Helen Rengman och Helen Johansson är båda utbildade gymnasielärare i matematik och fysik vid Linköpings universitet. Artikeln är en del av Helen och Helens examensarbete som de utförde vid Nationella forskarskolan i naturvetenskapens, teknikens och matematikens didaktik vid Linköpings universitet. Fredrik Jeppsson är doktorand vid forskarskolan och har fungerat som handledare för Helen och Helen i deras examensarbete.

HELEN RENGMAN
Linköping, Sverige
helenrengman@gmail.com

HELEN JOHANSSON
Linköping, Sverige
helen.l.johansson@gmail.com

FREDRIK JEPPSSON
Nationella forskarskolan i naturvetenskapens, teknikens och matematikens didaktik
vid Linköpings universitet, Sverige
fredrik.jeppsson@liu.se

# Den elektriska kretsen – En explorativ studie av svenska elevers uppfattningar angående den elektriska kretsen

*Abstract*

***This study has developed as a part of an ongoing co-operation between Taiwan, Finland and Sweden with the purpose of examining and comparing the conceptions of students of different ages concerning electric circuits. The purpose of this explorative study is to find out what conceptions Swedish students of different ages have concerning the electric circuit. The study has been accomplished by means of semi-structured interviews. Altogether nine students in the age of eleven, fifteen, seventeen and eighteen have been interviewed. The interviews have been analyzed partly from Kärrqvist's (1985) models that students have shown regarding electric circuits. The result inter alia demonstrates that three models are to be found among the respondents corresponding to Kärrqvist's (1985) ideas. In addition, we discovered a new model, which does not correspond to Kärrqvist's (1985) models or any other known model in the literature. The new model has been named "kopplingsberoende modell" (connection-dependent model). Furthermore we revealed that all the respondents had the idea of a closed circuit where they often used the word wire to describe end explain the electric circuit.***

## Inledning

Bakgrunden till denna studie är att nationella forskarskolan i naturvetenskapernas, teknikens och matematikens didaktik (FontD) har ett samarbete med National Normal Taiwan University i Taipei och Department of Applied Sciences of Education vid Helsingfors Universitet. Målet med samarbetet är att genomföra en jämförande studie mellan elever i Sverige, Taiwan och Finland med fokus på deras uppfattning om den elektriska kretsen. Som en del i detta samarbete är syftet med detta arbete att genomföra en explorativ studie av svenska elevers uppfattningar om den elektriska kretsen.

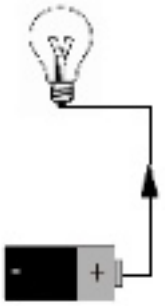
Studier om elevers uppfattningar angående elektriska kretsar är många och har genomförts i ett spektrum av olika perspektiv. I en sammanfattning av Borges och Gilbert (1999) lyfter de fram flera studier och deras resultat. I elevers redogörelser dominerar beskrivningar av karaktären att det finns något i batteriet (en orsak) som får glödlampan att lysa (en effekt). Detta något kallas ofta elektricitet, ström eller energi och dessa ord används synonymt. Tsai, Chen, Chou och Lain (2007) genomförde en studie med elever i åldern 13 till 17 år och drar slutsatsen att huvudbegreppet som eleverna använder för att beskriva elektriska kretsar är ström och inte spänning. Om både spänning och ström förekom i elevernas förklaringar hade eleverna svårt att skilja dem åt. Speciellt i parallell respektive seriekopplade kretsar hade eleverna svårt att redogöra för strömmen och spänningens betydelse. Enligt Tsai m.fl. (2007) beror detta på att eleverna uppfattade parallellkopplade kretsar som seriekopplade. Engelhardt och Beichner (2004) genomförde en liknande studie som Tsai m.fl. (2007). De menar att den största orsaken till elevernas svårigheter är användandet av olika begrepp, till största del användningen av ordet ström. Duit (1985) förklarar elevers ordval med att ett ord i det vardagliga språket kan återfinnas inom fysiken men med en annan innebörd vilket kan leda till svårigheter. Språket har en logisk struktur vilket leder till ett felaktigt sätt att tänka och resonera när det gäller elektriska kretsar. Ett exempel är det vanliga uttrycket ”spara ström” som gör att ström ses som en energiform som batteriet ger till glödlampan (Duit, 1985). Både energi, spänning och resistans kopplas ihop med ström och eleverna tror att speciellt spänning och resistans bara förekommer då det redan finns ström. Detta har även tidigare bekräftats av Shipstone, Rhöneck, Jung, Kärrqvist, Dupin, Johsua och Lichts (1988) som även lyfter fram idén om att en konstant-strömkälla-modell kan vara en möjlig förklaring till att eleverna inte skiljer på ström och spänning. Vidare belyser Shipstone m.fl. (1988) elevers svårigheter med serie- respektive parallellkopplade kretsar.

Caillot (1985) och Johsua och Dupin (1985) visar att elever beskriver elektriska kretsar beroende på hur kopplingsschemat ser ut. Kretsar som skildrar samma situation men är ritade på olika sätt behandlas olika.

## Elevers förklaringsmodeller

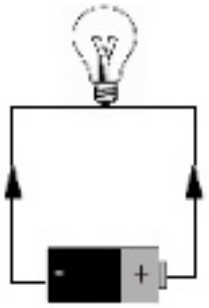
Det är Kärrqvists (1985) modeller som utgör ramen för kategoriseringen av resultaten i denna studie. Dessa modeller återfinns emellertid i fler studier. Osborne (i Osborne & Freyberg, 1985) har vid flera tillfällen intervjuat elever och har då identifierat fyra modeller som han från början kallade modell A, B, C och D. De har senare givits mer beskrivande namn; ”the unipolar model”, ”the clashing currents model”, ”the current consumed model” och ”the scientists’ model with current conserved” (bl.a. Driver m.fl., 1994). De fyra modellerna har sedan påträffats i senare studier, bland andra i Çepni och Keleş (2006) studie då de har intervjuat turkiska elever i olika åldrar angående elektriska kretsar. Även Jaakkola och Nurmi (2004) som har intervjuat finska elever i 10 till 11-årsåldern och Chiu och Lin (2005) som har intervjuat taiwanesiska elever i ungefär samma ålder har funnit Osbornes modeller. Däremot skiljer sig Shipstone (1985) något då han har genomfört liknande studier och istället listar fem olika modeller. I stället för ”the current consumed model” finns ”attenuation model” och ”sharing model” och den sista kallas för ”scientific model”.

***Unipolära modellen:*** Strömmen anses gå genom en ledare från batteriet till glödlampan (se figur 1). Eleverna har svårt att skilja på begreppen elektricitet, ström och energi (Kärrqvist, 1985). Denna modell bekräftas även av Çepni och Keleş (2006) där de visar att när 11-åringarna ritade en krets med två glödlampor och ett batteri så ritade de en sladd från batteriet till vardera glödlampan. Shipstone (1984) identifierade inte den unipolära modellen i sin studie, vilket han förklarar med att han inte intervjuade de yngsta eleverna.



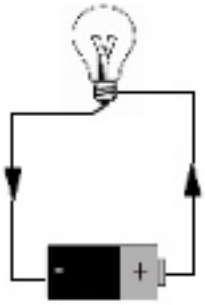

*Figur 1: Unipolära modellen.*

***Tvåkomponentmodellen:*** Enligt denna modell går det två ledare, en från vardera pol på batteriet, till glödlampan (se figur 2). Från batteriet går två sorters elektricitet eller strömmar, ofta kallade ”plus” och ”minus”, som möts i glödlampan. Glödlampan ses som en- eller tvåpolig. Till skillnad mot föregående modell kan den här innehålla en idé om att det krävs en sluten krets (Kärrqvist, 1985). Shipstone (1984; 1985) har identifierat den här modellen och kallar den ”model I” och Osborne (i Osborne och Freyberg, 1985) har efter flera studier påträffat modellen och kallat den för ”the clashing currents model”. Jaakkola och Nurmi (2004) drog slutsatsen att eleverna som inte uppvisade en vetenskaplig modell enligt deras kriterier antingen tillämpade tvåkomponentmodellen eller uppvisade inkonsekventa modeller. Chiu och Lin (2005) har intervjuat elever i samma ålder (10-11 år) och framhåller samma resultat, de flesta elevers uppfattning angående seriekopplingar samstämde med det de kallar ”bipolar model” (vilket motsvarar tvåkomponentmodellen). Çepni och Keleş (2006) visar att tvåkomponentmodellen förekom främst bland de 13-åriga eleverna i deras undersökning med turkiska elever.



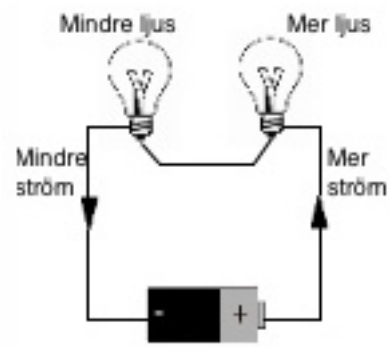

*Figur 2: Tvåkomponentmodellen.*

Cirkuleringsmodellen: Både batteri och glödlampa ses här som tvåpoliga (se figur 3). Det krävs en sluten krets. Strömmen ska gå genom komponenterna i kretsen, men eleverna har fortfarande svårt att skilja på ström och energi (Kärrqvist, 1985). Cirkuleringsmodellen eller någon liknande modell nämns varken av Çepni och Keleş (2006), Chi och Lin (2005), Jaakola och Nurmi (2004), Osborne (i Osborne & Freyberg, 1985) eller Shipstone (1984; 1985).




*Figur 3: Cirkuleringsmodellen.*

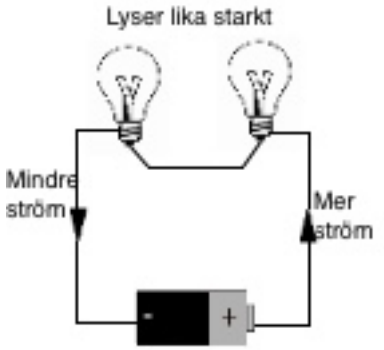
Strömförbrukningsmodellen: Modellen är lik cirkuleringsmodellen men i denna anses strömmen förbrukas när den går genom komponenterna i kretsen (se figur 4). Mer ström lämnar batteriet än går tillbaka (Kärrqvist, 1985). Shipstone (1984) kallade den här modellen för ”model II” i sin studie men har sedan gett den det mer beskrivande namnet ”the attenuation model” (Shipstone, 1985). I lite mer komplicerade kretsar med flera komponenter kallar Shipstone (1984; 1985) modellen för ”the sequence model” eftersom eleverna tenderar att fokusera på en komponent i taget samt i vilken ordning de sitter. Shipstone m.fl. (1988) har undersökt elevers uppfattningar om den elektriska kretsen i fem olika europeiska länder och kommit fram till liknande resultat i samtliga länder. I studien dominerar idén att strömmen förbrukas i kretsen och eleverna tenderar att resonera lokalt och sekventiellt. Çepni och Keleş (2006) som har utgått från Osbornes fyra modeller menar att ”the current consumed model”, vilket motsvarar strömförbrukningsmodellen, är vanlig i åldern 13 till 16 år. Chiu och Lin (2005) menar att eleverna i deras studie som var några år yngre också tenderade att använda denna modell. I Taiwan har ytterligare en studie gjorts, av Tsai m.fl. (2007), där över 10000 elever i åldern 13 till 17 år har fått svara på frågor om elektriska kretsar. Studien visar att hos elever som inte uttryckte ett formellt fysikaliskt synsätt var den vanligaste uppfattningen att strömmen som går ut från ett batteri är större än den som kommer tillbaka till batteriet. Denna uppfattning var störst bland de yngsta eleverna i studien men den förekom även bland de äldre eleverna. I studien framkom vidare att eleverna hade problem med att se den elektriska kretsen som en helhet där de olika delarna är sammankopplade (Tsai m.fl., 2007).




*Figur 4: Strömförbrukningsmodellen.*

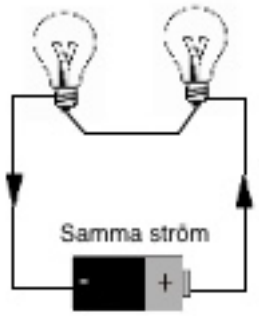
Konstant-strömkälla-modellen: Denna modell är lik cirkuleringsmodellen vad gäller tvåpoliga komponenter och sluten krets (se figur 5). Batteriet anses avge lika mycket ström oavsett hur kretsen ser ut. Strömmen minskar med tiden då batteriet slits ut. Strömmen förbrukas inte men om det finns flera glödlampor i kretsen delar de på strömmen oavsett om det är serie- eller parallellkoppling (Kärrqvist, 1985). Shipstone (1984) kallade inledningsvis modellen för ”model III”

men använde sedan ”the sharing model” (Shipstone, 1985). Shipstone m.fl. (1988) återfann ”the sharing model” och menar att eleverna inte skiljer på ström och spänning. Det innebär att eleverna tror att parallellkoppling lyser svagare än seriekoppling. Den här modellen återfinns inte i Osborne och Freyberg (1985) och därför inte heller i Çepni och Keleş (2006) studie.




*Figur 5: Konstant-strömkälla-modellen.*

Ohms modell: Kretsen behandlas som ett system där komponenterna är beroende av varandra (se figur 6). I en enkel krets är strömstyrkan lika stor och i en mer komplicerad krets beror strömmen både på batteriets spänning och på komponenternas resistans (Kärrqvist 1985). Shipstone (1984; 1985) kallar modellen för ”model IV” och ”the scientific model”, Osborne (i Osborne & Freyberg, 1985) samt Çepni och Keleş (2006) har en liknande benämning, ”the scientists’ model with current conserved”. Jaakola och Nurmis (2004) visar att av 66 finska 10- och 11-åringar ger hälften vetenskapligt korrekta svar.




*Figur 6: Ohms modell.*

## Kunskapsmål för elever i olika åldrar

I Skolverkets mål för år 5 står det angående elektriska kretsar att eleven ska ”ha insikt i tekniska tillämpningar av den elektriska kretsen” (Skolverket, 2000a, s. 57). Enligt Shipstone (1988) är det kanske inte helt nödvändigt att alla elever måste förstå det vetenskapliga synsättet. Många behöver endast ha insikt om elektriska kretsar och energiöverföring inom dessa, begreppet ström är inte nödvändigt att blanda in om det förvirrar eleven.

I Skolverkets mål för år 9 ska eleven: ”ha kunskap om principerna för den elektriska kretsen och känna till begrepp som ström, spänning, elektrisk energi och effekt samt om olika sätt att generera elektrisk ström” (Skolverket, 2000a, s. 57) och efter gymnasiets kurs Fysik A ska eleven ”ha kunskap om elektriska fält, elektrisk spänning och ström samt elektrisk energi och effekt” (Skolverket, 2000b, s. 53; Skolverket, 2000c, s. 58). Shipstone (1988) poängterar att det är de elever ska fördjupa sig inom området elektricitet som bör få en ”the scientists model” presenterad och förklarad för att få en djupare förståelse.

### Syfte

Syftet med studien är att fokusera på vilka uppfattningar elever i svenska grund- och gymnasieskolan har angående elektriska kretsar.

Vilka uppfattningar angående elektriska kretsar har elever i år 5 och år 9 samt elever som har läst Fysik A på gymnasiets naturvetenskapliga eller tekniska program?

## Metodologi och genomförande

Bakgrunden till studien är ett samarbete mellan Taiwan, Finland och Sverige där forskare vid National Normal Taiwan University i Taipei är upphovsmän till undersökningen. Frågorna i vår intervjuguide har formulerats utifrån de originalfrågor som använts i Taiwan. Originalfrågorna var skrivna på mandarin och har i Taiwan översatts till engelska. Vi utgick från den engelska översättningen när vi formulerade frågorna i vår intervjuguide. Frågorna, i form av intervjuguiden, tillsammans med bilder och möjliga svar till frågorna återfinns i appendix.

För att samla in data har vi använt semi-strukturerade intervjuer. Flexibiliteten i intervjuguiden gjorde att vi kunde anpassa följdfrågorna efter respondentens ålder och erfarenheter trots att vi använde samma intervjuguide till alla intervjuer. Vi valde att filma intervjuerna med hjälp av en kamera. Anledningen till att intervjuerna filmades och inte ljudinspelades var att respondenterna under intervjun skulle peka på olika bilder som visades upp och även koppla ihop vissa elektriska kretsar. Efter att intervjuerna genomförts transkriberades filminspelningarna. I transkriberingarna har vi benämnt intervjuarna som I1 och I2. Respondenterna benämns som R1, R2, R3, R5 och så vidare. De yngsta eleverna i år 5, R1, R2 och R3, är 11 år, R5 och R6 går i år 9 och är båda 15 år. Övriga respondenter går 3:e året på gymnasiet och av dem är R7 och R8 18 år och R9 och R10 är 17 år. I alla bilder utom de till fråga 5 var inte glödlamporna benämnda A och B som de nu är i bilaga 2. Bokstavsbeteckningarna är satta för att underlätta transkriberingen. Totalt genomfördes nio intervjuer för att få en överblick av vilka uppfattningar som finns angående elektriska kretsar; tre elever i år 5, två elever i år 9 samt fyra elever i år 3 på gymnasiet som avslutat Fysik A. Av de intervjuade eleverna på gymnasiet studerade två elever på naturvetenskapsprogrammet och två elever på teknikprogrammet. Det fanns ett bortfall på en respondent i år 9 då vi inte fick målsmans godkännande.

Syftet med intervjuerna var först och främst att ta reda på vilka uppfattningar elever har om elektriska kretsar, men målet var även att det skulle bli en lärandesituation för eleverna som deltog i intervjun. Vi önskade att de elever som var villiga att delta skulle gå därifrån och känna att de hade deltagit i ett samtal som varit givande. Kärrqvist (1985) har använt sig av en liknande metod och menar att det skulle stimulera eleverna att använda sin egen fysikaliska kunskap och att det skulle öka möjligheten att komma åt elevernas föreställningar:

> Möjligheterna att komma åt elevernas föreställningar bedömdes som större, om jag själv deltog som lärare eller resonemangspartner i undervisningsprocessen, än om jag bara var observatör (Kärrqvist, 1985, s. 78).

Kärrqvist skriver vidare att ”jag hjälpte eleven med fysikaliska ord och begrepp som han tycktes vara i behov av, och presenterade ibland alternativa fysikaliska förklaringsmodeller” (Kärrqvist, 1985, s. 78). Kärrqvist (1985) lät eleverna testa sina idéer mot verkligheten och inte mot sig själv. Under intervjun gjorde vi återkoppling till respondenten genom att konkretisera vissa frågor de just besvarat med hjälp av reella sladdar, glödlampor och batterier. På detta sätt ville vi understryka att det även var frågan om en lärandesituation och inte endast en testsituation. Viktigt att poängtera är att vi vid analysen har fokuserat på elevernas första svar. I resultatdelen framgår via utdrag från transkriberingar eller i våra sammanfattningar när eleverna använder sig av resonemang vi har bidragit till under intervjusituationen. Vi utgick från Kärrqvists (1985) förklaringsmodeller när vi analyserade och kategoriserade varje intervju för att se om respondenten uppvisade någon av dessa, alternativt uppvisade en annan modell. I de fall då det inte var möjligt att kategorisera in elevernas uppfattningar enligt Kärrqvists (1985) förklaringsmodeller försökte vi finna liknande resonemang att stödja våra resultat på i tidigare genomförd forskning på området. Vi analyserade först materialet var för sig innan vi gick igenom våra resultat tillsammans och jämförde våra analyser. Det gör att tillförlitligheten ökar eftersom det visade sig att vi hade funnit, till största del, liknande resultat oberoende av varandra.

Vi har följt de etiska principer som Vetenskapsrådet satt upp för god forskning (Vetenskapsrådet, 2002). Genom att skicka ut brev till våra respondenter och deras målsmän med en tydlig projektbeskrivning och där det tydligt framgår att det är frivilligt att delta i undersökningen gjorde vi det möjligt för alla parter att bilda sig en egen uppfattning om projektet samt ge sitt samtycke för medverkan. Ingen hänsyn har tagits till kön i denna studie.

## Resultat

Vid analysen av intervjuerna påträffades flera olika kategorier (se tabell 1). Kategori A, B och C är modeller som stämmer överens med Kärrqvists (1985) förklaringsmodeller för hur elever uppfattar elektriska kretsar. Idén om sluten krets, kategori D, tillämpades av samtliga respondenter. Två respondenter har en uppfattning som inte stämmer överens med Kärrqvists (1985) modeller (kategori E), som vi benämnt kopplingsberoende modellen. Utöver dessa två respondenter uppvisar ytterliggare en respondent den kopplingsberoende modellen parallellt med strömförbrukningsmodellen. Kategorierna exemplifieras nedan med excerpt från transkriberingarna, bilderna som det hänvisas till, finns i appendix.

*Tabell 1: Det är möjligt att samma respondent uppvisar flera förklaringsmodeller parallellt.*

| Kategori | Antal respondenter | Ålder (år) |
|---|---|---|
| A. Unipolära modellen | 2 (R1 & R2) | 11 |
| B. Strömförbrukningsmodellen | 3 (R6, R7 & R9) | 15, 17 & 18 |
| C. Konstant-strömkälla-modellen | 2 (R9 & R10) | 17 |
| D. Idén om sluten krets | Samtliga | 11, 15, 17 & 18 |
| E. Kopplingsberoende modellen | 3 (R3, R7 & R8) | 11 & 18 |

## Kärrqvists förklaringsmodeller

### *A. Unipolära modellen*

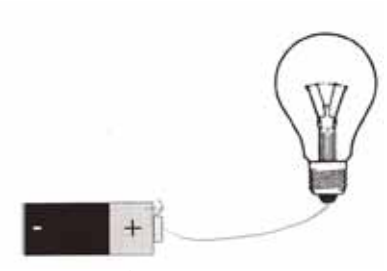
Två elever (R1 och R2), båda i år 5, uppfattade elektriska kretsar enligt den unipolära modellen. Dessa respondenter ritade bara en sladd från batteriet till glödlampan när de ombads koppla ihop batteriet med glödlampan för att få glödlampan att lysa. De angav strömriktningen från batteriets pluspol till glödlampan. R1 ritade också ett vägguttag och förklarade att strömmen går från vägguttaget till batteriets minuspol och vidare från pluspolen till glödlampan (se figurI1: Skulle du kunna koppla ihop batteriet med lampan så att glödlampan lyser? Du kan rita i figuren (visar bild 2.1). R1: Jag vet inte om det är minus eller, nu måste jag tänka lite. Jag tror det är minussidan man kopplar till batteriet men det låter ändå inte så rimligt så det borde vara plus men alltså jag vet inte.

> I1: Men du kan gissa, kanske.
> R1: Hur gör man när man sätter i en ficklampa, då brukar det va plus till (ritar i bild 2.1), så kanske. Plus dit (pekar på glödlampan i bild 2.1) och minus till dit ner (pekar neråt på papperet).
> I1: Vart går minus?
> R1: Jag vet inte, vägguttag kanske (ritar ett vägguttag i bild 2.1).
> I1: Vilken riktning har strömmen i den figur som du har ritat?
> R1: Strömmen går ditåt (pekar från batteriet mot glödlampan i bild 2.1) till den (pekar på glödlampan) eller? Så (pekar från vägguttaget mot batteriet och vidare mot glödlampan

*Figur 7: R1:s figur.*

Den andra respondenten R2 ritade en figur (se figur 8) liknande R1:s figur bortsett från vägguttaget. Med stöd från intervjuaren klarade R2 även av att ange strömriktningen.

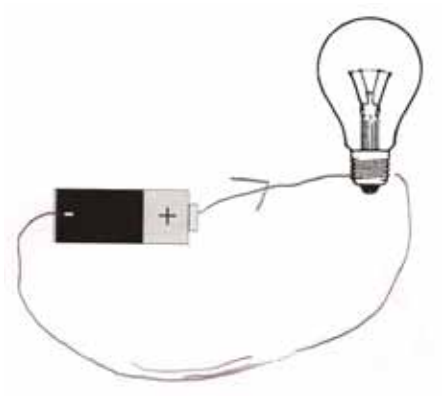
> R2: Vi hade förut, jag kommer inte riktigt ihåg, men… det var nån sladd så, typ (visar på pappret)
> I2: Prova att rita
> R2: (Ritar i bild 2.1. Ritar en sladd från batteriets pluspol till lampans nedre del) Alltså jag kommer typ inte ihåg nåt. Men typ så.
> […]
> I2: Om den går… Det kommer att gå en ström mellan batteriet och lampan, som gör att lampan lyser. Och då går ju det antingen från batteriet till lampan eller från lampan till batteriet. Om du skulle rita en pil…
> R2: Alltså batteriet till lampan (ritar in strömriktningen i bild 2.1 på pappret).




*Figur 8: R2:s figur.*

***B. Strömförbrukningsmodellen***

Tre respondenter, R6 i år 9, R7 och R9 på gymnasiet, visade sig ha en uppfattning som överensstämde med strömförbrukningsmodellen, dock ritade R6 och R9 glödlampan som enpolig (se figur 9).




*Figur 9: R9 placerade en pol på glödlampans metallhölje.*

R6 och R7 hävdade att strömmen i en seriekoppling minskar i kretsen. R7 sa att glödlampa D (bild 5.2) lyser svagare än glödlampa C (se bild 5.2) eftersom strömmen når glödlampa C först.

> I2: …Ja, tillsist då har jag nya bilder (Lägger fram bild 5.1 och 5.2). Fyra glödlampor, som är namnsatta med bokstäver. Då vill jag att du rangordnar dom glödlamporna efter ljusstyrka, och börja med den som lyser starkast. Dom kan lysa… Några av dom kan lysa lika mycket också.
> R7: Okej…
> I2: Du kan placera dom på samma plats.
> R7: Mmm, då tror jag att A och B kommer på första plats, och sen kommer C och sen kommer D.
> I2: Mmm, hur tänker du?
> R7: Här på C (pekar på glödlampa C i bild 5.2)… Här (pekar på bild 5.1) är det ju för att de är parallellkopplade, det går lika mycket in i båda, så tänker jag då, där. Och här på C (pekar på glödlampa C i bild 5.2 igen) då måste strömmen ta sig igenom den här lampan, innan den kommer till nästa lampa (pekar på glödlampa D i bild 5.2), så då funkar den (pekar på glödlampa C i bild 5.2) ju som ett motstånd dårå, då kommer det ut mindre ström till lampa D.
> R6 angav att glödlampa C (bild 5.2) lyser svagare än glödlampa D (bild 5.2) vilket hon för-

klarade med att elektronerna först kommer till glödlampa D där några elektroner fastnar så ett mindre antal elektroner når glödlampa C.
I1: Nu ska du få se en annan bild med glödlampor A, B, C, D (visar bild 5.1 och 5.2). Kan du rangordna glödlamporna efter ljusstyrka och börja med dom som lyser starkast?
R6: Det borde va A eller B (pekar på glödlampa A och B i bild 5.1). Dom borde lysa lika starkt eftersom dom är parallellkopplade, så att dom är ju liksom ett och två, dom lyser lika starkt. Så strömmen gick från plus till minus (pekar i bild 5.2) som du säger. Då borde C lysa starkast och D lite svagare. Just det, det var ju så den (pekar runt i kretsen från minus till plus i bild 5.2) gick, eller hur var det nu?
I1: Från plus till minus.
R6: Där är ju plus och där är minus (pekar på batteriets plus respektive minuspol) då kommer den ju dit först (pekar på glödlampa C i bild 5.2) men eftersom den gick baklänges (pekar moturs i bild 5.2) så lyser den starkast (pekar på glödlampa D i bild 5.2).
I1: Så du tror att D lyser starkare än C.
R6: Ja.
I1: Hur kommer det sig då?
R6: Det var ju det där med negativt, till den glödlampa som elektronerna kommer först till, den lyser starkare än den andra för den får ju lite mindre elektroner den får ju mindre ström i sig och då lyser den inte lika starkt.

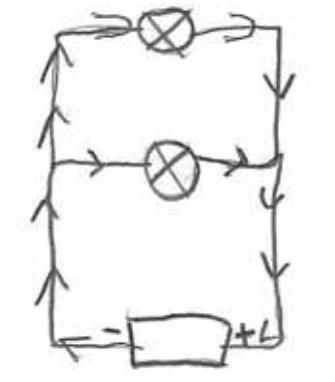
I R6 strömförbrukningsmodell framkom att hon tänker sig att strömmen alltid går medurs oavsett hur batteriet har ritats eller kopplats in. I de figurer hon ritade (se figur 10 och figur 11) är batteriets pluspol placerad till höger. I bild 4.1, som hon jämförde med, är batteriets pluspol riktad åt vänster.

I1: Och vilken riktning har strömmen där (syftar på figur 11)
R6: Från minus till plus.
I1: Kan du rita en pil?

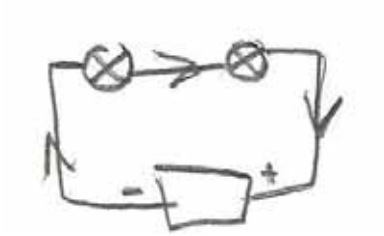
Detta leder till att R6 ritar pilar från minus till plus i sin bild (se figur 11) och kopplar själv ihop en seriekoppling. Hon ser och säger att seriekopplingen lyser svagare än om det bara hade varit en glödlampa. Intervjuaren (I1) hjälper R6 genom att visa upp bild 4.1 eftersom R6 inte kommer på hur hon ska koppla parallellkoppling. Därefter kopplar hon själv ihop den.

I1: I vilken riktning går strömmen här (pekar på bild 4.1)?
R6: Den går också så (pekar på sladden som går från batteriets pluspol till glödlampa A och tillbaka till batteriets minuspol i bild 4.1) och sen så (pekar på sladden som går från batteriets pluspol till glödlampa B och tillbaka till batteriets minuspol i bild 4.1).
I1: Från
R6: minus till plus.
I1: Okej, vilken är plussidan på batteriet (pekar på bild 4.1)?
R6: Plussidan är ju den där sidan (pekar på plussidan på batteriet i bild 4.1 efter att ha tittat på det riktiga batteriet som användes vid kopplingarna) då går det från plus till minus i så fall ser det ut som. Men det borde ju va från minus till plus.
I1: Varför borde det gå från minus till plus?
R6: Jag vet inte riktigt men jag har för mig att det ska va så.[…]
I1: Men strömmen går från plus till minus. Jag vet inte vad du tänkte när du satte den från minus till plus (pekar i Figur 10)
R6: Det kändes som att det gick åt det hållet.
I1: Det kändes så?
R6: Ja.
I1: Men du hade inte nån förklaring till det mer?
R6: Nä, men det kändes som att det skulle gå åt det hållet. Nu känns det som att det ska gå

åt det hållet (pekar runt i kretsen från plus till minus i bild 4.1), så runt så (pekar medurs Figur 10). Så även om jag skulle satt plus där (pekar på batteriets utritade minuspol i Figur 10) och minus (pekar på batteriets utritade pluspol i Figur 10) där så skulle det ändå känts rätt åt det hållet.




*Figur 10: Parallellkoppling ritad av R6 med pilar i strömmens riktning.*




*Figur 11: Seriekoppling ritad av R6 med pilar i strömmens riktning.*

Den tredje respondenten (R9) som använde strömförbrukningsmodellen använde denna modell parallellt med konstant-strömkälla-modellen (se kategori C). Det uppmärksammades en bit in i intervjun när glödlampornas ljusstryka skulle jämföras (bild 5.1 och 5.2).
R9: C och D, så skulle väl dom komma bara efter varandra så det kvittar ju då. Men i parallellkopplingen (syftar på bild 5.1) så tror jag att B lyser starkast och A lyser svagast bara för att jag tror att här (pekar över glödlampa B) tar strömmen en kortare väg över, nåt sånt, jag kommer inte ihåg det här, jag gör faktiskt inte det.

Angående strömmens riktning menade R9 att elektronerna går i strömmens riktning när hon skulle förklara varför glödlampan har två poler. Samtidigt kallade hon elektronerna för ”han” och antydde att de känner något.

R9: Det är precis sånt här som är så svårt att svara på för man är bara van vid att det är så, men om vi säger här uppe när jag höll båda här (pekar på metallringen närmast själva glödlampan) så är det ju ingen som kommer åt, alltså jag skulle vilja säga att plattan här nere (pekar på glödlampans nedersta del) är liksom utgång och ingång på nåt sätt. Att man för in elektroner då från plus här från batteriet (pekar på batteriet) ner hit in till den lilla flärpen där (pekar på metallringen närmst själva glödlampan) som sen går upp då i själva allting och sen när jag sätter dit den här (pekar på sladden som hålls mot glödlampans nedersta del) så flödar dom ju in genom glödtråden och ut här nere (pekar på glödlampans nedersta del) för att han har känt att en lucka har öppnats eller, ja, man öppnar en väg för det. Och då när den strömmar igenom glödtråden här uppe i lampan så bildas det ju liksom ljus, det är energin där uppe, skulle jag säga.

***C. Konstant-strömkälla-modellen***

Två respondenter (R9 och R10) uppfattade kretsen enligt konstant-strömkälla-modellen men behandlade glödlampan som enpolig. Båda två gick på gymnasiet. R10 gjorde ingen skillnad på strömmen i serie- och parallellkoppling. Han menade att ljusstyrkan är densamma för alla glödlampor oavsett koppling.

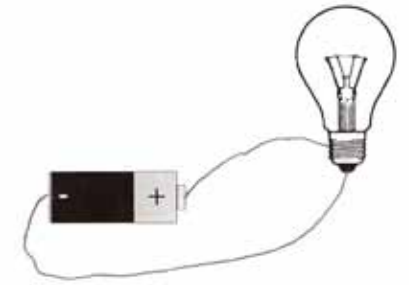
I1: Du ska få titta på den här istället (visar bild 5.1 och 5.2). Här är bild på fyra glödlampor. Kan du rangordna glödlamporna efter ljusstyrka och börja med den som lyser starkast?
R10: Av allihopa, inte figur för figur eller hur ska jag svara?
I1: Ja liksom allihop, A, B, C, D.
R10: Okej. Då ska vi se, när den kommer till lampan så blir det ju högre resistans i själva den där när den kommer in där fast sen så, kommer den ut igen, men dom här två (pekar på glödlampa C och D i bild 5.2) är lika starka tror jag.
I1: C och D lyser lika starkt är det, det du säger?
R10: Ja. Och sen A och B, dom är också egentligen lika starka, så det, alla är lika starka.
I1: Lyser A, B, C, D lika starkt?
R10: Mmm, jag skulle säga det.
R9:s förklaring till glödlampornas ljusstyrka i en parallellkoppling.
I1: Om du nu tittar på det här pappret (visar bild 5.1 och 5.2), här finns fyra glödlampor numrerade A, B, C, D. Kan du rangordna glödlamporna efter ljusstyrka och börja med den som lyser starkast?
R9: Eftersom nåt säger mig att dom där två (pekar på glödlampa C och D i bild 5.2) lyser lika starkt
I1: C och D?
R9: C och D, så skulle väl dom komma bara efter varandra så det kvittar ju då. Men i parallellkopplingen (syftar på bild 5.1) så tror jag att B lyser starkast och A lyser svagast bara för att jag tror att här (pekar över glödlampa B) tar strömmen en kortare väg över, nåt sånt, jag kommer inte ihåg det här, jag gör faktiskt inte det.
I1: Om man jämför dom då (pekar på glödlampa A och B i bild 5.1), dom där (pekar på glödlampa C och D i bild 5.2) sa du lyser lika starkt, C och D, men hur är dom i förhållande till B och A (pekar på glödlampa A och B i bild 5.1)?
R9: Dom (pekar på glödlampa C och D i bild 5.2) är starkare än B och A (pekar på glödlampa A och B i bild 5.1). För där, där (pekar i bild 5.1) säger jag att dom måste dela mer på strömmen eftersom den går två olika vägar där (pekar i bild 5.1).

## Andra modeller

Tre av respondenterna (R3, R5 och R8) gick inte att kategorisera enligt Kärrqvists (1985) förklaringsmodeller. Ett exempel på detta är R3 som svarade rätt på flera frågor eftersom han kom ihåg hur han hade kopplat när de i år 4 läste om elektricitet inom Naturvetenskap och teknik för alla (NTA). Han kunde däremot inte förklara varför han kopplade på det sättet han gjorde (se figur 12). Men i ett senare givet intervjuutdrag visar R3 upp ett mer utvecklat resonemang om en sluten krets (se R3:s resonemang om sluten krets).

I1: Men om du försöker, om vi tänker att du ritar dom här sladdarna?
R3: Om vi ritar en som går här som går dit då (ritar en sladd från minus på batteriet till glödlampans nedre del i bild 2.1) och här har vi en som går här från plus upp dit eller nåt (ritar en sladd från plus på batteriet till glödlampan i bild 2.1). Sen så fick vi testa vad som hände om man tog bort en och då fungerade inte lampan.
I1: Vet du varför, hur lampan fungerade?
R3: Nä, jag vet inte det.
I1: Vet du vilken riktning strömmen går i den figur som du har ritat (syftar på bild 2.1)?
R3: Nä, hur går den, jag fattar inte riktigt.
I1: Strömmen går från plus till minus.

R3: Ja, jo, alltså här är plus och där är minus och då går den.
I1: Ja, precis. Så vi har två olika poler på batteriet, en plus och en minussida.
R3: Ja, det ser jag.
I1: Vet du varför du har ritat […] att du har ritat dom på två olika ställen (pekar på glödlampan i bild 2.1)?
R3: Nä, jag vet inte.
I1: Men det kommer du ihåg från det ni gjorde?
R3: Ja, det minns jag att vi gjorde.




*Figur 12: R3:s figur.*

***D. Idén om sluten krets***

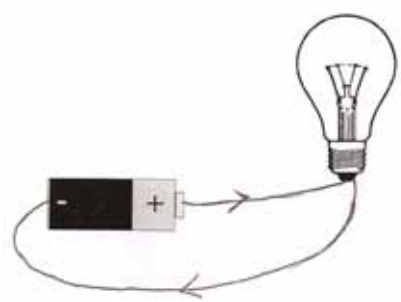
Oavsett vilken förklaringsmodell respondenterna använde sig av så kunde samtliga tillämpa idén att det krävs en sluten krets med hjälp av sladdar i sina resonemang. Respondenterna har under intervjuerna ombetts beskriva vad som händer när en av glödlamporna tas bort ur kretsarna på bild 4.1, 4.2, 4.3 och 4.4 samt om någon sladd skulle klippas av i samma bilder. R1 och R2 som inledningsvis uppvisade den unipolära modellen fick under intervjun idén om att kretsen måste vara sluten presenterad för sig och även de klarade av de frågorna. R3 som är lika gammal som R1 och R2 visar prov på sina färdigheter på idén om sluten krets i excerptet nedan.

I1: Om vi tar bort en glödlampa från varje figur här (syftar på bild 4.1, 4.2, 4.3, 4.4). I vilken eller vilka figurer kan den andra glödlampan fortfarande lysa?
R3: I den till exempel (pekar på bild 4.1).
I1: I nummer ett så kan den lysa.
R3: Inte i nummer två (pekar på bild 4.2). Jag tror nummer tre (pekar på bild 4.3) och nummer fyra (pekar på bild 4.4) för att den (pekar på glödlampa A i bild 4.4) tar man bort så går den runt igen (pekar runt i kretsen medurs i bild 4.4).
I1: Så i nummer ett, tre och fyra (syftar på bild 4.1, 4.3, 4.4) så kan den andra glödlampan fortfarande lysa.
R3: Ja, jag tror det.
I1: Men inte i tvåan (syftar på bild 4.2).
R3: Nä.
I1: Hur kommer det sig då?
R3: Jo, för att jag tänker att om man tar bort den här (pekar på glödlampa B i bild 4.1) till exempel […] då går ändå strömmen runt så här (pekar längs sladden runt över glödlampa A i bild 4.1) och det funkar, får lampan att lysa (pekar på glödlampa A). Det där var ju den som jag inte trodde (pekar på bild 4.2). Då tänkte jag att om man tar bort en (syftar på en glödlampa i bild 4.2) då kommer det inte ihop riktigt så jag tror inte att den skulle lysa.

Respondenternas sätt att resonera kring slutna elektriska kretsar med hjälp av hur sladdarna är kopplade gjorde att de i flera fall besvarade frågorna angående ljusstyrka rätt. Emellertid, belyser excerptet nedan hur R9 resonerar om sladdarnas betydelse i en elektrisk krets.

I1: Jag kommer visa fyra bilder för dig här. Om du jämför med den här lampan (visar bild 4.0). I vilken eller vilka figurer här nere (pekar på bild 4.1, 4.2, 4.3 och 4.4) lyser glödlampan lika starkt som den här glödlampan (pekar på bild 4.0)?
R9: Vilka eller vilken?
I1: Ja, i vilken eller vilka figurer här (pekar på bild 4.1, 4.2, 4.3 och 4.4).
R9: I dom två (pekar på bild 4.2 och 4.3) eller den i alla fall (pekar på bild 4.2). Sen tror jag, det var just det där att jag inte kommer ihåg riktigt vad dom delar (pekar på bild 4.3) men jag drar upp den med (placerar bild 4.3 tillsammans med bild 4.2) nån av dom är det tror jag (pekar på bild 4.2 och 4.3).
I1: Som lyser lika starkt, där båda lamporna lyser lika starkt som den (pekar på bild 4.0) eller?
R9: Mmm
I1: Och i dom här (pekar på bild 4.1 och 4.4)?
R9: I dom så tänker jag att, eftersom det är två olika, det är ju två olika kretsar, här uppe i den första (pekar på bild 4.0) har vi bara en krets men här nere (pekar på bild 4.1 och 4.4) har vi två olika och då bara säger mitt huvud att, ja men då måste dom ju dela på det som finns här i (pekar på batteriet i bild 4.4).

Även om samtliga respondenter uppvisade idén om en sluten krets, och använde ett resonemang med två sladdar, var det några av respondenterna som ritade glödlampan som enpolig (se figur 13).




*Figur 13: R5 placerade en pol på glödlampan, längst ner.*

***E. Kopplingsberoende modellen***

Två av respondenterna (R3 och R8) uppvisade inte ett resonemang som överensstämmer med någon av Kärrqvists (1985) modeller. Denna uppfattning har benämnts som kopplingsberoende modellen. R7 uppvisade parallellt med strömförbrukningsmodellen den kopplingsberoende modellen. En av respondenterna (R8) sa att lika stor ström går ut i varje sladd som är direkt kopplad till batteriets pluspol. Det innebar att han svarade att glödlamporna i bild 4.1 och 4.4 lyste lika starkt som i bild 4.0. I bild 4.2 och 4.3 lyste de svagare än i bild 4.0. Det förklarade han med att det bara är en sladd som går ut från batteriets pluspol och att strömmen delas upp mellan de två glödlamporna i respektive bild. Han menade alltså att strömmen från batteriet varierar beroende på koppling och därför överensstämmer inte hans uppfattning med den modell som Kärrqvist (1985) har benämnt som konstant-strömkälla-modellen.

I2: (Lägger fram bild 4.0 och 4.1, 4.2, 4.3 och 4.4 framför R8). Så, fyra olika bilder som ska jämföras med den här övre (pekar på bild 4.0). Och första frågan är då, i vilken eller vilka av de här fyra figurerna så lyser glödlamporna lika starkt som den här glödlampan (pekar på glödlampan i bild 4.0)?
R8: Jag skulle ju tro på den här (pekar på bild 4.1) i alla fall. Och den där (pekar på bild 4.4).
I2: Mmm, hur tänker du?

R8: Ja, dom är ju inte kopplade till varandra, dom två lamporna. Dom är direkt kopplade till batteriet båda två. Och då får de liksom egen ström, tror jag. Det är vad jag tror.
I2: Och sen nästa fråga är då i vilken eller vilka av dom här figurerna lyser glödlamporna svagare än den (pekar på glödlampan i bild 4.0)?
R8: Ja, det borde väl va dom två (pekar på bild 4.2 och 4.3).
I2: O hur tänker du?
R8: Dom delar på strömmen på något sätt.

Likt många andra respondenter använde R7 ordet sladd i sina resonemang som substitut för exempelvis ström och spänning. Det antyder att R7 använde kopplingsberoende modellen parallellt med strömförbrukningsmodellen. R7 jämförde glödlampornas ljusstyrka på bilderna 4.1, 4.2, 4.3 och 4.4 med glödlampan i bild 4.0.

R7: Jag kommer inte ihåg… Jag vet att det är antingen eller. Det är nån som lyser svagare och nån som lyser starkare. Men starkast, det måste väl nästan ändå va parallellkopplingen här (pekar på bild 4.1) tror ja.
I2: Mmm, lyser den lika starkt som den (pekar på bild 4.0), eller starkare? Om du skulle jämföra.
R7: Ja, batteriet är väl ungefär… ja det borde vara ungefär lika starkt skulle jag säga.
I2: Mmm…
R7: För att då har ju de två varsin (visar på ”sladdarna” i bild 4.1) som går, här (pekar i bild 4.2) delar de ju på all ström, här (visar i bild 4.1) har de ju varsin, ja vad säger man…varsin koppling.
Ytterligare ett exempel på hur ett resonemang med sladdar i kretsen leder till den kopplingsberoende modellen åskådliggörs av excerptet med R3:s resonemang om glödlampornas ljusstyrka nedan.
I1: Så du tror att ett, fyra och tre (syftar på bild 4.1, 4.3 och 4.4) lyser lika starkt och att tvåan (syftar på bild 4.2) lyser svagare.
R3: Mmm
I1: Hur kommer det sig då?
R3: Jo, för jag tänkte så här att på den här till exempel (pekar på bild 4.1) som vi gjorde, då var det ju så här att, då använde vi ju fyra olika sladdar som då gick så till den (pekar i bild 4.1 på sladdarna som går från batteriet upp till glödlampa B) och då gick strömmen runt i den (pekar runt i kretsen från batteriet till glödlampa B och tillbaks till batteriet i bild 4.1) och sen så tog vi den som gick dit (pekar på sladden som går från batteriets pluspol till glödlampa A i bild 4.1) och dom två som gick så till den (pekar på sladdarna från batteriet till glödlampa A i bild 4.1), men den här (pekar på bild 4.4) var också så att det var olika … Ja, just det då tog vi två nya sladdar där. Ja, jag är lite osäker så men jag tror att det är dom (syftar på bild 4.1, 4.3, 4.4) för att just därför att dom går runt så.
I1: Och på den här då (pekar på bild 4.2) på tvåan där säger du att den lyser svagare. Hur kommer det sig?
R3: Jag tänkte att det gick upp så (pekar från batteriets pluspol längs sladden till glödlampa A i bild 4.2) sen går det ju liksom...

## Diskussion

Målet med studien var att genomföra en explorativ studie där vi valde ett mindre antal respondenter. Syftet har varit att identifiera typiska fall och eventuella relevanta variabler till en framtida större undersökning. Utgångspunkten är ett samarbete mellan Sverige, Finland och Taiwan där denna studie är en förstudie av vilka uppfattningar som råder bland svenska elever i olika åldrar. Det finns inga intentioner att generalisera resultaten från denna studie. Emellertid, styrker resultatet Kärrqvists (1985) förklaringsmodeller och därav identifieras typiska fall. För att få större til-

lförlitlighet till resultatet och bekräfta den nya modellen måste en större undersökning göras som bygger på de identifierade fallen.

## Resultatdiskussion

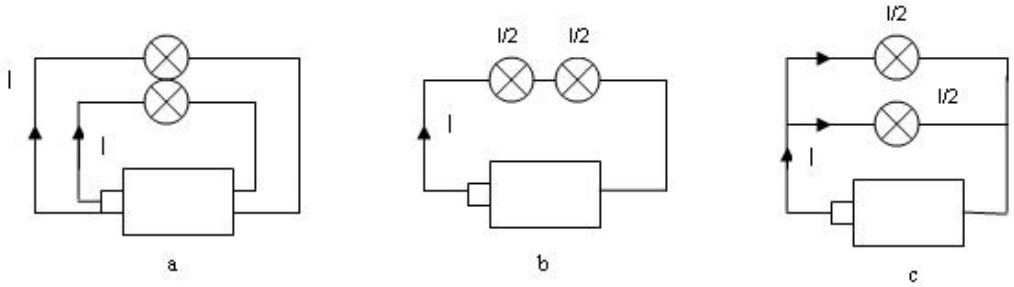
Vid analysen av det insamlade materialet påträffades tre uppfattningar som stämmer överens med Kärrqvists (1985) modeller av elevers uppfattningar angående elektriska kretsar. Det gör att det var tre av Kärrqvists (1985) modeller som inte kunde styrkas i denna studie vilket eventuellt kan förklaras med att relativt få intervjuer genomfördes.

De respondenter (R1 och R2) som uppfattade kretsen enligt den unipolära modellen var båda två 11 år. När respondenterna ombads rita en bild där två glödlampor kopplas till ett batteri så att båda glödlamporna lyser, ritade både R1 och R2 en sladd från varje pol på batteriet till varsin glödlampa utan att binda ihop glödlamporna. En av respondenterna (R1) som uppvisade den unipolära modellen ritade förutom en sladd från batteriet till glödlampan även en sladd från batteriet till ett vägguttag när han skulle koppla ihop en glödlampa och ett batteri för att få glödlampan att lysa. Çepni och Keleş (2006) menar att en anledning till att elever bara ritar en sladd mellan glödlampan och batteriet kan vara de elektriska apparater eleverna möter i vardagen. De apparater som eleverna träffar på har bara en synlig sladd vilket kan ge upphov till uppfattningen unipolära modellen. Eleverna i år 5 som uppvisade den unipolära modellen uppfyller målen som Skolverket (2000a) har satt upp eftersom de handlar om den elektriska kretsens tillämpningar. Det kan inte förväntas av elever i denna ålder att de ska kunna ge en fullständig förklaring av hur elektriska kretsar fungerar. Även den tredje 11-åriga eleven (R3) som intervjuades kan uppfylla Skolverkets mål. Hans korrekt ritade bilder byggde på att han kom ihåg hur han hade kopplat tidigare på NTA men med brist på förklaringar, kan vara godtagbara för en 11-årig elev. Shipstone (1988) menar, om än i relation till en annan kursplan, att alla elever inte behöver förstå det vetenskapliga synsättet utan att det räcker med en uppfattning om elektriska kretsar.

Det är inte bara de yngre eleverna som har svårt att förstå hur elektriska kretsar fungerar. De elever som uppfattade elektriska kretsar enligt strömförbrukningsmodellen är 15, 17 och 18 år. Tsai m.fl. (2007) nämner att denna modell identifierades både bland yngre och äldre elever men den var vanligast bland de yngre eleverna. I vår studie var det de äldre eleverna som använde sig av denna modell. Tsai m.fl. (2007) menar att huvudbegreppet som elever använder sig av är ström vilket vi kan styrka i våra resultat. Vårt resultat att respondenterna kan använda sig av idén om en sluten krets är relativt enkelt att tillämpa i jämförelse med användandet av andra begrepp som exempelvis ström som är vanligt förekommande i elevernas förklaringar. Dock ska elever i år 9 samt elever som läst Fysik A enligt Skolverkets (2000a; 2000b; 2000c) kursplaner känna till respektive ha kunskap om begrepp som ström och spänning. Eleverna som uppfattade elektriska kretsar enligt strömförbrukningsmodellen och konstant-strömkälla-modellen var 15 år och äldre och förväntas enligt Skolverket (2000a; 2000b; 2000c) även behärska grunderna i hur elektriska kretsar fungerar. I jämförelse med Skolverkets (2000a; 2000b; 2000c) kursplaner för år 9 och för Fysik A på gymnasiet tyder våra resultat på att dessa elever inte uppnår skolverkets mål.

Tre av respondenternas tankar kring elektriska kretsar överensstämde inte med någon av Kärrqvists (1985) modeller. Respondenternas uppfattning har vi gett namnet kopplingsberoende modellen. Calliot (1985) och Joshua och Dupin (1985) har belyst svårigheterna elever har att tolka olika kopplingsschema utifrån deras utseende. Johsua och Dupin (1985) fokuserar på hur studenter tolkar olika kretsar och deras komponenter med hjälp av metaforiska resonemang där man exempelvis betraktar ström som ett flöde. Deras uppfattning är att olika typer av kretsar inducerar olika typer av metaforiska resonemang. Emellertid, i denna studie utreds genom intervjuer på vilket sätt elever tolkar olika kopplingsscheman utifrån deras utseenden. De respondenter i vår studie som uppvisar den kopplingsberoende modellen fokuserar i stort bara på sladdarnas utseende i kretsen och hur dessa sladdar är kopplade till glödlampan och batteriet. I tidigare studier

har man uppmärksammat att ström, elektricitet och energi används synonymt (Borges & Gilbert, 1999). Våra resultat tyder även på att ordet sladd kan användas synonymt för exempelvis ström eller spänning. Sladdarnas utseende och funktion är inget som Johsua och Dupin (1985) explicit redogör för. Vidare redovisar inte Johsua och Dupin (1985) på vilket sätt som kretsens utseende spelar roll. Vår uppfattning är att den kopplingsberoende modellen bidrar med ännu en förklaringsmodell utöver Kärrqvists (1985) tidigare modeller och Joshua och Dupin (1985) tidigare resultat. I figur 14a, b och c illustreras den kopplingsberoende modellen utifrån R8:s svar på intervjufrågorna. R8 menade att lika stor ström går ut från ett batteri till varje sladd som är kopplad till batteriet. Om två sladdar är kopplade direkt till ett batteri finns lika mycket ström i varje sladd. Antag att det är strömstyrkan I i varje sladd (se figur 14a). Totala strömmen i kretsen är då 2I. Är en sladd kopplad till batteriet finns återigen strömmen I. Glödlamporna som finns i den kretsen, oavsett om det är serie- eller parallellkoppling får sedan dela på strömmen I (se figur 14b & figur 14c). Beroende på hur många sladdar som är direkt kopplade till batteriet så är strömmen i kretsen olika.




*Figur 14a: Lika stor ström, I, i varje sladd. b; Glödlamporna delar på strömmen I, c; Glödlamporna delar på strömmen I*

R8 hade använt sitt tänkande konsekvent borde han ha sagt att lamporna i 4.2 lyser lika starkt som i 4.0. Detta skulle eventuellt kunna passa in under en strömförbrukningsmodell, men i den insamlade empirin för R8 finns det inget som styrker detta. De övriga två respondenterna som uppvisade den kopplingsberoende modellen använde sig av antalet sladdar och hur kopplingen ser ut för att motivera sina svar. R7 blandade orden ström, sladd och koppling utan att riktigt skilja dem åt i betydelse. R3 däremot använde sig bara av ordet sladdar vid motivering av sina svar. Det var svårt att kategorisera vissa av respondenternas resonemang. Exempelvis har R10 uppvisat en konstant-strömkälla-modell, men skulle eventuellt kunna placeras under den kopplingsberoende modellen. Emellertid, anser vi att R10 använder en konstant-strömkälla-modell, eftersom vi inte är säkra på om R10 tänker sekventiellt när han diskuterar ljusstyrka i lamporna i bild 5.1 och 5.2.

Kärrqvist (1985) framhåller att den unipolära modellen samt tvåkomponentmodellen innebär att eleverna kan betrakta glödlampan som enpolig eftersom uppfattningen då är att strömmen endast går från batteriet till glödlampan (antingen via en eller två sladdar). I övriga modeller är uppfattningen att glödlampan är tvåpolig. Vår studie, som både består av konkreta kretsar och ritade kopplingsscheman, tyder dock på att elever som uppvisar andra modeller, som innebär att ström även går från glödlampan till batteriet, också betraktar glödlampan som enpolig. Sex av nio elever ser glödlampan som enpolig, endast två av dessa uppvisar unipolära modellen, ingen uppvisar tvåkomponentmodellen. Engelhardt och Beichner (2004) visar samma resultat, elever har bristfällig kunskap om hur en glödlampa kopplas in i en krets. Ett problem, enligt Engelhardt och Beichners resonemang, är att ett kopplingsschema inte visar att en glödlampa har två poler. Om eleverna främst betraktar kopplingsscheman behöver de inte reflektera över glödlampans uppbyggnad.

Respondenterna i studien hade svårt att tolka olika kopplingsscheman och problem med att föra spännings- och potentialresonemang. Svårigheterna med att tolka olika kopplingsscheman skulle kunna bero på ensidiga framställningar av kopplingsscheman i respondenternas tidigare fysikundervisning. För att uppfylla skolverkets mål för den elektriska kretsen, bör elever i år 9 och elever som läser fysik A, exponeras för flera för olika varianter av kopplingsscheman där man explicit studerar olika kretsar och identifierar var potentialfallen finns. Det vore spännande och intressant att i framtiden få möjlighet att studera i vilken grad symbolerna i en elektrisk krets påverkar elevers sätt att resonera om elektriska kretsar.

## Referenser


Borges, A.T., & Gilbert, J.K. (1999). Mental models of electricity. *International Journal of Science Education, 21*(1), 95-117.

Caillot, M. (1985). Problem representations and problem-solving procedures in electricity. I R. Duit, W. Jung, C. von Rhöneck (red.), *Aspects of understanding electricity* (s. 139-151). Kiel: IPN.

Çepni S., & Keleş E. (2006). Turkish students' conceptions about the simple electric circuits. *International Journal of Science and Mathematics Education, 4* (2), 269-291.

Chiu, M-H., & Lin, J-W. (2005). Promoting fourth graders' conceptual change of their understanding of electric current via multiple analogies. *Journal of Research in Science Teaching, 42*(4), 429-464.

Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., & Wood-Robinson, V. (1994). *Making sense of secondary science - Research into children's ideas*. London: Routhledge.

Duit, R. (1985). The meaning of current and voltage in everyday language and its consequences for understanding the physical concepts of the electric circuit. I R. Duit, W. Jung, C. von Rhöneck (red.), *Aspects of understanding electricity* (s. 205-226). Kiel: IPN.

Engelhardt, P. V., & Beichner, R. J. (2004). Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. *American Journal of Physics, 72*(1), 98-115.

Jaakkola, T., & Nurmi S. (2004). *Academic impact of learning objects: the case of electric circuits.* Presenterat som en del av the 'Learning objects in the classroom: a European perspective' symposium at the British Educational Research Association annual conference, Manchester, 16-18 september 2004.

Johsua, S., & Dupin, J. J. (1985). Schematic diagrams, representations and type of reasoning in basic electricity. I R. Duit, W. Jung, C. von Rhöneck (red.), *Aspects of understanding electricity* (s. 129-138). Kiel: IPN.

Kärrqvist, C. (1985). *Kunskapsutveckling genom experimentcentrerade dialoger i ellära.* Göteborg: Acta universitatis Gothoburgensis.

Osborne, R., & Freyberg, P. (1985). *Learning in Science. The implications of children's science.* Auckland: Heinemann Education.

Shipstone, D. M. (1984). A study of children's understanding of electricity in simple DC circuits. *European Journal of Science Education, 6*(2), 185-198.

Shipstone, D. M. (1985). Electricity in simple circuits. I R. Driver, E. Guesne, & A. Tiberghien (red.) *Children's ideas in science* (s. 33-51). Milton Keynes: Open university press.

Shipstone, D. M. (1988). Pupils' understanding of simple electrical circuits. Some implications for instruction. *Physics Education, 23,* 92-96.

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*(3), 303-316.

Skolverket (2000a). *Grundskolan – Kursplaner och betygskriterier.* Stockholm: Fritzes.

Skolverket (2000b). *Naturvetenskapsprogrammet – Programmål, kursplaner, betygskriterier och kommentarer.* Stockholm: Fritzes.

Skolverket (2000c). *Teknikprogrammet – Programmål, kursplaner, betygskriterier och kommentarer.* Stockholm: Fritzes.

Tsai, C-H., Chen, H-Y., Chou, C-Y., & Lain, K-D. (2007). Current as the key concept of Taiwanese students' understandings of electric circuits. *International Journal of Science Education, 29*(4), 483-496.

Vetenskapsrådet (2002). *Forskningsetiska principer inom humanistisk-samhällsvetenskaplig forskning.* Stockholm: Vetenskapsrådet.