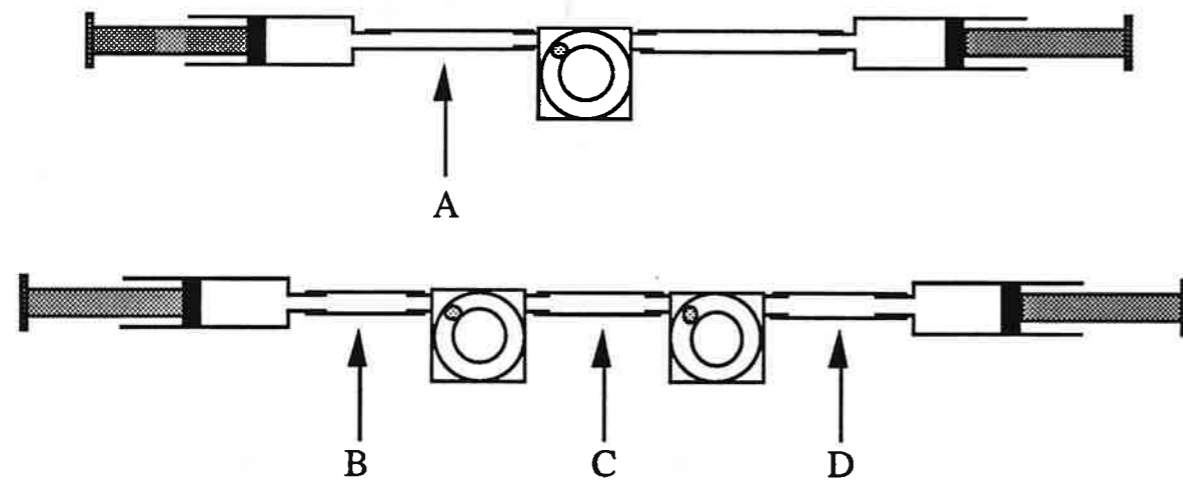
Också E10 tror att när slangen kläms ihop så kommer en mindre mängd vatten ut i andra sprutan. Intervjuaren frågar då:

-Varför tror du det? -*Det kommer att stanna vatten här* (E10 pekar på slangen innan klämman). När hon förklarar hur hon tänker ändrar hon sig och säger: -*Det kommer ju lika mycket här* (E10 pekar på slangen efter klämman). *Det går sedan in i den andra sprutan.* Hon prövar nu sin förutsägelse genom att utföra experimentet. Intervjuaren undrar: -Varför stämmer det trots att klämman sitter där? -*Det är lika mycket vatten (i systemet) trots att klämman sitter där.* -Det är en bra idé, vart skulle vattnet annars ta vägen (om det inte fanns kvar i systemet) ?

Experimentet görs om flera gånger och de resonerar om mängden vatten som flyttas. Resonemanget tyder på att E10 har svårt med att räkna sig fram till hur mycket vatten som flyttas men det tyder också på att hon tycker att klämman faktiskt bör ha betydelse för mängden vatten.

Sammanfattningsvis var det elva elever som utan lärarhjälp förutsade att den ena sprutan åker ut lika mycket som den andra trycks in om slangen saknar klämman. Av övriga tre var det två som menade att sprutan inte åker ut lika mycket och en som ansåg att den åker ut mer. En elev förutsade också vid tankeexperimentet med de 'målade vattenbitarna' att biten längst bort från den tryckande sprutan skulle rusa iväg längre om man trycker sprutan fort. Problemet med klämman på slangen löstes utan hjälp korrekt av sex elever.

Nästa skede i lektionen var att gå vidare med att introducera en flödesmätare och undersöka vad som händer med hastigheten på kulan om man sätter en klämman på olika ställen av slangen. Vi hade först en variant med bara en flödesmätare, men den gav inte riktigt de tankeställare som vi önskade, så vi ändrade oss snabbt till att använda en koppling med två (fig 6.2).



Figur 6.2 Koppling av sprutor och flödesmätare. Pilarna visar var klämmor anbringas.

Denna gav oss möjlighet att ställa frågor om hur de olika flödesmätarna kommer att snurra i förhållande till varandra, dels utan och dels med klämman placerad vid B, C eller D. Elevernas förutsägelser utan hjälp av intervjuaren framgår av tabell 6.2 på nästa sida.

Tabell 6.2 Antal försökselever fördelade på olika förutsägelser om hur två flödesmätare kommer att snurra

	Mätarna snurrar lika	Den första mätaren snurrar fortast	Den andra mätaren snurrar fortast
Sprutsystem utan klämman	10	3	1
Sprutsystem med klämman	7	7	0

Här följer nu några exempel på dialoger. Vi börjar med en sekvens från en lektion med E10, som vi tycker tydligt visar de olika idéer som vi funnit hos eleverna på detta avsnitt.

E10 får i uppgift att fritt undersöka kopplingen med två sprutor och en mätare. Hon trycker fram och tillbaka några gånger och ser glad och fundersam ut.

-Ser du några likheter med den förra kopplingen? -*Ja!...*

Här tystnar hon och intervjuaren försöker föra resonemanget vidare genom att uppmana E10 att göra en förutsägelse om hur mycket en spruta flyttar sig då man trycker en viss mängd i den andra. Förutsägelsen stämmer och hon får frågan:

-Vad händer med kulan då man trycker på en av sprutorna? -*Den snurrar runt.* -Vad visar den tror du? -??

Intervjuaren visar och berättar att kulans hastighet varierar när man trycker olika fort på sprutan. Intervjuaren sätter en klämman på slangen (läge A, fig 6.2 - det är den högra sprutan som trycks in)

-Kommer klämman att ha någon betydelse? -*Ja.* -Tryck från 30 till 10, vad händer? -*Den andra kommer på 30...eller 40. Jag tror 40.(40 rätt svar.)* -Kommer kulan att påverkas av klämman? -*Nej inte om man trycker från detta hållet men från det andra.*

E10 tror alltså att kulans hastighet påverkas av klämman om den sitter på samma sida som tryckningen görs. E10 gör experimentet. Hon undersöker även om det spelar någon roll från vilket håll tryckningen görs. Hon ser förvånad ut när hon ser resultatet. Det är tydligt att hon saknar en förklaring till varför klämman påverkar kretsen som den gör.

Intervjuaren visar kopplingen med två sprutor och två mätare och börjar ställa frågor om de två sprutorna i ändarna.

-Om vi trycker här, vad händer där borta? Blir det någon skillnad mot förut nu när mätarna sitter här emellan? -*Det blir samma tror jag.* -Om du trycker in 10 där, hur långt åker den andra sprutan ut? -*Hm...* -Du behöver inte räkna ut var den hamnar, det räcker om du säger hur långt den åker ut. -*10.* -Vi kollar!

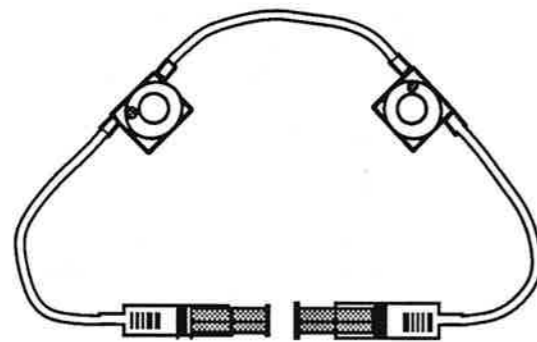
E10 gör experimentet och ser att hon har gjort en riktig förutsägelse.

-Om du trycker in där, hur kommer mätarna att snurra om du jämför dom med varandra? Kommer dom att snurra lika fort eller kommer någon av dom att snurra fortare? -*Den kommer att snurra fortast (pekar på den längst bort).* -Kan du förklara varför?

När E10 förklarar verkar det som om hon har en idé om att den första kulan sätter fart på vattnet så att den andra går fortare, men hon ändrar sig:

-*Eller så kommer dom att snurra lika fort. -Vilket passar bäst? -Lika fort. -Kan du förklara det? -Det borde vara samma, fast egentligen tror jag att den går fortare. -Egentligen tror du att den går fortare? -Fast det borde gå lika fort. -Pröva då! E10 provar. -Dom går lika fort. -Har du någon idé om varför dom gör det? -Nej... Vattnet går lika fort. -Går det lika fort i början på slangen som i slutet? -Nej, det går fortare i början, det är mycket jobbigare i slutet. -Om du trycker in 10 där... -Så kommer det ut 10 där. -Om du trycker in med en viss fart där, hur fort går sprutan ut i andra änden? -Ungefär lika fort, kanske lite långsammare. -Kan du komma på något sätt att kolla hur det är? -Ja, trycka och titta. E10 gör experimentet. -Det gick ungefär lika fort.*

Intervjuaren lägger kolvarna mot varandra (se fig 6.3) och trycker fram och tillbaka några gånger med olika farter. Det syns tydligt att kolvarna precis följer varandra:



Figur 6.3 Exempel på vattensystem.

-*Dom går lika fort. -Om jag håller emot kan du trycka in sprutan som sitter i andra änden då? -Nej, det tror jag inte.*

E10 trycker och skrattar. Hon tar i så att hon blir röd i ansiktet:

-*Nej, det gick inte bra. -Om man trycker in där så flyttar det sig precis likadant i andra änden (pekar åt andra hållet). -Ja! (Hon ser ut att förstå.) -Hur rör sig vattnet i slangen? Går det fortare i början eller går det lika fort? -Lika. Nu sätter intervjuaren på en klämman som han skruvar åt:*

-*Kommer dom att snurra lika fort eller kommer den eller den att snurra fortast? -Den (pekar på mätaren närmast sprutan där tryckningen kommer från) kommer att snurra fortast. Det tar emot först vid klämman. -Vad kommer det att innebära för hur mycket den andra sprutan flyttar sig? -Den flyttar sig lika mycket. -Kommer den att åka ut lika fort? -Ja, det tror jag. Intervjuaren blir nu tyst en kort stund och han ser konfunderad ut. Han repeterar sedan elevens förutsägelser, varpå hon nickar. -Vi provar! E10 provar. -Dom går lika fort. -Din idé stämde inte riktigt... -Nej (glatt nej).*

De gör försöket igen, de trycker från andra hållet. E10 tycker nu att den ena kulan snurrar fortare. Ytterligare en gång genomförs experimentet. E10 tycker att samma mätare går fortast oavsett vilket håll man trycker från: -*Det är inte stor skillnad. -Nej. -Det är möjligt att den går fortare, dom är inte precis likadana.*

Experimentet görs om, mycket noga denna gång. E10 observerar att kulorna går igång och stannar samtidigt. De enas om att de går lika fort. -*Vad gör klämman? -Ingen skillnad. -Mer än att det går trögare.*

De resonerar nu kring klämmans placering. E10 tycker inte att det spelar någon roll var på slangen klämman sitter. Resultatet blir detsamma. Hon säger sig inte behöva göra experiment för att kontrollera.

Här kan man göra en del reflektioner. E10 verkar veta att vatten inte går att komprimera, hon verkar också nu veta att sprutan i andra änden kommer att åka ut lika mycket som den första trycks in. Samtidigt har hon föreställningen om att kulorna kommer att röra sig olika fort, till att börja med rör sig den andra fortast eftersom vattnet har fått mer fart av den första kulan, men med klämman tvärtom. Det verkar som om hon inte självmant tar hänsyn till hela systemet samtidigt utan funderar på varje del för sig (har tidigare beskrivits som 'lokalt tänkande'). De problem hon ställs inför kanske till slut tvingar henne till att i tanken koppla ihop de olika delarna i systemet för att på det sättet förstå vad de olika resultaten beror av.

E10 var inte ensam om att visa tecken på 'lokalt tänkande'. E2 är en annan elev vars idéer vi försökte utmana med hjälp av tänkta röda bitar vatten i slangarna (en flödesmätare, ingen klämman):

-*Om du har två bitar färgat vatten, en i ena änden av slangen och en i andra änden av slangen och jag då trycker in sprutan så att den första färgade biten vatten flyttar sig 5 cm. Hur långt kommer då den andra att flytta sig? -Den andra flyttar sig inte lika långt, kanske 3-4 cm. Det kommer inte lika långt.... Nej, förresten, det måste bli lika långt.*

När intervjuaren övergår till kopplingen med två flödesmätare utan klämman gör E2 följande förutsägelser:

-*Kulorna snurrar inte lika fort. Den första snurrar fortare. -De färgade vattenbitarna kommer inte att flytta sig lika långt.*

Intervjuaren övergår då till att pröva hur E2 tänker när det gäller de vattenmängder som förflyttas mellan sprutorna.

-*Om jag trycker in 20 här, hur mycket kommer då att åka ut i den andra sprutan? -Lika mycket.*

Här är det tydligen svårt att se sambandet mellan vattenmängden i sprutorna och vattenmängden som passerar genom slangarna och snurrorna. Småningom kommer dock E2 underfund med att det är omöjligt att snurrorna skall snurra olika fort och att det samtidigt kan passera lika mycket vatten från en spruta till en annan.

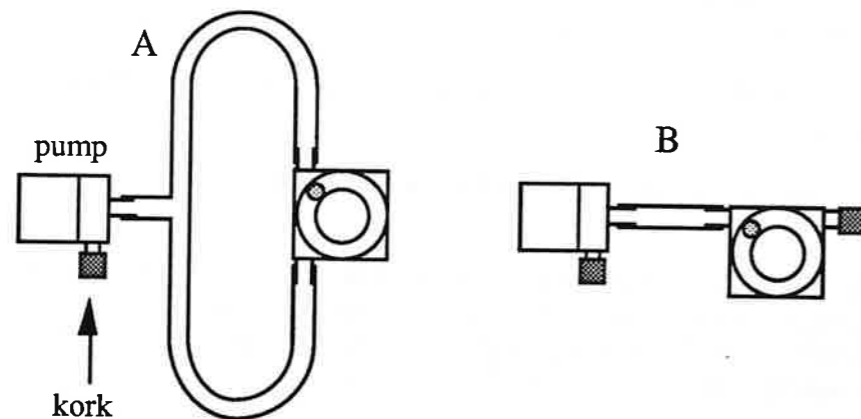
Det är dock inte alla elever som resonerar på samma sätt. E12 är en sådan elev. Här följer motsvarande avsnitt med honom:

-Kan du förklara hur det kommer sig att sprutan på andra sidan åker ut precis lika mycket som man trycker in i första sprutan? -Vattnet kan ju varken bli mindre eller större och det måste ju vara någonstans. Trycker man då in sprutan i ena änden måste det ju åka någonstans och då åker den andra sprutan ut lika mycket. -Har det någon betydelse om man sätter på en klämma? -Nej. -Nu ska vi titta på två snurror och två sprutor. Hur kommer de två kulorna att snurra i förhållande till varandra? Lika fort, eller den första fortare eller den andra fortare? -Lika fort. -Stämmer det? -Ja. -Hur ska man kunna förklara det? -Ja, vattnet som är inne i den första sprutan måste ju passera genom slangarna och genom båda snurrorna för att komma över till den andra sprutan. Vattnet passerar ju båda med samma fart. -Om vi pratar om flöde istället för fart. Flöde är hur mycket vatten som passerar på en given tid. -Ja, det måste ju vara samma i båda snurrorna. Flödet är samma genom hela slangen. -Om jag sätter den här klämman här (före snurrorna). Förändrar det då hastigheterna på de här kulorna inbördes? -Det tror jag inte. -Varför inte det, tror du? -Det är fortfarande samma mängd vatten som går runt genom hålen. Det kommer lika mycket vatten in till klämman som det åker ut från klämman o s v. -Det har ingen betydelse då att den sitter där? -Den sitter bara där som motstånd i så fall. -Hur menar du då? -För vattnet alltså, det tar ju längre tid för vattnet, i så fall, att rinna igenom. Motståndet är detsamma fördelat över hela här.

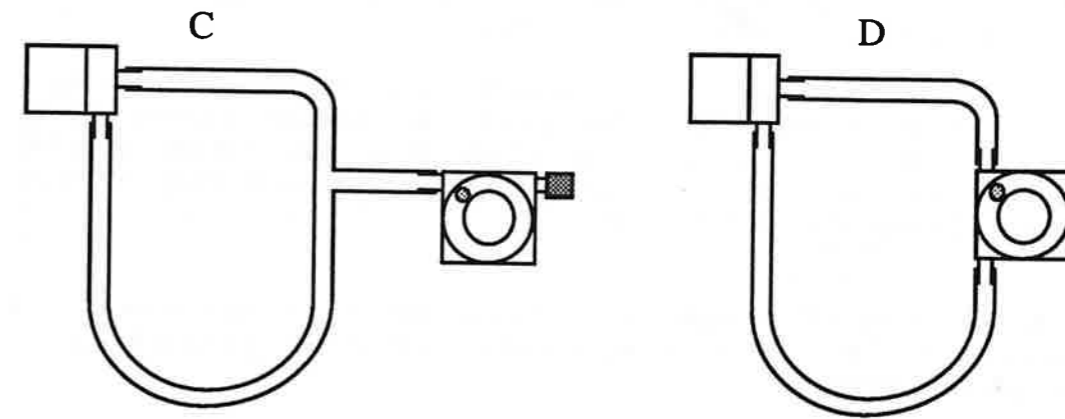
Även om det skiljer mycket mellan hur de olika eleverna resonerar om vattenkopplingarna anser vi att alla 14 så här långt, i vissa fall efter stor möda, har någorlunda klart för sig hur vatten i sprutkopplingarna uppför sig. Hur långt vi kom med de olika eleverna varierar. Några kom hit under första lektionstillfället och andra inte fullt så långt. Vi drar gränsen här i vår redogörelse. Nu över till lektion 2.

6.2 Lektion 2. Polaritet och slutna krets

Vi inleder lektion 2 med en repetition och därefter genomgång av hur den lilla elektriska vattenpumpen fungerar. Vi låter pumpen pumpa vatten i ett öppet system och går igenom var pumpens in- och utgång sitter och att den ger ett jämnt flöde i motsats till exempelvis en cykelpump eller en madrasspump. Vi låter också eleverna förutsäga vad som kommer att hända om man håller för in- respektive utgången på pumpen. Alla elever gjorde riktiga förutsägelser: Vattnet slutar rinna. Därefter presenteras vattenkopplingarna i figur 6.4 a och 6.4b för eleverna.



Figur 6.4a I vilka vattenkretsar snurrar kulan? Alla slangar, flödesmätare och pumpar är från början helt fyllda med vatten. Små luftbubblor finns här och där i vattnet.



Figur 6.4b I vilka vattenkretsar snurrar kulan? Alla slangar, flödesmätare och pumpar är från början helt fyllda med vatten. Små luftbubblor finns här och där i vattnet.

För varje koppling (A tom D) gäller det att förutsäga om kulan kommer att snurra och att försöka förklara varför.

Ungefär hälften av eleverna gjorde korrekta förutsägelser (se tabell 6.3).

Tabell 6.3 Antalet riktiga förutsägelser om olika vattenkopplingar.

Vattenkoppling	A	B	C	D
Antal riktiga förutsägelser	5	8	7	12

Resten hade en del problem med de flesta av kretsarna. Det verkar som om det är svårt att koppla ihop denna uppgift med innehållet i lektion 1, även om eleven i och för sig kommer ihåg vad den handlade om. A och C är de kopplingar som flest elever hade problem med. Många tyckte t ex att vattnet kunde rinna åt båda hållen i slangen som går till flödesmätaren. Vi hade trott att det skulle vara ganska lätt för eleverna att förutsäga vilka av kopplingarna som skulle fungera och vi funderade, då vi höll på med lektion 2, över vad de oväntade svårigheterna kunde bero på. Vi gissade bl a på att pumpens funktion inte var förstådd. De första eleverna som blev utsatta för lektion två fick nämligen inte så noggrann genomgång av den saken. Därför lade vi fortsättningsvis ner mer möda på att få eleverna att förstå hur pumpen fungerar.

Resultatet blev något bättre efter detta, men man kan inte säga att metoden gör att alla 'enpoliga' resonemang försvinner. Det verkar vara en seglivad uppfattning som är svår att bli av med också när det gäller vattenkretsar.

Vi följer en elev (E10) i hennes resonemang om de olika vattenkopplingarna:

Intervjuaren visar pumpen och dess funktion:

-Här ser man att vattnet kommer ut i en jämn och fin stråle. Hur tror du att vattnet kommer dit? -Det är något som går runt därinne. Vattnet dras upp, och sen så går det ut. -Vad tror du händer om jag sätter ett finger för ingången? -Då kommer det inget vatten.

Efter att experimentet är gjort plockar intervjuaren fram kopplingen med enpoligt kopplad mätare och tvåpoligt kopplad pump (C).

-Vattnet kan gå igenom själva grenpunkten här (pekar). Kommer kulan att snurra om jag sätter på pumpen? -*Nej, ja, nej, få se! Den kommer inte att snurra!* -Varför inte? -*Lite åker in men inte så mycket att kulan rör sig.* (Elevens förklaring kan tydas som om hon tror att vattenströmmen inte kan ändra riktning i så skarp vinkel.) De prövar. -Stämde det? -*Ja.*

Intervjuaren gör E10 uppmärksam på att vattnet går runt i kretsen, men inte ut i mätaren. Härefter studeras kopplingen med enpoligt kopplad pump och enpoligt kopplad mätare (B):

-Kommer kulan att snurra? -*Ja.* -Varför det? -*Det går ju direkt (till mätaren) och tillbaka, hm... Är det meningen att det skall komma tillbaka?* -Det får du avgöra själv. -*Nej. Då snurrar den inte.* -Varför? -*Vattnet kommer här (pekar) men allt vatten kan inte få plats i mätaren, så den snurrar inte.* De prövar. -*Hm, stämmer (glatt).* -*Hm, stämmer (glatt).* Vad skulle man behöva göra för att få den att fungera? -*Vi behöver en slang till.* -Rör sig vattnet någonting alls? -*Nej inte alls.*

Intervjuaren tar fram kopplingen med både pump och batteri tvåpoligt kopplade (D).

-Kommer den att snurra? -*Ja.* -Du verkar helt säker, varför? -*Det kommer ut där, sen genom mätaren och tillbaka så går det runt (pekar).*

De följer nu några bubblor för att se att vattnet går runt i kretsen. De jämför med kopplingen som undersöktes strax före.

Kopplingen med enpoligt kopplad pump och tvåpoligt kopplad mätare (A):

-Nu har vi bara en koppling kvar, kommer den att fungera? -*Ja det kommer den. Vattnet kommer att gå runt (pekar på den slutna slangen).* -Det kommer att gå runt där... -*Ja det tror jag.* -Vad händer med det vattnet? (Pekar på vattnet i slangen ansluten till pumpen.) -*Det går ut där.* -När det vattnet åkt ut vad händer då? -*Ja just det... det sugts upp igen.* -Varifrån kommer det som sugts upp igen? Elevens kommentar som följer är svår att tolka och dessutom svår att höra. -Så den kommer att fungera? -*Ja.* De prövar. -*Det var synd!* -Den fungerar inte, varför inte? -*Jag förstår inte.* Intervjuaren förklarar att det är vatten i hela systemet och säger: -Om pumpen försöker trycka här, och det är fullt överallt... -...?-Låt oss säga att den klarar det! Vad händer då? -...?-Då behöver den nytt vatten... -*Ja just det.* -Och eftersom det är fullt här så kan den inte trycka in mer vatten. -*Hm...* -Hur skulle man kunna ändra den så att den fungerar? -*Man kan ta loss här och koppla in där (pekar riktigt).* -Ja det är rätt.

En annan elev, E1, resonerar så här om de fyra kopplingarna:

Han förutsäger att koppling A inte kommer att snurra: Han motiverar det med: -*Det kommer vatten från båda hållen. Då borde den snurra åt båda hållen.* -Det kommer vatten här och delar upp sig så att snurran får vatten från båda hållen? -*Den kommer nog att snurra åt det hållet.* (Det verkar som om E1 tittar på hur kopplingen ser ut geometriskt och därför ändrar sig.) -Varifrån kommer vattnet? -*Från vattenkranen (hi, hi)* -Var sitter den vattenkranen? -*Men det är väl vatten överallt i slangarna?* -Ja,

det är vatten överallt, men om det nu åker vatten från pumpen, varifrån kommer det vattnet? -*Det sitter en kork för ingången på pumpen.... Den kommer inte att snurra.* -Varför inte? -*Jag vet inte riktigt.* -Kommer den att snurra? (D) -*Den kommer att snurra.* (E1 beskriver hur vattnet kommer att förflytta sig.) -Kommer den här att snurra? (B) -*Den kommer inte att snurra, för vattnet har ingenstans att ta vägen.* Nu får E1 titta på koppling C: -*Den kommer att snurra. Vattnet går från pumpen och in till snurran och tillbaka till pumpen igen?* -Då kommer alltså vattnet att gå åt båda hållen i den slangen där? -*Nää, det går väl inte.... Den kommer inte att snurra.* -Kommer vattnet att röra sig någonstans i kopplingen? -*Nej.* -Nu prövar vi de olika kopplingarna. E1 har en del svårigheter att förstå sig på koppling C igen. Det verkar också vara svårt med koppling A nu. Han har glömt hur han tidigare tänkt och ändrar sig nästan nu, men kan efter att han sett att den inte snurrar förklara: -*Det kommer inte in något vatten, så att det kan inte komma ut något vatten.*

Ungefär hälften av eleverna i undersökningsgruppen har liknande resonemang som de ovan och den andra hälften kan förhållandevis klart redovisa för hur det blir i de olika fallen. Vi följer en elev (E3) som vi anser, trots stor osäkerhet på sig själv, resonerar på ett sätt som visar att för vissa elever är vattenkopplingarna relativt lätta att förstå.

Intervjuaren berättar om pumpen att den har en ingång och en utgång. Han visar hur den fungerar i en balja med vatten:

-Nu kan man se att vattnet kommer ut här och in här (pekar). Vad skulle hända om jag sätter mitt finger för ingången? -*Det kommer inte ut något vatten.* -Vad skulle det bero på? -*Det kommer inte in något vatten.* -Om jag sätter fingret för utgången? -*Då kommer det inte heller ut något vatten.* -Kommer det in något vatten? -*Nej!* -Varför då? -... *svårt att förklara.*

Kopplingen med tvåpoligt kopplad pump och mätare (D):

-Kommer mätaren att snurra? -*Ja.* -Varför? -*Vattnet går in i mätaren och fortsätter runt, kanske.* -Beskriv hur en bit färgat vatten skulle röra sig. -*Det kommer ut ur pumpen går in i mätaren och tillbaka till pumpen.* -Sen då? -*Det kommer kanske ut igen.* -Vad skulle hända om det inte kommer ut? -*Vet inte.* De gör experimentet. -Det verkar fungera. Vattnet åker varv efter varv.

Kopplingen med enpoligt kopplad pump och mätare (B):

-Kommer den att snurra? -*Nej, Det är stopp därborta.* -Vad har det för betydelse? ... De prövar. -*Vattnet rör sig överhuvudtaget inte.* -Nej, pumpen försöker få vattnet att röra sig men det går inte.

Enpoligt kopplad pump, tvåpoligt kopplad mätare (A):

-Kommer den kulan att röra sig? -*Ja det tror jag.* -Förklara! -*Det är inte stopp någonstans.* -Följ en bit målat vatten runt. -*Det åker runt här (pekar runt i den slutna delen av kretsen).* -Vart tar detta vattnet vägen? (pekar i slangen till pumpen). -*Det åker med runt.* -Kommer det att bli tomt här då? (Pekar på samma ställe.) -*Nej, det fylls på.* -Varifrån kommer det vattnet? -*Vet inte.* -Vi prövar. E3 säger sig nu vara tveksam om kulan kommer att snurra. -*Man måste ha en slang som går in till pumpen också. Vattnet kan inte både gå in och ut i slangen.* -Här är ingången, här är utgången. Båda måste vara anslutna för att vattnet skall kunna gå runt?

Kopplingen med enpoligt kopplad mätare och tvåpoligt kopplad pump (C):

-Kommer kulan att snurra? -...nej. -Varför? -*Det är stopp därborta.* -Kommer vattnet att röra sig någonstans? -*Här kanske* (pekar i den slutna delen av kretsen). -Varför här men inte där? -*Vattnet måste kunna komma tillbaka, det gör det här men inte där* (pekar på mätaren resp slutna slingan). De prövar. -*Vattnet rör sig här men inte där.*

Lektion 2 fortsatte för de elever som behövde det med undervisning om de olika kopplingarna. Vi betonade att vattnet måste ha en ingång och en utgång för att pump respektive flödesmätare skall fungera.

Nästa del av lektionen handlar om att avbilda objekten mellan de två systemen vattenkretsar-elkretsar. De flesta eleverna klarade denna uppgift lätt. Undantaget är att göra avbildningen mellan vatten och laddning. Flera elever föredrog att kalla vattnets motsvarighet för elektricitet eller ström. Det är i och för sig inte så dumt, men vi ville ju göra jämförelsen att laddning finns överallt i den elektriska kretsen precis som vatten finns överallt i vattenkretsen. Det är först när vattnet/laddningen rör sig som man kan säga att det går ström. Eftersom vattnet/laddningen är inkompressibel/t, måste vatten/laddning börja röra sig samtidigt för att det ska kunna strömma. Mer om detta i lektion 3 och 4. Förutom laddning var det bara några få elever som hade problem med avbildningarna. En av dessa använde sig senare inte heller av analogin för att avgöra om lamporna skulle lysa eller ej. Just i hennes fall var det lite synd, för hon hade väldigt lätt att se om de olika vattenkopplingarna skulle fungera.

Ett exempel på hur ett samtal om avbildningarna mellan de två systemen kan gå till är följande (E3):

-Vad motsvarar pumpen bland de här sakerna? -... -Jag tänker att man kan göra en liknelse. -*Batteriet kanske.* -Slangen då? -*Sladdarna.* -Lampan då? -... -Mätaren. Mätaren visar om vattnet rör sig, lampan visar att laddningen rör sig. ... -Vattnet här i motsvaras av något här i... -*Elektriciteten.* -Det är väl bra, det motsvaras av laddningen.

Det sista som händer under lektion 2 är att vi försöker få eleverna att med hjälp av vattenkopplingarna rita (om det behövs) och koppla upp de elektriska motsvarigheterna. Detta går, med vissa besvär, för de flesta av eleverna. Det var meningen att eleverna här skulle förutsäga vilka av de elektriska motsvarigheterna som skulle fungera. Vid genomförandet av lektionerna visade det sig, för det mesta, att de elever som hade problem med att avgöra om vattenkopplingarna kommer att snurra också hade svårigheter att koppla elektriskt. Vi kan därför inte säga att vattenanalogin hjälpte våra elever särskilt mycket att bli av med enpoliga uppfattningar. De elever som snabbt avgjorde om vattenkopplingarna kommer att snurra klarade också av att tala om huruvida lampan kommer att lysa eller ej. (Detta gäller i alla fall utom ett.)

Vid diskussionerna om de elektriska kopplingarna framkom elevtankar om mötande strömmar och att strömmen skulle vara mindre efter det att den passerat lampan, ibland hos en och samma elev. Här kunde däremot vattenanalogin möta dessa tankar på ett tydligt sätt. Vattenströmmens cirkulation är ju tydlig. Frågan är bara hur länge det dröjer innan vardagstänkandet kommer tillbaka.

Vi följer eleven E11 för att få ett exempel på en del av det vi beskrivit ovan. Vi kommer in när E11 just har studerat de olika "enpoliga" vattenkopplingarna. Hon

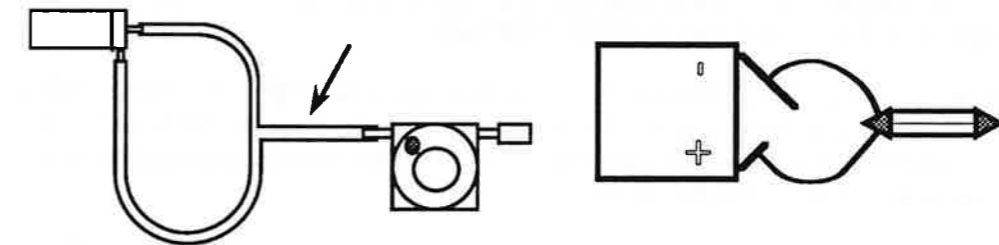
jämför nu det elektriska systemet med systemet vatten. Hon har en del svårigheter att göra jämförelsen. Man kan fundera över om det beror på att hon inte förstår vad ordet motsvarar (som intervjuaren använt) betyder, om det kanske är så att hon inte vågar lita på sig själv, eller om hon inte förstår relationerna mellan de två systemen. Intervjuaren gör själv begreppsintroduktionen och går vidare:

-Om du kopplar lampan på samma sätt som den där vattenkopplingen, kommer lampan att lysa då (den en-enpoliga kopplingen)?

-*Ja, det kommer den.* (Hon prövar. Avbildningen är rätt. Kretsen fungerar inte). *Det är väl något fel på batteriet eller lampan.* -Om du kopplar lampan som den där kopplingen (två-tvåpoliga), kommer den att lysa då? -*Ja, jag säger ja, men den borde inte göra det... Nu kommer det från båda två hållen och då blir det starkare elektricitet.* -Här har du en sladd till.

Det verkar inte som om E11 spontant använder sig av analogin för att tänka på de elektriska motsvarigheterna. Hon säger här att strömmen kommer från båda hållen. Den idéen stämmer inte med det hon nyss sett exempel på när det gäller vattnets flöde. När intervjuaren går vidare (fortfarande med den två-tvåpoliga kopplingen) kommer en del andra idéer fram:

-Går det någon ström i den sladden där (från +)? -*Ja.* -Från vilket håll går den? -*Den går från batteriet och ut till lampan.* -Går det någon elektrisk ström i den här sladden (från -)? -*Nej, det är bara den.* Kolla här. E11 kopplar först in plusladden och så den till minus Lampan börjar lysa.... -*Det kommer ström i båda då, eller så går det runt så* (fundersamt). *Här börjar det och går runt till batteriet och tillbaka till lampan. Fattar du?* -Om du kopplar som den här då (två-enpolig vattenkrets, se figur 6.5.). E11 ser skrynklig ut i ansiktet och undrar nog hur hon ska få ihop det. -*Men, dö. Det går ju inte, det behövs ju en extra sladd där...* (pekar enligt pil i figur 6.5)



Figur 6.5 Vattenkrets och dess elektriska motsvarighet

Den elektriska motsvarigheten behöver inte kopplas med en extra sladd som vattenkopplingen antyder, vilket ger E11 problem. Efter en del huvudbry och viss hjälp får hon ihop elkopplingen (se figur 6.5) och konstaterar att lampan inte lys, vilket hon hade förutsagt.

Till slut skall hon koppla den en-tvåpoliga kopplingen. Hon kopplar så att lampan lys och intervjuaren måste hjälpa till att så att det blir rätt koppling. De konstaterar att lampan inte lys. Eftersom hon inte verkar använda sig av analogin spontant försöker nu intervjuaren gå in på jämförelsen igen. Efter en stund säger E11:

-*Det fungerar ju på samma sätt som med vatten. Snurrar inte kulan, kan man glömma att lampan kommer att lysa.* -Om man kopplar det på samma sätt som vattenkopplingarna? -*Ja.* (Hon är inte övertygad.) Intervjuaren går vidare med att jämföra batterier med pumpar, sladdar med slangar, flödesmätare med lampor och

frågar: -Vattnet då, vad kan man jämföra det med då? -*Elektriciteten, den som går runt så, så att lampan kan lysa.*

E11 har alltså svårigheter både med att avbilda bassystem på målsystem och att använda sig av analogin. Efter uppmaning av intervjuaren kan hon göra vad som förefaller vara en yttlig jämförelse. Det är tveksamt om hon har någon glädje av den när det gäller att förstå elkretsar. Det ska sägas att det resonemang som E13 redovisar inte är typiskt för eleverna i studien, men kan visa några av de svårigheter som en del kan få med situationer som denna. Andra elever hade kanske lite bekymmer med vissa detaljer, men kunde se analogin i stora drag och använda sig av den. Ett litet utdrag ur en lektion med E3 får illustrera.

E3 börjar med att försöka koppla upp den elektriska två-tvåpolkopplingen och stannar på vägen och tycker att det borde lysa med bara en pol inkopplad på både batteri och lampa. Efter lite hjälp kopplar hon vidare och konstaterar att lampan lyser. Intervjuaren går vidare. -Om vi skulle koppla på samma sätt som här (enpolig-enpolig)? -*Det går inte det, gjorde vi ju nyss!* -Just det, det gick ju inte.

Enpoligt kopplad pump, tvåpoligt kopplad mätare:
-Lyser lampan om vi kopplar så här? -*Nej, det måste vara en slang till till pumpen.* -Då kopplar vi och ser om det stämmer. E3 kopplar (rätt avbildning) och lampan lyser inte. -Tror du att laddningen inne i sladden flyttar sig? -*Nej, det tror jag inte.*

Tvåpoligt kopplad pump, enpoligt kopplad mätare.
-Kommer lampan att lysa? -*Nej.* -Tror du att det går en ström någonstans? -*Nej.* -Om vi gör en jämförelse med den här (pekar på vattenkretsen). -*Det rör sig runt här (pekar i el-kretsen).* -Det är faktiskt så. Batteriet pumpar laddning runt här men det kommer ingen ut till lampan. Det kallas kortslutning.

Intervjuaren förklarar att vattenflöde och elektrisk ström fungerar på liknande sätt och repeterar vilka föremål som motsvarar varandra.

Det var också några elever som spontant använde sig av analogin för att testa egna idéer om de elektriska kopplingarna. E4 gick i tanken friskt fram och tillbaka mellan de olika systemen. När vi diskuterade överföringarna från vattenkopplingarna till de elektriska med honom hände följande:

Intervjuaren plockar fram de elektriska komponenterna och frågar: -Vad skulle en pump motsvaras av? -*Den* (E4 pekar på batteriet). Osv osv. E4 reder snabbt ut begreppen. -Om vi kopplar på samma sätt som här (pekar på kopplingen med tvåpoligt kopplad pump och enpoligt kopplad flödesmätare). Lyser lampan då? -*Nej det är samma. Vi behöver ett insug och ett utsug. Om vi sätter lampan så (pekar på vattenkretsen där kulan snurrar) så kommer den att lysa.* -Skulle vi få någon ström i den elektriska kopplingen om vi kopplar så? (Enpolig mätare, tvåpolig pump.) -*Ja... nej... det är inget som tar ström, eller är det som den (vattenkretsen). Anta att det är som den då går det en ström runt så.* -Hur skulle man kunna undersöka det? -*Det är väl bara att koppla?* -Kan vi se på sladden om det går ström i den? -*Nej, men vi kan koppla in en lampa till...* E4 berättar nu (helt riktigt) hur han har tänkt sig att undersökningen skall gå till. De gör en koppling efter hans förslag och konstaterar att en av lamporna lyser. -Om vi kopplar in direkt utan den andra lampan. -*Då blir det kortslutning.* -Går det någon ström då? -*...Ja, jag chansar på det men jag borde veta. Man kan nästan räkna ut det genom att göra ett test där (pekar på vattenkretsen).* -Vad skulle det finnas för argument för att det inte går någon ström? -*Det finns inget som tar ström, då verkar det onödigt att skicka ut ström.* -Om vi

jämför hur mycket ström det går före och efter lampan i denna kopplingen (visar en vanlig tvåpolig-tvåpolig-koppling). -*Det borde vara mer ström före lampan för den tar ström. Men om vi jämför med vattnet så borde det nästan vara lika mycket. Om vi seriekopplar två lampor så lyser de lika starkt så det borde vara lika mycket.* -Går det någon ström om vi sätter ihop dom så här? (kortslutning) -*Det borde göra det.* -Det gör det också.

E4 fortsätter med en tvåpoligt kopplad mätare och enpoligt kopplad pump: -Om vi kopplar den här elektriskt kommer lampan att lysa då? -*Nej, det kommer ingenting tillbaka det måste komma tillbaka.* -Pröva! (Eleven prövar.) -När man kopplar in de här lamporna, var tror du att man måste koppla in dom någonstans? -*Det är längst ute här (pekar på spetsen).* -Pröva det! -*Det går på flera ställen!*

Nu repeterar de avbildningar:
-Det finns en sak kvar och det är vattnet. -*Elektriciteten.* -Man kan också säga att det motsvarar laddning. -*Laddning finns överallt, vatten finns överallt här (pekar på slangen).*

Enpolig-enpolig koppling.
-Rör sig någon laddning om man kopplar så? -*Nej.* -... -*Stämmer det?*
-Det stämmer alldeles utmärkt.

6.3 Lektion 3. Lyser lampan?

Lektionens inledning består av en repetition av hur basen avbildas på målsystemet. Intervjuaren och eleven diskuterar därefter kopplingarna i figur 6.6. Eleven får för varje koppling svara på följande frågor:

-Lyser lampan om man kopplar som figuren visar?
-Går det ström någonstans i kopplingen?
-Hur går den strömmen (om eleven anser att det går ström)?

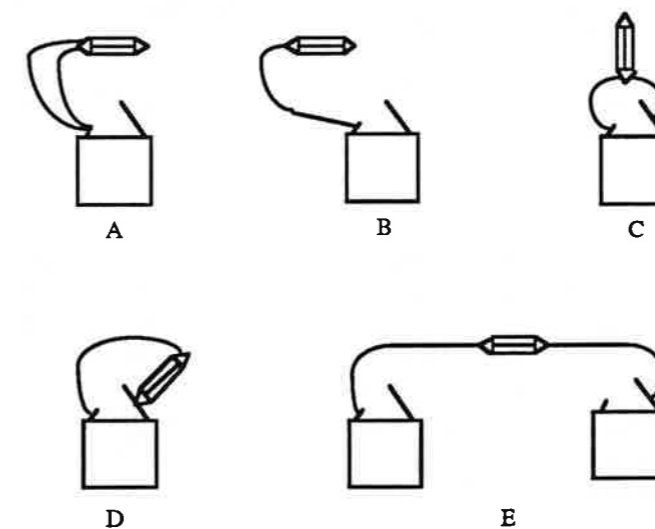


Fig 6.6 Olika elkopplingar

Tre av eleverna använder vattenanalogin, ibland spontant, ibland med viss hjälp av läraren. Övriga löser uppgifterna utan att använda analogin, oftast rätt. Enstaka fel görs på koppling B och D. Här följer några exempel på analogianvändning. Först eleven E3, som spontant använder analogin.

-Kommer den lampan att lysa (pekar på bild A). -*Batteriet motsvarar en pump, lampan en snurra och sladdarna slangar.* -Lyser lampan om vi kopplar så? -*Nej, vi måste ha både utgång och ingång.*

De prövar hennes hypotes genom att praktiskt utföra kopplingen och går så vidare till bild B som hon på fördiagnosen trodde skulle lysa: -*Den kommer inte att lysa, man måste ha en sladd från lampans utgång också. Det är samma som med vattenkretsen.*

När de senare kommer till bild E resonerar hon så här: -Kommer den att fungera? Hur skulle motsvarande vattenkoppling se ut? Kan du rita den? (E3 ritade en riktig figur.) -*Nej den kommer inte att fungera. Vattnet har ingenstans att ta vägen, det måste komma in igen. Då kommer inte el-kopplingen att fungera den heller.* -Hur kan man få den att fungera? -*Man tar en sladd till och kopplar mellan batterierna.*

Så eleven E1, som får viss hjälp att använda vattenanalogin.

-Jag undrar nu om lampan kommer att lysa om man kopplar som på bild A? (E1 hade fel på motsvarande koppling i sin fördiagnos.) -*Nej, det gör den inte.* -Går det någon ström? -*Ja, det gör det.* -Hur då? -*Ja, den går väl så* (pekar från batteriet upp till lampan). Intervjuaren tar fram motsvarande vattenkoppling. -Kan något vatten röra sig i den här kopplingen? -*Nej.* -Tror du att det går någon ström här (pekar på bild A). -*Nej.*

Här ändrar sig E1 med hjälp av analogin, men antagligen använder han den på ett ytligt jämförande sätt utan att "översätta" vattnets egenskaper till laddningen.

Elev E14 får också viss hjälp av läraren att använda analogin. Först koppling A, som hon förutsäger inte kommer att lysa, till synes utan analogitänkande. Men hon är osäker på om det går ström i sladden eller ej.

-Om du tänker som om det vore vatten, rör sig vattnet då? -*Det går ström vad det nu heter... det är laddning i, men ingen ström.* -Just det!

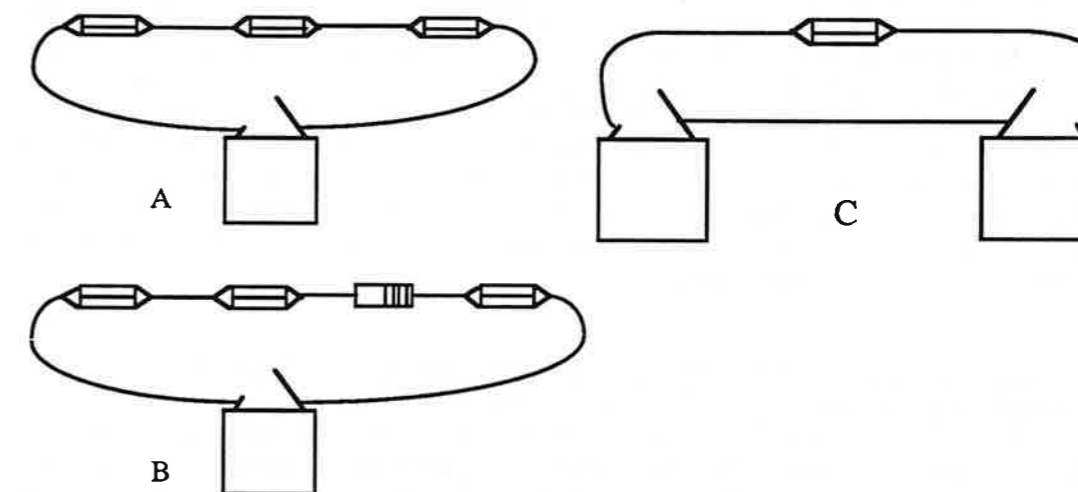
Så koppling E.

-*En sån har jag aldrig sett!* -Ta hjälp av vattentankarna. -*Får jag rita en bild?* -Ja, självklart. (Hon ritade en korrekt motsvarande vattenkrets.) -*...Nej den lampan lyser inte eftersom strömmen inte går om det inte är samma batteri.* -Vattenkretsen går inte? -*Nej vattnet har ingenstans att gå in igen.* De kopplar elkretsen för att kontrollera hypotesen. -*Nej den går inte.* -Förklara varför! -*Strömmen har ingenstans att ta vägen efter batteriet.* -Finns något sätt att få den att fungera? -*Om man till vattenkretsen sätter en slang till skulle den gå.* -Vad skulle man behöva göra med elkretsen då? -*Sätta till en sladd till här* (pekar rätt).

6.4 Lektion 4. Seriekopplingar

Under lektion 4 diskuteras samma frågor som under lektion 3, dvs lyser lampan, går det ström någonstans och hur går den i så fall? Nu gäller det kopplingarna A, B och C i figur 6.7

Hälften av eleverna har först fått frågor och vid behov undervisning om vattenkretsar motsvarande A och B i figur 6.7. Sedan följde elfrågor. Andra hälften fick elfrågor direkt. Om de tvekade uppmanades de att tänka på motsvarande vattenkretsar. Detta blev fallet för alla elever i andra halvan, varför vattenkretsarna motsvarande A och B kom att diskuteras med samliga våra tretton elever. Skillnaden mellan de båda lektionsvarianterna blev därigenom inte så stor.



Figur 6.7 Olika seriekopplingar

Det visade sig att alla elever utan hjälp svarade rätt på frågan om hur tre vattenmätare i serie snurrar i förhållande till varandra. För sex av eleverna är detta ett framsteg jämfört med förtestet (se tabell 5.1). Tio elever svarade utan hjälp att en anbringad klämma saktar ner mätarna, men att de fortfarande snurrar lika inbördes. Detta betyder ett framsteg för sju elever, jämfört med förtestet.

De goda kunskaperna om vattenkretsar ledde oftast till korrekta svar på elfrågorna, ibland dock med viss lärarhjälp.

Här följer några exempel. Först elev E1.

-OK, då ska vi titta på den här med tre snurror. Vad tror du händer här när vi sätter på pumpen? (Eleven har fel på motsvarande uppgift på förtestet.) -*De kommer att snurra.* -Kommer de att snurra lika fort eller kommer någon av dem att snurra fortare än någon av de andra? -*Jag tror att den kommer att snurra fortare* (pekar på den som är först i kretsen). -Hur tänker du då? -*Jag tror att alla snurrar lika fort.* -Hur tänker du då? -*Vattnet åker in i den första och vidare till de andra och så fortsätter det.* -Hur tänkte du första gången när du sade att den skulle snurra fortast? -*Kommer inte ihåg det, det var en konstig tanke.* -Vi prövar. (E1 jämför noga farten hos de olika snurrorna.) -*Jag tycker att de snurrar lika fort.*

Nu monterar intervjuaren på en klämma mellan mätare B och C. (E1 har fel på förtestet.) -Hur kommer snurrorna att snurra nu? -*Den tredje kommer att snurra långsammare.* -Kommer de andra två att snurra lika fort som tidigare? -*Ja.* -Varför tror du det? -*För att klämman sitter där.* -Vad gör den där klämman då? -*Så att det blir trögare.* -Det blir trögare för den tredje och inte för de andra två? -*Ja.* -Varför inte då? -*För att det inte finns någon klämma där. Där sitter klämman och då är vattnet redan på väg.* -Så de här två kommer att snurra lika fort? -*Ja.* -Hur kommer de att snurra jämfört med att klämman inte suttit där? -*Som vanligt.* -Som vanligt, det är bara den tredje som ändras? -*Ja.* De startar. -*De andra går ju också saktare.*

Nu övergår intervjuaren till elkopplingarna enligt fig 6.7, först A. (E1 har fel på förtestet.) -Fungerar den kopplingen? -*Ja, alla tre lamporna kommer att lysa.* -Hur kommer de att lysa jämfört med varandra, kommer den lampan att lysa starkare, svagare eller lika med de andra? -*Alla kommer att lysa lika.* -Om du jämför med hur en lampa lyser, hur kommer dessa att lysa då? -*En lampa lyser starkare.* Eleven kopplar nu enligt bilden. -*Det var det jag sa, de lyser lika mycket.* Det elektriska motståndet introduceras (E1 har fel på förtestet.) -Vet du hur de funkar, har du hört talas om dem? -*Nej.* -Ett elektriskt motstånd fungerar på samma sätt som en... (Intervjuaren börjar leta i sin låda med materiel.) -*Klämma!* -Just det. Om vi kopplar in det elektriska motståndet mellan andra och tredje lampan, hur kommer lamporna att lysa då? -*Då lyser de inte lika starkt.* -Vilken lyser starkast då? -*Ingen utav dem.* -Alla lampor lyser lika starkt, men de lyser lite svagare än förut? (De prövar.) -*Ha ha, vad var det jag sa!*

Nästa exempel är elev E3. Vi kommer in vid elkoppling B. (E3 har fel på förtestet.) -Vad händer om man kopplar i den här? (Det är motståndet som avses.) -*Vad är det för något?* -Det är ett elektriskt motstånd. Det fungerar på samma sätt som en klämma gör i en vattenkrets. Vad händer om jag klämmer åt mellan den andra och den tredje mätaren här? (E3 har fel på förtestet.) -*Dom kommer fortfarande att snurra lika fort eftersom allt vatten rör sig samtidigt och det är vatten i hela slangen.* -Om du kopplar in motståndet i den elektriska kretsen, vad tror du kommer att hända då? -*Dom lyser fortfarande lika mycket.* -Om du jämför med hur dom lyser nu? -*Dom lyser säkert lika.* -På vattenkretsen, vad händer om man skruvar åt klämman? -*Dom går saktare men fortfarande lika.* -Klämman fungerar på samma sätt som motståndet... E3 säger inget men verkar angelägen om att testa vad som händer. -*Du får pröva!* -*Dom lyser inte. Jo det gör dom. Dom lyser men väldigt svagt och lika mycket* -Det fungerar på samma sätt.

Elev E4 om elkoppling A (E4 har fel på förtestet.) -Hur kommer lamporna att lysa? -*Som en julgransbelysning, lika mycket.* -Kan du förklara varför det blir så? -*Det måste passera lika mycket vatten där som där, man måste få in lika mycket som man får ut. I alla fall om det är vatten!* (Här använder han analogin spontant! Han hade rätt på förtestsuppgift 1.) -Vi kan pröva det. -*Här kommer alla att snurra lika fort.* De prövar. -*Snurrar dom lika fort?* -Det får väl du avgöra! -... *Ja, det tycker jag att dom gör.* De gör nu den elektriska kopplingen för att kontrollera att det stämmer. -*Lamporna lyser men de lyser svagt, lika svagt lyser dom.*

Nu plockar intervjuaren fram ett motstånd (E4 har fel på förtestet.) -Vet du vad detta är? -*Ett ... motstånd.* -Vad händer om vi kopplar i det? -*Då lyser alla lite svagare. Men fortfarande lika mycket.* -Vad motsvarar ett motstånd i en vattenkrets? -*En klämma.*

Elev E8 funderar över de seriekopplade flödesmätarna. (Hon hade fel på förtestet.) -Kommer de att snurra olika fort och i så fall, vilken snurrar fortast? -*De kommer att snurra lika fort.* -Varför det? -*För att vattnet trycker på överallt och alla snurrar samtidigt.* -Allt vatten rör sig samtidigt och det är lika mycket vatten som passerar genom alla snurrorna. (De kollar och det stämmer.) -Hur tror du lamporna kommer att lysa i den kopplingen? (E8 hade fel på förtestet.) -*Alla lamporna kommer att lysa lika.* De prövar inte detta.

-Har du sett någon sådan här tidigare? Vet du hur den fungerar? -*Jag tror det är en så'n som håller undan strömmen.* -Det gör den? Den gör lite mer än det också. Den gör precis så här (klämman visas) -Vad händer om man sätter den här? (E8 hade fel på förtestet.) -*Ingenting, alla snurrar lika.* -Kan du beskriva vad som händer om du ser det? -*Alla ändrar farten samtidigt.* -Ett elektriskt motstånd fungerar på samma sätt. Vad kommer att hända med deras inbördes styrka? (E8 har inte gjort motsvarande förtestsuppgift.) -*De kommer att lysa lika starkt, men något starkare än utan motstånd.* De prövar. -*De lyser ännu svagare! Den gör så att det bli svagare.* -*Det var tvärtom mot vad jag sade.* -Den fungerar som en klämma och det spelar ingen roll var jag sätter den. Vad tror du händer om vi flyttar motståndet? -*Det blir samma resultat.*

Slutligen några ord om bild C i figur 6.7. Elva av de deltagande fjorton eleverna har ställt en hypotes om huruvida lampan kommer att lysa eller ej om man kopplar enligt denna bild. Tio anser att lampan inte kommer att lysa. En anser att lampan kommer att lysa. En av de tio sa att hon inte kunde avgöra om lampan skulle lysa eftersom hon aldrig hade sett en likadan koppling. Efter att ha uppmanats att rita motsvarande vattenkoppling (vilket hon klarade utan hjälp) gjorde hon en riktig förutsägelse. En av tio behövde hjälp med att rita motsvarande vattenkoppling innan han avgav sin hypotes. Hjälpen bestod i att han uppmärksammades på vilken av polerna som motsvarade in respektive ut på pumpen.

Här följer några exempel på hur eleverna resonerade. Först E11.

Hon ombeds rita hur motsvarande vattenkoppling skulle se ut. Hon har vissa svårigheter att rita rätt: -*Det stämmer inte, för att den tar ju emot den och den andra borde ju gå in där.* Efter en stunds resonemang blir teckningen riktig. -Kommer den lampan att lysa? -*Ja.* -Kan du beskriva hur laddningen rör sig här? -*Ja, så (pekar hur, men tänker inte på att batterierna är motkopplade)* -Kommer kulan att snurra om du kopplar så? -*Ja.* -Hur går vattnet då? -*Det går så (pekar igen utan att tänka på att pumparna är motkopplade).* -Här är ut och det är det ju här också. -*Jaha, då kommer det inte att snurra.* -Vad ska vi då tro om lampan här? -*Den kommer inte då heller att lysa.*

E14. -Kommer den lampan att lysa? -*Jag vet inte alls det. Jag har inte sett en sån förut.* -Tänk dig det som vatten. (Eleven ritar en bild av den analoga vattenkopplingen.) -*Nej, det kan inte gå, utgångarna är mot varandra.* -Kommer elkopplingen att fungera? -*Nej.* De prövar. -Går det någon ström? -*Nej.*

E4. Intervjuaren vänder på ett av batterierna så att det blir två som är kopplade mot varandra. Han frågar: -Lyser lampan om man kopplar så här? -*Nej.* -Varför inte det? -... *Det kan inte röra sig någonstans.* -Rita motsvarande vattenkoppling! Eleven ritar den korrekt, och säger: -*Här suger pumpen in och här suger den också*

in, det är inte så bra! Här och här trycker pumpen det är heller inte så bra! Den försöker trycka ihop vattnet. Den snurrar inte.

E3. -Vad tror du... -Jag tror inte att det lyser. -Varför inte? -Det är + till + och - till -. -Varför skulle inte det gå? -Om det vore vatten så är det utgång till utgång och ingång till ingång och det går inte förbi varann det är tvärstopp.

6.5 Vad tycker eleverna?

Överlag har eleverna varit positiva till vår undervisning. De tycker att det varit roligt. De säger sig ha lärt sig mycket. Flickorna har varit särskilt positiva. Vi vill inte övervärdera denna positiva bedömning eftersom situationen är så speciell - en lärare har undervisat endast en elev per lektionstillfälle.

Det faktum att flickorna är mer positiva än pojkarna skall ses mot bakgrund av att det vanligtvis brukar vara tvärt om när det gäller fysik och teknik, inte minst ellära. Vi gissar att en bidragande orsak är att experiment med vattenkretsar inte är lika traditionstyngt som studier av elkretsar, och att flickor därför inte här har förutfattade meningar i samma utsträckning som vid 'traditionell' el-undervisning. (Se t ex E14 nedan som är flicka. Hon förknippar inte ens AVE-programmet med fysik.)

Här följer exempel på vad eleverna anser om vår undervisning.

E4. -När man tänker på dom elektriska kretsarna, tycker du att det är någon hjälp att tänka på vattenkretsarna? -*Väldigt mycket hjälp!* -Kan du beskriva på vilket sätt? -*De är så lika. Vatten är mycket lättare att gå på än elektricitet. För mig är det det i alla fall, jag förstår vatten lättare.*

E10 -Tycker du att det vi gjort har varit roligt, tråkigt eller mitt emellan? -*Roligt. Vattnet är roligare, det är lättare att förstå.* -Tycker du att vattnet är till någon hjälp? *Ja.* -Kan du mer om elektrisk ström nu än innan. -*Lite mer förstår jag nu, men osäkert om jag kan mer än innan.*

E11. -Tycker du att du har någon hjälp av att tänka med hjälp av vatten för att lösa problem med elektricitet? -*Ja.* -Hur använder du kunskaperna om vattensystemen för att förstå elektricitet? -*Ja, för att ta reda på om det lyser och hur mycket det lyser och ifall man sätter ett motståndsström, eller vad det heter. Ifall man sätter tre lampor efter varandra har jag hjälp att förstå vilken som lyser mest och så.* -Om du tittar på dem då? Har du hjälp då? -*Ja. Vad menar du?* -Använder du vattenjämförelsen för att tänka ut svaren på elektricitet? -*Först tänkte jag "elektriskt" och se'n gick jag över till att tänka på vatten.*

E12. -Kan detta vara till hjälp för att förstå elektriska kretsar bättre? -*Det kan nog vara till hjälp. Det är ju samma princip. Jag tycker själv att det är lättare att se med vattenslangar. Om man kopplar elektriska sladdar hit och dit så vet man inte vad som händer, men med vatten vet man ju att pumpen måste få vatten för att pumpa ut något.*

E13. -Du sa förut att du ändrade dig när du fick se vattenkretsen, kan du berätta mer om det? -*Det är lättare att se när det pumpar vatten. Jag vet att vatten inte kan tryckas ihop det måste ta vägen någonstans, annars kan man inte trycka ihop det.*

-Tror du att detta kan vara en hjälp när man skall lära sig el? -*Ja.* -Har du tyckt att det har varit roligt tråkigt eller sådär? -*Det har varit roligt.*

E14: -Har det varit roligt? -*Det har varit intressant, jag tycker att jag har lärt mig en del, det har varit lättare om man tänker på vatten.* -Om du skulle stöta på problem som har med elektricitet att göra tror du att du skulle lösa dom lättare nu? -*Du menar fysik och så? Ja det skulle gå lättare, jag skulle tänka på detta. När man tänker på vattenpumparna och det så tänker man mer logiskt, det är lättare och mer nära.*

6.6 Resultat av eftertest

För att få en indikation på om eleverna faller tillbaka till sitt gamla lokala tänkande om el- och vattenkretsar gav vi efter cirka sju månader, inklusive sommarlovet, varje elev samma uppgifter som han eller hon fick som förtest (se avsnitt 5.2). De två elever som bara gjort några få uppgifter (E10 och E14) fick ett utvidgat test. Resultatet av eftertestet framgår av tabell 6.4, där också varje elevs förtestresultat finns med.

Tabell 6.4 Elevers resultat på uppgifter före respektive efter undervisningen. 1 = alla rätt på en uppgift. 0 = ett eller flera fel en uppgift. '-' betyder att eleven inte gjort uppgiften. 0/1 betyder fel på förtest och rätt på eftertest.

elev	åk	U P P G I F T						
		vattenkretsar		strömmen?	seriekoppl		lyser lampan?	
		1	2	3	4	5	6A	6B
E1	(6)	0/1	0/1	0/0*	0/0	0/0	-	0/1
E2	(6)	0/1	0/1	0/1	1/1	0/1	-	0/1
E3	(6)	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	-
E4	(6)	1/1	1/1	0/0	0/1	0/1	1/1	-
E5	(7)	1/1	0/0	1/1	1/1	-	1/1	-
E6	(7)	0/1	0/1	0/1	0/1	-	1/1	-
E7	(7)	0/1	0/0	0/0*	0/1	-	-	1/1
E8	(7)	0/1	0/1	0/1	0/1	-	-	1/1
E9	(7)	0/1	0/1	1/1	1/1	0/1	0/1	-
E10	(7)	-1	-1	-1	-1	-1	0/1	0/0
E11	(8)	1/1	0/1	1/1	1/1	-	-	0/1
E12	(8)	1/1	1/1	1/1	1/1	-	1/1	-
E13	(9)	1/1	1/1	0/0	1/1	0/1	-	0/1
E14	(9)	-1	-1	-1	-1	-1	1/1	0/1

*) betyder att eleverna övergett sin förtestidé om motsatta stömmar och övergått till en cirkulerande modell, men med förbrukning av ström i lampan.

Av intresse är att eleverna E3 och E4, då de motiverar sina eftertestsvar på uppgift 4 och 5, framhåller att det är samma sak/princip som i uppgift 1 och 2.

7. DISKUSSION

7.1 Vilka svar har vi på våra frågor?

Vår allmänna frågeställning är om AVE-programmet över huvud taget fungerar med elever i åldern 13-16 år. I anslutning härtill har vi formulerat fyra mer preciserade spörsmål (se 5.1). De två första gäller vattenkretsar. Vi vill veta dels vilka svårigheter eleverna har att förstå, dels om de kan förbättra sin förståelse.

Beträffande svårigheter märkte vi sådana redan under lektion 1 då vi satte en klämma på slangen som förband två sprutor. Många elever ansåg att om man trycker in en spruta så åker den andra inte ut lika mycket. Argumenten varierar. Ett är att det nu inte kommer fram lika mycket vatten - eleven tänker inte på att vattnet visserligen strömmar långsammare genom förträngningen, men håller på en längre tid. Man kan se detta som fokusering av en lokal detalj utan att samtidigt beakta hela systemet. Ett annat argument är att vattnet stannar framför förträngningen. Kanske är det erfarenheter av fördämningar som ligger bakom. Också detta kan ses som fokusering av en lokal omständighet utan att samtidigt beakta systemets egenskaper, dvs att det inkompressibla vattnet är helt inneslutet och slangarna stela. (Kanske borde vi ha poängterat slangarnas egenskaper bättre. De är dock ganska uppenbara då man hanterar de olika sprutsystemen, vilket eleverna gör.)

Vi tycker att begreppet lokalt tänkande kan användas för att generellt beskriva dessa elevernas svårigheter. Det lokala tänkandet tar sig olika uttryck för olika elever och situationer.

Den fortsatta undervisningen demonstrerar att eleven visserligen har lärt sig att ett hinder inte inverkar på hur mycket den andra kolven åker ut, men att flödesvillkoren likväl inte är fullt förstådda. När vi introducerar två flödesmätare tänker sig nämligen eleverna relativt ofta att den mätare som är längst bort från den skjutande sprutan går långsammare än den som är närmast. Ett argument är att det blir jobbigare mot slutet, vilket kan ses som ett lokalt tänkande, färgat av erfarenheten att man blir trött mot slutet av en färd. Beaktar man hela systemets egenskaper måste man korrigera denna idé.

Lektion 2 handlade om poler och deras motsvarighet inlopp och utlopp. Vi hade väntat oss att de olika vattenkretsarna skulle vara lätta att förstå, men tvingades konstatera att det fanns en del svårigheter. I många fall tänkte sig eleven att vattnet kan gå in och ut samtidigt i en slang, t ex den som går till en enpoligt ansluten flödesmätare. Vi gjorde erfarenheten att eleven efter att ha provat olika kopplingar och talat om saken insåg att detta inte var möjligt.

I andra fall handlade svårigheten om att beakta två omständigheter samtidigt. Eleven tänkte sig att en enpoligt ansluten pump pumpade ut vatten hela tiden utan att samtidigt notera att det i så fall också måste komma vatten in till pumpen.

Under lektion 4 introducerades slutna vattenkretsar med pump, tre flödesmätare och klämma. Här kunde vi konstatera, att elever som svarat fel på vårt diagnostiska förtest (se avsnitt 5.2, uppgift 1 och 2) nu ofta förstod flödesvillkoren för dessa kretsar, ett framsteg som rimligtvis förklaras av undervisningen under lektion 1 och 2. Några hade fortfarande en tendens att tänka sekvensiellt och lokalt men de korrigerade sig själva, ibland spontant, ibland efter påstötningar från intervjuaren.

Sammanfattningsvis konstaterar vi, att det finns åtskilliga svårigheter att förstå vattenkretsar, och att någon lätt väg till insikt inte står till buds. Våra observationer visar dock att eleven hela tiden gör framsteg. Resultatet av eftertestet motsäger inte detta. Inga elever har sämre resultat på 'vattenkretsar'. Av de möjligheter till framsteg som föreligger har 88% tillvaratagits. Vi tycker att detta är bra nog mot bakgrund av att lång tid har förflutit (cirka 7 månader) och att ytlärda detaljer därför torde vara glömda - endast en viss förståelse överlever en hel sommar. Vi tolkar alltså resultatet som tecken på en begreppslig utveckling, låt vara i det lilla formatet.

Så till fråga 3 - kan eleven avbilda vattensystem på elsystem? Vi har funnit att eleverna utan större svårigheter klarar att avbilda pump på batteri, flödesmätare på lampa och slang på sladdar (lektion 2). De torde vara hjälpta av att det är en del perceptuella likheter mellan de båda slagen av kretsar. Begreppet laddning måste införas, och det tar tid för eleven att lära sig använda det och att skilja på laddning och ström. Cirka hälften av eleverna klarar att koppla upp den elektriska motsvarigheten till olika vattenkretsar (se fig 5.4). Övriga behöver viss hjälp. Som helhet besvarar vi fråga 3 med ja.

Hur är det då med fråga 4? Kan eleverna använda kunskaper om vattenkretsar till att göra förutsägelser om vad som kommer att hända i elkretsar? Under lektion 3 har vi observerat att tre elever av tretton explicit använder vattenanalogin för att lösa elektriska problem, ibland spontant, ibland stimulerade men ej hjälpta av intervjuaren. Övriga löser de elektriska problemen korrekt utan att nämna vattenanalogin. Detta är ett avsevärt framsteg jämfört med förtestet (se tabell 5.1, uppgift 6A och 6B). En bidragande orsak till det goda resultatet torde vara att likartade kopplingar har förekommit i slutet på lektion 2, dock inte problem E - se figur 5.4. Men studiet av vattenkretsar och gjorda analoga avbildningar har förmodligen också hjälpt till.

Under lektion 4 kommer alla elever in på vattenkretsar med tre flödesmätare, utan eller med klämma. När väl dessa kretsar retts ut kan en övervägande majoritet förutsäga hur motsvarande elkretsar beter sig vad avser ström och lampornas ljusstyrka. Vi anser oss dock inte kunna säga något om djupet i elevernas användning av vatten-analogin. I en del fall är det förmodligen fråga om en ganska ytlig avläsning av vattenkretsen, snarare än en genomtänkt begreppslig förståelse.

Eftertestresultatet (se tabell 6.4) visar att en del av det eleverna lärt sig om elkretsar sitter kvar efter sju månader. Inga elever är sämre på eftertestet. Av de möjligheter till förbättringar som finns på uppgift 3 tom 6 är 80% tillvaratagna. Uppgift 3 är svårast. Här tillvaratas 50% av de möjligheter till förbättringar som föreligger. Två elever går också från modellen 'motsatta strömmar' till 'cirkulation men strömförbrukning', vilket vi ser som en utveckling som dock inte nått ända fram.

Som helhet tycker vi dessa resultat är tecken på att begreppsbyggnaden i ellära går åt rätt håll. Vi vill dock understryka dels att det knappast är rimligt att en genomgripande begreppslig förändring i ellära har ägt rum på grund av fyra lektioners undervisning. Vi ser alltså resultaten som en positiv indikation, men inte mera.

Det är intressant att jämföra resultatet på uppgift 1 och 2 (vattenkretsar) med det på uppgift 3 (strömmodeller). Den senare uppgiften har inte behandlats under våra lektioner. Framstegen på uppgift 1 och 2 är flera än på uppgift 3. Vi tänker oss att förklaringen till denna skillnad är följande: Beträffande vattenkretsar så gäller det för eleven att överge sitt sekvenstänkande. Denna svårighet finns också för elkretsar, men för dessa tillkommer ännu en komplikation, nämligen vardagsspråkets budskap att ström är något som förbrukas. 'Slösa inte med strömmen!', 'Vad dyr

strömmen är!" Du måste skära ned din strömförbrukning' är några exempel vanliga uttryck. Vi tror därför att det inte räcker med att att förstå flödesvillkoren för vattenkretsar för att inse elströmmens konstans. Eleverna behöver också hjälp med att klargöra vad det är för något som förbrukas och som vi betalar för. Om detta något inte är ström, vad är det då? Vi återkommer till problemet i avsnitt 7.4 då vi diskuterar 'att skilja på energi och ström'.

Sammanfattningsvis har vi nu underlag för att besvara fråga 4 med ja, och eftersom vi också har positiva svar på fråga 1, 2 och 3 så är vår övergripande fråga jakande besvarad. AVE-programmet fungerar tillfredsställande med de elever vi valt ut, vilket i sin tur är en första indikation på att det också kommer att fungera med andra elever i åldern 13-16 år. Vårt urval är dock mycket litet, varför en överdriven optimism inte är befogad.

Ett problem som noterats i litteraturen (Kircher, 1984) är att vattenkretsar och elkretsar utgör två skilda världar, och att vissa elever därför inte förstår hur kunskaper om den ena kan säga något om den andra. Kircher refererar till Wilkinson (1972) som undersökt hur eleverna påverkats av undervisning om en vattenanalogi lanserad av det sk Nuffield-projektet. Wilkinson fann att 11 av 33 elever inte ser någon likhet mellan en vattenkrets och en elkrets. (Vår kännedom om Nuffield-projektet gör att vi förmodar att eleverna var i 12-årsåldern. Detaljerna i Wilkinsons arbete är inte tillgängliga för oss, så vi kan varken bedöma undervisningsprogrammet eller detaljerna i testproceduren.)

Den nämnda svårigheten har inte varit påfallande bland våra elever. Man kan dock notera en betydande spännvidd alltifrån elev E4 som rörligt och produktivt använder analogin (se sid 55-56) till E11 (sid 54), som efter en lång dialog börjar ana att det finns ett samband mellan vatten- och elkretsar: *-Snurrar inte kulan kan man glömma att lampan lyser.*

7.2 Vatten- och elkretsar: samma begreppsliga svårigheter

Då vi först började fundera över ett analogiprogram för elkretsar så trodde vi att vattenkretsar var lätta att begripa och därför en lämplig bas. Analogitänkande går ju ut på att gå från det väl förstådda till det mindre kända - en klar pedagogisk poäng. Det vi funnit är att vattenkretsar och elkretsar erbjuder likartade begreppsliga problem. Detta var känt tidigare när det gäller sekvenstänkande. Se Gentner och Gentner (1983), Schwedes (1984) och Dupin & Joshua (1989). Härutöver har vi visat att elevernas polaritetsproblem när det gäller elkomponenter också är vid handen för motsvarande vattenkomponenter.

Om man vill använda vattenanalogin i undervisningen krävs därför en ingående behandling av bassystemet. Detta betraktas som negativt av Kircher (1984), som anser att det finns en risk för att fokus för undervisningen förskjuts från elektricitet till hydromekanik. Det tar för lång tid för läraren att komma fram till elkretsar, som är ett viktigare och centralare innehåll i utbildningen än vattenkretsar.

Dupin och Joshua (1989) menar att bassystemet i en analogi måste vara mindre komplicerat än målsystemet och lätt att begripa sig på för eleven. De använder därför tåganalogin (se avsnitt 4.2) i stället för vattenanalogin.

Vi betraktar dessa synpunkter som värdefulla men inte avgörande. Först konstaterar vi att tåganalogin har fler brister än vattenanalogin, och därmed färre didaktiska möjligheter (se avsnitt 4.2). Vidare erinras om att enpoliga uppfattningar om lampor och batterier, idéer om batterier som strömgivare och sekvenstänkande/lokalt tänkande är vanligt ända upp på begynnande universitetsnivå (se kapitel 3). Någon gång måste man ta itu med dessa svårigheter, ju förr dess bättre. Vattenkretsar framstår för oss som ett utmärkt sätt att börja i grundskolan. De är konkreta. Man ser både vattnets rörelse och dess effekter. I elkretsar är laddningen och dess rörelse osynlig. Enbart strömmens effekter kan observeras. Vår undersökning visar att vattenkretsar kan göras begripliga med en rimlig tidsinsats, under förutsättning att läraren i förväg gör i ordning de olika kretsarna. Det skulle ta alltför lång tid om eleverna själva måste utföra de olika kopplingarna.

Det som från början verkade vara en svaghet i AVE-programmet - att basen är mindre väl känd på grund av begreppsliga likheter med elkretsar - ser vi nu snarast som en styrka. Vi har tvingats ta itu med djupt rotade vardagsbegrepp om flöden i slutna system i ett konkret sammanhang, varefter eleverna får använda kunnandet analogt när det gäller elkretsar. Samma vetenskapliga begrepp övas med andra ord i två olika sammanhang, vilket rimligen bör vara till fördel för begreppsbyggnaden.

Vårt att notera är att merparten av våra fjorton elever anser att vattenkretsar hjälper dem att förstå elkretsar (se avsnitt 6.5). Deras förklaring är att de kan se vattnet och hur det strömmar.

7.3 Vattenkretsar och orsakstänkande

Lingvisterna Lakoff och Johnsson (1980) beskriver en tankestruktur, som de kallar 'erfarenhetsgestalten kausalitet' (EGK). Den består av en agent, som antingen direkt eller med hjälp av ett instrument påverkar ett objekt. Ju mer agenten anstränger sig, desto större blir effekten på objektet. Om ett motstånd av något slag införs reduceras effekten. Om jag (agent) skjuter på en låda (objekt) så rör sig lådan (effekt). Ju mer jag tar i, desto fortare rör den sig. Om underlaget blir skrovligt (motstånd) reduceras effekten. Ofta erfar vi att effekten av en agents ansträngning är avståndsberoende. Lådan rubbas t ex lättare om vi har den nära oss än på armslängds avstånd. EGK byggs upp från tidigaste barnår och den utgör ett grundläggande mönster för att strukturera omvärlden.

Det nu sagda kan utgöra en tolkningsram för elevernas uppfattningar om vattenkretsar. Den som använder EGK kan tänkas resonera på följande sätt: Om man skjuter in den ena sprutan (agent), så åker den andra ut (effekt). Om man inför ett motstånd (klämma) så reduceras effekten - den andra sprutan åker inte ut lika mycket. Agentens ansträngning är avståndsberoende - flödesmätaren som sitter längre bort snurrar långsammare. (Det vore intressant att låta eleverna jämföra två sprutor förbundna med dels en kort, dels en lång slang vad avser effekten av en given intryckning.) Det finns inga direkta tecken i eleverna utsagor på att de använder sig av EGK. Men det är frestande att tro, att den på något sätt finns med i bakgrunden av deras tänkande.

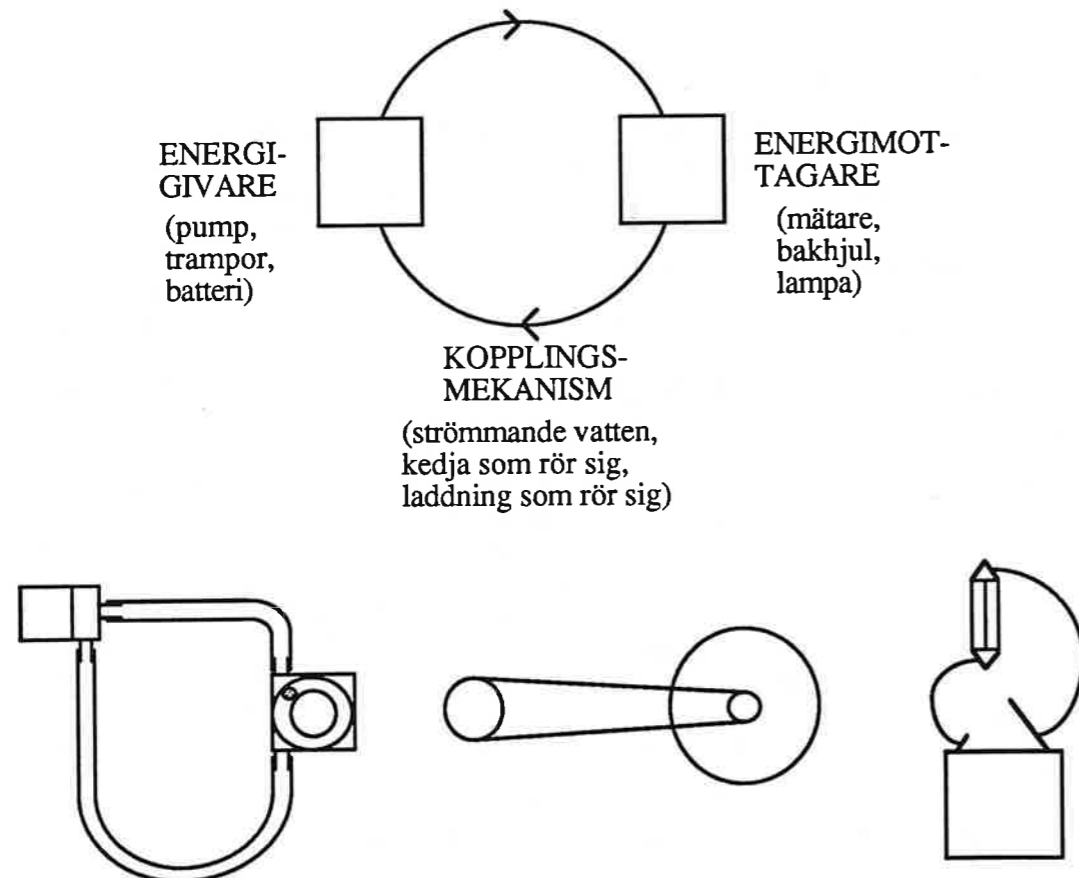
7.4 Idéer om en fortsättning på AVE-programmet

Som tidigare nämnts är det egentligen för mycket att tala om AVE-programmet. Ett rikligare ord är ansats - det är fråga om ett nytt sätt att tänka om den första undervisningen om el-kretsar. Vi har ju bara genomfört fyra lektioner.

Det är osannolikt att man åstadkommer en varaktig övergång från vardagliga till vetenskapliga begrepp på så kort tid, även om den utnyttjas väl och eleverna är intresserade. Det behövs därför en fortsättning. Här följer några idéer.

Att skilja på energi och ström

En ofta återkommande vardagstänke hos elever på såväl grundskola som gymnasium är att batterier är reservoarer för ström, som de avger till lampor och andra apparater där den förbrukas. Ett bra exempel på detta sätt att tänka ger E4 (se sid 55-56). Vattenanalogin försätter honom i en konflikt. Å ena sidan tycker han att en lampa förbrukar ström, å andra sidan säger vattenanalogin att strömmen är densamma i hela kretsen. Han hade kanske kunnat lösa upp denna konflikt om han fått begreppen energigivare och energimottagare av intervjuaren. Batteriet är energigivare, lampan energimottagare. Laddningen som går runt kopplar över energin, men förbrukas inte, den bevaras och går inte att pressa ihop. Därför är strömmen densamma på varje punkt i kretsen så länge energiöverföringen pågår. Det finns analoga system. Ett är givetvis vattenkretsen. Pumpen är energigivare, mätaren energimottagare. Vattnet som flödar kopplar över energin. Det brukas utan att förbrukas. Ännu ett analogt system återfinner vi på en vanlig cykel. Pedaldrevet och cyklisten är energigivare, bakhjulet energimottagare och kedjan det system som kopplar över energin från källa till mottagare. Se figur 7.1. Resonemang av denna typ kanske kan hjälpa eleven att börja skilja på ström och energi.



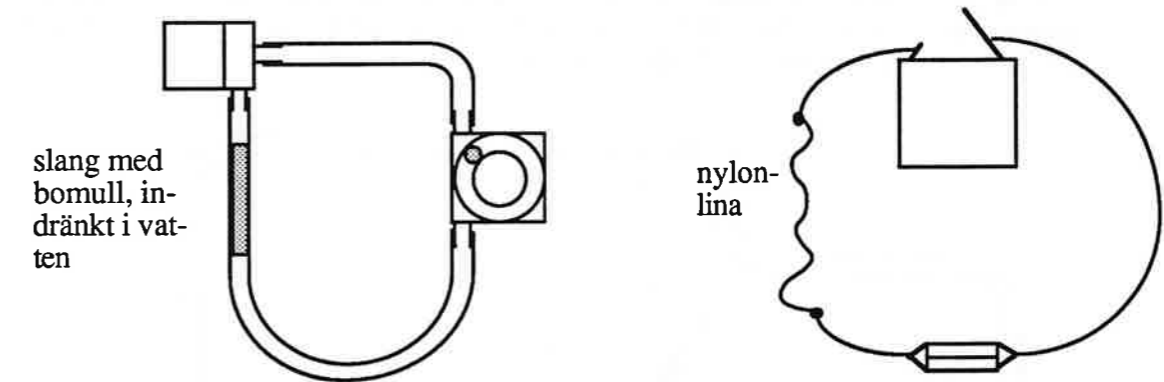
Figur 7.1 Tre analoga system för energiöverföring

Att skilja på energi och spänning

En idé till ett första steg i riktning mot att skilja på energi och spänning är att låta eleven koppla en lampa till olika stora batterier av samma grundkonstruktion och konstatera att den lyser lika starkt i samtliga fall. Det beror på att de olika batteriernas förmåga att hålla igång en ström (jämför med pumpkraft) är densamma, trots att de är olika stora. Denna förmåga är en egenskap hos batteriet, och mäts i volt. Det står ju också 1,5 volt på alla batterier som prövats. Men med vilka ord skall man då tala om de olika storlekarna? Jo, ju större batteri, desto mer energi rymmer det. Det stora batteriet kan hålla igång en given lampa längre tid än det lilla.

Att skilja på laddning och ström

Antag att vi kopplar in en nylonlina som en del av en enkel elkrets (batteri och lampa). Lampan lyser inte. Jämför detta med att i en vattenkrets koppla in en slangdel som är fylld med bomull indränkt i vatten. Mätaren snurrar inte. Det är visserligen vatten runt hela kretsen, men en del kan inte sättas i rörelse. Motsvarigheten är att det visserligen finns laddning i nylonlinan, men att den inte går att sätta i rörelse under de betingelser som råder. Nylon är exempel på en isolator. Eleverna kan tänka ut lämpliga experiment för att ta reda på vilka material som är isolatorer.



Figur 7.2 En analogi till isolator

Samband mellan spänning, ström och resistans

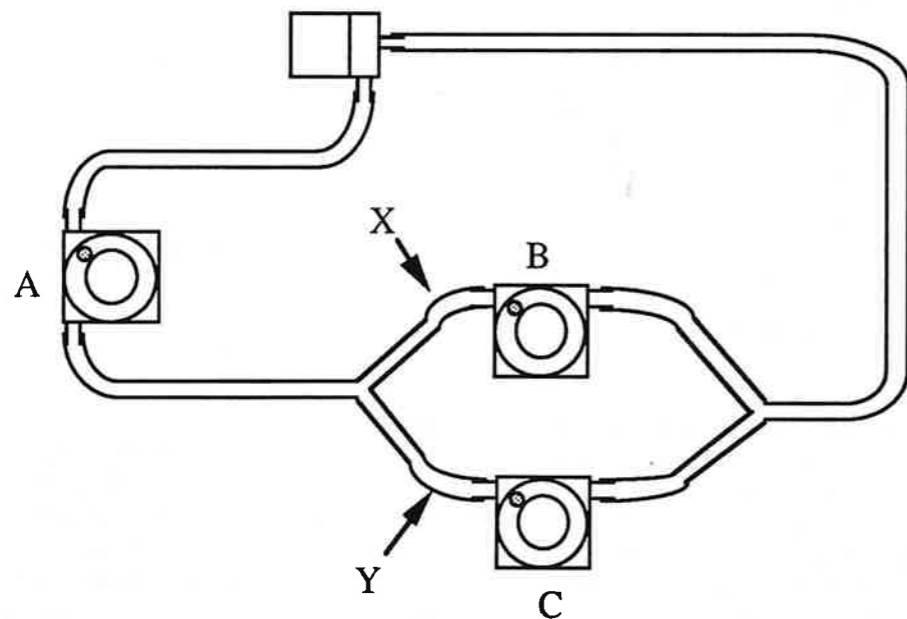
Det är vanligt att man i grundskolans undervisning behandlar samband mellan spänning (U), ström (I) och motstånd (R) för en likströmskrets. Med särskilt intresserade elever kanske man går så långt som till $U=RI$. För alla elever är det av värde att ha en kvalitativ känsla för vad denna 'Ohms lag' rör sig om: Om spänningen ökar, så ökar strömmen, givet att motståndet är detsamma. Om motståndet ökar så minskar strömmen, givet att spänningen är densamma. Vi noterar att dessa kvalitativa relationer är i full överensstämmelse med erfarenhetsgestalten kausalitet (se avsnitt 7.3), och därför i princip fattbara för högstadiets elever. Det finns dock två svårigheter. Den ena är begreppet spänning, som man kanske kan nalkas via vattenanalogin - på samma sätt som pumpen har en viss förmåga att hålla vattnet i rörelse så har batteriet en viss förmåga att hålla laddningen i rörelse. Denna förmåga kallas spänning, och är alltså en egenskap hos batteriet. Den andra svårigheten är att förstå detaljerna när det gäller hur laddningen rör sig, t ex att strömmen är densamma i hela kretsen och att strömmen ändras samtidigt i kretsen om motståndet ändras i en punkt. Om dessa strömmens egenskaper har alla de tidigare lektionerna handlat, varför det rimligen finns en god

grund för att gå igenom Ohms lag kvalitativt. Vid genomgång kan man med fördel referera till vattenkretsen, men den är nu så välbekant att experiment knappast behöver göras. Eleven vet t ex vad som händer med vattenströmmen om en klämma dras åt, och kan lätt överföra detta till elkretsen.

Serie och parallellkoppling

Också seriekoppling av motstånd ligger i linje med erfarenhetsgestalten kausalitet. Ju fler motstånd man kopplar in, desto svagare blir strömmen i hela kretsen. Vi tror att eleven efter våra inledande fyra lektioner förstår detta direkt och därför inte har behov av experimentell verifiering varken för vatten- eller elkretsar. Vi vill dock här inskjuta, att de flödesmätare vi använt erbjuder ett relativt litet motstånd för vattnet. Därför blir skillnaden i hastighet mycket liten om man jämför 'en pump - en mätare' och 'en pump - tre mätare'. Det är för övrigt svårt att åstadkomma samma tryckskillnad över två pumpar, vilket är nödvändigt om man vill jämföra.

Om man kopplar in ytterligare ett motstånd i serie i en krets, så minskar strömmen i hela kretsen. Hur blir det om man i stället parallellkopplar? Ett sätt att närma sig frågan är att låta eleven studera vattenkopplingen i figur 7.3. Man börjar med klämma Y helt åtdragen. Mätare C snurrar inte alls. Mätare A och B snurrar sakta. Eleven får frågan: Vad händer med mätare A om vi öppnar klämma Y? Om eleven prövar kan han se att mätare A snurrar fortare. Det sammanlagda motståndet i kretsen har alltså minskat. (Mätarna har tyvärr inte sådan precision att man lätt kan verifiera att flödet genom A är summan av flödena genom B och C.)



Figur 7.3 Vattenkrets med grenledning.

8. REFLEXIONER OM ANALOGIER

Huvuddelen av den här rapporten har handlat om en enda analogi, nämligen vattenkrets-elkrets. I detta avslutande kapitel vidgar vi perspektivet och redovisar några observationer och reflexioner angående analogier i allmänhet.

8.1 Några begreppsliga distinktioner

Vårt språk har tre ord för vad som strukturellt är samma sak, nämligen liknelse, metafor och analogi. Det finns veterligen inga vedertagna definitioner genom vilka innebörderna av de tre orden blir klart åtskilda. Måhända behövs inte sådana definitioner. Här följer likväl ett försök till sådana.

Den som vill betona att något av en kategori är likt något av en annan kategori använder en liknelse. Läraren säger t ex: Vi kan likna hjärtat (ett levande system) vid en pump (ett mekaniskt system). Om man vill framhålla att något av en kategori är en något av en annan kategori använder man en metafor. Exempelvis säger psalmisten: Herren (en gudom) är min herde (en människa). Såväl liknelser som metaforer kan byggas ut till analoga modeller: Hjärtat cirkulerar blod på liknande sätt som en pump cirkulerar vatten. Herren tar hand om mig på samma sätt som herden tar hand om ett får i sin hjord.

Som synes innebär analoga modeller en större precision. Liknelser och metaforer är antydningar till analoga modeller. De lämnar utrymme för fantasin att göra tolkningar.

Läsaren undrar nu måhända varför vi använt ordet 'analog modell' och inte bara analogi. Svaret är att vi gärna vill ha ett ord som täcker såväl liknelse som metafor och det vi kallat analog modell. Vi tycker att analogi passar bra till detta, och för att få viss ordning på språkbruket kan vi då inte använda samma ord i en underordnad betydelse. Därför inför vi 'analog modell' i stället.

Analogier kan strukturellt delas in i enkla och komplexa. Enkla analogier innebär att en relation mellan två objekt överförs (A förhåller sig till B som C till D). 'Handen sitter ytterst på armen liksom foten sitter ytterst på benet.' 'Solskenet fastnade på alla pälsmössorna som frömjöl på humlorna.' (Tomas Tranströmer).

Komplexa analogier innebär att flera relationer mellan två eller flera objekt överförs. Ett exempel är planetmodellen för atomen, ett annat 'Diskussionen mellan professor A och professor B är ett krig mellan två generaler.' Den senare analogin innebär att krigets relationer överförs till diskussionens arena - angripa, försvara, besegra, hålla stånd, sära, lurpassa, fly...

En allegorisk berättelse kan ses som en komplex analogi.

Ett annat sätt att dela in analogier är att gå efter syfte. Vår vatten-elanalogi har syftat till förklaring och förutsägelse. I andra fall kan syftet vara att uttrycka eller framkalla känslor ('Herren är min herde') eller att med eftertryck förmedla erfarenheter ('Den här lektionen var som ett maratonlopp i stekande sol').

Det förekommer att man använder en bas hämtad från någon vetenskap för att med en analog avbildning ge sina idéer ökad tyngd. Ett exempel är filosofen John Lockes idéer om samhället (Capra, 1982, s 69). En regering, ansåg han, skulle inte tvinga på folket lagar, utan i stället upptäcka och förstärka de naturliga lagar enligt vilka samhället fungerade innan regeringen fanns, detta i analogi med Newtons teori om korpuskler, som växelverkade enligt givna naturlagar. Till de naturliga lagarna för ett samhälle hörde enligt Locke frihet och jämlikhet för alla individer, liksom rätt till egendom. Analogin måste betecknas som tunn. Samhället motsvaras av en gas och individerna av korpuskler. Inga relationer överförs från bas till målsystem, utom 'det finns naturliga lagar för hur delarna beter sig'. Man misstänker att Locke använde kopplingen till Newton för att ge sina idéer om samhället ökad prestige och tyngd.

8.2 Analogitänkande - en grundläggande aspekt av kognitionen?

Det torde framgå av förra avsnittet att analogitänkande är vanligt förekommande och att det rymmer rika möjligheter att länka samman kunskaper och erfarenheter. Kanske är det en försummad dimension när det gäller att förstå människans tänkande. Här följer några fler exempel som vi anser stöder denna förmodan.

Invandrareleven undrar hur man bildar pluralis av häst. Som potatis, svarar hans lärare. Den aktuella relationen mellan potatis och potatisar är 'plural genom ändelsen -ar'. Denna relation i basen skall överföras på målsystemets objekt. Det ena av dessa är häst. Då måste det andra objektet vara hästar!

Den här sortens exempel är legio: Hoppa förhåller sig till hoppade som skvallra till skvallrade. Lång förhåller sig till längre som trång till trängre. Osv.

Hur individer faktiskt tänker när de använder sig av grammatiska typexempel vet vi inte. Men vi kan konstatera att det i varje fall finns en analogiaspekt med i spelet.

Analogitänkande förefaller också, i varje fall när man sitter vid skrivbordet och tänker, att ha betydelse när man bildar kategorier. Ta t ex 'arbetsredskap'. 'Skalpell' och 'ord' tillhör båda kategorin. Analogin är att kirurg förhåller sig till skalpell som talare till ord. En annan kategori är 'motsats'. Att hitta på ordpar som tillhör kategorin innefattar analogitänkande: stark förhåller sig till svag som vild till tam som varm till kall etc.

De nu redovisade observationerna är osystematiska. De är helt enkelt sådant som vi kommit att tänka på då vi arbetat med analogier. De passar dock väl ihop med ett mer metodiskt forskningsarbete, som utförts av lingvisterna Lakoff och Johnson (1980). De har studerat engelska språket och på ett övertygande sätt dokumenterat hur rikt det är på analogier- de flesta dolda för det otränade ögat - och att dessa påverkar hur vi upplever omvärlden och handlar i olika situationer. (Deras bok heter 'Metaphors we live by', men vi håller fast vid vår användning av 'analogi' som överordnat begrepp.) I själva verket lanserar Lakoff och Johnson en teori för begreppsutveckling, där analogibildning utgör en betydelsefull mekanism. Författarna visar bl a att våra grundläggande sinnliga erfarenheter av händelser, objekt och personer utgör basen för analogier som försöker begripa det som är mindre påtagligt.

Låt oss ta två exempel (boken innehåller hundratals). Ett är analogin 'tid är pengar'.
 -Du slösar bort min tid.
 -Den här apparaten kommer att spara timmar.
 -Punkteringen kostade oss tre timmar.
 -Jag har inte någon tid över.

En annan analogi är 'livet är en behållare'.
 -Livet är tomt för honom.
 -Hennes liv innehöll en hel del sorg.
 -Livet är fyllt av glädje.

Det finns några undervisningspoänger med det nu sagda.

Eftersom analogitänkande tycks spela en viktig roll i människans tänkande, så är det också en kandidat till innehåll i skolans undervisning, lämpligen i svenska, filosofi och naturvetenskap. Jämför med våra synpunkter i avsnitt 5.1. Det finns också anledning att fråga sig om analogier inte kunde utnyttjas mera i skolan som ett redskap för lärande. En annan sida av detta är att studera hur lärare undervisar i syfte att klarlägga vilka analogier de använder för att få eleverna att förstå. Med begreppsapparaten i denna rapport kan eventuella analogier fingranskas. Kanske beror en del av elevernas 'konstiga' begrepp på att ogenomtänkta analogier använts. Kanske är det en viktig del av lärarskickligheten att intuitivt hitta lämpliga analogier.

8.3 Paketanalogin för kommunikation

Alla analogier som vi använder är inte bra. En förklaring kan vara att språket släpar efter vetenskapliga landvinningar. En analogi kan med andra ord återspegla äldre tiders insikter och synsätt. Vi skall i detta avsnitt granska en sådan mindre lyckad analogi, som har betydelse för hur vi kommunicerar, bl a då vi undervisar. Analogin har systematiskt undersökts av lingvisten Michael Reddy (1979). Han kallar den för 'the conduit metaphor' (ledningsmetaforen). Vi har gjort en fri översättning, nämligen 'paketanalogin för kommunikation'.

Betrakta uttrycket '*Hans föredrag gav mig en ny idé.*' Bakom detta döljer sig en analogi vars bas är erfarenheten att man kan förflytta ett objekt till någon genom att lägga det i en behållare, t ex en låda, och transportera det till mottagaren, som öppnar och tar ut objektet. I analogin är det idén som motsvarar objektet och orden den behållare i vilken objektet-idén förpackas. Kommunikationen består i att behållaren skickas från sändare till mottagare som tar ut objektet - idén ur behållaren - språket. Här följer några fler exempel:

-*Boken är fylld med många intressanta tankar.* (Nästan som på julafton. Ett paket med mycket innehåll.)

-*Hennes artikel är laddad med känslor.* (Här är paketet närmast ett patronmagasin. Öppnas med försiktighet!)

Ibland kan det hända, att mottagaren inte förstår poängen med att få ett paket. Han lägger i egna objekt i stället för att ta ut de som fanns från början. Han klandras också härför: -*Du lägger alldeles för mycket mening i de här versraderna.*

Reddy påpekar dock att det är vanligare att klandra sändaren än mottagaren: *-Det är inte lätt att hitta poängen i detta ordrika anförande.* (Onödigt stort paket med mycket omslagspapper, som är jobbigt att öppna.)

Reddy ger 141 typexempel på hur paketanalogin används i engelska språket. Han uppskattar, enligt Lakoff och Johnson (1980, s 10) att cirka 70 procent av de uttryck, som i engelskan används för att tala om språk är att hänföra till analogin ifråga. Det gemensamma för alla uttryck är följande:

-Idéer (kunskaper, mening, känslor) är objekt.

-Språkliga uttryck är behållare.

-Kommunikation består i att förflytta behållaren från sändare till mottagare, som tar ut objektet ur densamma.

Kärnan i det hela är alltså att kunskaper som sådana överförs från en person till en annan. Transporten ombesörjs av språket. En konsekvens av denna föreställningsvärld är att kommunikation är lätt och oproblematis. Kunnandet finns i språket, och kommer detta bara in i huvudet, så har budskapet 'gått hem'. Och visst kan det kännas så när vi förklarar något för någon. Men tyvärr är paketanalogin en återspeglning av en syn på kunnande, lärande och kommunikation, som numera är övergiven, nämligen empirismen - läran om att all kunskap kommer från erfarenheten. Våra sinnen antas enligt denna lära fungera som passiva men objektiva registreringsorgan. De kunskaper vi får via dem är alltså sanna och därmed en fast grund att bygga vidare på. Filosofen John Locke bidrog till denna föreställningsvärld. Han hittade på den välkända tabula rasa-analogin, som innebar att den nyfödde var som ett 'rent bord', eller oskrivet blad som vi brukar säga på svenska, på vilket de sinnliga erfarenheterna skrevs in. Lärarens huvuduppgift blir enligt denna kunskapsyn att vara informatör, en kunskapsöverförare till icke fullskrivna blad.

Numera har såväl pedagogik som vetenskapsteori övergett en empiristisk grundsyn. I stället uppfattas individens kunnande som från början subjektivt - det vi ser och förstår av omvärlden beror hela tiden av våra tankestrukturer, och dessa skapar vi själva. Vi bygger eller konstruerar våra egna tankestrukturer, vilket är en mycket aktiv process. Kunnandet är hypotetiskt till sin karaktär, och testas t ex genom förutsägelser. Verkligheten kommer alltså in som en korrektionsfaktor, men är inte den primära källan till nytt kunnande. Kunnandet är från början till slut en relation mellan en yttre verklighet och subjektiva tankestrukturer. Våra varseblivningar, begrepp, uppfattningar, kunnande osv existerar då tankestrukturerna är aktiva - 'knowing is an operation that constructs its objects', som en av Piagets aforismer lyder.

Den här synen på kunnande och lärande, som brukar kallas konstruktivismen, leder till en radikalt annorlunda syn på kommunikation än den som ges av paketanalogin. Kunnande är en levande process, som alstras av en individs tankestrukturer. Det kan inte överföras som sådant till någon annan. Det som överförs är energimönster, akustiska (t ex från stämbanden) och optiska (t ex från text). Då dessa mönster växelverkar med en persons sinnesorgan startar en aktiv tolkningsprocess - det gäller att försöka återskapa det kunnande som talaren eller skribenten har.

Det finns alltså ingen mening, inget kunnande, på den sida som läsaren nu betraktar. Ej heller överförs mening från sidan till läsaren. Det som passerar genom luften är ett optiskt energimönster. (Energin kommer från icke-texten, eftersom svart inte reflekterar ljus!) Det författarna hoppas på är att läsaren själv konstruerar den levande förståelse som gett mening åt skrivandet.

Lätt inses nu att verklig kommunikation, som resulterar i ömsesidig förståelse och tankeutveckling, kräver en mycket intensiv dialog, som bärs upp av respekt och vilja att förstå hur motparten tänker och känner.

Tyvärr är vår samlade erfarenhet att vi som undervisare tenderar att leva efter 'paketanalogin' snarare än 'konstruktionsanalogin'. Det finns därför skäl att ge akt på mer eller mindre omedvetna empiristiska tendenser. Vi avslutar därför med en skiss till en 'parlör' som vi hoppas stimulerar läsaren att i ökad utsträckning leva efter konstruktionsanalogin.

Paketanalogin

INLÄRNING (Ordet kan lätt tolkas som att kunskapen kommer in i oss utifrån.)

KUNSKAP (Ordet kommunicerar att vi har att göra med ett objekt, vilket stödjer tanken att kunskapen existerar utanför människor, t ex i bibliotek.)

KUNSKAPSINHÄMTANDE

UTBILDNING (Ordet förstärker idén att läraren sänder ut kunskaper till eleverna.)

UTBILDNINGSMINISTER

REDOGÖR FÖR INNEHÅLLET I BOKEN

JAG HAR TJATAT OCH TJATAT OCH TJATAT, MEN OHMS LAG GÅR INTE IN I DERAS SKALLAR

Konstruktionsanalogin

LÄRANDE (Ordet är i bättre överensstämmelse med idén om att kunnandet konstrueras av individen själv.)

KUNNANDE (Verbformen ansluter betydligt bättre till uppfattningen att kunnande är levande processer.)

LÄRANDE

HANDLEDNING, STIMULANS TILL LÄRANDE, UPPMUNTRAN TILL KONSTRUKTION ETC.

MINISTER FÖR SAMHÄLLSHANDLETT LÄRANDE

BERÄTTA OM HUR DU UPPFATTAT BOKENS TEXT

TYVÄRR HAR JAG INTE LYCKATS STIMULERA ELEVERNA ATT ÅTERSKAPA MITT KUNNANDE OM OHMS LAG

Fortsätt själv, ärade läsare!

REFERENSER

- Andersson, B., & Kärrqvist, C. (1979). *Elektriska kretsar*. (Rapport ELEPPER-SPEKTIV, Nr 2). Göteborg: Institutionen för praktisk pedagogik, Göteborgs universitet.
- Capra, F. (1982). *The turning point*. New York: Simon and Schuster.
- Closset, J-L. (1983). Sequential reasoning in electricity. In *Research on physics education: proceedings of the first international workshop* (pp 313-319). Paris: Editions du Centre National de la Recherche Scientifique.
- Closset, J-L. (1984). Using cognitive conflict to teach electricity. In R. Duit, W. Jung, & C. v. Rhöneck (Eds.), *Aspects of understanding electricity* (pp 267-273). Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften and der Universität Kiel.
- Cohen, R., Eylon, B., & Craniel, U. (1983). Potential difference and current in simple electrical circuits: a study of students' concepts. *American Journal of Physics*, 51, 407-412.
- Cosgrove, M., Osborn, R., & Carr, M. (1984). Children's intuitive ideas on electric current and the modification of those ideas. In R. Duit, W. Jung, & C. v. Rhöneck (Eds.), *Aspects of understanding electricity* (pp 247-257). Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften and der Universität Kiel.
- Duit, R. (1984). The meaning of current and voltage in everyday language and its consequences for understanding the physical concepts of the electrical circuit. In R. Duit, W. Jung, & C. v. Rhöneck (Eds.), *Aspects of understanding electricity* (pp 205-214). Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften and der Universität Kiel.
- Duit, R., Jung, W., & von Rhöneck, C. (Eds.). (1985). *Aspects of understanding electricity*. Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften and der Universität Kiel.
- Dupin, J. J., & Johsua, S. (1989). Analogies and "modeling analogies" in teaching: some examples in basic electricity. *Science Education*, 73 (2), 207-224.
- Gentner, D., & Gentner, D. R. (1983). Flowing waters or teeming crowds: mental models of electricity. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp 99-129). Hillsdale, N. Y.: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Gentner, D. (1981). *The structure of analogical models in science*. Technical Report No. 4451, Bolt Beranek and Newman Inc., 50 Moulton Street, Cambridge, Mass 02238.
- Horsfjord, V. (1988). *Elevene og naturfaget i grunnskolen*. Oslo: Universitetsforlaget AS.
- Kircher, E. (1984). Analogies for the electric circuit? In R. Duit, W. Jung, & C. v. Rhöneck (Eds.), *Aspects of understanding electricity* (pp 299-310). Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften and der Universität Kiel.

- Kärrqvist, C. (1984). The development of concepts by means of dialogues centred on experiments. In R. Duit, W. Jung, & C. v. Rhöneck (Eds.), *Aspects of understanding electricity* (pp 215-226). Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften and der Universität Kiel.
- Kärrqvist, C. (1985). Kunskapsutveckling genom experimentcenterade dialoger i ellära. *Göteborg studies in educational sciences*, 52. Göteborg: Acta Universitatis Gothoburgensis.
- Lakoff, G. & Johnson, M. (1980). *Metaphors we live by*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Maichle, U. (1981). Representation of knowledge in basic electricity and its use for problem solving. In W. Jung, H. Pfundt, & C. v. Rhöneck (Eds.), *Problems concerning students' representation of physics and chemistry knowledge* (pp 194-213). Ludwigsburg: Pädagogische Hochschule.
- Osborne, R. J., & Gilbert, J. K. (1980). A method for the investigation of concept understanding. *European Journal of Science Education*, 2, 311-321.
- Osborne, R. J. (1981). Children's ideas about electric current. *New Zealand Science Teacher*, 29, 12-19.
- Osborne, R. J. (1983). Modifying children's ideas about electric current. *Research in Science and Technological Education*, 1, (1), 73-82.
- Reddy, M. J. (1979). The conduit metaphor - a case of frame conflict in our language about language. In A. Ortony (Ed.) *Metaphor and thought* (pp. 284-324). Cambridge: Cambridge University Press.
- Schwedes, H. (1984). The importance of water-circuits in teaching electric circuits. In R. Duit, W. Jung, & C. v. Rhöneck (Eds.), *Aspects of understanding electricity* (pp 319-329). Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften and der Universität Kiel.
- Shipstone, D. M. (1984). A study of children's understanding of electricity in simple DC circuits. *European Journal of Science Education*, 6, 185-198.
- Shipstone, D. M., von Rhöneck, C., Jung, W., Kärrqvist, C., Dupin, J.-J., Johsua, S., & Licht, P. (1988). A study of students' understanding of electricity in five European countries. *International Journal of Science Education*, 10, 303-316.
- von Rhöneck, C. (1983). Semantic structures describing the electric circuit before and after instruction. In *Research on physics education: proceedings of the first international workshop* (pp 303-312). Paris: Editions du Centre National de la Recherche Scientifique.
- von Rhöneck, C. (1984). The introduction of voltage as an independent variable - the importance of preconceptions, cognitive conflict and operating rules. In R. Duit, W. Jung, & C. v. Rhöneck (Eds.), *Aspects of understanding electricity* (pp 275-286). Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften and der Universität Kiel.

Walz, A. (1984). Fields that accompany currents. In R. Duit, W. Jung, & C. v. Rhöneck (Eds.), *Aspects of understanding electricity* (pp 403-412). Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften and der Universität Kiel.

Wilkinson, D. J. (1972). *A study of the development of flow with reference to the introduction of electric current in the early years of the secondary school*. Master's thesis. University of Leeds' Leeds. Citerad av Kircher (1984).

Östklint, O., & Rönnlund, B. (1981). *Gymnasieelevers föreställningar om elektrisk ström..* (Rapport ELEVPERSPEKTIV, nr 5). Göteborg: Institutionen för praktisk pedagogik, Göteborgs universitet.