

Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty		Laitos/Institution – Department	
Matematisk – Naturvet. fakulteten		Institutionen för fysik	
Tekijä/Författare – Author			
Markus Mattila			
Työn nimi / Arbetets titel – Title			
Studerandes förklaringsmodeller gällande glödlampors ljusstyrka i likströmskretsar			
Oppiaine /Läroämne – Subject			
Ämneslärare i fysik			
Työn laji/Arbetets art – Level		Aika/Datum – Month and year	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages
Pro gradu – avh.		24.12.2014	105
Tiivistelmä/Referat – Abstract			
<p>Studerandes begreppsförståelse är av stort intresse inom fysikundervisningen. Inte minst eftersom slutprov och eventuella förhör ofta ämnar att summativt bedöma just denna begreppsförståelse. De olika fysikaliska begreppen förekommer dock inte som från varandra isolerade entiteter, utan är kopplade till varandra på olika sätt via modeller.</p> <p>I den här undersökningen utreds hurdana förklaringsmodeller studerande använder då de förklarar glödlampors relativa ljusstyrka i likströmskretsar. Förutom själva förklaringsmodellerna så undersöks även hur studerandes användning av förklaringsmodeller ändras då de löser samma uppgift andra gången. Dessutom granskas hurdana förklaringsmodeller används av de studerande som är bra på att lösa de framförda likströmskretsuppgifterna.</p> <p>Som grund för forskningen användes transkriberade intervjuer där studerande skulle göra förutsägelser om likströmskretsar som presenterades för dem. Som intervjuobjekt fungerade femton (N=15) studerande på Helsingfors universitet vilka alla var ämneslärarstuderande med fysik som biämne. Ur detta material plockades sex (N=6) studerande vilkas svar analyserades med hjälp av en latent innehållsanalys.</p> <p>Totalt tretton olika förklaringsmodeller kunde urskiljas i studerandes resonemang. Då studerande löste samma uppgift för andra gången kunde två saker observeras. Om lamporna i likströmskretsen hade samma resistans så minskade de studerande i regel på antalet förklaringsmodeller de använde. Men om lamporna i likströmskretsen hade olika resistans så kunde motsvarande minskning inte observeras. De studerande som ofta resonerade korrekt i uppgifterna använde sig av förklaringsmodeller där begreppen elektrisk effekt eller energi framkom.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords			
Likströmskretsar, begrepp, modeller			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			

INNEHÅLL

REFERAT

1. INLEDNING	1
2. INLÄRNING AV VETENSKAPLIGA BEGREPP	3
2.1 VETENSKAPLIGA BEGREPP	3
2.1.1 Teorier om begrepp	3
2.1.2 Thomas Kuhns synsätt om begrepp.....	6
2.2 VETENSKAPLIGA MODELLER.....	13
2.3 MODELLER I UNDERVISNING OCH INLÄRNING	16
2.3.1 Kognitiv utilitet.....	18
3. STRÖMKRETSENS GRUNDBEGREPP	20
3.1 EN GRANSKNING AV LITTERATUREN	20
3.2 EN GRANSKNING AV STRÖMKRETSENS GRUNDBEGREPP UTGÅENDE FRÅN TEORIAVSNITTET	24
4. FORSKNINGSPROBLEMET OCH DISPOSITION	26
4.1 FORSKNINGSFRÅGORNA.....	26
4.2 MATERIALET/ FORSKNINGSMETODERNA	27
4.2.1 Deltagare.....	28
4.2.2 Innhållsanalys	28
4.3 ANALYSEN	29
4.3.1 Förklaringsmodellerna.....	30
4.3.2 Kategoriseringen av förklaringsmodeller.....	33
4.3.3 Exempel på analysen gällande förklaringsmodellerna.....	34
4.3.4 Analys av den enskilda studerandes modell användning.....	37
4.3.5 Jämförelse av uppgifterna 1-3 och 9 samt 6-8 och 10.....	38
4.4 UNDERSÖKNINGENS GILTIGHET OCH TILLFÖRLITLIGHET	40
5. RESULTAT	42
5.1 PRESENTATION AV RESULTATEN	43
5.1.1 Studerande 03	43
5.1.2 Studerande 04	44
5.1.3 Studerande 05	45
5.1.4 Studerande 011.....	46
5.1.5 Studerande 012.....	47
5.1.6 Studerande 013.....	49
5.2 SVAREN PÅ FORSKNINGSFRÅGORNA.....	50
6. DISKUSSION	52
7. SAMMANFATTNING	59
KÄLLOR	62
BILAGA A: EN DEL AV DET TRANSKRIBERADE MATERIALET	65
BILAGA B: LIKSTRÖMSKRETSUPPGIFTERNA	68
BILAGA C: TOLKNINGARNA, RELATIONERNA OCH MODELLERNA.	75

1. Inledning

I fysiken och speciellt inom fysikundervisningen har begrepp och modeller en väldigt central roll. Elever evalueras med kursprov vars syfte är ofta att mäta elevernas begreppsförståelse samt elevernas förståelse om hur dessa begrepp är kopplade till varandra. Vanligen sker detta genom att eleven löser problemuppgifter som liknar uppgifter de tidigare löst. Eleven måste här känna till hur de relevanta fysikaliska begreppen är kopplade till varandra och använda lämpliga modeller för att kunna lösa uppgiften. Till exempel kan det vara frågan om en modell för simpel harmonisk rörelse om uppgiften berör pendelrörelse, men väldigt ofta är det frågan om fysikaliska lagar, vilka kan betraktas som modeller som nått en sorts specialställning inom fysiken.

Begrepp och modeller innehar alltså en väldigt betydande roll inom fysikundervisningen. Således är det ytterst viktigt att lärarna som undervisar ämnet har en bra förståelse om begrepp och modeller, samt om elevernas begrepps- och modellanvändning. Genom att få en bättre bild över elevernas begrepps- och modellanvändning kan lärare konstruera välbetänkta uppgifter som tar i beaktande elevernas tendenser och svagheter och samtidigt styr dem mot en effektivare modellanvändning.

I det här arbetet granskas lärarstuderandes modellanvändning vid intervjuer där de löste uppgifter gällande likströmskretsar. Samtliga lärarstuderande ($N = 6$) hade fysik som biämne. Man har gjort liknande undersökningar där man betraktat studerandes förståelse av likströmskretsar och de relaterade begreppen. Bland annat har Cohen, Manion och Morrison (1983) granskat gymnasielevs och lärares förståelse av likströmskretsar. McDermott och Shaffer (1992) utförde en liknande undersökning med universitetsstuderande. Saari (2013) och Kokkonen (2013) granskade universitetsstuderandes förståelse av likströmskretsar ur lite olika perspektiv i sina Pro Gradu – avhandlingar. Men så gott som alla den här typens undersökningar har använt likströmskretsar där lamporna eller motstånden i kretsarna har samma resistans och undersökningarna har därmed ofta begränsat sig till begreppen ström, spänning och resistans. Intervjuerna som analyseras i detta arbete använde även uppgifter där lamporna i likströmskretsarna hade olika resistans. Syftet med dessa uppgifter är att driva fram en bredare begrepps- och modellanvändning bland de studerandena än vad som observerats i tidigare undersökningar. Således är också begreppen elektrisk effekt och energi aktuella i denna undersökning.

Arbetet stöder sig på filosofen Thomas Kuhns begreppssyn där vetenskapliga begrepp inte ses som explicit definierade väsen vilka är isolerade från varandra, utan snarare som entiteter vilka är sammankopplade via lagar och teorier (Andersen, Barker & Chen, 2006; Hoyningen – Huene, 1993). Enligt denna syn sker inläringen av begrepp genom att eleven löser uppgifter där det framkommer hur dessa begrepp är kopplade till varandra. Dessa begrepp och kopplingarna mellan dem utgör en struktur som Kuhn kallar "lexikon" (Hoyningen – Huene 1993). För att "förstå" ett begrepp måste man således kunna strukturen på den del av lexikonet där begreppet förekommer (Hoyningen – Huene, 1993). Då eleven löser uppgifter genom att koppla vetenskapliga begrepp till varandra via lagar och teorier sker detta med hjälp av modeller.

Det har skrivits en hel del om vetenskapliga modeller och deras betydelse för inläringen. Bland annat Hestenes (1987, 2010), Besson (2010), Gilbert (2004) och Matthews (2007) understryker modell användningens roll för inläringen. Ohlsson (2009) inför begreppet kognitiv utilitet som kan förstås som ett mått på hur användbar en modell är. Enligt Ohlsson är det modellernas kognitiva utilitet som bestämmer vilken modell en elev väljer att använda vid lösning av en uppgift. Den ger alltså en förklaring på elevens modell användning i situationer där eleven kan använda flera olika modeller. Kokkonen (2013) och Saari (2013) visar i sina Pro Gradu – avhandlingar att universitetsstuderande kan använda flera olika modeller vid lösning av likströmskrets uppgifter. I det här arbetet granskas därför studerandes modell användning också utgående från den kognitiva utiliteten som är associerad med modellerna.

Intervjuerna analyseras med hjälp av en kvalitativ innehållsanalys. De åtta förklaringsmodeller som Kokkonen (2013) framfört i sin Pro Gradu – avhandling och som vidare preciserats av Kokkonen och Mäntylä (under utg.) används här som botten för analysen. Men eftersom denna undersökning även innehåller uppgifter där lamporna har olika resistans så har listan av förklaringsmodeller nu vidareutvecklats till att innehålla totalt 13 olika förklaringsmodeller.

2. Inläring av vetenskapliga begrepp

I detta arbete undersöks studerandes begrepps- och modellanvändning inom ett delområde i fysiken. Därmed är en allmän granskning av både begrepp och modeller en logisk utgångspunkt med tanke på syftet med arbetet. I kommande kapitel ämnar jag att belysa frågor som "vad är ett begrepp?" och "hur sker inläringen av begrepp?" utgående från ett filosofiskt och ett psykologiskt perspektiv. Dessutom går jag igenom vad som menas med en modell och vilken roll dessa modeller har i begrepps-inläring.

2.1 Vetenskapliga begrepp

Vetenskapliga diskussioner kräver användningen av vetenskapliga begrepp. Vare sig det handlade om naturvetenskaper eller sociala vetenskaper så är man tvungen att stöda sig på olika begrepp då man diskuterar vetenskap eller producerar vetenskaplig text. Vilka begrepp som används beror givetvis på kontexten. Således är det lätt att förstå att dessa begrepp spelar en central roll vid olika vetenskapliga sammanhang. Därför är det kanske lite överraskande att det inte råder konsensus bland forskare, om vad exakt dessa begrepp är. Olika teorier gällande begrepp har utvecklats. Till följande ges en kort beskrivning av några av de populäraste teorierna.

2.1.1 Teorier om begrepp

Den klassiska teorin om begrepp

Den dominerande teorin om begrepp ända från antiken fram till mitten av 1900 – talet var den så kallade klassiska teorin om begrepp. Enligt den teorin är de flesta begrepp strukturerade mentala representationer som bestäms av nödvändiga och tillräckliga villkor. Begreppen kan här ses som en rad definitioner, som definierar själva begreppet. Till exempel begreppet "ungkarl" kan tänkas innehålla mentala representationerna "man", "inte gift" och "är vuxen". Dessa är alltså nödvändiga villkor för att någon skall kunna definieras som "ungkarl". Enligt den klassiska teorin kunde man fortsätta och definiera "man", "gift" och "vuxen" på motsvarande sätt, men eventuellt skulle man stöta på de primitivaste representationerna som inte är definierbara, utan är av sensorisk och perceptuell karaktär. Eftersom begrepp enligt den klassiska teorin har en struktur som består av definitioner, så sker också inläring av begrepp via insamling av de definitioner som begreppet består av. För att lära oss vad "ungkarl" är för något så måste vi alltså veta alla de nödvändiga mentala

representationerna ("man", "inte gift", "är vuxen", osv.) som "ungkarl" består av. (Laurence & Margolis 1999)

Den klassiska teorin har dock mött en hel del kritik under den senaste tiden. Såväl filosofer som psykologer har poängterat en rad brister i den. Bland annat det faktum att en stor del av begrepp helt enkelt inte kan definieras. Begrepp som skönhet och sanning har man, trots många försök, inte kunna definiera på något entydigt sätt. Ifall begrepp betraktas som en mängd definitioner så kan man stöta på problem, även vid relativt enkla begrepp. Är påven en "ungkarl"? Är en matta en "möbel"? Resultat från psykologiska undersökningar är också i konflikt med den klassiska teorin. Enligt den klassiska teorin är alla exempel på begrepp likvärdiga eftersom de delar samma mentala representationer. En oliv är alltså lika mycket en frukt som ett äpple. Undersökningar tyder dock starkt på att människan inte alltid uppfattar exempel på begrepp som likvärdiga. Ett äpple betraktas i regel som ett mera typiskt exempel på frukt än en oliv. Dessa resultat korrelerar även med resultat från andra undersökningar där man granskat hur snabbt olika objekt kategoriseras. Man har ställt frågor av typen "är X ett Y" och mätt tiden det tar för personer att svara på den. Ju mera typiskt ett objekt är av en kategori, desto kortare är svarstiden. Frågan "är ett äpple en frukt?" besvaras alltså i regel snabbare än frågan "är en oliv en frukt?". Som sagt ger inte den klassiska teorin om begrepp någon förklaring varför exempel på begrepp kan rangordnas så här. Tvärtom, så implicerar den att detta inte skulle ske eftersom en oliv är lika mycket en frukt som ett äpple. (Laurence & Margolis 1999). Som följd av den skarpa kritiken utvecklades nya, alternativa teorier om vad begrepp är och hur inlärning av begrepp sker. De tre viktigaste kan tänkas vara prototyp teorin, exemplarteorin samt ramteorin.

Prototyp teorin

Prototyp teorin utvecklades relativt snabbt av ett antal psykologer under 1970 – talet. Egentligen är det inte fråga om en speciell teori utan snarare än viss typs teori. Det har alltså utvecklats flera prototyp teorier. Det som alla prototyp teorier dock har gemensamt är att de påstår att begrepp är prototyper. En prototyp av en viss klass är en mängd statistisk kunskap gällande egenskaper som medlemmar i denna klass anses inneha. En prototyp av en fågel kan tänkas ha egenskaperna: flyger, kvittrar, liten, har näbb, har två ben. Enligt teorin så jämför vi objekt vi ser med prototyper från olika klasser som vi lagrat i långtidsminnet. Den prototypen

som delar mest egenskaper, prototypen som alltså är mest likt det vi sett så bestämmer vad vi anser vi sett och hur vi kategoriserar objektet. Ser vi ett objekt som kan flyga och kvittrar så jämför vi detta med olika prototyper vi minns. Vi märker att objektet har mest gemensamt med prototypen av "fåglar" (och mer gemensamt än med prototypen av till exempel "hundar") och således uppfattar vi objektet som en fågel, även om den kanske inte är liten.

Prototypeteorin lyckas förklara det som den klassiska teorin om begrepp inte klarar av, nämligen varför vi kategoriserar vissa medlemmar av en klass snabbare än andra. Sparven har mer gemensamma egenskaper med prototypen "fågel" än pingvinen har, vilket i sin tur leder till snabbare kategorisering. (Machery 2009)

Det är värt att notera att en viss klass prototyp inte hänvisar till något visst objekt som vi stött på tidigare utan är snarare ett sorts statistiskt genomsnitt på medlemmar som vi kategoriserat i denna klass. Den exakta naturen på denna statistiska kunskap som utgör prototypen är psykologer inte eniga om och det är främst den här frågan som skiljer de olika prototypteorierna. Prototypsteorin har dock stött på en del kritik. Främst eftersom den inte klarar av att förklara vilka är de egenskaperna som kunskapen i en prototyp består av. (Machery 2009)

Exemplarteorin

Exemplarteorin utvecklades några år efter prototypeteorin och påminner till en viss del också om den. Enligt exemplarteorin så jämför vi inte i förstahand objekt med prototyper som alltså kan uppfattas som statistiska genomsnitt av medlemmarna i någon kategori, utan objektet jämförs direkt med någon medlem som vi minns och alltså har erfarenheter av. Då vi ser någonting som flyger och är litet, så jämför vi denna varelse med en eller flera specifika fåglar (exemplar) vi sett tidigare varefter vi kan kategorisera den nya varelsen som en "fågel" ifall den har liknande egenskaper som exemplaren. Således skiljer sig exemplarteorin från prototypeteorin också i beskrivningen av människans kognitiva processer vid begreppsbildning. Då vi stöter på medlemmar i någon viss kategori, till exempel ser en sparv på busshållplatsen, så sparar vi minnet av denna medlem (sparven) för att senare kunna jämföra andra djur direkt med den. Vi skulle alltså i förstahand inte jämföra andra djur med något statistiskt medeltal av fåglar, utan direkt med den denna sparv vi mött på busshållplatsen eller andra fåglar vi minns. (Machery 2009)

Precis som prototypeteorin så förklarar inte heller exemplarteorin vilka egenskaper som är viktiga och som jämförs med exemplarerna. Eftersom varje objekt eller individ kan tänkas ha ett oändligt antal egenskaper så borde exemplarteorin specificera de relevanta egenskaperna vid jämförelsen. Detta gör den dock inte, vilket har setts som teorins största brist. (Machery 2009)

Ramteorin

Ramteorin har sitt ursprung i 1930 – talet från psykologen Sir Frederic Bartlett studier gällande minnet, men nådde ökad popularitet först efter 1970 – talet då den användes för att modellera artificiell intelligens inom datavetenskaperna. Den handlar i grund och botten om noder som är ordnade i en viss hierarki. En vidareutveckling av teorin skedde dock på 1990 – talet då den kognitiva psykologen Lawrence W. Barsalou använde ramteorin för att beskriva begrepp. Han kom att kalla denna typs teori för "dynamisk ramteori". Denna dynamiska ramteori har senare tillämpas på vetenskapliga begrepp bland annat Peter Barker, Hanne Andersen och Xiang Chen som använde denna dynamiska ramteori för att beskriva hur begreppsförståelsen ändras för den lärande. (Andersen et al. 2002)

De exakta detaljerna om ramteorin är ointressanta med tanke på syftet för detta arbete, som stöder sig på filosofen Thomas Kuhns synsätt på begrepp och begreppsbyggnad. Vissa av Kuhns idéer har dock vidareutvecklats utgående från bl.a. ramteorin. Dessa fall poängteras här skilt.

2.1.2 Thomas Kuhns synsätt om begrepp

Från 1969 till 1994 utvecklade filosofen Thomas Kuhn en egen teori om begrepp och begreppsbyggnad utgående från Wittgensteins tankar om familjelikheter. Han var speciellt intresserad av hur själva användningen och betydelsen av ett begrepp ändras (eng. conceptual change). Tyvärr, blev hans teorier ignorerade av en stor del av det vetenskapliga samfundet även om liknande teorier utvecklades samtidigt (prototyp- och exemplarteorin). Efter millennieskiftet så har en del av hans tankar ändå nått stor popularitet, speciellt bland vetenskapssociologer. Hans tankar gällande begreppsbyggnad inom vetenskaper har dock hamnat i skuggan av hans övriga bidrag (Andersen 2002). Till följande ger jag en beskrivning

på Thomas Kuhns synsätt på begrepp och begreppsinnlärning samt vissa vidareutvecklingar av dessa.

Lärandeprocessen

Det enklaste sättet att introducera Kuhns synsätt på begrepp lär vara genom att beskriva hans tankar om själva lärandeprocessen. Han ger ett typexempel på denna process där ett barn lär sig begreppen "svan", "gås" och "anka". Som stöd för lärande fungerar en vuxen som redan är bekant med klassificeringen av vattenfåglar. Lärandeprocessen går ut på att barnet visas olika exempel (se bild 1) på vattenfåglar varefter den vuxna konstaterar om det är frågan om en "svan", "gås" eller "anka". Barnet får också själv pröva kategorisera dessa vattenfåglar. Hans misstag korrigeras och han får beröm för sina lyckanden. Efter en viss tid så har barnet lärt sig att identifiera och utpeka dessa vattenfåglar på ett motsvarande sätt som den vuxna. De olika exemplen av vattenfåglarna är inte identiska med varandra. Alla svanar som utpekats är alltså inte identiska, men de har likheter med varandra vilket möjliggör att de kan grupperas i en och samma grupp (se bild 2). (Andersen et al. 2002)

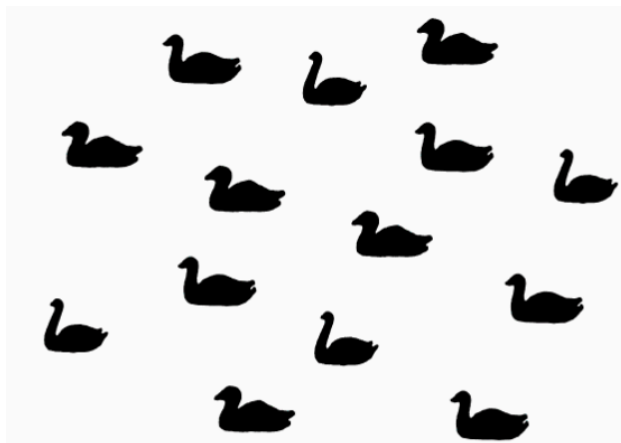


Bild 1. Olika exempel på ankor, gäss och svanar presenteras för barnet som lär sig om vattenfåglar. (Andersen et al. 2002, s. 21)

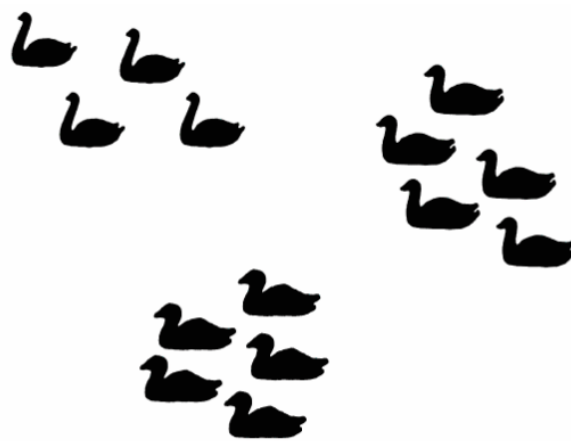


Bild 2. Vattenfåglarna kan indelas i grupper där medlemmarna i en grupp liknar varandra. (Andersen et al. 2002, s. 22)

Enligt Kuhn är det precis denna sorts utpekning av exempel och gruppering, som är det primära pedagogiska verktyget vid undervisning och inlärning. Det som är märkvärdt här är att barnet inte ges någon särskild definition på vad t.ex. en "anka" är utan blir direkt tilldelad

flera exempel på begreppet "anka". Begreppsinnlärning sker här alltså inte genom att man definierar några nödvändiga och tillräckliga villkor som den klassiska begreppsteorin skulle medföra utan via utpekning av exempel. Det är precis denna utpekning av exempel som är den drivande kraften i inlärning enligt Kuhn. (Anderson et al 2002, Hoyningen – Huene 1993)

Likhetsklasser

I exemplet ovan så delar barnet in vattenfåglar i "svan", "gås" eller "anka". Vattenfågeln indelas med andra ord in i olika slags kategorier. Beslutet om en viss fågel tillhör en viss kategori görs på basen av dens likhet med kategorins övriga medlemmar. Denna typs kategorier kallar Kuhn för likhetsklasser (ordet "likhetsklass" är min egen översättning från det engelska ordet "similarity class") (Andersen et al 2002). Det finns inga explicit definierade krav på egenskaperna som medlemmarna i någon viss likhetsklass måste uppfylla, endast att medlemmarna inom kategorin delar någon form av familjelikhet. Ordet familjelikhet används här i den bemärkelse som Wittgenstein använde det. Det är alltså fullt möjligt för två medlemmar i en grupp inte liknar varandra så länge de liknar de övriga (eller en del av de övriga) medlemmarna i likhetsklassen.

Klassificeringen av ett visst exemplar i någon likhetsklass sker alltså inte på basen av några bestämda likheter eller olikheter, utan de kännetecken som kan användas vid jämförelsen kan variera från fall till fall. En konsekvens av detta är att vissa exemplar av något visst begrepp har mera likheter än andra exemplar och kan därmed betraktas som bättre exempel av begreppet (Andersen et al 2002). Som exempel kan lyftas det tidigare fallet med äpplet och oliven. Ett äpple kan tänkas ha mera likheter med de övriga frukterna än en oliv och därmed kan det betraktas som ett bättre exempel på begreppet "frukt". Familjelikheten, som Kuhns teori alltså baserar sig på, ger ett svar på frågan som den klassiska begreppsteorin hade problem med; varför kan olika exempel av begrepp rangordnas?

Vilka är då dessa likheter och olikheter som skall användas då exemplar klassificeras i olika likhetsklasser? Kuhn säger själv "då termer matchas med sina referenser så kan man använda sig vad som helst man tror eller vet om referenserna". Med andra ord finns det alltså inga begränsningar på vilka likheter och olikheter som används i indelningen (Andersen et al 2002). Det kanske största problemet med prototypeteorin och exemplarteorin är att de inte klarar av att beskriva de relevanta egenskaperna då begrepp rangordnas. De förklarar inte

vilka är de egenskaper som gör ett äpple ett bättre exempel på en frukt än en oliv. Kuhns teori om begrepp som baserar sig på familjelikhet undviker detta problem eftersom familjelikhet inte kräver en bestämd lista på egenskaper utan tillåter en jämföring av alla tänkbara likheter och olikheter.

Likhetsrelationer

En fundamental byggsten i Kuhns teori om begrepp är likhetsrelationerna (ordet "likhetsrelation" är min egen översättning från det engelska ordet "similarity relation"). Likhetsrelationerna kan betraktas som delar vilka tillsammans utgör grunden för en likhetsklass (Hoyningen – Huene 1993). I exemplet med vattenfåglarna så är svanarna vita och ankorna och gåsarna är bruna. I detta fall råder det en likhetsrelation gällande färg som kopplar de olika svanarna. Ifall man endast betraktar denna likhetsrelation kunde dessa vattenfåglar delas in i likhetsklasserna "vita vattenfåglar" (svanar) och "bruna vattenfåglar" (ankor och gåsar). För att ytterligare skilja mellan ankorna och gåsarna kunde man betrakta till exempel fåglarnas nacke. Svanarna och gåsarna har långa en nacke men ankorna har en kort nacke. För att kunna gruppera fåglarna i likhetsklasserna svan", "gås" och "anka" så måste man betrakta såväl likheter som olikheter mellan de olika fåglarna. Medlemmarna i en likhetsklass delar alltså inte bara vissa likheter med varandra men också olikheter med medlemmar i de övriga likhetsklasserna. På så sätt delar dessa likhetsrelationer (och "olikhetsrelationer") in exemplar i olika likhetsklasser (se bild 3)

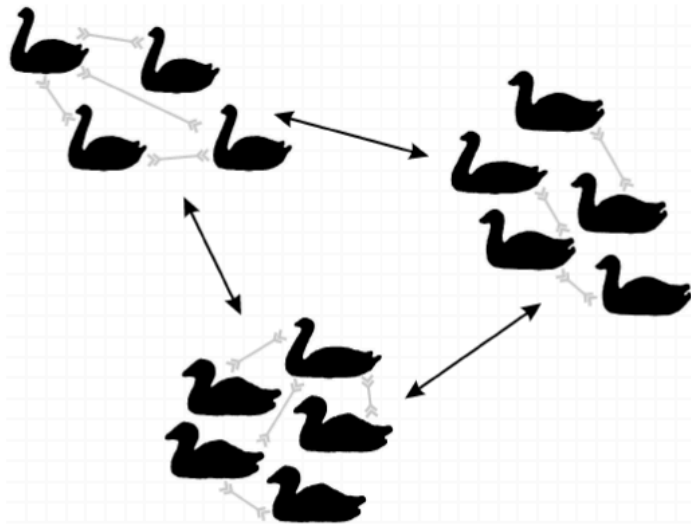


Bild 3. Både likheter (gråa pilarna) och olikheterna (svarta pilarna) möjliggör indelningen i likhetsklasser. (Andersen et al. 2002, s.25)

Likhetsrelationerna och likhetsklasserna bildar tillsammans en sorts begreppsstruktur där klasser spjälks upp i mindre, mer specifika klasser. Till exempel kan klassen "vattenfåglar" tänkas innehålla objekt vilka alla är försedda med simhud och är rulta. Objekt som inte är rulta eller inte är försedda med simhud tillhör således en annan klass. Klassen "vattenfåglar" kan vidare delas in i mer specifika kategorier så som "svan", "anka", och "gås" på basen av likhetsrelationerna som råder mellan vattenfåglarna (se bild 4). (Andersen et al 2002, Hoyningen – Huene 1993).

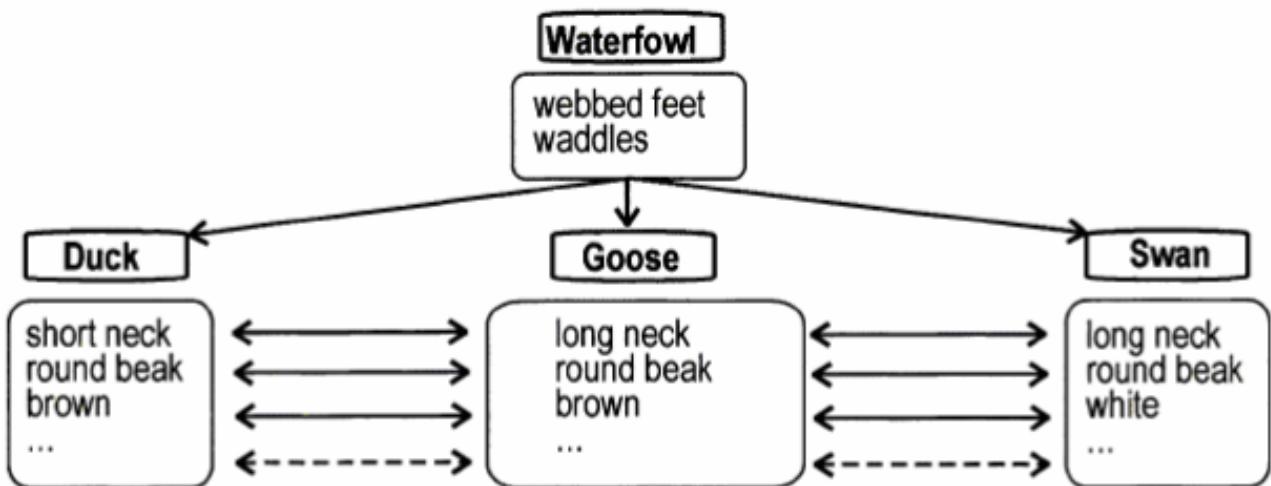


Bild 4. Likhetsrelationerna mellan objekten och likhetsklasserna formar tillsammans en sorts hierarkisk begreppsstruktur. (Andersen et al. 2002, s. 25)

I frågan om dessa likhetsrelationer är något som redan existerar och väntar på att bli "funna" eller om de är påhittade av människan så tar Kuhn en sorts gyllene medelväg. Enligt honom har frågan inte ett klart "ja" eller "nej" svar utan han konstaterar att likhetsrelationerna till en viss mån redan finns i naturen och "väntar på att bli hittade" men att människorna också själv placerar likhetsrelationerna dit. Således tar Kuhn inte någon stark ställning i subjektivism/objektivism frågan. (Hoyningen – Huene 1993)

Normiska och nomiska begrepp

Kuhn delar in begreppen i två olika kategorier, nomiska (nomic) och normiska (normic). Med normiska begrepp menar Kuhn begrepp var det förekommer undantag i deras generalisering. Exempel på normiska begrepp inom fysiken är gas, vätska och fast ämne. Generellt gäller att "vätskor utvidgar sig då värme tillförs", men undantagsvis så stämmer det inte för vatten mellan 0 och 4 grader Celsius (Andersen & Nersessian 2000). Med nomiska begrepp menar Kuhn begrepp där det inte förekommer undantag i deras generaliseringar. I fysiken är begreppen längd och kraft exempel på nomiska begrepp. Generaliseringarna gällande dessa begrepp är naturlagar, som till exempel Newtons tre lagar som definierar kraften, och är såtillvida undantagslösa. (Andersen & Nersessian 2000). Lite vagare sagt så hänvisar alltså normiska begrepp till vardagliga begrepp och nomiska begrepp till vetenskapliga begrepp.

En annan viktig skillnad mellan normiska och nomiska begrepp är nivån där likhetsrelationerna påträffas. Normiska begrepp delar likheter och olikheter på ren begreppsnivå och kan dessutom utpekats i flera olika exemplar. Till exempel kan man utpeka flera exempel på "gas" och hitta likheter mellan dem och olikheter mellan en "gas" och en "vätska". Däremot kan detta inte göras med nomiska begrepp. Det är omöjligt att utpeka flera exempel på "massa" och därmed hitta någon form av likheter eller olikheter gällande själva begreppet. Det går givetvis att utpeka flera objekt med olika massor, men det går inte att direkt peka ut flera olika ensamstående massor. Däremot förekommer likhetsrelationerna på problemlivå i fysiken. Man kan finna olika problem där samma naturlagar måste användas vid lösningen och där samma begrepp förekommer. Till exempel förekommer Newtons andra lag i fritt fall, harmoniska oscillatorn, och enkla pendeluppgifter men det går inte att utpeka liknande likheter mellan begreppen "massa", "acceleration" och "kraft". (Andersen et al. 2002).

Kvasi-ontologisk kunskap och kunskap om regelbundenheter

Både begreppen "kvasi-ontologisk kunskap" och "kunskap om regelbundenheter" är begrepp som Hoyningen – Huene format i samband med att han vidareutvecklat Kuhns teori utgående från ramteorin. (Hoyningen – Huene 1993)

Som tidigare nämndes så formar likhetsklasserna tillsammans med likhetsrelationerna en sorts begreppsstruktur. Själva begreppsstrukturen implicerar ett sorts antagande om vad som existerar och vad som inte existerar. Den innehåller alltså någon form av ontologisk kunskap. Men en begreppsstruktur är inte på något sätt absolut i den meningen att den är oförändrad och unik. Olika begreppsstrukturer som baserar sig på olika likheter och olikheter kan mycket väl implicera olika antaganden om vad som existerar och inte existerar. Denna typs ontologiska kunskap som är beroende av själva begreppsstrukturen kallar Hoyningen – Huene för kvasi-ontologisk kunskap. (Andersen et al 2002, Hoyningen – Huene 1993)

Det att begrepp inte är explicit definierade leder ytterligare till en intressant sak. Olika medlemmar av samma lingvistiska grupp kan ha likadana grupperingar, det vill säga likadana likhetsklasser bestående av likadana medlemmar, även om de kategoriserar dem på basen av olika kännetecken, det vill med säga olika likhetsrelationer. Detta antyder eller kan till och med ses som bevis för att det finns någon empirisk korrelation mellan de olika kännetecknen. Detta i sin tur kan användas för att förutsäga ytterligare egenskaper gällande begreppen. Till exempel så kan man anta att ifall en fågel har simhud så bygger den sitt bo antagligen inte i ett träd. Denna typ av kunskap som härstammar från själva begreppsstrukturen kallar Hoyningen – Huene för kunskap om regelbundenheter. (Hoyningen – Huene 1993, Andersen et al 2002)

Teoretiska kunskapens betydelse för inläringen

Som tidigare konstaterades så menar Kuhn att inläring av vetenskapliga begrepp inte sker via granskning av explicita definitioner av begrepp utan ett begrepps betydelse framgår från problemuppgifter (och deras lösningar) där lagar och teorier måste tillämpas. Uppgifterna och lösningarna spelar således en central roll i inläringen av vetenskapliga begrepp. Vissa uppgifter kan också betraktas som mera väsentliga för inläringen en andra. Dessa uppgifter

och deras lösningar där ett begrepps betydelse klart framgår och således fungerar som en form av referenspunkt för framtida inläring kallar Kuhn för "paradigmer". De fungerar alltså som ett sorts "standard exempel" (Andersen et al 2002). Inläring sker således genom att lösa stegvis svårare och mer komplexa uppgifter. En annan viktig sak med tanke på undervisning och inläring är att då den lärande har svårigheter att lösa uppgifter så skall detta inte tolkas som hans strävan till att lära sig att tillämpa ett redan lärt begrepp. Snarare skall detta ses som hans strävan att lära sig själva begreppet via likhetsrelationer och att hans förståelse av begreppet ännu är ofullständig. Enligt Kuhn har den lärande "lärt sig begreppet" eller "förstår begreppets betydelse" endast om han kan använda det på motsvarande sätt som de övriga medlemmarna i det vetenskapliga samfundet. (Hoyningen – Huene 1993).

Eftersom vetenskapliga begrepp lärs utgående från problem och uppgifter där flera begrepp sammankopplas av lagar och teorier så betyder det att inläringen av ett vetenskapligt begrepp aldrig sker i isolation från andra begrepp. Inläringen av ett begrepp sker alltså alltid i samband med inläring av ett annat begrepp. Ett begrepp saknar betydelse då den granskas isolerad från andra begrepp. Den får endast mening då den ses som ett moment i ett slags nätverk av begrepp där begreppen är kopplade till varandra. Detta nätverk av begrepp kallar Kuhn för ett "lexikon" eller "lexikalt nätverk". För att användningen av ett begrepp kan betraktas som korrekt måste detta begrepp vara kopplad till andra begrepp på ett likadant sätt som övriga medlemmarna i samfundet. Dessa kopplingar mellan begreppen och begreppen själv ger lexikonet en struktur. För att lära sig ett begrepp måste den lärande alltså lära sig strukturen på den delen av lexikonet där begreppet hittas. (Hoyningen – Huene 1993)

Inläring av ett vetenskapligt begrepp sker alltså alltid i samband med andra vetenskapliga begrepp. En samtida användning av begrepp kräver att de kopplas till varandra via lagar och teorier. Detta sker i huvudsak med hjälp av modeller. På så vis har modeller en central roll i begrepps-inläringen.

2.2 Vetenskapliga modeller

Vetenskapshistorien präglas av modeller i flera olika sammanhang. Atomen framställs ofta som ett "miniatyr solsystem" där planeterna (elektroner) snurrar runt solen (atomkärnan), Watson byggde en modell av DNA strukturen ur kartong, och elektrisk ström i en elektrisk krets liknas ofta med vatten som strömmar i en flod. Fysikböcker är fyllda med fysikaliska

lagar som kopplar olika begrepp eller på annat sätt beskriver naturen. Som exempel kan nämnas Newtons tre rörelselagar vilka antagligen förekommer i varje mekanikbok. Dessa lagar är också modeller, men på grund av deras specialställning inom fysiken så talar man ofta om den som lagar.

Det finns en rad olika tolkningar på vad vetenskapliga modeller egentligen är och deras epistemologiska betydelse. Hestenes (2010) definierar en modell som en representation av ett givet systems struktur. Systemet består av objekt som är kopplade till varandra och det är denna koppling som utgör systemets struktur. Han utvecklar också definitionen för att gälla specifikt för vetenskapliga modeller. Enligt honom är en vetenskaplig modell en representation av ett fysikaliskt systems eller process struktur. Den senare definitionen skiljer sig från den första endast i det syftet att den första tillåter system som består av påhittade, mentala objekt men vetenskapliga modeller är i sin tur alltid kopplade till verkliga objekt. Silva (2007) nöjer sig med att kort konstatera att modeller är "representationer av idéer, objekt, fenomen och system" (Silva 2007, s.836, egen översättning). Besson (2010) påpekar att det som kännetecknas av de flesta tolkningar är att modeller på något sätt representerar ett "målsystem" med hjälp av ett "källsystem" och avbildar vissa egenskaper och strukturer från den ena till den andra. I dessa tolkningar är det alltså modellen som representerar något. Giere (2004) påpekar dock att det inte är modellen utan alltid en person, t.ex. en forskare, som gör denna representation. Han hävdar att "forskaren använder modeller för att representera aspekter i världen för varierande syften" (Giere 2004, s. 747, egen översättning). Enligt Giere (2004) är modeller det primära verktyget för denna typs representering inom vetenskapen. Så även om man kan med säkerhet konstatera att modeller spelat en stor roll inom naturvetenskaper så råder inget konsensus om vad som egentligen menas med en vetenskaplig modell och vad det exakt är. Detta hindrar oss ändå inte från att effektivt undersöka modeller eftersom skiljaktigheterna mellan de olika tolkningarna och definitionerna av modeller är i regel väldigt små.

I grunderna för gymnasiets läroplan 2003 är ett av målen inom fysiken att eleven skall "se människan som en del av naturen och förstå fysikens roll när det gäller att beskriva naturen" (Utbildningsstyrelsen 2003, s. 146). I grunderna för läroplanen för den grundläggande utbildningen 2004 står att "Undervisning i fysik i årskurserna 7-9 har som huvuduppgift att vidga elevens kunskaper i fysik och hans eller hennes uppfattning om den fysikaliska kunskapens karaktär och stärka förmågan att skaffa kunskap med hjälp av undersökningar"

(Utbildningsstyrelsen 2004, s. 188). Läroplanerna dikterar alltså inte bara vilka delområden i fysiken som eleven skall studera och vilka begrepp, strukturer och processer som skall läras, utan framhäver att eleven även skall få en djupare insikt i själva kunskapens natur, dens karaktär. Den innehåller alltså mål som tar ställning till epistemologiska frågor inom fysiken. Detta är inte endast ett nationellt fenomen i Finland utan runt om i världen har man i undervisningen i naturvetenskaper börjat fästa allt mer uppmärksamhet på de epistemologiska aspekterna (Matthews 2007). Eftersom tidigare konstaterades att modellerna spelar en viktig roll inom fysiken så är det klart att man inte heller kan negligera modellernas epistemologiska karaktär.

I frågan om modellernas epistemologiska karaktär finns det inom vetenskapsfilosofin två huvudsakliga ståndpunkter; realism och icke-realism (positivism, empirism, konstruktivism, instrumentalism och pragmatism). Enligt realister så kan vi ur våra modeller få information om hur naturen verkligen ser ut och icke-realister hävdar att modeller är begränsade av människans kognitiva förmåga. (Matthews 2007). Enligt den icke-realistiska synen så kan man alltså inte få någon desto djupare kunskap om naturen, dens processer eller bekräfta teorier som dessa modeller innefattar. Som exempel kan lyftas tolkningen av gravitationskraften. Gravitationskraften mellan solen och jorden kan ses som en växelverkan mellan dessa två himlakroppar där solen skapar ett "gravitationsfält" som jorden befinner sig i. Eftersom jorden befinner sig i detta gravitationsfält så påverkas den därmed av en gravitationskraft vars effekter vi kan observera (jorden åker runt solen). Modellen innehåller alltså begreppet "gravitationsfält" men huruvida detta "fält" verkligen existerar i naturen eller om det endast är en mental konstruktion av människan är en epistemologisk fråga. Realisten skulle hävda att dessa modeller ger insyn i hur naturen ser ut och att fälten därmed är verkliga ting i naturen. Fält existerar alltså oberoende människan. Den icke-realistiska synen skulle däremot påstå att begreppet fält endast är en konstruktion av människan. En del vetenskapsfilosofer anser dock att denna typs frågor inte är sanna vetenskapliga frågor och tar därmed heller ingen ställning till dem (Giere 2004).

Oberoende vilken epistemologisk ståndpunkt man väljer så är det klart att modellerna är väldigt användbara inom vetenskapen och undervisningen. I följande kapitel koncentrerar jag mig på modellers roll inom undervisningen utan att själv ta någon ståndpunkt till de epistemologiska frågorna.

2.3 Modeller i undervisning och inläring

Det är svårt att föreställa sig en värld där man inte använder modeller i undervisningen som stöd för inläringen. I en sådan värld skulle elever som lär sig om atomens struktur aldrig ha sett ett "miniatyr planetsystem" av atomen och varken sett eller hört någon jämföra elektronen med ett litet klot. Redan ur det faktum att modeller är så starkt etablerade i vår undervisningskultur så står det klart att de är användbara. Annars så torde användningen av dem ha dött ut för länge sedan.

På senaste tiden har dock vetenskapliga modeller och deras roll inom undervisningen varit ett mycket omdiskuterat ämne bland pedagoger och forskare. År 2007 ägnade den vetenskapliga journalen *Science & Education* en hel upplaga åt ämnet modeller inom vetenskapen och undervisningen (*Science & Education* 2007) och det har publicerats en mängd artiklar gällande ämnet. Därmed har också modellens viktiga roll för inläringen understrukits av flera forskare. Bland annat Hestenes (1987, 2010), Besson (2010), Gilbert (2004) och Matthews (2007) lägger enormt stor vikt på modellernas betydelse för inläringen. Hestenes (1987, 2010) har länge förespråkat instruktions- och undervisningsmetoder som utgår från modeller. Enligt honom borde fysikundervisningen lägga mindre vikt på att undervisa fakta och formler och koncentrera sig på att utveckla elevens förmåga att själva konstruera och analysera modeller. Detta skulle enligt honom lyckas med en s.k. modelleringsteori (modelling theory) som han formulerat för undervisningen. Det är här inte ändamålsenligt att gå in på detaljerna av själva teorin men enligt Hestenes skulle den hjälpa eleven att organisera vetenskapliga teoriers information på ett sådant sätt att han eller hon kunde tillämpa dem bättre.

Som tidigare påpekades så definierar Besson (2010) modeller utgående från "målsystem" och "källsystem". Men eftersom det finns flera olika sätt att representera ett "målsystem" samt olika slags "målsystem" så är det klart att även modellerna som används för dessa representationer kommer att skilja sig väldigt mycket. Därmed finns det också en mängd olika sätt att skilja på modeller. Gilbert (2004) delar in modeller i sex olika typer: mentala, uttryckta, konsensus, vetenskapliga, historiska, och undervisningsmodeller. Grandy och Dushl skiljer däremot på fem olika typer: matematiska, fysikaliska, data, visuella modeller och analogier (se Besson 2010). I båda fallen har de sistnämnda modellerna, undervisningsmodeller samt analogier, en stor roll inom undervisning och inläring. Precis som namnet undervisningsmodeller antyder är det frågan om modeller som är specifikt

konstruerade för undervisning och vars syfte är att hjälpa eleven förstå det som undervisas. Analogier, som ofta kan ha rollen som undervisningsmodeller definieras av Duit och Glynn (1996) som en avbildning mellan två domäner där vissa egenskaper och strukturer delas av båda domänerna. Andra egenskaper och strukturer hittas endast i en av domänerna. Användning av analogier kan ha mycket positiva effekter för inläringen, speciellt i undervisning av naturvetenskaper (Duit & Glynn 1996). Silva (2007) menar att analogier är viktiga på grund av att eleven kan med hjälp av dem koppla sina abstrakta mentala modeller till redan existerande erfarenheter. Detta i sin tur möjliggör att eleven kan tolka komplicerade idéer. Men en analogi i sig ger inte nödvändigtvis någon djupare förståelse av fenomenet som den avbildar. Duit och Glynn (1996) poängterar att för att man med hjälp av analogin skall kunna dra slutsatser om det som analogin avbildar så måste analogin vara baserad på, inte bara ytliga likheter, utan också på strukturella likheter. För att eleven skall med framgång kunna använda analogin måste han eller hon dessutom vara medveten om gränserna inom vilka analogin gäller. Dens möjligheter och restriktioner.

Analogier kan i sig också delas in i olika typer. Filosofen Mary Hesse (se Silva 2007) skiljer på två olika typer analogier; formella och materiella. Med formella analogier menar Hesse situationer där samma axiomatiska och deduktiva relationer hittas i båda systemen. Inom fysiken betyder detta att de matematiska uttryck som beskriver två system har samma form. T.ex. en pendel och en oscillerande elektrisk krets beskrivs båda av samma differentialekvation. De materiella analogierna är analogier där det finns någon form av materiell likhet mellan två de systemen. Som exempel ger Hesse (se Silva 2007) analogin mellan den kinetiska gasteorin och biljardbollar, där den slumpmässiga rörelsen av gasmolekylerna kan jämföras med biljardbollar som kolliderar. Även om gasmolekyler och biljardbollar är väldigt olika objekt så kan de båda ses som runda föremål vars rörelse bestäms av Newtons mekanik.

Både Silva (2007) och Besson (2010) understryker att analogier bygger på både likheter och olikheter mellan målsystemet och källsystemet. Enligt Silva (2007) måste dessa likheter och olikheter betonas inom undervisningen ifall man skall kunna använda analogier som ett effektivt pedagogiskt verktyg. Det är precis denna undersökning av likheter och olikheter i system (som hittas i olika problem) som enligt Kuhn utgör grunden för att en elev skall lära sig de nomiska begrepp som förekommer i fysiken. Silvas syn på inläringen och användning av analogier är alltså i stark linje med Kuhns syn på inläring av nomiska begrepp.

2.3.1 Kognitiv utilitet

Inom fysikundervisningen stöter eleven på en rad olika fenomen och problem. För att förklara dessa fenomen och problem så presenterar läraren ofta en lösning som stöder sig på en modell eller teori. Till exempel kan det vara fråga om en låda som knuffas på ett trägolv med en konstant kraft så att lådan rör sig med en konstant hastighet. Vore vi intresserade av en mer djupgående förklaring vad som sker då vi flyttar lådan, så skulle läraren ge en förklaring som grundar sig på Newtons lagar, d.v.s. klassiska mekaniken. Utgående från en situationsskiss kunde eleven då se vilka krafter som verkar på lådan (gravitationskraften, stödkraften, friktionskraften och "knuffkraften"). Detta skulle alltså ge en mera djupgående förklaring på fenomenet.

Men eleven har dock, antagligen långt före all fysikundervisning, bildat en egen uppfattning om hur lådor flyttas i vardagen. Denna förhandsuppfattning kan mycket väl ha en hel del motstridigheter med den vetenskapliga förklaringen gällande lådflyttning. En av de vanligaste förhandsuppfattningarna inom mekaniken torde vara grunda sig på det Aristoteliska tänkande om krafter. Enligt Aristoteles så krävs det en kraft för att uppehålla ett föremåls rörelse. En elev som stöder sig på det Aristoteliska tänkande skulle hävda att lådan flyttar på sig eftersom det finns en kraft som påverkar den under hela förflyttningen. Denna kraft både sätter lådan i rörelse samt uppehåller denna rörelse. Alla andra krafter skulle antingen vara oväsentliga eller inte existera. Denna teori om rörelse har flera motstridigheter med den idag accepterade vetenskapliga teorin som grundar sig på Newtons tre rörelselagar.

Då en elev med dessa förhandsuppfattningar bes förklara denna lådförflyttning så kan han eller hon alltså stöda sig på två olika teorier; Newtons eller Aristoteles teori. Enligt Ohlsson (2009) så är det teoriernas relativa kognitiva utilitet (cognitive utility) som bestämmer vilken teori som eleven sist och slutligen använder för att förklara fenomenet. Den kognitiva utiliteten är någon funktion av tidigare framgångar och kostnader. Ohlsson ger inga exakta definitioner på vad dessa kostnader är, men konstaterar att det är en funktion som i alla fall beror på tiden och den kognitiva belastningen. Framgången är någon funktion som beror på nöjdheten. Ifall en elev kan använda två teorier för att förklara ett fenomen så är det alltså den teorin med bättre kognitiv utilitet som eleven sist och slutligen bestämmer sig för att använda.

I fallet med lådflyttningen så kräver Newtons mekanik en undersökning med en hel del olika krafter och villkor (bland annat att friktionskraften skall vara lika stor som kraften man knuffar lådan med). Newtons mekanik har alltså en stor kognitiv belastning och är dessutom väldigt tidskrävande jämfört med den Aristoteliska teorin. Även om förklaringen som grundar sig på Newtons mekanik är mera krävande är det lätt att tänka sig att eleven vore ungefär lika nöjd med framgången av båda teorier. Båda teorierna ger ju trots allt en relativt "vattentät" förklaring på fenomenet. Eftersom användning av den Aristoteliska teorin nu är mindre tidskrävande och inte kräver lika stor kognitiv belastning så har denna teori en bättre kognitiv utilitet. Ur detta perspektiv är det alltså naturligt att eleven stöder sig på det Aristoteliska tänkandet.

Det är värt att notera att två teoriers kognitiva utilitet inte är ett absolut begrepp utan beror på problemet som skall lösas eller fenomenet som skall förklaras. Den Aristoteliska teorin kan mycket väl ha bättre kognitiv utilitet än Newtons mekanik i lådproblemet men det lätt att föreställa sig en situation där Newtons mekanik skulle ha bättre kognitiv utilitet (till exempel en puck på ett friktionsfritt underlag). Ifall målet för fysikundervisningen är att eleven skall börja tänka och modellera fenomen utgående från vetenskapliga lagar och teorier så är det således ändamålsenligt att presentera problem där vetenskapliga teorier har bättre kognitiv utilitet än elevens oönskade förhandsuppfattningar. (Ohlsson 2009)

3. Strömkretsens grundbegrepp

3.1 En granskning av litteraturen

Grundbegreppen

Studerandes förståelse gällande olika begrepp inom fysiken har undersökts en hel del. Det har utvecklats olika sorters tester, som ofta bygger på flervalsfrågor, för att evaluera hur bra de studerande förstått begreppen och hur bra de kan resonera kvalitativt med dem. Inom mekaniken är den mest använda antagligen det så kallade "Force Concept Inventory" – testet (Hestenes 1992) som mäter de studerandes förståelse gällande kraft samt Newtons rörelselagar. Engelhardt och Beichner (2004) har utvecklat ett motsvarande test som mäter studerandes förståelse av begrepp inom elläran. Det så kallade DIRECT – testet består av 28 flervalsfrågor gällande begreppen elektrisk ström, spänning, motstånd och energi i likströmskretsar. Testet är en populär evalueringsmetod i universitet då man vill relativt snabbt kunna skapa sig en bild över hurdan förståelse de studerande har om fysikaliska begrepp i likströmskretsar.

Studerandes förståelse gällande likströmskretsar har undersökts relativt mycket. En stor del av denna forskning baserar sig på flervalsfrågor om likströmskretsar där batterier, lampor eller andra motstånd, amperemätare och voltmätare är kopplade. Många av undersökningarna är dessutom speciellt intresserade av de rådande förhandsuppfattningar (som också kallas missuppfattningar) som de studerande har (Engelhardt & Beichner 2009; Periago & Bohigas 2005; Cohen et al. 1983). Alternativt har man intervjuat studerande och på basen av deras förklaringar gjort slutsatser om deras förståelse (Clement & Steinberg 2002). Ofta har också undersökningarna varit en blandning av dessa, det vill säga intervjuer där intervjuobjekten löser någon form av uppgifter (Kokkonen & Mäntylä under utg., Kokkonen 2013, Saari 2013, McDermott & Shaffer 1992). Största delen av undersökningarna som baserar sig på studerandes svar på uppgifter gällande likströmskretsar, använder sådana uppgifter där kretsens alla lampor eller motstånd har samma resistans. Lamporna eller motstånden är alltså likadana vilket leder till att uppgifterna kan lösas utan att använda sig av begreppet elektrisk effekt. I detta arbete undersöks även likströmskretsar där lamporna har olika resistans och således har också begreppet elektrisk effekt en roll.

Cohen et al. (1983) undersökte hurdan förståelse gymnasieelever samt ämneslärare i fysik har om elektriska begrepp och deras funktionella relationer i en likströmskrets.

Undersökning gjordes med frågeformulär där 14 flervalsfrågor gällande likströmskretsar skulle svaras. De redogjorde också över tidigare intervjuer med elever där likströmskretsar förekommit. McDermott och Shaffer (1992) undersökte med hjälp av intervjuer och tester hurdan förståelse universitetsstuderande har över begreppen i likströmskretsar. De var speciellt intresserade av studerandes felaktiga förhandsuppfattningar. Liknande undersökningar gällande förhandsuppfattningar om likströmskretsar har senare undersökts bland både gymnasieelever (Liégois & Mullet 2002) och universitetsstuderande (Periago & Bohigas 2005).

Resultaten och slutsatserna från dessa undersökningar är väldigt entydiga. Studerande kan ofta lätt manipulera algebraiska uttryck där ström, spänning och resistans förekommer, men de relaterar inte dessa algebraiska symboler (U , R , I) till själva begreppen i strömkretsarna. Även om studerande kan lösa kvantitativa problem så garanterar detta inte att de har en klar kvalitativ förståelse över vad begreppen är och hur de relaterar till varandra. Till exempel kan det mycket väl hända att de kan räkna ut elektriska strömstyrkorna i en komplicerad likströmskrets genom att använda sig av Kirchhoffs lagar, men att de ändå saknar förmågan att kvalitativt resonera sig fram till svar i enkla uppgifter med likströmskretsar (Cohen et al. 1983, McDermott & Shaffer 1992). I regel är begreppet ström enklare för studerande än begreppet spänning (Liégois & Mullet.). Kanske just därför så stöder sig studerande på strömstyrkan vid lösning av uppgifter även om uppgiften kunde lösas enklare genom att granska spänningen över komponenterna (Cohen et al. 1983). McDermott och Shaffer (1992) konstaterar också att studerandes bristfälliga förståelse över begreppet ström verkar vara orsaken till en stor del av svårigheterna som studerande har med likströmskretsar. Studerande kan heller inte göra klara skillnader mellan begreppen ström och spänning och hävdar ofta att den elektriska strömmen ger upphov till spänningen, inte tvärtom.

Undersökningarna lyfter också fram en mängd felaktiga förhandsuppfattningar bland studerande. Bland annat uppfattas ett batteri som en källa som ger konstant ström (inte konstant spänning) och komponenterna i kretsen uppfattas ofta "konsumera" denna elektriska ström. Den senare förhandsuppfattningen framgår ofta då studerande hävdar att då två lampor seriekopplas med ett batteri så kommer den första lampan att lysa starkare än den andra eftersom den "konsumerar" en större del av strömmen (Periago & Bohigas 2005;

McDermott & Shaffer 1992). Studerande har också stora svårigheter med Ohms lag (Periago & Bohigas 2005). Men även om studerande kan använda sig av Ohms lag så blandar de ofta med en viss lampans resistans och kretsens eller flera lampors totala resistans. Detta framgår då de använt formeln för en lampans effekt och fått olika svar beroende på vilken form på formeln de använt ($P = UI$ eller RI^2 eller $\frac{V^2}{R}$).

Så även om likströmskretsuppgifter kan till synes vara enkla, så orsakar de en hel del svårigheter till studerande eftersom studerande inte har en klar eller korrekt uppfattning om de relevanta begreppen. Dessutom kan flera, starkt rotade, felaktiga förhandsuppfattningarna leda till motstridigheter inom uppgiften vilket ytterligare försvårar resonemanget för studerande.

Modeller

Elläran och elektricitet är ett väldigt abstrakt delområde i fysiken. Abstrakt i den bemärkelsen att, till skillnad från till exempel mekaniken, så kan vi inte direkt observera de fenomen som undersöks. Vi kan inte se hur elektronerna rör sig i en ledare och vi kan heller inte direkt se en spänning. För att lättare kunna begripa begrepp i likströmskretsar och hur de är kopplade till varandra så formar vi, på egen hand eller med stöd utifrån, modeller som stöd för förståelsen. Dessa modeller skiljer sig naturligtvis från person till person. Men enligt Stocklemayer och Treagust (1996) så delar personer tillhörande en viss åldersgrupp eller profession ofta samma mentala modell för elektricitet. Barn och unga tenderar att se elektricitet som något farligt, något som antagligen härstammar från föräldrarnas uppmaningar till försiktighet med elektriska apparater. I regel är begrepp som elektrisk ström och spänning bekanta för barn, men ändå väldigt diffusa. Gymnasieelever däremot har ofta redan skapat en klarare bild om elektricitet är och använder ofta analogier. Vattenanalogin, där elektrisk ström ses som en vattenström och spänning liknas med trycket i vattnet, är den populäraste analogin. Andra mycket använda är gravitationsanalogier där man drar paralleller med höjdskillnader och spänning eller antropomorfistiska analogier där till exempel elektronen ses som en person som bär på energi eller laddning från en plats till en annan. Universitetsstuderande däremot är redan så pass bekanta med begreppen att de ofta

nöjer sig med att rita kopplingsscheman och hanterar gärna begreppen symboliskt. Men ändå när deras förståelse om likströmskretsar undersöktes så visade de sig att de hade en hel del felaktiga uppfattningar gällande elektrisk ström. Gymnasielärare och universitetsföreläsare föreställer sig ofta elektrisk ström som små kulor som rör sig längs en tunnelformad ledare. Denna materiella analogi (se kap 2.3) baserar sig på den vetenskapliga synen på där elektrisk ström är elektroner eller laddade partiklar som rör sig i en ledare på grund av en spänning mellan ledarens ändor. Det som är överraskande är resultaten från sista gruppen i Stocklemayers och Treagusts (1996) undersökning; experterna. Det visar sig nämligen att elektriker och ingenjörer inte tänker på elektricitet som små elektroner som rör sig i en ledare, utan fokuserar istället på helheten. För dem är själva syftet med den elektriska kretsen intressant. Skall kretsen få en lampa att lysa eller driva en maskin? De föreställde inte elektrisk ström som små kulors rörelse i en ledare av den enkla orsaken att det inte gynnade dem på något sätt. Modellen gav inget mervärde. De hade istället en mer holistisk och global bild av en elektrisk krets där det snarare är det elektriska fältet och energin som är intressant, istället för små elektroners rörelse. Vissa universitetsföreläsare erkände att modellen där elektricitet framställs som små kulformade elektroners rörelse inte är av någon praktisk nytta till studerande men undervisade modellen eftersom de var tvungna att göra det. (Stocklemayer & Treagust, 1996)

Modeller och likströmskretsar

Detta arbete fokuserar sig på studerandes användning av förklaringsmodeller i enkla likströmskretsar. Liknande undersökningar har gjorts tidigare på Helsingfors universitet. Saari (2013) har undersökt hurdana uppfattningar studerande har om elektrisk ström och spänning i likströmskretsar, hur dessa begrepp är kopplade med varandra och hurdana förklaringsmodeller studerande använder då de förklarar ljusstyrkan på lampor i enkla likströmskretsar. Undersökning fokuserade på en uppgift, som är identisk med uppgift 1c i detta arbete (se bilaga B), där studerande skulle ordna lamporna enligt deras ljusstyrka. Saari identifierar sex olika förklaringsmodeller som studerande använder i deras förklaringar. De två första modellerna baserar sig inte på några begrepp alls utan istället på minnesregler och lampornas antal, den tredje baserar sig på uppfattningen om att strömmen från ett visst batteri alltid är konstant, den fjärde baserar sig på strömstyrkan och femte på spänningen.

Endast i den sjätte förklaringsmodellen är begreppen strömstyrka och spänning kopplade till varandra och Ohms lag, eller delar av den, framgår.

Kokkonen (2013) gjorde en motsvarande undersökning där han granskade hurdan begreppsmässig förändring skedde bland studerande utgående från deras förklaringar på en uppgift där lampornas skulle ordnas enligt deras ljusstyrka. Uppgiften är samma som Saari använde i sin egen undersökning. Kokkonen identifierade åtta stycken olika förklaringsmodeller som skiljer sig bland annat beroende på hur begreppen som förklaringsmodellerna innefattar är kopplade till varandra. Kokkonen och Mäntylä (under utg.) utvecklade denna undersökning och använde senare samma åtta förklaringsmodeller i sitt arbete. Dessa åtta förklaringsmodeller används som stomme även i denna undersökning.

3.2 En granskning av strömkretsens grundbegrepp utgående från teoriavsnittet

De centrala begreppen i detta arbete är de vetenskapliga begrepp som studerande använder då de granskar likströmskretsar. Det är således klart att begreppen elektrisk ström, resistans och spänning kommer att ha en stor roll. Men eftersom även förklaringsmodeller granskas i detta arbete så kan också andra vetenskapliga begrepp förekomma, bland annat i analogier. De begrepp som granskas här är alltså vetenskapliga begrepp som Kuhn kallar nomiska begrepp.

Som tidigare konstaterats så finner man enligt Kuhn inga likhetsrelationer mellan nomiska begrepp. Begreppen liknar alltså inte varandra men de är däremot kopplade till varandra på olika sätt som bestäms av lagar och teorier. Dessa kopplingar mellan begreppen gör det omöjligt för studerande att korrekt lösa uppgifter genom att hantera begreppen i likströmskretsar som enskilda ting. De måste alltså på något sätt relatera begreppen till varandra enligt vissa mönster, alltså använda sig av en modell. Kopplingarna mellan begreppen kommer jag i detta arbete härefter att kalla "relationer". Kokkonen och Mäntylä (under utg.) identifierade tre olika relationer i sitt arbete. Som exempel kan nämnas den första relationen $X \rightarrow Y$, som skall förstås som "X inverkar på Y". I likströmskretsar ser vi relationen till exempel då vi ökar spänningen och märker att även strömmen ökar, spänningen inverkar på strömmen. Relationerna som identifierats av Kokkonen och Mäntylä (under utgivning) används även i detta arbete och presenteras i detalj i kap. 4 (se tabell 1). Dessa relationer mellan begreppen är delar i det som Kuhn kallar ett "lexikon". Att förstå

begreppen i en likströmskrets betyder att man behärskar den del av lexikonet där de relevanta begreppen (bland annat elektrisk ström, resistans och spänning) förekommer.

Då man betraktar analogier i strömkretsar är det frågan om det som Hesse (se Silva 2007) kallar materiella analogier. Den populära analogin där elektrisk ström jämförs med vatten som strömmar i en flod är ett exempel på en sådan analogi. Duits och Glynnns (1996) poäng om att man måste veta analogins restriktioner framhävs här. Analogin leder lett till den missuppfattningen att elektrisk ström är, precis som vatten, någon form av ämne och inte en process. Detta framgår då studerande påstår att elektrisk ström förbrukas i någon komponent.

De uppgifter som ofta används för att mäta studerandes förståelse om likströmskretsar kan lösas på flera olika sätt. En uppgift som kan lösas med hjälp av elektrisk ström och resistans kan kanske också lösas med hjälp av spänning och resistans. Ibland kan dessa uppgifter också lösas med hjälp av endast ett begrepp, till exempel spänning. Man kan använda sig av olika begrepp och relationer, alltså kan man använda sig av olika förklaringsmodeller. Enligt Ohlsson (2009) är det modellernas relativa kognitiva utilitet som i detta fall bestämmer vilken modell som används. Ifall användningen av två olika modeller ger samma resultat i en uppgift används den modellen som helt enkelt är lättare att använda.

4. Forskningsproblemet och disposition

4.1 Forskningsfrågorna

Som tidigare nämndes (se kap. 1 och 3.1) så har majoriteten av undersökningarna gällande studerandes uppfattningar om strömkretsar fokuserat sig på kretsar där lamporna har samma resistans. Denna begränsning har lett till att intervjuobjekten i undersökningarna endast använt sig av begreppen ström, spänning och resistans. Men ifall man även inkluderar uppgifter där lamporna har olika resistans, vilket är fallet i denna undersökning, så är det möjligt att intervjuobjekten är tvungna att stöda sig på en bredare begrepps- och modellanvändning. Följande forskningsfrågor ställs i detta arbete:

1. Hurdana förklaringsmodeller använder studerande för att förklara lampornas ljusstyrka i en likströmkrets
 - a. då lamporna har samma resistans?
 - b. då lamporna har olika resistans?
2. Hur förändras studerandes användning av förklaringsmodeller då de löser samma likströmskretsuppgift två gånger och
 - a. lamporna i uppgiften har samma resistans?
 - b. lamporna i uppgiften har olika resistans?
3. Hurdana förklaringsmodeller använder de studerande som löser uppgifterna med goda resultat?

Syftet med den första forskningsfrågan är att få en allmän uppfattning om hurdana förklaringsmodeller de studerande använder vid sina resonemang samt vilka begrepp dessa förklaringsmodeller innefattar. Den andra frågan fokuserar sig på hur de studerandes användning av förklaringsmodeller utvecklas i och med att intervjuerna fortlöper. Den tredje frågan granskar modellanvändningen av de så kallade "goda studerande", det vill säga de studerande som gör korrekta slutsatser om strömkretsarna.

4.2 Materialet/ forskningsmetoderna

Forskningsmaterialet samlades med hjälp av gruppintervjuer där två eller tre studerande intervjuades av två intervjuare. Intervjuerna filmades samt transkriberades varefter materialet analyserades med hjälp av innehållsanalys. En del av det transkriberade materialet hittas i bilaga A. Alla studerande utförde också DIRECT – testet (se kapitel 3.1) före den första intervjun, samt efter den sista intervjun. Resultaten av dessa test framgår från tabell 8.

Uppgifterna som är presenterade i bilaga B fungerade som stomme för intervjun. Intervjuerna började med att ett papper med olika strömkretsar delades ut till varje studerande. De studerande fick därefter en kort tid att tänka, varefter de skulle placera strömkretsarnas lampor i ordning enligt deras ljusstyrka. Efter att de funderat och skrivit ner sina svar så skulle de i tur och ordning muntligt presentera och motivera sina svar (ordningen på lamporna). Efter att alla studerande presenterat sina svar och lösningarna diskuterats så blev de tilldelade nästa uppgiftspapper och proceduren upprepades. Ordningen på själva diskussionen varierades så att alla studerande fick möjlighet att inleda diskussionen och vara den första att presentera sitt svar.

Intervjuerna ordnades under tre olika tillfällen. Från bilaga B framgår det ordningen på själva uppgifterna samt vid vilket tillfälle de löstes. Det är värt att notera att uppgifterna 1b – 1c i första intervjun och uppgifterna 2b – 2c i andra intervjun bygger på den föregående uppgiften och endast en ny strömkrets presenteras. Dessutom är fråga 1c i första intervjun identisk med fråga 1 i tredje intervjun och fråga 2c i andra intervjun är identisk med fråga 2 i den tredje intervjun. Uppgifterna blir i regel svårare desto senare i intervjun de presenteras, men det finns ett par undantag. Till exempel är tredje intervjuns sista uppgift inte den mest krävande uppgiften och andra intervjuns sista uppgift är antagligen svårare än tredje intervjuns första uppgift.

I detta kapitel beskriver jag kort intervjuerna samt går igenom själva analysen. En mera detaljerad beskrivning av intervjun och insamlingen av materialet hittas i Saaris (2013) Pro Gradu – avhandling.

Det måste också påpekas att alla intervjuer ordnades på finska och således är också det transkriberade materialet på finska. Detta material har inte översatts utan jag har läst och tolkat det utgående från mitt eget kunnande i finska. Direkta citat från det transkriberade materialet och tolkningar av citatens innebörd står skrivet på finska i detta arbete.

Förklaringsmodellerna och deras kategorisering tillsammans med resten av analysen är dock skriven på svenska.

4.2.1 Deltagare

Samtliga intervjuobjekt (N=15) var ämneslärarstudier som gick kursen Fysiikan käsitteenmuodostus på Helsingfors universitet. Alla studeranden hade fysik som biämne och var i slutskedet av sina studier och hade således redan gått kursen "sähkömagnetismi", alternativt kursen "elektromagnetism". I denna avhandling granskas inte alla intervjuobjekt, utan endast sex (N=6) studerandes svar och motiveringar analyseras. De studerande intervjuades i grupper på tre. De studerande i den första gruppen betecknas här med koderna O3, O4 och O5 och de studerande i den andra gruppen med koderna O11, O12 och O13.

4.2.2 Innehållsanalys

Innehållsanalys är en forskningsmetod ämnad för att göra giltiga och replikerbara slutledningar från texter (eller annat meningsfullt material) till själva kontexten där den används (Krippendorff, 2004, s.18). Den kan delas in i två huvudtyper; kvantitativ och kvalitativ. Den kvantitativa analysen, som används till exempel för att undersöka och mäta propaganda i tidningar, går i största dels ut på att räkna hur många gånger ett visst ord, en viss mening eller symbol förekommer och därefter analysera materialet med statistiska metoder. Kvantitativa analyser utförs ofta på ett stort material, till exempel flera nyhetstidningar. Däremot om man vill noggrannare granska en kortare text och tolka textens innebörd så är analysen kvalitativ. Den kvalitativa analysen kräver dessutom att han eller hon som utför analysen är medveten om hans eller hennes sociala och kulturella betingelser (Krippendorff, 2004, s.17). Men även om den kvalitativa analysen innehåller tolkningar och en kvalitativ granskning av materialet så kan den enligt Krippendorff (2004) vara systematisk, tillförlitlig och giltig. Vidare kan den kvalitativa innehållsanalysen indelas i manifest och latent analys, beroende på vilken abstraktionsnivå som används. Med den manifesta innehållsanalysen menas en analys var man endast granskar det uppenbara och synliga innehållet. I den latent innehållsanalysen försöker man däremot tolka den underliggande meningen i texten och inte endast fokuserad på orden (Graneheim & Lundman, 2004, s. 106).

Graneheim och Lundman ger ett exempel på hur en kvalitativ innehållsanalys kan se ut. Följande steg kännetecknas av analysen.

1. Genomläsning av texten för att få en överblick över den.
2. Utplockning av ord eller meningar som är meningsfulla för undersökningen.
3. Förkortande av dessa meningar till så korta delar som möjligt, utan att förlora deras betydelse.
4. De förkortade meningarna abstraheras och tilldelas en kod.
5. Koderna grupperas in i kategorier och subkategorier

Analysen i detta arbete följer väldigt långt strukturen som Graneheim och Lundman (2004) presenterar. Till följande går igenom en noggrannare beskrivning av hur analysen utfördes tillsammans med ett exempel.

4.3 Analysen

Eftersom materialet som analyserades var transkriberade intervjuer och syftet med själva forskningen var att undersöka studerandes förståelse av olika begrepp och modeller gällande likströmskretsar så är en kvalitativ innehållsanalys den mest passande. Eftersom studerandena som intervjuades inte alltid uttryckte sig på ett entydigt sätt så måste den kvalitativa innehållsanalysen som utfördes vara av den latent sorten. Det vill säga studerandes påståenden och motiveringar tolkas utgående från uppgiften i fråga.

I stort sett så utfördes innehållsanalysen enligt det exempel som Graneheim och Lundman (2004) presenterat (se kap. 4.2.2). Analysens gång kan kort beskrivas med följande steg.

1. **Genomläsning av det transkriberade materialet.** De transkriberade intervjuerna lästes igenom ett par gånger för att få en klar överblick över materialet.
2. **Utplockning av meningsfulla repliker.** Replikerna där intervjuobjekten förklarade sin tankegång och motiverade lampornas ljusstyrka plockades ut.
3. **Förkortning och tolkning av replikerna.** De utplockade replikerna förkortades och tolkades. Detta steg utfördes inte ifall intervjuobjektet hade uttryckt sig kort och koncist samt väldigt entydigt.

4. **Kodning av de utplockade replikerna.** För att underlätta analysen så kodades de utplockade replikerna utgående från vilken förklaringsmodell intervjuobjektet använde. Kodningen framgår i tabell 2.
5. **Gruppering av koderna.** Koderna grupperades i sex olika kategorier beroende på deras innebörd. Kategorierna framgår i tabell 3.

Efter att dessa steg utförts så undersöktes den enskilda studerandes användning av olika förklaringsmodeller samt hur de ändrades.

4.3.1 Förklaringsmodellerna

I detta arbete undersöks endast studerandens förklaringsmodeller som används för att förklara ordningen på lampornas ljusstyrka i de kretsar som presenterades.

Förklaringsmodellerna kan innefatta flera olika begrepp, t.ex. strömstyrka och resistans. Vissa av förklaringsmodellerna är dock inte kopplade till något av de vanliga fysikaliska begreppen som förekommer i likströmskretsar (strömstyrka, resistans, spänning, effekt och energi), men kan vara kopplade till friktion eller helt grunda sig på enkla minnesregler.

De flesta förklaringsmodeller använder sig av mer än ett begrepp. Då flera begrepp används i förklaringsmodellerna förekommer det någon form av koppling mellan själva begreppen. Denna koppling kan också vara kausal. Som tidigare nämndes (se kapitel 3.2) så kallas denna koppling här för "relation". Relationerna som används i detta arbete är samma som Kokkonen och Mäntylä (under utg.) framför och är listade nedan i tabell 1. I tabell 2 framgår också vilken relation som är aktuell i respektive förklaringsmodeller.

Relation	Beskrivning
$X \rightarrow Y$	X påverkar Y; Y händer på grund av X
$X \rightarrow Y, \text{ då } Z$	X påverkar Y och dämpas av Z; Y händer på grund av X, då Z
$X, Y \rightarrow Z$	X och Y påverkar Z; Z händer på grund av X och Y

Tabell 1. Relationerna som förekommer i förklaringsmodellerna. Tabellen är en förkortad version av tabellen som Kokkonen och Mäntylä (under utg.) framför.

Också de förklaringsmodeller som Kokkonen och Mäntylä (under utg.) presenterar användes som grund i denna forskning. De utplockade replikerna jämfördes med dessa

förklaringsmodeller och kodades på likadant sätt. Ifall en studerandes förklaring inte passade in i någon av de redan existerande förklaringsmodellerna skapades en ny förklaringsmodell som tilldelades en egen kod. Samtliga förklaringsmodellerna är presenterade nedan i tabell 2 och de nya förklaringsmodellerna är där utmärkta med en asterisk (*). Det är värt att påpeka att numreringen av förklaringsmodellerna inte följer någon speciell ordning. Den första förklaringsmodellen M1 grundar sig på enkla tumregler, M4 är Ohms modell där spänning, resistans och ström förekommer, men M7 är en förklaringsmodell där endast resistans förekommer. Modellens nummer indikerar alltså inte hur komplicerad själva modellen är.

Modell	Beskrivning	Begrepp/ relation
M1 Enkla modeller	Modellerna grundar sig på enkla tumregler som t.ex. "när lamporna är seriekopplade har de samma ljusstyrka"	-
M2 Strömbaserad modell	Endast ström förekommer i denna modell: det går en ström genom kretsen som får lampan att brinna	I
M3 Pre-Ohms strömmodell	I en krets går det en ström som får lampan att brinna. Strömstyrkan beror antingen på kretsens resistans eller på spänningen över komponenten eller mellan batteriets poler	I, R eller U/ $X \rightarrow Y$
M4 Ohms modell	I en strömkrets går en ström vilken får lampan att brinna. Strömstyrkan beror på kretsens resistans och på spänningen över komponenten eller batteriets poler.	I,R och U/ $X \rightarrow Y, då Z$
M5 Pre-elektrisk effekt modell	a) Lampans ljusstyrka beror på strömstyrkan genom den och på spänningen över dens ändor. b) Lampans ljusstyrka beror på strömstyrkan genom den och på lampans resistans.	I, R eller U/ $X, Y \rightarrow Z$
M6* Bristfällig elektrisk effekt modell	Lampans ljusstyrka beror på effektförlusten i lampan. a) Effektförlusten beror på strömstyrkan genom lampan b) Effektförlusten beror på spänningen över lampan.	I, P eller U, $P/ X \rightarrow Y$
M7 Resistansbaserad modell	Endast resistans förekommer i denna modell. Lampans ljusstyrka bestäms av lampans resistans och/eller av kretsen resistans.	R
M8 Pre-Ohms spänningsmodell	Lampans ljusstyrka beror på spänningen mellan dens ändor. Spänningen beror på lampans resistans.	U,R/ $X \rightarrow Y$
M9 Spänningsbaserad modell	Endast spänning förekommer i denna modell. Lampans ljusstyrka beror på spänningen mellan dens ändor.	U
M10* Elektrisk effekt modell	Lampans ljusstyrka beror på effektförlusten i lampan. a) Effektförlusten beror på strömstyrkan genom lampan och på spänningen över den. b) Effektförlusten beror på strömstyrkan genom lampan och på lampans resistans c) Effektförlusten beror på spänningen över lampan och på lampans resistans.	U, I och P, I, R och P eller U, R och P/ $X, Y \rightarrow Z$
M11* Analogi modell	Modellen baserar sig på analogier mellan fysikaliska begrepp	Varierar, t.ex. R och friktion
M12* Struktur modell	Lampans ljusstyrka beror på dens temperatur samt på den emitterade energin vilka i sin tur beror på lampans struktur.	Varierar, t.ex. R, m, T, $E/ X, Y \rightarrow Z$
M13* Energimodell	Lampans ljusstyrka beror på den emitterade energin	R, I, E/ $X, Y \rightarrow Z$

Tabell 2. De olika förklaringsmodellerna. I första kolumnen är förklaringsmodellens namn samt kod, i andra kolumnen en beskrivning av modellen och i tredje kolumnen står vilka begrepp och relation mellan begreppen som förklaringsmodellen innefattar.

4.3.2 Kategoriseringen av förklaringsmodeller

Efter att alla förklaringsmodeller blivit identifierade, kodade och fått en detaljerad beskrivning så indelades dessa förklaringsmodeller in i olika kategorier. Kategoriseringen av modellerna skedde på basen av hur många begrepp som föregår, om begreppen är rätt kopplade till varandra samt modellens förklaringskraft. En modell med större förklaringskraft kan förklara fler situationer och innehåller fler begrepp än en modell med mindre förklaringskraft. Således kan en modell med större förklaringskraft betraktas som mer komplicerad än en modell med mindre förklaringskraft. En beskrivning av de olika kategorierna är presenterade i tabellen nedan (tabell 3)

Kategori	Beskrivning
K1	Endast tumregler förekommer
K2	Exakt ett begrepp förekommer
K3	Flera begrepp förekommer men modellen är bristfällig
K4	Flera begrepp förekommer och är korrekt kopplade till varandra. Modellen kan alltid förklara ljusstyrkan i lampor med lika resistans, men räcker inte nödvändigtvis till att förklara ljusstyrkan i lampor med olika resistans i en likströmskrets
K5	Flera begrepp förekommer och är korrekt kopplade till varandra. Modellen kan alltid användas till att förklara ljusstyrkan i lampor med lika eller olika resistans i en likströmskrets.
K*	Modellen baserar sig på analogier. Förklaringskraften varierar mycket beroende på analogin.

Tabell 3. Kategorierna för de olika förklaringsmodellerna samt deras beskrivning. En skild kategori är skapad för analogier. Denna kategori är inte placerad i relation till de övriga kategorierna.

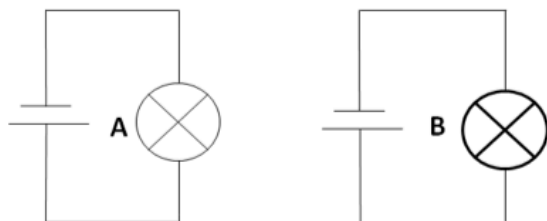
Det är klart att olika analogiernas förklaringskraft varierar beroende på själva analogin, men också på hur bra eleven känner till analogins möjligheter och restriktioner (Duit & Glynn 1996). Dessutom kan antalet begrepp som analogin innefattar variera mellan analogier samt det om analogin baserar sig på strukturella eller ytliga likheter. Eftersom själva variationen på analogier är mycket bred så är det inte möjligt att direkt placera dem i relation till de övriga förklaringsmodellerna på ett vettigt och konsekvent sätt. Därför har jag avstått från att placera M11, som grundar sig på analogier, i någon av de övriga kategorierna och istället skapat en egen kategori, K*, till analogierna. Denna kategori kan alltså inte placeras i relation till de övriga kategorierna utan måste betraktas skilt för sig. Indelningen av förklaringsmodellerna i deras respektive kategorier är presenterat nedan i tabell 4.

K1	K2	K3	K4	K5	K*
M1	M2	M3	M4	M10	M11
	M7	M5		M12	
	M9	M8		M13	
		M6			

Tabell 4. Indelningen av förklaringsmodellerna i de olika kategorierna.

4.3.3 Exempel på analysen gällande förklaringsmodellerna

Efter att de transkriberade intervjuerna genomlästs så granskades studerandens förklaringar, en uppgift i taget, börjandes från första intervjuens första uppgift. Varje studerandes förklaringar granskades här skilt för sig. För att klargöra analysens gång så ges här ett exempel på analysen av studerande O3:s förklaring på andra intervjuens uppgift 2a (se bild 5 nedan). I bild 6 framgår en studerandes (O3) förklaring på andra intervjuens uppgift 2a. Bilden är taget direkt ur det transkriberade materialet.



Lamppejen resistanssi ovat $R_B \geq R_A$. Oleta, että paristot ovat ideaalisia (ts. paristoilla ei ole sisäistä resistanssia). Aseta lamput kirkkauden mukaiseen järjestykseen kirkkaimmasta himmeimpään ja merkitse se paperiin. Jos kaksi lamppua tai useampi lamppu on yhtä kirkkaita, tuo se vastauksessasi esiin. Selitä miten päädyit ratkaisuusi.

Bild 5. Andra intervjuens uppgift 2a.

O3: elikkä koska siellä on suurempi resistanssi, kääntäen verrannollinen, suurempi virta kulkee. Suurempi virta yleensä tietääkseni merkkää sitä että lamppu palaa kirkkaammin.

Bild 6. Den del av studerande O3:s förklaring på andra intervjuens uppgift 2a. Hela O3:s förklaring framgår inte här, endast det väsentliga med tanke på O3:s användning av förklaringsmodeller. Bilden är taget ur det transkriberade materialet

Citatet skrevs sedan ned i en tabell där studerandes förklaringar samlades. Ett utdrag ur tabellens utseende i detta skede med studerande O3:s förklaring är presenterat i bild 7. I den första kolumnen står uppgiftens nummer och i den andra kolumnen studerandens citat. I

detta exempel är studerandens hela replik utskrivnen, men i vissa fall har det oväsentliga lämnas bort då detta varit möjligt.

2a	Elikkä koska siellä on suurempi resistanssi, kääntäen verrannollinen, suurempi virta kulkee. Suurempi virta yleensä tietääkseni merkkää sitä että lamppu palaa kirkkaammin.			
----	---	--	--	--

Bild 7. Ett utdrag ur tabellen som användes i början av analysen. I andra kolumnen skrivs den studerandes citat.

Efter att citatet skrivits ned i tabellen så tolkades dess innebörd vid behov. Tolkningen skrevs sedan i den tredje kolumnen. Om studeranden hade uttryckt sig väldigt entydigt så har detta skede lämnas bort och den tredje kolumnen står i så fall tom. Ett exempel på tolkningen framgår av bild 8 där studerande 03:s nyss nämnda förklaring är tolkad i den tredje kolumnen.

2a	Elikkä koska siellä on suurempi resistanssi, kääntäen verrannollinen, suurempi virta kulkee. Suurempi virta yleensä tietääkseni merkkää sitä että lamppu palaa kirkkaammin.	Lampun läpi kulkeva virta määrää lampun kirkkauden ja on kääntäen verrannollinen lampun resistanssiin.		
----	---	--	--	--

Bild 8. I den tredje kolumnen skrivs tolkningen på den studerandes citat som förekommer i andra kolumnen.

Tolkningen i den tredje kolumnen jämfördes sedan med de relationer och förklaringsmodeller som Mäntylä och Kokkonen (under utg.) presenterat. Om tolkningen inte passade in i någon av de redan existerande förklaringsmodellerna så skapades en ny modell i enlighet med tolkningen av det som studeranden sagt. I detta exempel så är studerandens svar tolkat så att han eller hon menar att lampans ljusstyrka bestäms av strömstyrkan som går genom lampan. Strömstyrkan däremot bestäms av lampans resistans, så att strömstyrkan är omvänt proportionell mot lampans resistans. Resistansen påverkar alltså strömmen. Denna koppling mellan begreppen sammanfaller med den första relationen i tabell 1 som sedan antecknades i den fjärde kolumnen. Då tolkningen sedan jämförs med förklaringsmodellerna som Kokkonen och Mäntylä (under utg.) presenterat (se tabell 2), ser man att den överensstämmer med förklaringsmodell M3, som har följande beskrivning: "I en krets går det en ström som får lampan att brinna. Strömstyrkan beror antingen på kretsens resistans eller på spänningen över komponenten eller mellan batteriets poler". Förklaringsmodellen som passar in med tolkningen av studerandens citat skrevs sedan ned i den femte kolumnen. I bild 9 framgår studerande 03:s förklaring, tolkning, relationen och modellanvändning i andra intervjuens

uppgift 2a. Bilden är ett direkt utdrag ur bilaga C som är en samling av samtliga intervjuers citat, deras tolkningar och modeller.

2a	Elikkä koska siellä on suurempi resistanssi, kääntäen verrannollinen, suurempi virta kulkee. Suurempi virta yleensä tietääkseni merkkää sitä että lamppu palaa kirkkaammin.	Lampun läpi kulkeva virta määrää lampun kirkkauden ja on kääntäen verrannollinen lampun resistanssiin.	$R \rightarrow I$	M3
----	---	--	-------------------	----

Bild 9. I fjärde kolumnen skrivs den relation som förekommer mellan begreppen i den studerandes förklaring. I sista kolumnen skrivs koden för den förklaringsmodellen som den studerande använt sig av.

Eftersom studerandes framgång att förklara lampornas ljusstyrka också var av intresse så markerades även det under analysen. Om den studerande använt sig av en förklaringsmodell på ett felaktigt sätt, det vill säga om resonemanget inte stämmer så är det markerat med ett (V) i femte kolumnen bredvid koden för modellen. Om ingenting annat än förklaringsmodellens nummer är indikerat så har den studerande fått rätt svar på uppgiften.

Ibland har studeranden använt sig av flera modeller då han eller hon motiverat sitt svar i en uppgift. I sådana fall är alla modeller skilt utplockade med motsvarande citat och tolkningar. I vissa fall kunde man ändå inte dela upp citatet i skilda delar där endast de enskilda modellerna framgår. I sådana fall är alla modeller som framgår i citatet utskrivna i den femte kolumnen. Om de studerande konstaterade att han eller hon resonerat på likadant sätt som den föregående talaren så bad intervjuarna ofta studeranden att ändå gå igenom sitt svar tillsammans med resonemanget. I så fall är studerandens förklaringar och deras modell användning nedskrivna även om de vore så gott som direkta kopior av den föregående talaren. I de fall då studeranden konstaterat att han eller hon tänkt på motsvarande sätt som den föregående talaren, men inget förtydligande av resonemanget är givet så är ingen modell användning noterad.

I vissa fall framgår inte den studerandens modell användning från ett enskilt citat utan från en dialog. I så fall är dialogen nedskrivna varifrån det framgår intervjuarens frågor samt den studerandes svar. Tolkingen och modell användningen syftar i dessa fall på den studerandes hela resonemang som framgår ur dialogen.

4.3.4 Analys av den enskilda studerandes modellanvändning

Efter att det transkriberade materialet genomgått och studerandenas förklaringsmodeller blivit utplockade, beskrivna och kategoriserade så undersöktes den enskilda studerandes modellanvändning i de olika uppgifterna. För att få en bättre uppsikt över denna modellanvändning gjordes det, skilt för varje studerande, en tabell där det framgår vilka förklaringsmodeller den studerande stöder sig på vid lösning av uppgifterna. Som exempel är tabellen för studerande O4:s modellanvändning presenterad nedan (se tabell 5). Precis som tidigare i analysen indikerar ett (V) vid någon förklaringsmodell att den studerande använt sig av denna förklaringsmodell i uppgiften, men att resonemanget inte är korrekt. Ifall ett annat X finns i samma uppgift, men saknar ett (V) betyder det att den studerande använt sig av denna förklaringsmodell och resonerat på rätt sätt. Det betyder dock inte att uppgiften vore korrekt löst. Endast om inga (V) hittas vid en uppgift skall det tolkas som att den studerande löst uppgiften korrekt. Om en kolumn står tom betyder det att den studerande inte presenterat sitt resonemang vid denna uppgift. Detta händer ifall en studerande endast överensstämde med de övriga talarna utan att motivera sin egen lösning eller om resonemanget inte annars framgick i det transkriberade materialet.

För tydlighetens skull är uppgifterna numrerade från 1 till 11 i kronologisk ordning. Det vill säga i den ordningen som uppgifterna presenterades för de studerande. Uppgifterna 1-4 är från första intervjun, 5-8 från den andra intervjun och 9-11 är uppgifterna från den tredje intervjun. Andra intervjuns uppgift 2a motsvarar således uppgift 6 med denna numrering.

modell/uppgift	1	2	3	4	5	6	7	8	9 (3)	10 (8)	11
M1											
M2		X			X						
M3	X	X (V)	X	X		X				X	
M4					X			X	X	X	X
M5											
M6											
M7					X						
M8											
M9				X	X						
M10											
M11	X										
M12							X				
M13										X	

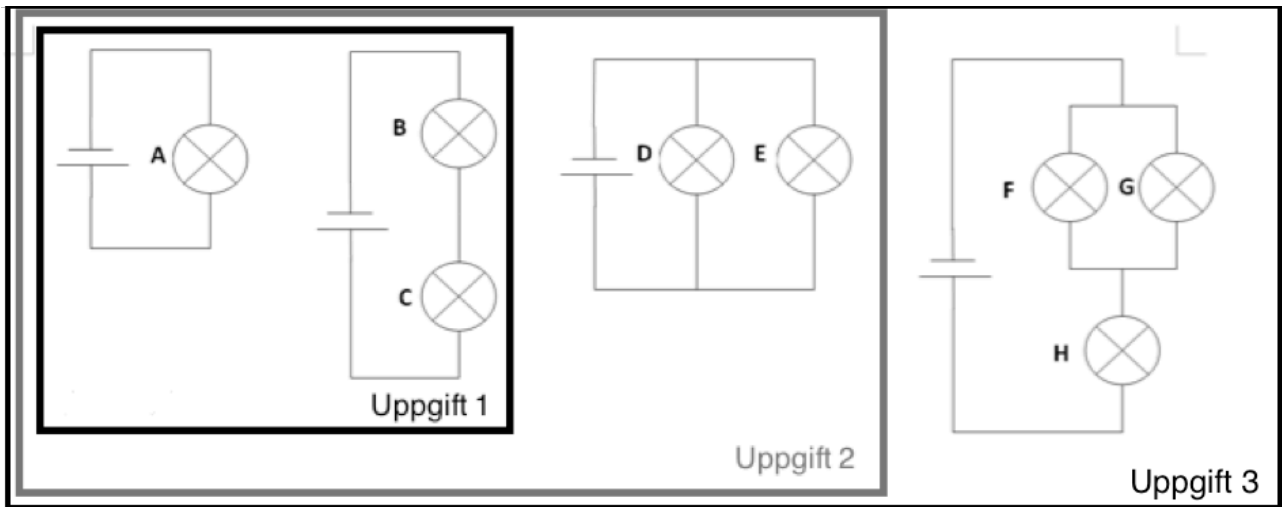
Tabell 5 . Studerande O4:s modellanvändning. Från tabellen framgår det bland annat att O4 använt sig modellerna M3 och M9 i uppgift 4. Modellerna är dessutom korrekt använda och uppgift 4 är korrekt löst.

Ur dessa tabeller framgår alltså den enskilda studerandes modellanvändning vid de olika uppgifterna. I uppgifterna 6-8 och 10 har lamporna i likströmskretsarna olika resistans. I de övriga uppgifterna har alla lampor samma resistans. För att svara på forskningsfrågan 1a granskades alltså tabellerna med fokus på uppgifterna 1-4, 5, 9 och 11. På motsvarande sätt så granskades uppgifterna 6-8 och 10 för att svara på forskningsfråga 1b.

4.3.5 Jämförelse av uppgifterna 1-3 och 9 samt 6-8 och 10

Av de uppgifterna som presenterades till studerandena är uppgift 3 (första intervjuens uppgift 1c) identisk med uppgift 9 (tredje intervjuens uppgift 1). Men för att kunna svara på forskningsfrågan 2a, hur den studerandes användning av förklaringsmodeller ändras då lamporna har samma resistans, så jämfördes de enskilda studerandes modellanvändning i uppgifterna 1-3 med deras modellanvändning i uppgift 9. Detta gjordes eftersom uppgifterna 1-3 (första intervjuens uppgifter 1a – 1c) bygger på varandra så att en likströmskrets lades till i nästa uppgift (se bild 10). På grund av det här är de enskilda studerandenas förklaringar i uppgift 3 begränsade främst till lamporna F,G och H och deras ljusstyrka i relation till de övriga lamporna. Däremot så inledde uppgift 9 den andra intervjun. Därför är det

ändamålsenligt att jämföra studerandenas modell användning i 1-3 med deras modell användning i uppgift 9.



1. Yllä olevat virtapiirit koostuvat samanlaisista lampuista ja paristoista. Oleta, että paristot ovat ideaalisia (ts. paristoilla ei ole sisäistä resistanssia). Aseta lamput kirkkauden mukaiseen järjestykseen kirkkaimmasta himmeimpään. Jos kaksi lampua tai useampi lamppu on yhtä kirkkaita, tuo se vastauksessasi esiin. Selitä miten päädyit ratkaisuusi.

Bild 10. Uppgifterna 1-3. Uppgift 3 innehåller alla fyra likströmskretsar. Även om uppgift 3 är identisk med uppgift 9 så saknas en del förklaringar i uppgift 3 eftersom de redan presenterats av de studerande i uppgifterna 1 och 2.

För att jämföra den enskilda studerandes modell användning i uppgifterna 1 – 3 med hans eller hennes modell användning i uppgift 9 så granskades tabellerna var det framgår den enskilda studerandes modell användning. Detta är förtydligat i tabell 6, som är samma som tabell 5 men där den väsentliga informationen är inramad.

modell/uppgift	1	2	3	4	5	6	7	8	9 (3)	10 (8)	11
M1											
M2		X			X						
M3	X	X (V)	X	X		X				X	
M4					X			X	X	X	X
M5											
M6											
M7					X						
M8											
M9				X	X						
M10											
M11	X										
M12							X				
M13										X	

Tabell 6. 04:s modell användning där den information som användes i jämförelsen är inramad.

Samma tillvägagångssätt användes i fallet då lamporna hade olika resistans. För att kunna svara på forskningsfrågan 2b, hur den studerandes användning av förklaringsmodeller ändras då lamporna har olika resistans, jämfördes den enskilda studerandes modellanvändning i uppgifterna 6-8 med hans eller hennes modellanvändning i uppgift 10.

Förutom den enskilda studerandes användning av förklaringsmodeller så undersöktes också vilka kategoriers förklaringsmodeller som den studerande använde sig av. På motsvarande sätt som med förklaringsmodellerna så jämfördes också hur dessa kategorier skiljer sig för den studerande i uppgifterna 1 – 3 och 9, samt uppgifterna 6 – 8 och 10. En skild tabell skapades för varje studerande, där den studerandes modellanvändning i uppgifterna 1 – 3 och 9, samt 6 – 8 och 10 granskas utgående från vilken kategori förklaringsmodellen tillhör (se tabell 7). Ett exempel på dessa tabeller är givet nedan där O4:s modellanvändning är granskad.

K*	M11				
K5				M12	M13
K4		M4		M4	M4
K3	M3			M3	M3
K2	M2				
K1					
	1-3	9		6-8	10

Tabell 7. O4:s modellanvändning i uppgifterna 1 – 3, 9, 6 – 8 och 10 indelat enligt modellkategorierna

Efter att tabellerna var gjorda så undersöktes hur den studerandes modellanvändning förändrades. Av speciellt intresse var om de studerande använde modeller tillhörande högre eller lägre kategorier i och med att intervjun framskred och uppgifterna blev stegvis svårare. Dessutom granskades om de studerande använde sig av högre eller lägre kategoriers modeller då de löste uppgifterna för andra gången (uppgift 9 och 10).

4.4 Undersökningens giltighet och tillförlitlighet

Som tidigare nämndes (se kapitel 4.2.2) så säger Krippendorf (2004) att kvalitativa undersökningar kan vara både giltiga och tillförlitliga. Med giltig menar han att undersökningen är öppen för noggrann granskning och med tillförlitlighet menar han att

metoderna och teknikerna som används ger resultat som är replikerbara. Cohen, Manion och Morrison (2007) påpekar dock att faktorer som hotar undersökningens giltighet och tillförlitlighet kan aldrig fullt elimineras. Undersökningar som baserar sig på intervjuer påverkas alltid av intervjuobjektens åsikter, attityder och perspektiv, vilka alla kan påverka undersökningen resultat. Därmed skall en undersökning aldrig betraktas vara 100 % giltig. Giltigheten av en undersökning skall heller inte förstås som ett absolut värde där den kan vara giltig eller ogiltig utan snarare skall en undersökning uppfattas ha en viss grad av giltighet. Hur skall en undersökningens giltighet i så fall bedömas? Enligt Winter (2000) kan giltigheten av en kvalitativ undersökning bedömas på basen av bland annat ärligheten, djupet och användning av triangulering. Här betyder triangulering insamling av data på flera olika sätt. Lincoln och Guba (1985) anser att det inte nödvändigtvis är passande att tala om tillförlitlighet och förespråkar istället att man koncentrerar sig på en undersökningens neutralitet, hur konsekvent den är samt pålitlighet ("trustworthiness").

I denna undersökning skedde datainsamlingen vid tre olika intervjutillfällen samt via utförande av DIRECT – testet vid två skilda tillfällen. Detta kan betraktas som en form av triangulering som ökar undersökningens giltighet. Jag strävar också att vara så öppen som möjlig genom att bifoga alla de tolkningar jag gjort ur det transkriberade materialet (se bilaga C) samt genom att ge en detaljerad beskrivning av analysens gång via ett exempel (se kapitel 4.3.3). Men slutligen är det så klart upp till läsaren att själv uppskatta denna undersökningens giltighet samt pålitlighet.

5. Resultat

Ur intervjuerna framgick det att studerande använde sig väldigt långt av samma förklaringsmodeller som Kokkonen (2013) presenterar i sin Pro – Gradu avhandling. Men även nya förklaringsmodeller hittades i de studerandes förklaringar. Ett par studerande (O12, O13) använde sig av en förklaringsmodell där lampans effekt bestämde dens ljusstyrka, men själva begreppet effekt var endast kopplad till ett annat begrepp. Till exempel kunde resonemanget vara i stil med ”strömmen genom lampa A är större än genom lampa B, alltså är effekten i lampa A större än i B och lampa A lyser således starkare”. Denna modell är kodad som M6 och kallas här ”bristfällig elektrisk effekt modell”. Även om användningen av förklaringsmodellen alltid ledde till rätt svar så är modellen bristfällig eftersom relationen (se kapitel 4.3.1) som används för att koppla effekt till de övriga begreppen är felaktig. Relationen som används här, $X \rightarrow Y$, är otillräcklig eftersom det alltid behövs två begrepp (till exempel ström och spänning) för att bestämma en lampas effekt. Istället borde alltså relationen $X, Y \rightarrow Z$ användas då effekten bestäms, vilket är fallet i M10 – elektrisk effekt modellen. Nya modeller var dessutom M11 – analogimodellen där studerande resonerade med hjälp av en analogi, M12 – strukturmodellen där studerande stödde sig på själva lampans struktur samt M13 – energimodellen där lampans ljusstyrka granskas utgående från den emitterade energin.

Fyra studerande svarade rätt på över 80 % av uppgifterna, en studerande svarade rätt på 60 % och en studerande svarade rätt på under 40 % av uppgifterna. De två studerande som klarat sig sämre använde högst två olika förklaringsmodeller vid lösning av en uppgift. De övriga studerande kunde använda upp till tre eller fyra olika förklaringsmodeller vid lösning av en uppgift.

Som tidigare nämndes så gjorde samtliga intervjuobjekt det så kallade DIRECT – testet före den första intervjun samt efter den sista intervjun. Resultaten från dessa är presenterade i tabell 8. Från tabellen ser man att alla elever presterade bättre andra gången de utförde testet. En studerande (O4) lyckades svara rätt på alla frågor andra gången och studerande O12 och O13 blev endast en samt två poäng från maximipoängen (28 p).

Studera nde	pre	post	skillnad
03	15	18	+3
04	24	28	+4
05	19	21	+2
011	16	25	+9
012	26	27	+1
013	24	26	+2

Tabell 8. Intervjuobjektens resultat i DIRECT - testet.

Till följande presenteras den enskilda studerandes modell användning samt svar på de olika forskningsfrågorna.

5.1 Presentation av resultaten

5.1.1 Studerande O3

Studerande O3s modell användning framgår från tabell 9. Kolumnerna för uppgifterna 1 – 3 är tomma eftersom O3 inte klarade av att formulera något klart svar för dessa uppgifter. Ur tabellen framgår att O3 svarat rätt på 3/8 uppgifter och att han använt sammanlagt fem olika förklaringsmodeller vid lösning av uppgifterna. Studerande O3 använder oftast modellen M3 då han löser uppgifterna och använder högst två olika modeller vid lösning av en och samma uppgift. I tabell 10 framgår det vilka modeller studerande O3 använder i uppgifterna 1 – 3, 9, 6 – 8 och 10 och hur dessa modeller placerar sig i de olika kategorierna. O3 stöder sig inte på analogier och använder inte modeller tillhörande kategori K5. Även om han försökt lösa uppgift 7 med hjälp av modell M4 så har han ändå inte lyckas använda den korrekt.

Malli/tehtävä	1	2	3	4	5	6	7	8	9 (3)	10 (8)	11
M1				X					X (V)		
M2				X	X						
M3					X (V)	X		X (V)		X (V)	
M4							X (V)				X
M5											
M6											
M7											
M8											
M9											X
M10											
M11											
M12											
M13											

Tabell 9. Studerande O3:s modellanvändning.

K*					
K5					
K4				M4	
K3				M3	M3
K2					
K1		M1			
	1-3	9		6-8	10

Tabell 10. Studerande O3:s modellanvändningen i de upprepande uppgifterna. Från tabellen framgår vilken kategori modellen tillhör.

5.1.2 Studerande O4

Studerande O4s modellanvändning framgår från tabell 11 nedan. Studerande O4 svarade rätt på 10/11 uppgifter och han använde sammanlagt åtta olika modeller vid lösning av uppgifterna. Han stöder sig i regel på modellerna M3 och M4 och även på modeller tillhörande kategori K5 då uppgiftens lampor har olika resistans. Ur tabell 12 kan man dessutom se att O4 använder sig endast av modell M4 då han löser uppgifterna 1 – 3 för andra gången, även om han första gången använt sig av tre olika modeller. Analogimodellen som O4 använt i uppgift 3 jämför kretsens motstånd (lamporna) med dammar som har hål och elektriska strömmen med vattnet som rinner. Då O3 löser uppgiften där lamporna har olika resistans för andra

gången så sker ingen större ändring i modellanvändningen. Han använder sig av modellerna M3, M4 och en modell tillhörande kategori K5 båda gångerna.

Malli/tehtävä	1	2	3	4	5	6	7	8	9 (3)	10 (8)	11
M1											
M2		X			X						
M3	X	X (V)	X	X		X				X	
M4					X			X	X	X	X
M5											
M6											
M7					X						
M8											
M9				X	X						
M10											
M11			X								
M12							X				
M13										X	

Tabell 11. Studerande O4:s modellanvändning.

K*	M11				
K5				M12	M13
K4		M4		M4	M4
K3	M3			M3	M3
K2	M2				
K1					
	1-3	9		6-8	10

Tabell 12. Studerande O4:s modellanvändningen i de upprepande uppgifterna. Från tabellen framgår vilken kategori modellen tillhör.

5.1.3 Studerande O5

Från tabell 13 framgår studerande O5s modellanvändning. O5 svarade rätt på 6/10 uppgifter och använde sig av sammanlagt fem olika modeller. Hon använde oftast modellerna M2 och M3 och använde högst två modeller för att lösa en uppgift. Ur tabell 14 ser man att O5 använt sig av två modeller båda gångerna hon löste uppgiften där lamporna har samma resistans. Första gången lyckades hon endast delvis lösa uppgiften genom att använda modellerna M3 och M8. Andra gången lyckades hon fullständigt lösa uppgiften då hon använde modellerna M3 och M4, alltså en modell från en högre kategori än tidigare. Då hon löste uppgiften där

lamporna hade olika resistans för andra gången använde hon sig av en analogi. Här jämförde hon en lampans motstånd med friktion och utgående från det kunde hon rätt resonera sig fram vilken lampa som lyser starkare även om hennes resonemang varit bristfälligt då hon använt modell M3 i samma uppgift.

Malli/tehtävä	1	2	3	4	5	6	7	8	9 (3)	10 (8)	11
M1											
M2				X	X						X
M3		X(V)	X	X	X(V), X		X(V)	X(V)	X	X(V)	
M4									X		
M5											
M6											
M7											
M8	X										X
M9											
M10											
M11										X	
M12											
M13											

Tabell 13. Studerande O5:s modellanvändning.

K*					M11
K5					
K4		M4			
K3	M3, M8	M3		M3	M3
K2					
K1					
	1-3	9		6-8	10

Tabell 14. Studerande O5:s modellanvändningen i de upprepande uppgifterna. Från tabellen framgår vilken kategori modellen tillhör.

5.1.4 Studerande O11

Från tabell 15 framgår det att studerande O11 svarat rätt på 8/9 uppgifter och att han använt sig av sammanlagt sju olika modeller vid lösning av uppgifterna. Studerande O11 stöder sig i regel på modellerna M3 och M4 men använder också ett par gånger modellen M10 som tillhör den högsta kategorin K5 med bästa förklaringskraft. Första gången O11 löste uppgifterna 1 – 3 så använde han fyra olika modeller men då han jämförde samma strömkretsar i uppgift 9 så

använde han endast två modeller. Han använde sig alltså av ett mindre antal modeller då han löste samma uppgift för andra gången. Det motsatta händer i fallet då lamporna har olika resistans. Då använder han två modeller första gången men expanderar denna modell användning till fyra modeller då han löser samma uppgift för andra gången.

Malli/tehtävä	1	2	3	4	5	6	7	8	9 (3)	10 (8)	11
M1		X									
M2										X	
M3	X								X	X	
M4		X				X			X	X	X
M5											
M6											
M7											
M8				X							X
M9			X (V)								
M10							X			X	
M11											
M12											
M13											

Tabell 15. Studerande O11:s modell användning.

K*					
K5				M10	M10
K4	M4	M4		M4	M4
K3	M3	M3			M3
K2	M9				M2
K1	M1				
	1-3	9		6-8	10

Tabell 16. Studerande O11:s modell användningen i de upprepande uppgifterna. Från tabellen framgår vilken kategori modellen tillhör.

5.1.5 Studerande O12

Studerande O12 svarade rätt på 11/11 uppgifter. Ur tabell 17 framgår det att studerande O12 använde sig av totalt sex olika modeller. Han använde oftast modellerna M3, M8 och M10 och upp till fyra olika modeller vid lösning av en uppgift. Ur tabell 18 ser man studerande O12s modell användning i uppgifterna 1 – 3, 9, 6 – 8 och 10. Då han för första gången löser uppgiften där lamporna har samma resistans så använder han sig av fem olika modeller men när han löser den för andra gången stöder han sig endast på en modell. Lite överraskande så använder

han sig av modell M10 då han löser uppgiften för första gången. Precis som för O4 och O11 så minskar O12s modellanvändning här i den meningen att han använder sig av färre modeller då han löser samma uppgift för andra gången jämfört med då han löser uppgiften för första gången. Man kan se motsatta fenomen ifall man betraktar O12s modellanvändning i uppgiften där lamporna har olika resistans. Här använder O12 fler modeller då han löser uppgiften för andra gången. Studerande O12 använder dessutom en analogi där han jämför strömkretsen med en flod och kretsens motstånd med smala ställen i floden. Det är alltså frågan om en lite liknande vattenanalogi som O4 använde sig av.

Malli/tehtävä	1	2	3	4	5	6	7	8	9 (3)	10 (8)	11
M1											
M2											
M3	X		X		X					X	
M4											
M5											
M6	X									X	
M7											
M8			X	X					X		X
M9								X		X	X
M10		X				X	X			X	
M11			X								
M12											
M13											

Tabell 17. Studerande O12:s modellanvändning.

K*	M11				
K5	M10			M10	M10
K4					
K3	M3, M6,M8	M8			M3, M6
K2				M9	M9
K1					
	1-3	9		6-8	10

Tabell 18. Studerande O12:s modellanvändningen i de upprepande uppgifterna. Från tabellen framgår vilken kategori modellen tillhör.

5.1.6 Studerande O13

Studerande O13 lyckades lösa 9/11 uppgifter vilket framgår från tabell 19 där studerande O13s modellanvändning är uppställt. O13 stöder sig oftast på modellerna M3, M9 och M10 och använder sig av totalt åtta olika modeller vid lösning av uppgifterna. Som mest använder han tre olika modeller då han löser en uppgift. Från tabell 20 framgår O13s modellanvändning i uppgifterna 1 – 3, 9, 6 – 8 och 10. På motsvarande sätt som O4, O11 och O12 så använder också O13 ett mindre antal modeller då han för andra gången löser uppgiften där lamporna har samma resistans. Första gången använder han fyra modeller och andra gången tre. Samma minskning i modellanvändning sker också i uppgiften där lamporna har olika resistans.

Malli/tehtävä	1	2	3	4	5	6	7	8	9 (3)	10 (8)	11
M1									X		
M2			X (V)	X							
M3		X (V)			X				X		
M4				X				X			
M5							X				X
M6	X										
M7											
M8											
M9			X (V)						X		X
M10						X		X		X	
M11											
M12											
M13											

Tabell 19. Studerande O13:s modellanvändning.

K*					
K5				M10	M10
K4				M4	
K3	M3, M6	M3		M5	
K2	M2, M9	M9			
K1		M1			
	1-3	9		6-8	10

Tabell 20. Studerande O13:s modellanvändningen i de upprepande uppgifterna. Från tabellen framgår vilken kategori modellen tillhör.

5.2 Svaren på forskningsfrågorna

1a. Hurdana förklaringsmodeller använder studerande för att förklara lampornas ljusstyrka i en likströmskrets då lamporna har samma resistans?

Då studerande löste uppgifter (uppgifterna 1-5, 9 och 11) där lamporna hade samma resistans använde de förklaringsmodellerna M1 – M10. Den mest använda förklaringsmodellen var M3 – pre Ohms strömmmodell som alla sex studerande använde i någon uppgift. Även modellerna M2 – strömbaserad modell, M4 – Ohms modell (fyra studerande) och M9 – spänningsbaserad modell (fem studerande) var populära.

1b. Hurdana förklaringsmodeller använder studerande för att förklara lampornas ljusstyrka i en likströmskrets då lamporna har olika resistans?

Då studerande löste uppgifter (6-8 och 10) där lamporna hade olika resistans använde de förklaringsmodellerna M2 – M6 och M9 – M13. Den mest använda förklaringsmodellen var även här M3 – pre Ohms modell som användes av fem studerande. Även modellerna M4 – Ohms modell (fyra studerande) och M10 – elektrisk effekt modell (tre studerande) var populära.

2a. Hur förändras studerandes användning av förklaringsmodeller då de löser samma likströmskretsuppgift två gånger och lamporna i uppgiften har samma resistans?

Då uppgifterna 1 – 3 presenterades på nytt i uppgift 9 så använde fyra av fem studerande ett mindre antal modeller än första gången de löste dem (studerande O3 formulerade inget svar på första frågan så hans svar är inte medräknat). En studerande använde samma antal modeller. Två studerande (O4 och O5) stödde sig på modeller som har mer förklaringskraft i uppgift 9 jämfört med modellerna de använt i uppgifterna 1 – 3. En studerande (O12) stödde sig på modeller som har mindre förklaringskraft i uppgift 9 jämfört med modellerna han använde i uppgifterna 1 – 3. Två studerandes (O11 och O13) modell användning ändrades inte i detta syfte, det vill säga båda gångerna de löste uppgiften hade modellerna de använde lika stor förklaringskraft.

2b. Hur förändras studerandes användning av förklaringsmodeller då de löser samma likströmskretsuppgift två gånger och lamporna i uppgiften har olika resistans?

Då uppgifterna 6 – 8 presenterades på nytt i uppgift 10 så använde tre studerande ett större antal modeller, två studerande ett mindre antal modeller och en studerande samma antal

modeller som första gången de löste uppgiften. Fem studerande (O4, O5, O11, O12 och O13) använde modeller med lika mycket förklaringskraft båda gångerna de löste uppgiften (1 – 3 och 10). En studerande (O3) använde modeller med mindre förklaringskraft då han löste uppgiften för andra gången.

3. Hurdana förklaringsmodeller använder de studerande som löser uppgifter med goda resultat?

Fyra av sex studerande (O4, O11, O12 och O13) lyckades lösa över 80 % av uppgifterna. Endast dessa fyra studerande använde ofta modeller tillhörande kategorierna K4 eller K5. Studerande O4 och O11 använde oftast modellerna M3 – pre Ohms modell och M4 – Ohms modell, studerande O12 använde oftast modellerna M3 – pre Ohms modell, M8 – pre Ohms spänningsmodell och M10 – elektrisk effekt modell, och studerande O13 använde oftast modellerna M3 – pre Ohms modell, M9 – spänningsbaserad modell och M10 – elektrisk effekt modell. Studerande O4, O11, O12 och O13 var också de enda som använde förklaringsmodeller tillhörande kategori K5. Studerande O11, O12 och O13 använde sig av förklaringsmodell M10 – elektrisk effekt modell och studerande O4 använde sig av förklaringsmodellerna M12 – struktur modell och M13 - energimodell.

6. Diskussion

I det här kapitlet diskuterar jag resultaten som presenterades i förra kapitlet samt kopplar den till den teoretiska referensramen som gavs i kapitel 2 och 3.

Intervjuerna gav möjlighet för studerande att lösa samt diskutera strömkretsuppgifter. Inte bara måste de resonera högt och motivera sina svar för andra studerande utan de lyssnade också på andra studerandes förklaringar. I slutet av intervjutillfällena kunde de dessutom själv koppla strömkretsarna som gått igenom under intervjuerna. Därmed är det också logiskt att anta att de efter intervjuerna, i varje fall delvis, nått en bättre förståelse om strömkretsar jämfört med vad de kunde före intervjuerna. Resultaten av DIRECT – testet stöder detta antagande. Alla studerande fick högre poäng i testet då de utförde det andra gången. Detta är knappast någon överraskning med tanke på intervjuerna samt det faktum att vissa av testets flervalfrågor liknar väldigt mycket uppgifterna som användes i intervjuerna. Intervjuernas struktur samt resultaten från DIRECT – testet tyder alltså på att de studerandes begreppsförståelse förbättrades i samband med intervjuerna. Enligt Kuhn (se kapitel 2.1.2) så skall detta inte tolkas som att studerande lärde sig att tillämpa begrepp de redan kunde utan snarare som att deras förståelse av själva begreppet utvecklats. Studerande har alltså förbättrat sin kunskap om den del av "lexikonet" som innefattar elektrisk strömstyrka, resistans, spänning och relationerna som kopplar dessa begrepp.

De relevanta begreppen i detta arbete är vetenskapliga begrepp, det vill säga det som Kuhn kallar för nomiska begrepp (se kapitel 2.1.2). Således påträffas inga likhetsrelationer mellan själva begreppen men likhetsrelationer mellan uppgifter kan förekomma. Dessa likhetsrelationer mellan uppgifterna är de centrala byggstenarna i lärandeprocessen enligt Kuhn. Uppgifterna som användes i intervjun var dock begränsade till relativt enkla likströmskretsar. Således var bredden på uppgifterna liten och det är svårt att hitta dessa centrala likhetsrelationer mellan uppgifterna. För att studerande skall uppnå en djupare kunskap av till exempel begreppet spänning räcker det naturligtvis inte att endast betrakta likströmskretsar utan även andra situationer måste betraktas och jämföras (spänning i växelströmskretsar o.s.v.). Men även om det inte är lätt att hitta likhetsrelationer mellan uppgifterna i intervjun så kan man finna olikheter, vilka enligt Kuhn är lika viktiga med tanke på lärande. Olikheter påträffas främst när man betraktar parallell- och seriekoppling. Till exempel då lampor seriekopplas så ökar kretsens resistans medan den minskar ifall lampor

parallellkopplas. Spänningen är samma över två parallellkopplade lampor medan den fördelar sig mellan lamporna ifall de seriekopplade. I undersökningen kom det fram att O3 hade svårigheter att skilja mellan dessa olikheter. Studerande O13 hade också svårigheter första gången han betraktade parallellkopplade lampors ljusstyrka men andra gången kunde han väldigt klart resonera sig fram till rätt svar med hjälp av spänningen. På sådant sätt kan alltså intervjuerna betraktas vara del av lärandeprocessen där granskande av olikhetsrelationerna mellan uppgifterna utgör en central del av denna process.

En sak som är iögonfallande gällande resultaten är att varje studerande använde sig väldigt ofta av förklaringsmodell M3, det vill säga "pre - Ohms modell". Som ett exempel kan ges O4:s förklaring i första intervjuens andra uppgift (egen översättning):

[...]alltså blir kretsens resistans samma som halva lampans resistans, alltså går det en större ström i kretsen och lamporna lyser därför starkare.

Studerande förklarar alltså gärna lampans ljusstyrka utgående från strömstyrkan i kretsen och denna strömstyrka kopplas ofta till ett av de övriga begreppen. Denna observation är i linje med det som Liegois och Mullet (2002) konstaterade i sina egna undersökningar – studerande stöder sig mycket hellre på strömstyrkan än spänningen då de löser uppgifter med elektriska strömkretsar. Detta bekräftades ytterligare av studerande O3 som sade i andra intervjun (egen översättning):

Jag kan inte förklara det utgående från spänningen, jag kommer jätte dåligt ihåg det.

Så även om vissa av uppgifterna kunde lättare lösas genom en granskning av spänningen så använder studerande hellre strömstyrkan i sina resonemang.

Som tidigare nämndes i kapitel 3.1 så påpekade både Cohen et al (1983) samt McDermott och Shaffer (1992) att elever ofta saknar förmåga att kvalitativt resonera sig fram till enkla svar även om de kan använda komplicerade formler för att räkna ut numeriska värden i strömkretsar. Detta kunde inte bekräftas utgående från dessa transkriberade intervjuer. Tvärtom så avstod studerande ibland från att använda formler för att istället tänka ut svaret på ett alternativt, mera kvalitativt sätt. I den tredje intervjuens andra uppgift (uppgift 10), en uppgift där lamporna hade olika resistans så konstaterar studerande O4 följande (egen översättning):

Man skulle kunna tänka det här utgående från formeln för effekt, men jag tänker det helt enkelt utgående från det att om den ena har större resistans så motstår den strömmen mera och det i sin tur betyder att det ändrar form eller alltså frigör energi på grund av motståndet och här är det i form av till exempel ljus, så därför är C ljusare än D.

Här avstår studerande O4 från att använda M10 modellen, det vill säga modellen som stöder sig på effekten och baserar väldigt långt på formeln $P = UI$ (eller en motsvarighet av den). Istället så stöder sig O4 på förklaringsmodell M13. Alltså baserar O4 sitt resonemang på hur resistansen och strömstyrkan förhåller sig till energin som lampan emitterar utgående från ett kvalitativt resonemang. Formlerna har ofta dock en betydelse. Till exempel så påpekade studerande O3 under första intervjun att han inte kom ihåg formlerna och han kunde därmed inte lösa de första uppgifterna i första intervjun. Det att O4 valde att kvalitativt resonera sig fram till svaret istället för att stöda sig på formler så kan tolkas som att han hade en djupgående förståelse om begreppen i en likströmskrets. Enligt Stocklemayer och Treagust (1996) så är just denna vana att fundera på elektriska kretsar utgående från energin som kännetecknar hur experter resonerar. Så även om detta inte är i linje med det som Cohen et al. (1983) och McDermott och Shaffer (1992) framhävde så verkar det överensstämma med tidigare resultaten av Stocklemayer och Treagust (1996). Fast man säkert inte kan betrakta studerande O4 direkt som en "expert" så hade han ändå näst bäst resultat (10/11) av de som intervjuades.

En annan intressant observation i denna undersökning är kopplad till forskningsfråga 2a, det vill säga hur studerandes modellanvändning ändras då de löser en uppgift för andra gången och uppgiftens lampor har samma resistans. Som det påpekades i kapitel 5.2 så minskade fyra av fem studerande på sin modellanvändning då de löste uppgiften andra gången. De använde alltså ett mindre antal modeller då de löste uppgiften på nytt. Till exempel så använde studerande O12 fem olika modeller då han första gången löste uppgiften men nästa gång han löste den så resonerade han endast med hjälp av förklaringsmodell M8 som alltså utgår från spänningen i kretsen eller mellan lampans poler. Studerande O4 använde också endast en förklaringsmodell, M4, andra gången han löste uppgiften, även om han använt tre andra förklaringsmodeller första gången. Ohlssons (2009) tankar gällande kognitiv utilitet erbjuder en tolkning av detta fenomen (se kapitel 2.3.1). Som tidigare nämndes så då en studerande kan använda sig av flera modeller så är det, enligt Ohlsson, modellernas relativa kognitiva utilitet som bestämmer vilken modell som används. Lite förenklat kunde detta förstås som att

den studerande väljer att använda den modellen som är enklast att använda samt ger ett svar som den studerande är nöjd med. Under första intervjun då studerande löser uppgifterna 1 – 3 så är de ännu inte lika välbekanta med strömkretsens begrepp och modeller som i sista intervjun (se diskussionen gällande DIRECT – testets resultat i början av detta kapitel). Begreppen och modellerna är alltså oklara i det här skedet och således är det också svårt för de studerande att undermedvetet bilda en förståelse om modellernas kognitiva utilitet. Som följd blir studerandes modellanvändning oordnad och de använder sig av flera olika modeller, även om uppgiften inte kräver det. Då eleverna löser samma uppgift vid ett senare tillfälle, under tredje intervjun, så är de mer bekanta med begrepp och modeller gällande strömkretsar. De har antagligen också en klarare bild av hur olika typers uppgifter kan lösas. De studerande befinner sig alltså nu i en situation där de vet att de kan lösa uppgiften på flera sätt (eftersom de gjort det tidigare) men bestämmer sig för att använda modellen eller de modellerna med bästa kognitiva utilitet. Detta betyder alltså att vissa modeller som studerande tidigare använt antagligen faller bort eftersom de har sämre kognitiv utilitet jämfört med någon av de andra modellerna. Både O4 och O12 gick från att ha använt tre respektive fem modeller första gången till att endast stöda sig på en modell då de löser uppgiften andra gången. Detta är logiskt i och med att det antagligen är lättare att betrakta ljusstyrkan i alla lampor på samma sätt om det bara är möjligt.

Det ovannämnda resonemanget verkar dock vara i konflikt med resultaten gällande forskningsfråga 2b. Då lamporna hade olika resistans så minskade inte studerandes modellanvändning, utan tre studerande ökade på antalet modeller de använde. Endast två studerandes (O3 och O12) modellanvändning minskade. Ifall man granskar situationen utgående från de enskilda modellernas kognitiva utilitet borde alltså studerandes modellanvändning minska, men detta kunde inte observeras. Det kan givetvis finnas flera orsaker till varför denna minskning inte påträffas i här. Till följande går jag igenom två möjliga orsaker till detta; en modellkombinations kognitiva utilitet och upplägget på uppgifterna.

I uppgift 9 har alla lampor samma resistans. Detta gör uppgiften relativt enkel i den meningen att alla lampor i kretsarna kan granskas utgående från endast en enkel modell. Studerande O12 jämförde lampornas ljusstyrka i kretsen genom att endast utgå från spänningen mellan lampornas ändor, det vill säga använde han sig endast av modell M8. Förklaringsmodell M8 är relativt lätt och man kan bra förklara lampornas relativa ljusstyrka i en krets med hjälp av

den. Modellens förklaringskraft räcker dock inte till att förklara lampornas relativa ljusstyrka i en krets där lamporna har olika resistans. Ifall man skulle använda endast en modell för att förklara lampornas ljusstyrka då de har olika resistans så måste man använda någon av modellerna M10, M12 eller M13 (eller en annan förklaringsmodell som inte påträffades i dessa intervjuer men som har tillräcklig förklaringskraft). Detta var fallet med studerande O13 som endast använde sig av M10 då han löste uppgift 10. Modellen är dock komplicerad. Den utgår från elektriska effekten och beroende på uppgiften så är man tvungen att välja de två lämpligaste begreppen av strömstyrka, spänning och resistans. Då lamporna är seriekopplade och strömstyrkan genom lamporna är samma så är det lättast att utgå från formeln $P = RI^2$ då man granskar lampornas relativa ljusstyrka. Däremot om de är parallellkopplade måste man ändra om formeln till $P = \frac{U^2}{R}$ för att direkt ur formeln kunna dra en slutsats om ljusstyrkan. Dessa formelomvandlingar kan kännas besvärliga. Därför kan det möjligtvis vara lättare att istället för att använda sig av en modell, kombinera två eller flera modeller då lamporna i en strömkrets granskas. Till exempel då två lampor med olika resistans är parallellkopplade kan man först använda sig av M4 för att tänka genom vilken lampa det går en större ström varefter man kan direkt använda modell M10 i formen $P = UI$, det vill säga den vanligaste och för studerande antagligen den mest bekväma formen. I detta fall är det alltså ansträngande att använda sig av en endast förklaringsmodell, eftersom formeln som den utgår ifrån måste omvandlas på ett lämpligt sätt. Att istället kombinera två modeller kan i det här fallet kräva mindre tankearbete och ge samma resultat. Så kombinationen av modellerna (M4 och M10) kan förstås ha en bättre kognitiv utilitet än bara en modell (M10). Ohlsson (2009) diskuterar inte fallet där man betraktar kombinationer av modeller och således inte heller hur en sådan kombinations kognitiva utilitet förhåller sig till enskilda modellers kognitiva utilitet. Resultaten av denna undersökning tyder dock på möjligheten att utvidga begreppet kognitiv utilitet att även gälla kombinationer av modeller.

En annan faktor som kan ha påverkat studerandes modell användning i uppgift 10 är själva upplägget av uppgifterna. Den andra intervjun inleddes med uppgift 5 som bestod av en strömkrets med en strömbrytare och fyra lampor med lika resistans. De följande uppgifterna (6 – 8) bestod av strömkretsar där lamporna hade olika resistans. Den tredje intervjun inleddes däremot med uppgift 9 som kombinerade tidigare uppgifterna 1 – 3. Denna uppgift var mer omfattande än andra intervjuns första uppgift (uppgift 5). Den hade fyra strömkretsar med totalt åtta lampor med lika resistans. Till följd av detta så var studerande

tvungna att resonera en hel del om lampors ljusstyrka där de har lika resistans. Det är alltså möjligt att uppgift 9 inledde studerande på ett annat spår än uppgift 5 och som följd använde de senare sig av de förklaringsmodeller de använt då de granskat lampors ljusstyrka i fallen där lamporna har samma resistans.

Tre elever använde olika analogier som stöd för sitt resonemang. Både studerande O4 och O12 jämförde den elektriska strömmen med en ström av vatten. O4 jämförde kretsens motstånd med dammar med små hål och O5 jämförde motstånd med smala ställen i en vattenström. Båda resonemangen ledde till korrekta slutsatser. Också studerande O5 kunde med hjälp av en analogi korrekt resonera hur lamporna lyser i uppgift 10 även om hon i samma uppgift gjort en felaktig slutsats på basen av modell M3. Duit och Glynn (1996) markerar vikten med att känna till analogins möjligheter och restriktioner. Vattenanalogin, som ofta används i undervisning, kan lätt leda elever att tro att elektrisk ström liknas med vattnet och inte själva strömmen. Därmed kan studerande ha missuppfattningen att elektrisk ström är, precis som vatten, någon form av ämne som kan förbrukas i kretsen. Denna missuppfattning påträffades dock inte i intervjun utan både O4 och O12 verkade vara medvetna om sina analogiers restriktioner. I uppgift 10 resonerade också studerande O5 korrekt med hjälp av en analogi mellan friktion och resistans. Detta stöder det som Silva (2007) understryker; att analogierna möjliggör att eleven kan tolka komplicerade idéer eftersom idéerna kopplas med redan existerande erfarenheter.

Inga större förändringar observerades då studerandes modellanvändning granskades utgående från modellernas förklaringskraft, det vill säga kategorierna. För största delen av studeranden var detta ganska statistiskt. Modellerna de använde då de löste uppgifterna 1 – 3 och 6 – 8 hade ungefär samma förklaringskraft då de löste uppgifterna 9 och 10.

Intervjuerna som används i detta arbete utfördes i grupper på tre studerande. Det är klart att då studerande intervjuas i grupp så påverkar de varandras resonemang och svar på olika sätt. Detta märks speciellt då man betraktar hur studerande i de olika grupperna använt sig av modeller där begreppet elektrisk effekt förekommer. Gruppen med studerande O3, O4 och O5 använde aldrig förklaringsmodellerna M5, M6 eller M10, det vill säga de förklaringsmodeller som innehåller begreppet elektrisk effekt. Däremot använde alla studerande i andra gruppen (O11, O12 och O13) förklaringsmodell M10. Ytterligare så använde studerande O12 förklaringsmodell M6 och studerande O13 både förklaringsmodell M5 och M6. Studerandes egna fysikkunskaper kan naturligtvis också vara en orsak till detta men antagligen så är

medstuderandes inflytande den största orsaken till att modellen användning homogeniseras inom gruppen.

Under arbetets gång kom det också fram att så gott som hela uppgiften 9 tas upp på kursen "opettajien sivuainefysiikan laboriokurssi II". Det är dock oklart vilka studerande som intervjuades hade gått denna kurs före intervjuerna.

7. Sammanfattning

Studerandes begreppsförståelse och modellanvändning är ytterst intressanta ur ett pedagogiskt perspektiv. Inte minst eftersom själva bedömningen av en studerandes fysikkunskaper ofta strävar till att spegla dessa två saker. En studerande med goda vitsord anses ofta ha en bra begreppsförståelse samt förmåga att lösa uppgifter. Därför är det viktigt att lärarna är medvetna om de olika förklaringsmodellerna som de studerande använder samt hur denna modellanvändning utvecklas i samband med inläring.

Inom elläran är DIRECT – testet ett ofta använt redskap för att mäta studerandes kunskaper om likströmskretsar. Testet, som består av en rad flervalfrågor, har dock den svagheten att den inte ger någon information om studerandes modellanvändning. För detta krävs en mera kvalitativ granskning vilket kan förverkligas till exempel med intervjuer.

Tidigare undersökningar av Cohen et al. (1983) och McDermott och Shaffer (1992) visar att studerande gärna stöder sig på ekvationer och begreppet elektrisk ström vid lösning av likströmskretsuppgifter. Också i denna undersökning så utgick de studerande ofta från strömstyrkan då de förklarade lampornas ljusstyrka. Däremot så observerades situationer där studerande avstod från att granska uppgifter matematiskt och valde istället att kvalitativt resonera sig fram till rätta svar.

I undersökningen observerades alla de åtta förklaringsmodellerna som Kokkonen (2013) och Kokkonen och Mäntylä (under utg.) presenterar. Dessutom observerades fem nya förklaringsmodeller som de studerande använde för att förklara glödlampors ljusstyrka; M6, M10, M11, M12 och M13. De två första förklaringsmodellerna M6 och M10 är kopplade till elektrisk effekt och användes i regel i de uppgifter där lamporna hade olika resistans. M11 baserar sig på analogier och M12 på lampans struktur. M13 kopplar den emitterade energin till lampans ljusstyrka. En mera detaljerad beskrivning av dessa modeller ges i tabell 2. Till skillnad från de tidigare undersökningarna av Kokkonen (2013), Saari (2013) och Kokkonen och Mäntylä (under utg.) så granskades här även situationer där lamporna hade olika resistans. Även mängden uppgifter som granskades skiljer sig här från de tidigare undersökningarna. Detta är antagligen orsaken varför det observerades ett bredare bruk av modeller i detta arbete, jämfört med tidigare undersökningar.

Då studerande löste samma uppgift för andra gången så observerades en förändring i deras modellanvändning. Då lamporna i kretsen hade samma resistans så använde studerande ett mindre antal modeller då de löste uppgiften för andra gången. Däremot, om lamporna hade olika resistans så kunde denna minskning inte observeras. Den förstnämnda observationen kan tolkas utgående från modellernas kognitiva utilitet som Ohlsson (2009) skrivit om, där en del av läroprocessen går ut på att då studerande jämför användbarheten av olika modeller vid lösning av en uppgift. Den studerande använder den modellen som ger ett tillfredsställande svar på enklast möjliga sätt. Därmed är det förväntat att studerandes modellanvändning minskar då de löser uppgiften för andra gången. Uppgiften där lamporna har olika resistans kräver dock användning av en mer komplicerad modell än uppgiften där lamporna har samma resistans. Här är det kanske mer ändamålsenligt att granska den kognitiva utiliteten, inte utgående från enskilda modeller, utan snarare från en grupp modeller. De modeller som tillsammans har bästa kognitiva utilitet är de modeller som den studerande stöder sig på. Det är dock väldigt oklart om denna utvidgning av konceptet kognitiv utilitet överhuvudtaget är hållbar eller om de observationerna som gjordes då lamporna hade olika resistans berodde på någonting annat.

Observationerna som gjordes här är alltså delvis i linje med de tidigare undersökningarna; eleverna stöder sig den elektriska strömstyrkan och samma modeller som Kokkonen (2013) observerade hittades i de studerandes förklaringar. Däremot så observerades också situationer där studerande resonerade kvalitativt istället för att granska situationen utgående från formler, vilket inte överensstämmer med tidigare undersökningar av Cohen et al. (1983) och McDermott och Shaffer (1992). Ohlssons (2009) tankar om kognitiv utilitet är användbara för att förklara studerandes modellanvändning då lamporna har samma resistans men fungerar inte som sådan för att förklara modellanvändning då lamporna har olika resistans. För det måste kognitiva utiliteten utvidgas till att gälla, inte endast enskilda modeller, utan också flera modellers samtida användning. Fler undersökningar krävs dock för att klargöra om det är välgrundat att granska kognitiva utiliteten utgående från en grupp modeller. Om det visar sig att detta verkligen är motiverat så kunde man utgå från modellernas gemensamma kognitiva utilitet då man konstruerar komplicerade uppgifter inom fysikundervisningen. Syftet med dessa uppgifter vore att stärka elevens förståelse av de modeller som har en bra kognitiv utilitet i uppgiften. Dessa uppgifter kunde samtidigt fungera som Kuhniska paradigmer som också skulle stärka elevens förståelse av lexikonets struktur runt den delen som uppgiften behandlar. Med andra ord så kunde eleven använda uppgiften

som referenspunkt för framtida inläring samtidigt som den skulle förbättra elevens begreppsförståelse.

Källor

- Andersen, H., Barker, P. & Cheng, X. (2002). *Cognitive Structure of Scientific Revolutions*. West Nyack, NY: Cambridge University Press.
- Andersen, H., & Nersessian N. J. (2000). Nomic Concepts, Frames, and Conceptual Change. *Philosophy of Science*, 67, 224-241
- Besson, U. (2010). Calculating and Understanding: Formal Models and Causal Explanations in Science, Common Reasoning and Physics Teaching. *Science & Education*, 19, 225-257
- Cohen, L. , Manion, L. & Morrison, K. (2007). Research methods in Education. London: Routledge Falmer
- Cohen, R., Eylon, B. & Ganiel, U. (1983). Potential difference and current in simple electric circuits: A study of students' concepts. *American Journal of Physics*, 51, 407 – 412.
- Duit, T. R., & GLYNN, S. (1996) *Mental modelling*. I Welford, G., Osborne, J., & Scott, P. *Research in Science Education in Europe*. London: The Falmer Press
- Engelhardt, P. V. & Beichner, R. J. (2004). Students' understanding of direct current resistive electric circuits. *American Journal of Physics*, 72, 98 – 115.
- Giere, R. N. (2004). How Models Are Used to Represent Reality. *Philosophy of Science*, 71, 742-752
- Gilbert, J. K. (2004). Models and Modelling: Routes to More Authentic Science Education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2, 115-130
- Graneheim, U. H., & Lundman, B. (2004). Qualitative content analysis in nursing research: concepts, procedures and measures to achieve trustworthiness. *Nurse Education Today*, 24, 105-112
- Hestenes, D. (1987). Toward a modeling theory of physics instruction. *American Journal of Physics*, 55, 440-454.

- Hestenes D., Wells M., Swackhamer G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30, 141 - 166
- Hestenes, D. (2010). *Modeling Theory for Math and Science Education*. I Lesh, R., Galbraith, P. L., Haines, C. R. & Hurford, A. *ICTMA -13 : Modeling Students' Mathematical Modeling Competencies*. Springer
- Hoyningen – Huene, P. (1993). *Reconstructing Scientific Revolutions; Thomas S. Kuhn's Philosophy of Science*. Chicago & London: The University of Chicago Press
- Kokkonen, T. (2013). *Käsitteet ja käsitteellinen muutos tasavirtapiirien kontekstissa. Pro Gradu – avhandling*. Helsingfors universitet. Institutionen för fysik.
- Kokkonen, T. & Mäntylä, T. (under utgivning) *Applying a Systemic Approach to Conceptual Change: Students' Explanation Models of DC Circuits*.
- Koponen, I. & Kokkonen, T. (2014). A Systemic view of the learning and differentiation of scientific concepts: The case of electric current and voltage revisited. *Frontline Learning Research*, 5, 140-166.
- Krippendorff, K. (2004). *Content Analysis; An Introduction to Its Methodology*. California: Sage Publications
- Laurence, S. & Margolis, E. (1999). *Concepts: core readings*. Cambridge, MA : MIT Press
- Liégois, L. & Mullet, E. (2002). High school students' understanding of resistance in simple series electric circuits. *International Journal of Science Education*, 24, 551 – 564.
- Lincoln, Y. S. & Guba, E. (1985). *Naturalistic Inquiry*. Beverly Hills, CA: Sage
- Matthews, M. R. (2007). Models in science and in science education: an introduction. *Science & Education*, 16, 647-652
- McDermott, L. C. & Shaffer, P. S. (1992). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part 1: Investigation of student understanding. *American Journal of Physics*, 60, 994-1003.
- Ohlsson, S. (2009). Resubsumption: A possible Mechanism for Conceptual Change and Belief Revision. *Educational Psychologist*, 44(1), 20-40

Periago, M. C. & Bohigas, X. (2003). A study of second – year engineering students' alternative conceptions about electric potential, current intensity and Ohm's law. *European Journal of Engineering Education*.

Saari, A. (2013). *Yliopisto-opiskelijoiden käsityksiä sähkövirrasta ja jännitteestä. Pro Gradu – avhandling*. Helsingfors universitet. Institutionen for fysik.

Silva, C. C. (2007) The Role of Models and Analogies in the Electromagnetic Theory: A Historical Case Study. *Science & Education*, 16, 835-848

Utbildningsstyrelsen (2003). *Grunderna för gymnasiets läroplan 2003*. Vammala: Vammalan kirjapaino.

Utbildningsstyrelsen (2004). *Grunderna för läroplanen för den grundläggande utbildningen 2004*. Vammala: Vammalan kirjapaino.

Winter, G. (2000). A comparative discussion of the notion of 'validity' in qualitative and quantitative research. *The Qualitative Report*, 4, 3-4

Bilaga A: En del av det transkriberade materialet

Andra intervjun

Uppgift 1

J: no O13?

O13: Tota.. mä laitoin tähän a)-kohtaan, että A on kaikkein kirkkain, sitten olis D ja sitten B ja C olis himmeempiä, mutta ne olis yhtä kirkkaita keskenään.

A: Joo-o. Miten sä olis sellaseen päätynyt?

O13: no, tota.. no kun mä siis aattelin että tästä A- A:n läpi menee niin kun se koko.. tota... piirissä kiertävä virta. Se olis sit kirkkain. Sit tästä osa siitä virrasta menee niin kun tänne * os D haaraa* ja osa tänne *os BC* haaraa. Sit nää *os BC* palaa himmeemmin. Ja sitten tota.. kun täs tää B ja C – tällä puolella se resistanssi on suurempi resistanssi kuin tolla D:llä ja sit tältä *os D* puolelta menis enemmän virtaa eli toi D olis kirkkaampi kuin B ja C ja sit kun nää *os BC* on niin kun sarjassa niin ne olis niin kun yhtä kirkkaat.

A: joo. Mitä nää numerot sit tässä on *os O13 paperia*

O13: öö, mä laskin nii kun tän ja sit tän (B ja C yhteisresistanssi 2 kun D:n 1) resistanssit vaan

A: joo, okei.

J: Entäs O12?

O12: joo, sama järjestys eli A kirkkain, sitten D ja sitten B ja C yhtä kirkkaat

J: Ja miten sä olit sen perustellu?

O12: Aikalailla sama mitä tässä tulikin jo, eli täällä tosiaan se virta kulkee A:ssa kokonaan ja tuolla *os BCD* se on jakaantunut. Ja- no on putkee peräjälkeen niin silloin vastus on suurempi kuin ton D:n, jote D:n kautta kulkee suurempi virta kuin B:n ja C:n

J: Mm-m. Joo. Mites O11?

O11: Joo, kyl mäkin lähin sen virran kautta sitä miettimään ja samoihin päättelyihin- että mulla on A o kirkkain, sitten D. Ja B ja C on sitten yhtä kirkkaita sitten lopussa.

J: Joo. no, mitä sun (O11) mielestä tapahtuu kun kytkin avataan?

O11: Kun kytkin avataan. Jaa. Sillon se.. lampun kirkkaus.. mä lähin ensin miettiin että se.. vähän vähän ton ton.. nyt mä en oikeesti tiä, toi toi.. potentiaalieron.. mää sanoisin et se niin kun himmenee. Et se yhtäkkii laskee sen kirkkauden

J: Mm-m.

O11: Sillon kun sitä kytkin...

J: minkä takia?

(14s tauko)

A: Sä puhuit siitä potentiaalista-

O11: joo...

A: Niin miten se sit siitä

O11: No mä mietin sitä mut mä en ihan tullu niin kun suoranaisesti vastaukseen sillä. Se on niin kun vähän vaan heitetty.. et kyllä se vissiin laskee. En nyt osaa ihan perustella tätä asiaa.

J: mm-m. Mut mitä potentiaalieroä sä mietit?

O11: no mä mietin niin kun ensin, että tän yli *os A:n ja plusnavan väliltä johdinta ja sitten miinusvalta lähtevää johdinta ennen sen jaarautumista* on se koko potentiaali mikä tuossa *os paristoa* kasvaa

J: joo-o.

O11: Ja ja.. sitten, jos se oli silleen että.. nää oli, tai tää *os A* oli kirkkaampi kuin nää *os BCD*, kun nää *os A ja D* oli sarjassa- joo no okei- niin sit tulee.. näisthän *os A ja D* tulee sit yhtä kirkkaita, mutta.. jaa. nyt mä puhun itteni pussiin.

(7s tauko)

J: Mm-m. Osaat sä O12 jatkaa tosta O11 ajatuksesta vai miten sä olit miettiny sitä?

O12: Sama tulos mullakin oli.. että se kirkkaus pienenee. Mä katoin sen niin että nyt kun tuolta tää kytkin avataan niin silloin tän osan *os BCD* vastus kasvaa, eli koko piirin vastus kasvaa. Piirin läpi kulkeva virta pienenee.

J: Mm-m

O12: jolloin, koska tää A tässä nyt a)-kohdassa kun kytkin oli kiinni niin periaatteessa tää koko virta kulkee kummassakin tapauksessa tän A:n läpi. Niin jos se virta on pienempi niin sillin se kirkkauskin on pienempi.

J: Mm. Mitäs O13?

O13: No siis, meikä aatteli virran kautta. Tää resistanssi kasvaa sit kun se avataan, niin muistin viimekerralla opin että se sarjaankytketyt vastukset ne saa niistä käänteisluvuista, niin sit tossa *os D* olis niin kun yks ja sit kun nää on sarjassa kaikki *os BCD*, tai siis nää kaks *os BC* on sarjassa ja toi on rinnan *os D* niitten kanssa niin sit se olis niin kun kaks kolmasosaa vaan.. se resistanssi.. se olis sit pienempi kun se kytkin on kiinni, niin sit kun resistanssi kasvaa niin se virta pienenee... mikä menee sen A:n läpi.

J: Mm. Joo.

A: Olisit sä (O13) osannu siihen potentiaaliselitykseen jotain?

O13: ..en.

naurua

A: okei.

J: Haluutteks te kokeilla? Se menee niin kun te sanoitte. Haluutteks te vielä vahvistuksen siitä?

(3s tauko)

A: Vai mennäänks eteenpäin?

O12: Ihan miten..

O13: Mennään eteenpäin. Päästään nopeemmin pois *nauraa*

A: *Kerää paperit pois*

O12: Kun kerta oltiin oikeessa *nauraa* Mennään vain etiäpäin. Ei pystytä enää tätä mokata

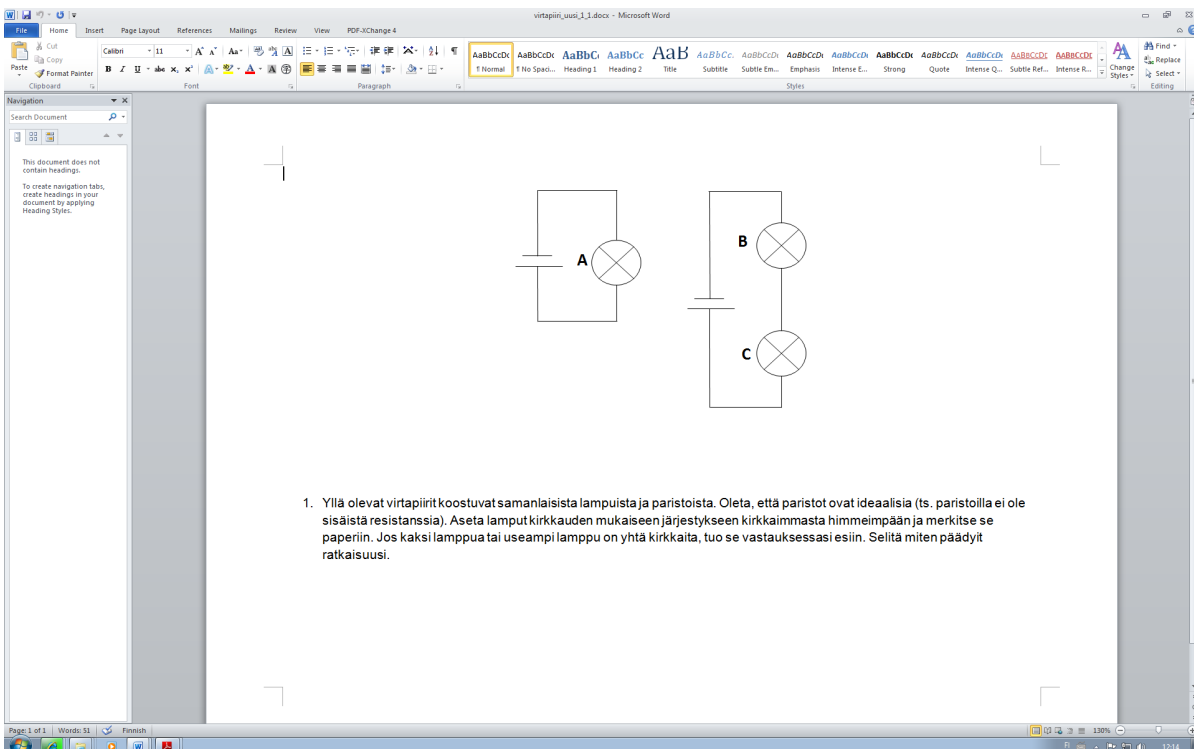
(6.40)

Bilaga B: Likströmskretsuppgifterna

Uppgifternas löpande numrering som används i Pro – Graduns tabeller hittas inom parentes bredvid den i intervjuerna använda numreringen.

I intervjuens uppgifter

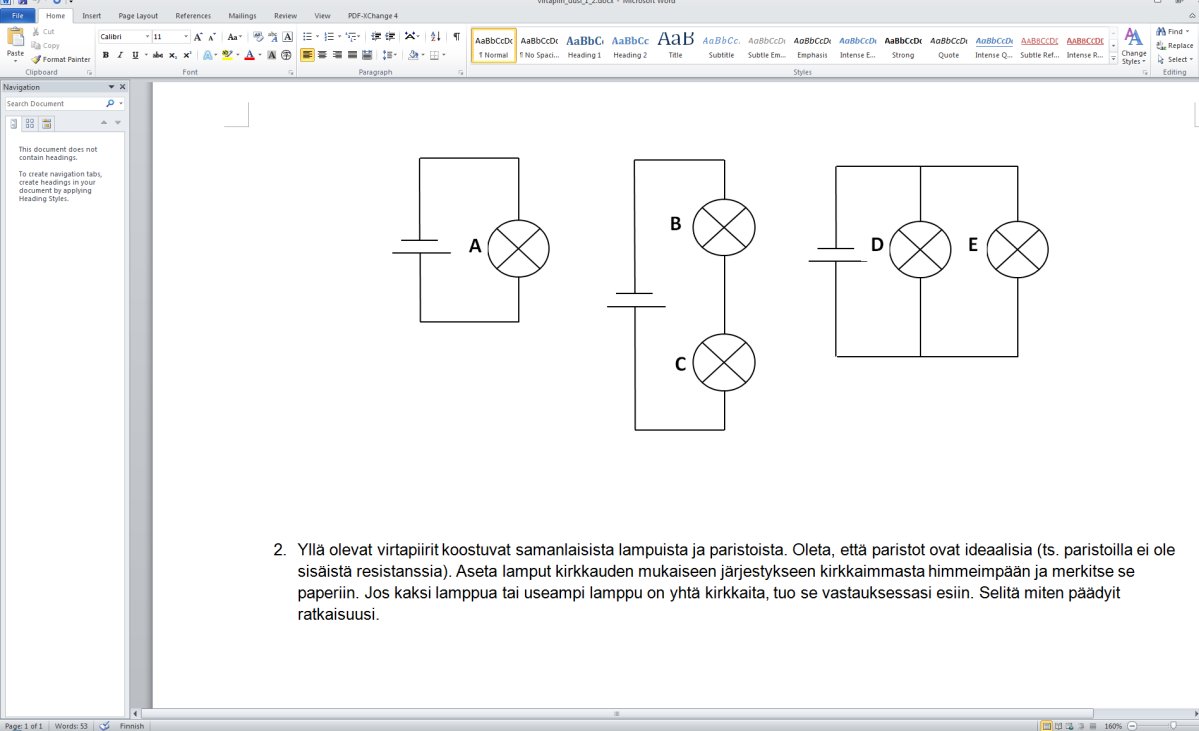
Uppgift 1a. (1)



The screenshot shows a Microsoft Word document with two circuit diagrams. The first diagram, labeled 'A', shows a battery connected to a single light bulb. The second diagram, labeled 'B', shows a battery connected to two light bulbs, labeled 'B' and 'C', connected in series. Below the diagrams is a task description in Swedish.

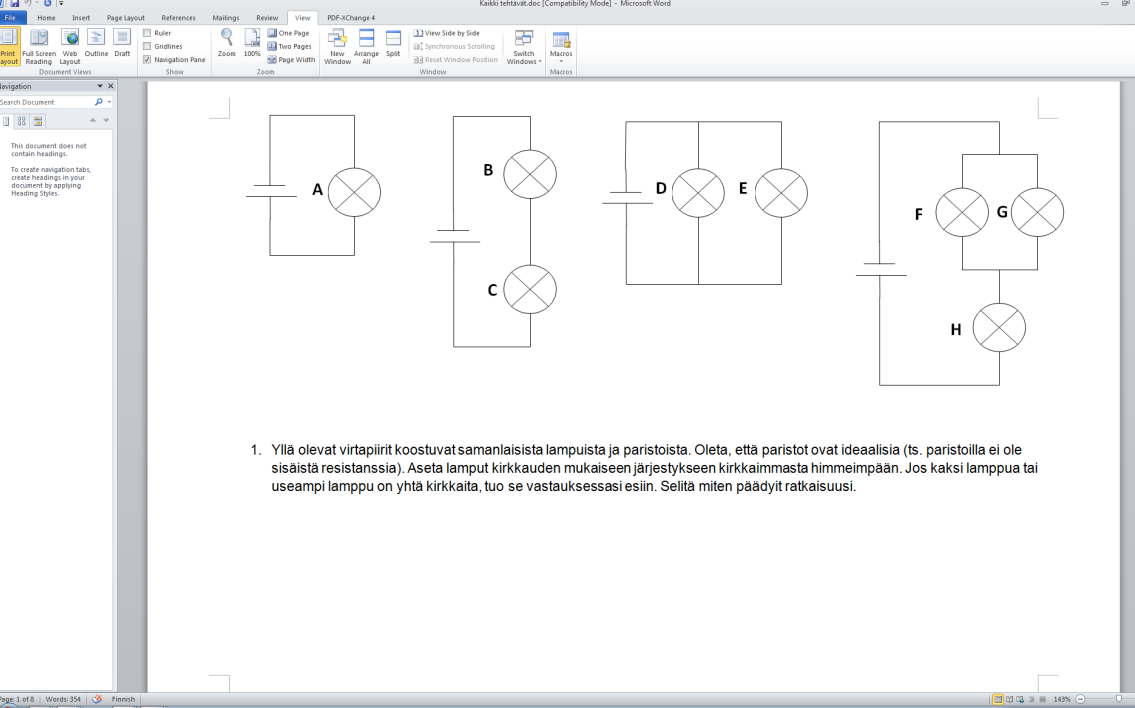
1. Yllä olevat virtapiirit koostuvat samanlaisista lampuista ja paristoista. Oleta, että paristot ovat ideaalisia (ts. paristoilla ei ole sisäistä resistanssia). Aseta lamput kirkkauten mukaiseen järjestykseen kirkkaimmasta himmeimpään ja merkitse se paperiin. Jos kaksi lampua tai useampi lamppu on yhtä kirkkaita, tuo se vastauksessasi esiin. Selitä miten päädyit ratkaisuusi.

Uppgift 1b. (2)



2. Yllä olevat virtapiirit koostuvat samanlaisista lamputa ja paristoista. Oleta, että paristot ovat ideaalisia (ts. paristoilla ei ole sisäistä resistanssia). Aseta lamput kirkkauden mukaiseen järjestykseen kirkkaimmasta himmeimpään ja merkitse se paperiin. Jos kaksi lamppua tai useampi lamppu on yhtä kirkkaita, tuo se vastauksessasi esiin. Selitä miten päädyit ratkaisuusi.

Uppgift 1c. (3)



1. Yllä olevat virtapiirit koostuvat samanlaisista lamputa ja paristoista. Oleta, että paristot ovat ideaalisia (ts. paristoilla ei ole sisäistä resistanssia). Aseta lamput kirkkauden mukaiseen järjestykseen kirkkaimmasta himmeimpään. Jos kaksi lamppua tai useampi lamppu on yhtä kirkkaita, tuo se vastauksessasi esiin. Selitä miten päädyit ratkaisuusi.

Uppgift 2. (4)

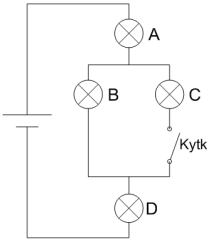
Kaikki tehtävät.doc [Compatibility Mode] - Microsoft Word

File Home Insert Page Layout References Mailings Review View PDF-XChange 4

Print Layouts Full Screen Reading Layout Draft Gridlines Navigation Pane Zoom 100% Page Width New Window Arrange All Split View Side by Side Synchronous Scrolling Default Window Position Window Switch Windows Macros

Navigation Search Document

This document does not contain headings.
To create navigation tabs, create headings in your document by applying Heading Styles.



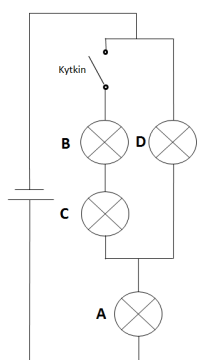
2. Yllä oleva virtapiiri muodostuu ideaalisesta paristosta, neljästä samanlaisesta lampusta ja kytkimestä.

- Kun kytkin on auki: Aseta lamput kirkkauden mukaiseen järjestykseen. Perustele vastauksesi.
- Kun kytkin suljetaan: Kasvaako, pieneneekö vai pysyykö lampun A kirkkaus samana?
- Kun kytkin on kiinni: Aseta lamput kirkkauden mukaiseen järjestykseen. Perustele vastauksesi.

Page: 2 of 8 Words: 334 Finnish 143% 10:40

II intervjuus uppgifter

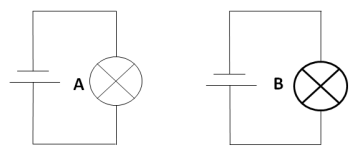
Uppgift 1. (5)



Kaikki kuvan virtapiirin lamput ovat samanlaisia. Oleta, että paristo on ideaalinen. Kytkin on aluksi suljettu.

- Aseta lamput kirkkauden mukaiseen järjestykseen ja merkitse se paperiin. Perustele vastauksesi.
- Kun kytkin avataan, kasvaako, laskeeko vai pysyykö lampun A kirkkaus samana? Perustele vastauksesi.

Uppgift 2a. (6)



Lamppujen resistanssi ovat $R_B > R_A$. Oleta, että paristot ovat ideaalisia (ts. paristoilla ei ole sisäistä resistanssia). Aseta lamput kirkkauden mukaiseen järjestykseen kirkkaimmasta himmeimpään ja merkitse se paperiin. Jos kaksi lamppua tai useampi lamppu on yhtä kirkkaita, tuo se vastauksessasi esiin. Selitä miten päädyit ratkaisuusi.

Uppgift 2b. (7)

Tehtävä enilaiset 3 pinä.docx - Microsoft Word

Navigation

Search Document

This document does not contain headings.
To create navigation tabs, create headings in your document by applying Heading Styles.

A B C

Lamppujen resistanssi ovat $R_B = R_C > R_A = R_D$. Oleta, että paristot ovat ideaalisia (ts. paristoilla ei ole sisäistä resistanssia). Aseta lamput kirkkauten mukaiseen järjestykseen kirkkaimmasta himmeimpään ja merkitse se paperiin. Jos kaksi lampua tai useampi lamppu on yhtä kirkkaita, tuo se vastauksessasi esiin. Selitä miten päädyit ratkaisuusi.

Tehtävä enilaiset 3 pinä.docx: 319 characters (an approximate value)

140%

13:19

Uppgift 2c. (8)

Kaikki tehtävät.docx [Compatibility Mode] - Microsoft Word

Navigation

Search Document

This document does not contain headings.
To create navigation tabs, create headings in your document by applying Heading Styles.

1. Lamppujen resistanssi ovat $R_B = R_C = R_F > R_A = R_D = R_E$. Oleta, että paristot ovat ideaalisia (ts. paristoilla ei ole sisäistä resistanssia). Aseta lamput kirkkauten mukaiseen järjestykseen kirkkaimmasta himmeimpään. Jos kaksi lampua tai useampi lamppu on yhtä kirkkaita, tuo se vastauksessasi esiin. Selitä miten päädyit ratkaisuusi.

A B C D E F

Page: 7 of 8 Words: 354 Finnish

140%

10:43

III intervjuns Uppgifter

Uppgift 1. (9)

1. Yllä olevat virtapiirit koostuvat samanlaisista lamputa ja paristoista. Oleta, että paristot ovat ideaalisia (ts. paristoilla ei ole sisäistä resistanssia). Aseta lamput kirkkaiden mukaiseen järjestykseen kirkkaimmasta himmeimpään. Jos kaksi lamppua tai useampi lamppu on yhtä kirkkaita, tuo se vastauksessasi esiin. Selitä miten päädyit ratkaisuusi.

Uppgift 2. (10)

1. Lamppujen resistanssi ovat $R_B = R_C = R_F > R_A = R_D = R_E$. Oleta, että paristot ovat ideaalisia (ts. paristoilla ei ole sisäistä resistanssia). Aseta lamput kirkkaiden mukaiseen järjestykseen kirkkaimmasta himmeimpään. Jos kaksi lamppua tai useampi lamppu on yhtä kirkkaita, tuo se vastauksessasi esiin. Selitä miten päädyit ratkaisuusi.

Uppgift 3. (11)

uus tehtävä kevät13.docx - Microsoft Word

File Home Insert Page Layout References Mailings Review View PDF-XChange 4

Font Paragraph Styles

Clipboard

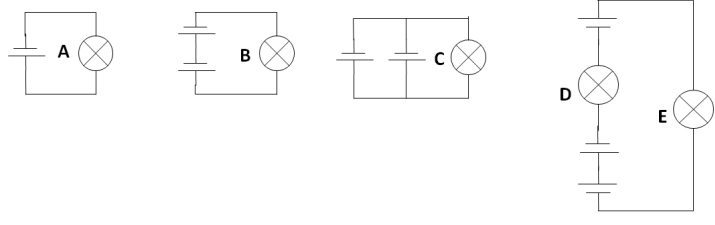
Navigation

Search Document

This document does not contain headings.

To create navigation tabs, create headings in your document by applying Heading Styles.

Alla olevat virtapiirit koostuvat samanlaisista lampuista ja paristoista. Oleta, että paristot ovat ideaalisia (ts. paristoilla ei ole sisäistä resistanssia). Aseta lamput kirkkauden mukaiseen järjestykseen kirkkaimmasta himmeimpään. Jos kaksi lamppua tai useampi lamppu on yhtä kirkkaita, tuo se vastauksessasi esiin. Selitä miten päädyit ratkaisuusi.



Page 1 of 1 | Words: 48 | Finnish

139% 10:34

Bilaga C: Tolkningarna, relationerna och modellerna.

Grupp 1

Intervju I

(03)

Tehtävä	Selitys	Tulkinta	Relaatio	Malli
1a	-			
1b	-			
1c	-			
2	Mutta A ja B ja D on yhtä kirkkaita, koska sithän se on tommonen sarjaankytkentä vaan tossa			M1
2	Joo mullakin oli, et sen kirkkaus kasvaa, sitten tota koska siel menee enemmän virtaa. Koska...täst just kun O4 sanoi täs on vaan niin sanotusti puolikas lamppu tässä B:n ja C:n tilalla, koska tota se jakaantuu, kun ne on rinnan kytketty.			M2

(04)

Tehtävä	Selitys	Tulkinta	Relaatio	Malli
1a	Mun mielestä A palaa kirkkaiten myös. Mä perustin se siihen, että siellä menee suurempi virta, koska toi virta (--) tossa vasemman puoleisessa *BC* on puolet siitä resistanssista (--) on kaks samanlaista lamppua ja ne molemmat vastustaa	A palaa kirkkaiten koska sen virtapiirissä on pienin resistanssi.	$R \rightarrow I$	M3
1b	Näiden *DE* yhteenlaskettu resistanssi on niiden yksittäisten resistanssien käänteislukujen summan käänteisluku, eli siitä tulee yhteensä lampun resistanssi		$R \rightarrow I$	M3 (V)

	<p>jaeuttuna kahdella tolle piirille, joten siellä sit sen perusteella menee suurempi virta ja sen mukaan ne sit palaisivat kirkkaimmin.</p>			
1b	<p>elikä ne onkin yhtä kirkkaita sen takia kun, et vaikka tässä piirissä on yhteensä pienempi tai puolet siitä eiku kaksinkertainen virta tähän piiriin *A*, mutta tossa vaiheessa *DE-piirin haarakohta* se jakaantuu. Eli näihin *DE-piirin haarat* meneekin samankokoinen virta kun tuolla menee tohon yksittäiseen lamppuun *A*.</p>	<p>Piirissä DE kulkee kaksinkertainen virta verrattuna piiriin A. Virta piirissä DE jakaantuu tasaisesti lamputille D ja E, joten lamppujen A, D ja E:n läpi kulkee yhtä suuri virta ja ne palavat yhtä kirkkaasti.</p>		M2
1c	<p>O4: [...]täällä *FGH* nää *FG* on himmeämpiä kuin tuo *H*</p> <p>Haastattelija: Minkä takia nää *FG* oli himmeämpiä kuin tuo *H*</p> <p>O4: Koska tän kokonaisresistanssi täällä piirissä määrää sen mimmonen virta täs läpi kulkee, ja tässä haarassa *G* virta jakautuu kahtia, koska nää *FG* on identtisiä nää lamput keskenään, niin se jakaantuu tasan.</p>		$R \rightarrow I$	M3
1c	<p>Sen mun intuitio näissä menee sillai, et mä aattelen noi kaikki vastukset semmoisiks pieniks padoiksi, sit siellä menee vettä, sit intuitiivisesti on et kaks vierekkäistä pientä patoo, jossa on reiät vastustaa virtaa vähemmän kuin yks pato, jossa on reikä ja sit jos niitä reikiä laitetaan peräkkäin, sit ne niinku hidastaa sitä enemmän. Tietenkin olettaen, ettei se vesi jää noroksi.</p>			M11
2	<p>O4: C:n läpi ei kulje virta lukee täällä, koska...</p>			M9

	Haastattelija: miks? O4: Hmm, piiri on tosta kohti poikki, niin tota. Tän kohdan ja tän kohdan *C:n yli* ei oo mitään potentiaaliero.			
2	Joo sama homma (viittaa vastaukseen että A:n kirkkaus kasvaa), koska periaatteessa silloin tää, niinku A:n kannalta voi ajatella tää rinnankytkentä olis vaan yks puolikas lamppu, jolloin tän piirin kokonaisresistanssi laskee, ja sit se virta sen koko piirin läpi kasvaa	A:n kirkkaus kasvaa koska piirin resistanssi pienenee ja näin ollen piirissä kulkeva virta kasvaa.	$R \rightarrow I$	M3

(05)

Tehtävä	Selitys	Tulkinta	Relaatio	Malli
1a	Mulla oli toi A on kirkkain ja B ja C yhtä kirkkaita, koska täällä nää *BC* on sarjassa, sit niistä tulee enemmän resistanssia. Se tavallaan se jännite jakautuu ja ne loistaa silloin himmeämmin. Kun taas toi *A* on yksinäinen, sillä on pienempi resistanssi.	Koska *BC* virtapiirissä on kaksi vastusta, jännite jakautuu molempien lamppujen yli ja siksi ne loistavat himmeämmin kuin A.	$R \rightarrow U$	M8
1b	Eli mä mietin sen itte, että tol A:lla ois pienin resistanssi, jolloin siinä kulkis isoin sähkövirta, jolloin se ois kirkkain, ja sit taas tuolla olis pienin *BC*		$R \rightarrow I$	M3 (V)
1c	O5: Eli siis H ois kirkkaampi kuin B ja C, mutta sit F ja G ois himmeämpiä Haastattelija: Ja A olis kirkkaampia kuin B ja C, koska sanotko vielä sen? O5: Siis se kokonaisresistanssi tossa piirissä on pienempi		$R \rightarrow I$	M3

	jolloin siellä kulkee kokonaisuudessaan isompi virta ja sit kun se tulee kerrallaan tohon *H* kuitenkin.			
2	Mun mielestä siinä toi lamppu C ei pala, koska siellä ei kulje toi virta tosta, kun toi on poikki. Jolloin silloin nää A,B ja D on niinku yhtä kirkkaita, koska ne on niinku sarjassa siinä, jolloin se virta on niinku sama, kulkee sama tai siis kulkee niitten kaikkien läpi sama.	C ei pala koska sen läpi ei kulje virtaa. A,B ja D palaa yhtä kirkkaasti koska niiden läpi kulkee sama virta.		M2
2	Haastattelija: Eli kun kytkin suljetaan, niin mitä tapahtuu lampun A kirkkaudelle? O5: Mun mielestä se kasvaa, koska silloin toi kokonaisresistanssi pienenee, kun tonne tulee kaks rinnan. Haastattelija: Niin O5 sul oli se kun resistanssi pienenee, niin... O5:virta kasvaa.		$R \rightarrow I$	M3

Intervju II

(03)

Tehtävä	Selitys	Tulkinta	Relaatio	Malli
1	Joo, eli munki, ää, mielestä tota kans se virta jakautuu tossa kahtia, niin täten kummallakaan, millään näistä lampuista ei voi olla niin iso, ei voi olla saanu niin paljon virtaa	Virta jakautuu muille lampuille, mutta piirin kokonaisvirta kulkee A läpi. Täten A on kirkkain.		M2

	kun taas ne yhdistyy jollonka A on kirkkain.			
1	<p>Haastattelija: Mitäs sä olisit mieltä, jos sulla olis sellaset *peittää kaiken muun paitsi haarat D ja BC* että täällä olis *os BC* niin ku kaksinkertainen virta tähän verrattuna *os D*, niin mitä sä sanositsit näistä kirkkauksista *os BCD*</p> <p>O3: Mun mielestä siellä olis silloin tota, koska ne on...sarjaankytketty niin siellä olis silloin tuplaresistanssi, eli se vastustais sitä virran kulkua niin kun enemmän ja siten ne olis yhtä suuret.</p>		$R \rightarrow I$	M3 (V) [Tämä kysymys ei ollut tehtäväpaperissa]
2a	Elikkä koska siellä on suurempi resistanssi, kääntäen verrannollinen, suurempi virta kulkee. Suurempi virta yleensä tietääkseni merkkää sitä että lamppu palaa kirkkammin.	Lampun läpi kulkeva virta määrää lampun kirkkauden ja on kääntäen verrannollinen lampun resistanssiin.	$R \rightarrow I$	M3
2b	Ja sitten tota A ja B on molemmat kirkkampia kuin C ja D, jotka on yhtä kirkkaita kun C:ssä ja D:ssä on tota resistanssi niin kun kumuloitunu elikkä siinä on näitten molempien lampujen resistanssi tässä koko systeemissä, jossa on yhtä paljon jännitettä jolloinka silloin se koko systeemin virta on pakko olla pienempi eli tossa koko systeemissä (CD) menee vähemmän	Systeemin CD resistanssi on suurempi kuin yhdenkään yksittäisen lampun. Näin ollen CD piirissä kulkeva virta on pienempi kuin muissa piireissä koska kaikissa piireissä paristoilla on sama jännite. Siksi lamput C ja D palavat himmeämmin. Koska sama virta menee lamppujen C:n ja D:n läpi ne palavat yhtä	$U \rightarrow I, \text{ kun } R$	M4 (V)

	virtaa, niin tota ne on.. no se nyt ei välttämättä, mutta tässä tapauksessa nää on molemmat yhtä kirkkaita, mutta himmeempii kun B.	kirkkaina		
2c	<p>O3: Mä en kans ihan päässy siinä loppuun asti että mä olisin saanu sen jotenkin todistettua että se E ja F mun mielestä kuuluis tohon, öö, A:n ja B:n niin kun väliin kirkkaudella.[...]Koska siellä kulkee tosiaan suurempi virta...koska tää on totaa...pienempi resistanssi koska ne on rinnan kytketty, mutta se jakautuu tossa tosiaa. Ööh...no mun piti kysyy siitä että voiko se jakautua silleen jännästi, eri...jakaantuuko se kahtia? Mun mielestä jakaantuu kahtii.</p> <p>Haastattelija: mut sun mielestä on mahdollista että nää on yhtä kirkkaita *os EF* et keskenään siis?</p> <p>O3: Niin, jos se virta jakautuu puoliks</p>	Rinnankytkennässä resistanssi pienenee jolloin piirissä kulkee suurempi virta. Virran jakautuessa tasaisesti kummankin haaran välille, kummatkin lamput loistavat yhtä kirkkaasti.	$R \rightarrow I$	M3 (V)

(04)

Tehtävä	Selitys	Tulkinta	Relaatio	Malli
1	Tota, äää, johtuen siitä et tota, näitten kohtien *os C ja D lampuille vieviä johtimia A:n	Potentiaaliero lampun D:n yli on sama kuin potentiaaliero lampun C:n ja D:n		M9

	<p>puolelta* pitäis olla samassa potentiaalissa, samoin näiden *os B ja D lampuilta miinusnavalle lähteviä johtimia*, joten potentiaalin lasku näiden kahden yli *os BC* on sama kuin ton yli yksikseen *os D*, joten sen- sillä mä perustelen sen että tää *od D* on kirkkaampi kuin nää kaks</p>	<p>sarjakytkennän yli. Siksi D loistaa kirkkaammin.</p>		
1	<p>[...] nyt jossain suhteessa jakautuu se virta ja tossa kohtaa *os A:n viereistä haarauma kohtaa* se taas yhdistyy, siks mä perustelisin että ton A:n pitää olla kaikista kirkkain, koska siinä on suurempi virta kun kummassakaan näistä *os BC ja D* harroista yksikseen</p>			M2
1	<p>Haastattelija: Eliikkä jos täällä *os D* olis vähemmän virtaa kun täällä *os BC* niin sit ne olis kaikki yhtä kirkkaita</p> <p>O4: jos tonne *os BC* menis kaksinkertainen virta, niin sitten noi *od BC* palais kaks kertaa kirkkaammin kun toi *os D*</p>			M2 [tämä kysymys ei ollut tehtäväpaperissa]
1	<p>Mun käsitys on se että noitten kohtien *os B:n miinusnavan puoleista johdinta ja D lampun miinusnavan puoleista johdinta* pitää olla samassa</p>	<p>Potentiaaliero molempien haarojen yli on samat. Resistanssi BC haaran yli on kaksinkertainen verrattuna D haaran yli. Täten virta D:n läpi</p>	$U \rightarrow I, \text{ kun } R$	M4

	<p>potentiaalissa ja näitten kohtien *os C ja D lampujen A lampun puoleisia johtimia* pitää olla samassa potentiaalissa . Ja tota tossa on yhteensä ton verran vastusta *kirjoittaa D:n viereen R* ja tossa *kirjoittaa BC viereen 2R* on kaksinkertainen vastus, ja sit jos lähetään näihin *nelioi kirjoittamansa kaavan I on U per R*...Niin tota, niin sit täällä *os BC* olis puolet siitä virrasta mikä on tuolla *os D*, jolloin toi *os D* olis kirkkaampi kun toi *os BC*.</p>	<p>on kaksikertaa suurempi kuin B:n ja C:n läpi ja siksi D on kirkkaampi.</p>		
1	<p>Haastattelija: No mut mitäs sä sanot O4 siihen ideaan, et jos me saatas jollain tavalla määriteltyä että täällä *os BC* olis kaksinkertainen virta kun tuolla *os D* niin miten ne lamput sitten palais?</p> <p>O4: Noi *os BC* olik kaks kertaa kirkkaampia, molemmat.</p>			M2
1	<p>Joo, mullakin A himmenee jos toi katkasija avataan tota oikeastaan aika samalla perustelulla. Toi sarjaankytkentä (tarkoittaakohan rinnan?) sit loppujenlopuks on yhteensä pienempi resistanssi mitä</p>	<p>Piirin kokonaisresistanssi on isompi kun kytkin avataan. Siksi lamppu A himmenee.</p>		M7

	<p>yksittäinen lamppu...se on , no mun laskujen mukaan tän koko jutun *os BCD* resistanssi olis kaks kolmasosaa yhdestä lampusta</p>			
1	<p>Tässä on aluks ollu tavallaan, jos miettii näissä pisteissä *os C:n A:n puoleista johdinta ja D:n A:n puoleista johdinta* on ollu samat potentiaalit näissä pisteissä *os B ja D lamppujen miinusnapojen puoleisia johtimia* ja tän voi miettii yhtenä vastuksena *os BCD* ja sillon se oli kahen kolmasosan vastuksen vastus tää kokojuttu yhteensä, ja tää on niin ku...*os A*..no yhen vastuksen jos pidetään lamppua vastuksena.</p> <p>Niin sitten kun toi (kytkin) avataan, ja tähän tulee sen sijaan toinen lamppu (BCD tilalle) niin et siinä on kaks lamppuu eikä kaks kolmasosaa ja yks lamppu, ja silloin tota tässä on isomsiinä on tavallaa sarjassa nyt isompi vastus tai yhteensä kaks vastusta eli niissä laskee saman verran potentiaalia, kun aiemmin tää *os BCD* oli pienempi vastus, joten siinä se potentiaali laski..mm.. minkähän verran se</p>	<p>Potentiaaliero koko systeemin yli on sama oli kytkin auki tai kiinni. BCD systeemin kokonaisresistanssi pienempi kuin yksittäisen lampun. Näin ollen, kytkimen ollessa kiinni suurempi osa jännitteestä laskee A:n yli. Kytkimen ollessa auki jännite jakautuu tasaisesti D:n ja A:n välille. Koska jännitelasku A:n yli on suurempi kun kytkin on kiinni on myös virta A:n läpi suurempi. Näin ollen lamppu A palaa kirkkaammin kun kytkin on kiinni.</p>	<p>$U \rightarrow I, \text{ kun } R$</p>	<p>M4</p>

	<p>laskee, mä haluisin sanoo et laskee vähemmän, mut mä tiedän että siihen tulee ainakin...eiku niin, joo, laskeehan se, virta on sama (kuin A lampussa), niin tossa (BCD) laskee vähemmän potentiaalia</p> <p>Nyt siinä on vaan kaks samanlaista sarjassa niin sit, sit tota, nii niin sit näis pitää yhteensä *os D ja A* kuin aiemmin laski tässä ja tässä *os A ja BCD* yhteensä, ja koska tää laski tää isosysteempi *os BCD* ens- vähemmän potentiaali niin tälle *os A* jäi enemmän potentiaalin laskemista. en- enemmän sitä- isompi osuus siitä potentiaalin laskemisesta, jolloin tästä meni isompi virta *os A*, nyt siitä menee pienempi virta, tai siis niin kun yhtä iso virta kuin tuostakin *os D*, joka on puolet siitä potentiaalin laskusta.</p>			
2a	<p>Toi *os A* on kirkkaampi koska...aam. se resistanssi laskee sitä virtaa, tai siis virta on kääntäen verrannollinen siihen resistanssiin[...] jos lampussa menee iso</p>		$R \rightarrow I$	M3

	virta niin silloin se loistaa kirkkaammin eli A on kirkkain.			
2b	<p>O4: Sit jos tossa *os D* on paksumpi se lanka...niin, niin silloin se ei lämpene niin paljoo eikä se sit hohdakaan niin paljon.</p> <p>O4: Mut siis jos, jos tässä nyt halutaan se huomioida niin sit mun mielestä toi toi C hohtaa kirkkaampana, mut...</p> <p>Haastattelija: No minkä takia C olis kirkkaampi kun D?</p> <p>O4: Jos siinä on isompi resistanssi, siinä on ohuempi se lanka ja tota...silloin se..lämpenee enemmän...mä päässäni havainnollistan sen sillä tavalla että niinku...siinä on vähemmän tilaa liikkua siinä niin tota se lämpö...siis niistä menee sama virta läpi, mutta toisessa on vähemmän massaa niin sit se energia mikä siinä nyt menee siihen lämmittämiseen tai lämmittämiseen ja valaisemiseen, niin se on suhteessa isompi...sitten..sen takia se niin kun olis kirkkaampi</p>	Lampulla C on isompi resistanssi kuin lampulla D. Näin ollen lampun C lanka on ohuempi ja sillä on pienempi massa kuin lampulla D. Kun sama virta kulkee molempien lamppujen läpi, lamppu C käyttää enemmän energiaa lämmittämiseen ja valaisemiseen kuin lamppu D. Näin ollen lamppu C on kirkkaampi.	$m, R \rightarrow E$	M12

2c	<p>O4: Noi *os AE* on yhtä kirkkaat ja noi *os BF* on yhtä kirkkaat</p> <p>Haastattelija: Miks?</p> <p>O4: Koska, potentiaaliero ton *os F lampun miinusnavan puolta* ja ton *os F lampun plusnavanpuolta* pisteen välillä on sama kuin ton *os B lampun molemmin puolin* ja ton pisteen välillä, ja ton ja ton *os A lampun molemmin puolin* on sama kuin ton ja ton *os E lampun molemmin puolin*, eli niissä on samat potentiaalierotässä *os EF* piirissä menee yhteensä isompi virta, koska tässä on pienempi resistanssi, ja se jakaantuu vielä tolleen kivasti. *nauraa* Tai siis, jos tolleen että ku se potentiaalieron tai ton laskun pitää kuitenkin olla noissa sama</p> <p>Haastattelija: kun?</p> <p>O4: Kun siis niin kun tässä koko jutussa *os EF paristolta lähteviä johtimia* kun tässä *os A lampun johtimia molemmin puolin*, jos nää paristot on samanlaiset, ja sit no..tossa on potentiaali laskuu</p>	<p>Potentiaali laskee lamppujen F ja B yli yhtä paljon. Näin ollen ne palavat yhtä kirkkaina. Potentiaali laskee lamppujen A ja E yli yhtä paljon. Näin ollen ne palavat yhtä kirkkaina.</p> <p>Rinnankytkennässä resistanssi pienenee ja näin ollen virta kasvaa. Virtaa jakaantuu rinnankytkennässä siten että kummassakin lampussa tapahtuu yhtä suuri jännitelasku.</p>	$U \rightarrow I, \text{ kun } R$	M4
----	--	---	-----------------------------------	----

	tasan ton pienemmän lampun verran *os E* ja niin on tossakin *os A*			

(05)

Tehtävä	Selitys	Tulkinta	Relaatio	Malli
1	A on kirkkain, koska täällähän *miinusnavan puoleista haaraumakohtaa* toi jakautuu, eli noista *os BD ja D haaroja* mikään ei voi saada niin paljon virtaa kuin toi A.			M2
1	Näitten *os BCD* kirkkausjärjestyksestä mä en nyt osannu sanoo, koska mä en muista miten se virta jakautuu tuolla *os miinusnavan puoleista haaraumakohtaa* että, koska jotain muistikuvii mulla voi olla siitä että koska tääl on enemmän vastusta *os BC*, se on kaksinkertainen kun ne on sarjassa niin sinne vois tulla vähän enemmän sitä virtaa		$R \rightarrow I$	M3 (V)
1	Haastattelija: Elikkä jos täällä *os D* olis vähemmän virtaa kun täällä *os BC* niin sit ne olis kaikki yhtä kirkkaita O5: Joo. Haastattelija: Minkä takii sitten, jos tänne *os BC* menee kaksinkertainen virta, niin minkä takii nää *os BC* palaa sitten yhtä kirkkaasti kun toi *os D*? O5: Kun niillä on sit niin kun kaksinkertainen vastus		$R \rightarrow I$	M3 (V)
1	O5: Koska toi, tän *os BCD* osuuden resistanssi suurenee, pitää miettii et se menee oikein päin, joo, ja sitten tota nää jää vaan tähän kahestaan		$R \rightarrow I$	M3

	<p>*os DA* tota sarjaan, niin silloin toi A himmenee</p> <p>Haastattelija: koska?</p> <p>O5: Niin kun se resistanssi suureni tässä *os BC* niin silloin se virta pieneni jolloin se niinku palaa himmeemmin.</p>			
2a	-			
2b	<p>O5: Eli siis siellä (CD) on se virta pienempi kun siellä on enemmän resistanssia ja kuitenkin molemmissa (CD) lamput menee sama virta</p> <p>Haastattelija: M-m. Okei.</p> <p>O5: Niin ne on sit yhtä kirkkaita.</p>		$R \rightarrow I$	M3 (V)
2c	<p>Haastattelija: sano sä ensiks muten sun mielestä E ja F sijoittuu tossa sarjassa?</p> <p>O5: mun mielestä ne on kirkkaampi kun A.</p> <p>Haastattelija: Mm-m</p> <p>O5: Ainakin E. F:stä mä en ollu ihan varman. Se riippuu että mikä niitten vastuksien suurus on.</p> <p>Haastattelija: Mm-m</p> <p>O5: Ja sit kun mä perustelin sillä, että tän *os EF* kokonaisresistanssi on pienempi niin siellä on toi suurempi virta, mut sit kun se tai sit kun se jakautuu, niin tonne *os E* menee sit kai vähän enemmän.</p> <p>Haastattelija: kuin minne?</p> <p>O5: kuin tonne F:n</p>	<p>Rinnankytkennässä EF kokonaisresistanssi on pienempi kuin muissa piireissa jolloin piirissä kulkeva virta on suurempi. E:n läpi kulkee vähän enemmän virtaa kuin F:n läpi ja näin ollen lamppu E on kaikista kirkkain.</p>	$R \rightarrow I$	M3 (V)

	Haastattelija: Joo-o			
	O5: kun siellä (E) on pienempi se vastus, niin sit se (E) palaa kirkkaammin, ja sitte toi F palaa vähän himmeemmin.			

Intervju III

(03)

Tehtävä	Selitys	Tulkinta	Relaatio	Malli
1	Joo sitten mä, no niin A on D ja E, sitten ne on kirkkaampia kuin nämä *B,C,F,G* mut sitten tota mä laitoin ne yhtä suuriks, koska tota, en mä tiedä. Eiku niin niin, sen takia, sen takia koska laiskasti ajateltuna tota nää *D, E, A* on yhtä suuret, jonka jälkeen tää systeemi *DE* on sarjaan kytketty tän systeemin *H*. Niinku tällainen systeemi *FG*, joka voidaan täs mieltä, on sarjaankytketty tällaisen *H* systeemin kanssa, niin silloinhan, silloin tämä *FGH* olis verrattavissa tähän *BC*. Koska tää *A* oli yhtä suuri kuin nämä *DE*, niin silloin toi B vois verrata tohon *A* jolloinka F ja G olis yhtä suuria kuin, siis tämä systeemi *FG* olis yhtä suuri kuin tämä *H*, koska täähän *B* on yhtä suuri kuin tää *C*. Sit mä olin vaan sillee, et en mä jaksa enempää mieltii, menköön tollein ja sit kun mä en laskenut niitä, niin. Mut silleen kun kattoo loogisesti niin, eiks näytä ihan pätevältä. Jos näillä *DE* on sama virta kuin tolla *A*, niin...	Lamput A, D ja E ovat yhtä kirkkaita. Piiri FGH on samanlainen kuin BC, paitsi että siinä lamppu B on korvattu rinnakkaiskytkennällä FG. Mutta koska tiedetään että lamppu A loistaa yhtä kirkkaasti kuin lamput piirissä DE voidaan, pitää siis myös lamppujen B loistaa yhtä kirkkaasti kuin F ja G. Sama päättely voidaan tehdä lampulle C, jonka jälkeen voidaan päätellä että lamput B,C,F ja G loistavat kaikki yhtä kirkkaasti.		M1 (V)
2	Tossa tota kun tää jakaantuu tää virta, sillee että E, kun sillä on pienempi resistanssi, niin se saa enemmän virtaa, kuin F, jolla on isompi resistanssi, koska virta haluaa mennä sieltä, misä on helpompi kulkee. Ja sitten tota, sen takia,		$R \rightarrow I$	M3 (V)

	kun täällä oli, tän systeemin *EF* kokonaisresistanssi oli pienempi kuin tolla *A*, niin sitten tota ainakin tällä*EF* on mahdollisuus, että se ois kirkkaampi kuin A, jos se virta vaan jakaantuu sillee, että enemmän menee tän *E* läpi niinku suhteessa, kuin mitä teoreettisesti ehkä laskujen mukaan menee.			
3	Ja tää B on kirkkain, kun siinä on tota tuplasti enemmän tätä jännitettä, jolloinka sitten tota se, onkohan se tuplasti silloin kirkkaampi, jolloinka tää, kyl se pitäis olla tuplasti kirkkaampi kuin toi A.			M9
3	[...] et ideaali, täs *D:n yläpuolella* menis nyt yhden jännitelähteen verran virtaa, ei virtaa vaan siis jännitettä niinku näin *myötäpäivään* päin , jollinka täs ois kaks lamppua siihen sarjaan kytkettynä ja sit suhteessa tohon, jos vertais tohon *A* siin on yks lamppu, niinku yks jännitelähde ja sit siinä on yks lamppu ja täs *DE* ois kaks sarjaan kytketty, niin sarjaan kytketys sit ois tuplaresistanssi, elikä puolet pienempi virta olis.		$U \rightarrow I, \text{ kun } R$	M4

(04)

Tehtävä	Selitys	Tulkinta	Relaatio	Malli
1	<p>O4: Mä laskin ne ihan, mut tota siitä suoraan, vaik täällä *FG* menee tosiaan, vaik tän *FGH* kokonaisresistanssi on pienempi kuin ton *BC* $3/2$ ja toi on 2 resistanssiyksikköä, niin tota se $3/2$ resistanssi aiheuttaa $2/3$ virran ja sit kun tosiaan se tässä jakautuu kahtia, niin siit tulee se $1/3$, kun taas täällä *BC* nois molemmissa menee puolikkaat.</p> <p>Haastattelija: Niin mikä sen virran siis aiheutti?</p> <p>O4: Hmm, aa, no siis mä sanoin , et resistanssi aiheuttaa sen virran, mut en sitä, vaan se jännite.</p>		$U \rightarrow I, \text{ kun } R$	M4

	Haastattelija: Sit se resistanssi O4: Niinku vähän mää sen suuruden.			
2	Mä laskin, mä laitoin et tän *B* resistanssi ois vaikka kaks kertaa isompi kuin ton *A* kuin A:n resistanssi, niin silloin täs piirissä *A* kulkee isompi virta kuin tuolla*B* ja jos nää ei oo ihan ihmeellisiä lamppuja, niin silloin mun mielestä ton *B* pitäis valaista heikommin ton B:n, kun sen läpi menee pienempi virta		$R \rightarrow I$	M3
2	Sinänsä sen voi miettiä myös sillä, et tästä ylhäällä niin tossa *ennen lampputta A* on sama potentiaali kuin tossa *ennen lampputta *B*, tai niinku potentiaaliero näitten kahden kohdan välillä tässä piirissä *E:n yli* sama kuin tässä piirissä *A:n yli*, sitten ja näillä *A ja E* on samat resistanssit, niin silläkin perusteella tän läpi *A* pitäis mennä sama virta.		$U \rightarrow I, kun R$	M4
2	Täällä *CD* puolestaan, no ne on nyt sarjassa, niin ne ei voi olla kirkkaampia, kuin tämä *B* tai tuo *A*, koska täällä on nyt samat *B, C* ja sit täällä *CD* on jotain enemmän, eli täällä on isompi resistanssi, joten siellä kulkee pienempi virta, myös tän *C* läpi kuin tuon *B* läpi, joten tällä mä heitin tän suoraan viimeseks ja sit jatkossa mietin, et okei, eli nää *CD* on himmeempiä kuin mikään muu ja näitten läpi *CD* menee sama virta, kun nää on sarjassa, mut tässä *C* on isompi resistanssi, ja lampussa isompi resistanssi meinaa sitä, no vois ruveta niitä tehon kaavoja miettimään, mut mä mietin sen ihan siltä kannalta, et jos siellä on isompi resistanssi, niin se vastustaa virtaa enemmän ja sit se muuttuu johonkin muokun muotoon tai vapautuu sit jotain energiaa siit vastustamisesta ja tässä se on vaikka valoa, joten C on kirkkaampi kuin D	Piirin CD kokonaisresistanssi on suurempi kuin sekä piirin A että B. Näin ollen virta piirissä CD on pienempi kuin piireissä A ja B. Lampujen C ja D läpi kulkee sama virta, mutta koska lampulla C on isompi resistanssi se vastustaa virtaa enemmän kuin D. Virran vastustaminen aiheuttaa valoa, eli siis C loistaa kirkkaammin kuin D.	$R \rightarrow I$ $R, I \rightarrow E$	M3, M13
3	Mäkin aika samoilla (-) tai ihan saman järjestyksen mä laitoin ja samalla lailla mietin tän *DE*, et tavallaan vaikka nää kaks tässä *vastakkain olevat paristot*, vaikka nää kaks, voishan sen aatella et nääkin kaks *D:n molemmin puolin* kumoaa vaan toisensa. Koska tää on yks	DE-piirissä kaksi vastakkain olevaa lampputta kumoavat toistensa vaikutuksen ja jännitelähteet voidaan korvata yhdellä paristolla.	$U \rightarrow I, kun R$	M4

	piiri, niin siellä menee yhtäläinen virta joka paikassa niin näitten *D, E* pitää palaa yhtä kirkkaasti keskenään ja sit siinä on kuitenkin yhteensä sama potentiaaliero, vaikka tossa kohti *yhden pariston yli* tai sama potentiaalimuutos kuin tässä *A-piiri* ja siellä on kuitenkin isompi resistanssi, niin sitte siellä ei voi mennä, tai sit siellä pitää mennä pienempi virta kuin, joten ne on himmeämpiä kuin toi A.	Koska potentiaaliero on sama kuin A-piirissä, mutta resistanssi isompi niin piirissä kulkeva virta on pienempi ja näin ollen lamput D ja E loistavat himmeämmin kuin A.		

(05)

Tehtävä	Selitys	Tulkinta	Relaatio	Malli
1	No siis täällä *DE* resistanssi on puolet pienempi, mut sit se virta jakaantuu, mut kuitenkin ne sa sen saman jännitteen molemmat, kun tossa on tavallaan kaks erillistä linkkiä.		$U \rightarrow I, \text{ kun } R$	M4
1	Ja sitten H oli seuraavana, siinä on taas resistanssi koko virtapiirissä pienempi, jolloin sinne menee enemmän, tavallaan kiertää isompi virta ja sitten tota, niin tol *H* on tai toi *H* palaa kirkkaammin kuin esim. B ja C, koska siel taas on isompi resistanssi ja kiertää pienempi virta ja.		$R \rightarrow I$	M3
2	O5:niin tavallaan se riippuu siitä virrasta, et kuinka kirkkaasti se palaa, mut sitten mä jäin miettimään sitä, et miten jakaantuu Haastattelija: Mistäs se virta sit riippuu? O5: Resis, piirin kokonaisresistanssista, niin täs *EF* oli kuitenkin se oli tota pienempi, jolloin se virta olis isompi, mut sit mä jäin miettii, mite se jakaantuu, niin sit mä senkin kannalta jäin miettii, tai sen kannalta mä just jäin miettii, et onks toi *E* kirkkaampi kuin toi A. Mut sit taas, mitä O4 selitti, se kuulosti ihan oikealta se, miten se jakaantuis, silloinhan ne ois taas samat.	Lampun kirkkaus riippuu virrasta joka taas riippuu piirin kokonaisresistanssista	$R \rightarrow I$	M3 (V)
2	O5: Kuten edellisestkin totes, eli C palais kirkkaammin kuin D, mut sit taas himmeämmin kuin nää kaikki muut			M12

	<p>Haastattelija: Miks C ois kirkkaampi kuin D?</p> <p>O5: Se tosiaan vastustaa enemmän sitä virrankulkua, jolloin se näky enemmän, kun sieltä tulee sitä ns kitkaa</p>			
3	<p>Haastattelija: Minkä takia A ja C on yhtä kirkkaita?</p> <p>O5: No siis niissä on sama potentiaali tai siis jännite ja sama virta</p>		$R \rightarrow U$	M8
3	<p>Haastattelija: Ja sitten D ja E?</p> <p>O5: Niin ne oli himmeämpiä, mut kuitenkin yhtä kirkkaita, koska täällä menee kuitenkin sama virta, et se ei mitenkään muutu se virta täällä kesken piirin ja sit mä laskin nää jännitelähteet tästä yhteen</p>			M2
3	<p>Haastattelija: Joo ja sit sielt tuli?</p> <p>O5: Et siel on tavallaan niinku yks oikeinpäin oleva jännite, et kun noist kaks kumoutuu, niin sit tota tääl on kaksinkertainen resistanssi kuitenkin A:han ja B:hen nähden. Sit ne on himmeämpiä.</p>		$R \rightarrow U$	M8

Grupp 2

Intervju I

(011)

Tehtävä	Selitys	Tulkinta	Relaatio	Malli
1a	No, kyl mullakin oli se A lamppu kirkkaampi kuin nää muut ja perustuu aika paljon muistiin ja oli mielessäkin toi vastus siinä, että se niinkun (-) se niinku riippuu siitä, että se virta niinku koko piirissä on sama, se tulee niinku isompi vastus, kun siinä on kaks samanlaista		$R \rightarrow I$	M3
1b	<p>O11: No mä ajattelin, et toi A, D ja E ovat yhtä kirkkaita, sit noi B ja C ovat himmeämpiä ja mä mietin sen sillä lailla, että että, kun muistaakseni toi virta riippuu siitä, mitä siinä piirissä on ja tässä *DE* se virta tulee jakautumaan tasan tohon lamppuun F ja E ja ja silloin tämä paristo tulee antaa enemmän virtaa siihen piiriin, kun sinä on ne molemmat rinnan kytkettynä.</p> <p>Haastattelija: Minkä takia se tekee niin?</p> <p>O11: Se tekee, no siin molemmissa on...Onkohan se kun se potentiaaliero on sama ja siin tulee pienempi resistanssi vastus kun siinä on kaks noita lamppuja...(-) tosta tulee puolet...en pysty järkeilee, miks se menee just silleen. Ne niin kun muistin perusteella, intuition.</p>	Rinnankytkennässä paristo antaa enemmän virtaa joka jakautuu lamppujen D:n ja E:n kesken. Tämä johtuu siitä että rinnankytkennässä resistanssi on pienempi, mutta potentiaaliero on sama kuin A-piirissä.	$U \rightarrow I, \text{ kun } R$	M1, M4
1c	Tossa jos tän yli *BC* se potentiaali oli sama kuin tän *DE* yli, tosta *B:n ja C:n välissä* se oli puolikas, toshan se tarkoittaa samaa, toskin *FG:n ja H:n* välissä se on puolikkaana. Tässä *FG:n yli* on puolet siitä mitä tässä *DE:n yli* on yli, potentiaaliero, jolloin siitä tulee niinku himmeämpi tai yhtä (-) potentiaaliero tossa *H:n yli* on sama.	Koska jännite jakautuu B:n ja C:n yli tasaisesti, niin se myös jakautuu H:n ja FG:n yli tasaisesti. Näin ollen lamput F, G ja H saavat kaikki samat jännitteet kuin B ja C ja lamput loistavat yhtä kirkkaina.		M9 (V)
2	Joo, kyl mäkin olin sitä mieltä, et se A tulee kirkkaamaks ja ja mä päättelin sen sillä tavalla, et niinku mitä O12 tossa esitteli	Kun piirin kokonaisresistanssi vähenee niin A:n	$R \rightarrow U$	M8

	<p>äskettäin, että kun tän *rinnankytkentä* tän pisteiden, mulla on tähän merkattu 2 ja 3 *piirin haarakohdat* kun tähän yli tulee niinku pienempi vastus, niin sitten näillä on suurempi vastus, näillä on niinku suurempi osa siitä kokonaisvastuuta, jolloin niistä tulee isompi potentiaaliero. Eli silloin tämä *A* rupeaa kasvaa tai palaa kirkkaammin.</p>	<p>osuus siitä kasvaa. Näin ollen myös jännite A:n yli kasvaa ja lamppu loistaa kirkkaammin</p>		

(012)

Tehtävä	Selitys	Tulkinta	Relaatio	Malli
1a	<p>O12: Joo mä laitoin, et se A lamppu oli kirkkain ja sitten B ja C yhtä kirkkaita</p> <p>Haastattelija: Minkä takia?</p> <p>O12: No sen takia, koska, tos jälkimmäisessä kohdassa on kaks vastusta sarjaan kytkettynä, siinä on kokonaisvastus suurempi, jolloin se virta on pienempi ja sitä kautta tehonkulutus tai teho on pienempi, tai yhden lampun kohdalla ainakin tehonkulutus jää pienemmäksi.</p>	<p>Kokonaisvastus on suurempi joten virta on pienempi. Koska virta on pienempi niin tehonkulutus on pienempi.</p>	$R \rightarrow I$ $I \rightarrow P$	M3, M6
1b	<p>Siinä on, mä katoisin sen jännitteen perusteella. Täällä on periaatteessa jännite kaikkien kohdalla sama, jolloin tarkoittaa, et se virta jokaisen vastuksen läpi on sama, tehonkulutus on sama ja ne palaa yhtä kirkkaasti.</p>	<p>Jännite ja virta jokaisen vastuksen yli on sama, joten myös tehonkulutus on sama.</p>	$U, I \rightarrow P$	M10
1c	<p>Vähän sama homma, tai tää vertaus, mikä joskus on tullut vastaan, et jos vesi virtaa, niin sulla on tällainen kapea kohta mistä se virtaa tai kaks kohtaa, niin se kokonaisvastus on pienempi, kun sulla on tavallaan kaks yhtä suurta aukkoa. Samalla tavalla virtakin virtaa.</p>			M11
1c	<p>[...] sit siitä vielä seuraa se että koska tän piirin *FGH* kokonaisvastus on pienempi kuin tän *BC* niin siel kulkee suurempi virta, millä perusteella mä laitoin ton H- lampun näiden jälkeen *A* seuraavaks kirkkaammaks</p>		$R \rightarrow I$	M3

1c	[...] jos mä tiedän ne jännitteet siellä ja sit mä tiedän, et kaikki vastukset on yhtä suuret, niin mun pitäis pystyy sen avulla pääättelee. Tottakai, jos täällä *BC* on puolet, tuolla*FGH* on yks kolmasosa, sit tietysti nää*BC* palaa kirkkaammin kuin noi F ja G.		$R \rightarrow U$	M8
2	Se on se BC:n yhteisvastus on pienempi kuin A:n vastus tai D:n vastus, jolloin se jakaantuu eritavalla se jännite, jännite-ero siellä. A:n kirkkaus kasvaa.		$R \rightarrow U$	M8

(013)

Tehtävä	Selitys	Tulkinta	Relaatio	Malli
1a	Mie päädyin ihan samaan vastaukseen varmaan suurin piirtein samoista perusteluista. Eli tässä piirissä *BC* se virta on niinku pienempi kuin tässä *A* ja siinä lampussa teho on verrannollinen onks se ny virran neliöön. Sit tää *A* palaa kirkkaammin		$I \rightarrow P$	M6
1b	No koska, tässä *A* ja tässä *DE* piirissä on sama resistanssi, sit niissä kulkis sama virta ja tässä *DE* se virta puolittuis näiden kahden kesken, nää *DE* ois himmeämpiä kuin toi A.		$R \rightarrow I$	M3 (V)
1c	[...] mie taas olevinaan muistelisin, et toi O11:n vastaus ois niinku oikein, sit kun mie kävin miettiin, jos tästä koko piirissä kuitenkin pitää kulkea se sama virta koko ajan, niin tossahan *FGH:n haarakohta* sen täytyis puolittuu, jos tästä *F* ja tästä *G* menee puolet vähemmän virtaa läpi kuin tästä *H*, niin kerro sie *O12*	H saa enemmän virtaa kuin F tai G mikä on ristiriidassa vastaukseni kanssa		M2 (V)
1c	No joo mie ajattelin, et se potentiaaliero on näissä pisteissä *kaikkien lamppujen yli* kaikissa sama. Sit tuolla puolessa välissä *B:n ja C:n välissä* se on niinku puolet, sit menee se tosta *F* tai tosta *G* niin se tippuu tohon puoleen se potentiaali			M9 (V)
2	O13: No siis toi a-kohta, niin mä ajattelin, et noi A, B, D palaa yhtä kirkkaasti, C ei pala ollenkaan. Haastattelija: Minkä takia?			M1

	O13: No siis, kun toi kytkin on auki, ton C:n läpi ei pääse kulkee virtaa, sit toi piiri on niinku sama, kuin jos noi A, B ja D ois vaan sarjassa.			
2	O13: No mä sit järkeilin ton edellisen perusteella, et sit ton koko piirin resistanssi pienenee, eli sit se kirkastuis se lamppu. Olenko väärässä *katsoo O12:a* Haastattelija: Miks se lamppu kirkastuis, jos resistanssi pienenee? O13: No tota, koska U on RI, jos se jännite on vakio, niin sit tota se resistanssi pienenee, niin virta kasvaa ja kun virta kasvaa, se kirkastuu.		$U \rightarrow I$, kun R	M4

Intervju II

(011)

Tehtävä	Selitys	Tulkinta	Relaatio	Malli
1	-			
2a	Joo no, mä lähin siitä kaavasta U on sama kuin R I eli jos meillä on se sama potentiaaliero molempien lamppujen yli niin tässä toisessa on suurempi se resistanssi niin silloin siinä kulkee pienempi virta ja tällöin jos siinä kulkee pienempi virta niin sit se palaakin himmeemmin. Mitä suurempi on resistanssi, sitä himmeempi on lamppu.		$U \rightarrow I$, kun R	M4
2b	O11: Ja ensin mä niin kun tarkistin tilannetta että tämä *ympyröi CD* oli niin kuin yksi kokonainen, tai niin kun, yksi vastus vaan, jolloin tässä *ympyröi CD* tässä on suurempi vastus kun näissä *os A ja B* Haastattelija: M-hm O11: Eli silloin...öö. tässä kulkis niin kun	Koska piirissä CD on suurin kokonaisvastus, piirissä kulkeva virta on pienin ja lamput C ja D loistavat himmeämmin kuin A ja B. Lamppujen C ja D läpi kulkee sama	$U, I \rightarrow P$	M10

	<p>tässä piirissä *os CD* vähemmän virtaa kun näissä muissa, niin eli kun ensin päädyttiin että toi *os A* oli kirkkaampi kuin toi *os B*, niin sitten mä päätelin että toikin *os B* on oltava kirkkaampi sitten kuin nämä *os CD*. Sit tässä virta on pienempi *os CD*. Sit mä lähin miettiin että näitten sisäinen niin kun suhde..ja ja koska näitten läpi *os CD* kulkee kuitenkin sama virta ja jos tossa *os C* on suurempi vastus niin jos U on sama kuin RI ja täällä se I on sama molemmissa (C:ssä ja D:ssä) niin jos tässä *os C* on suurempi vastus niin sitten siitä on suurempi sen potentiaaliero jos se on suurempi potentiaaliero niin silloin on suurempi...myös se...ääm...se se se...teho. Eli se kuluttaa enemmän eli C palaa kirkkaammin.</p>	<p>virta, mutta koska C:n resistanssi on suurempi kuin D:n, jännite C:n yli on suurempi. Näin ollen myös tehonkulutus C:ssä on suurempi kuin D:ssä.</p>		
2c	-			

(012)

Tehtävä	Selitys	Tulkinta	Relaatio	Malli
1	<p>Aikalailla sama mitä tässä tulikin jo, eli täällä tosiaan se virta kulkee A:ssa kokonaan ja tuolla *os BCD* se on jakaantunut. Ja- no on putkee peräjälkeen niin silloin vastus on suurempi kuin ton D:n, jote D:n kautta kulkee suurempi virta kuin B:n ja C:n</p>		$R \rightarrow I$	M3
1	<p>Sama tulos mullakin oli...että se kirkkaus pienenee. Mä katoin sen nii että nyt kun tuolta tää kytkin avataan niin silloin tän osan *os BCD* vastus kasvaa, eli koko piirin vastus kasvaa. Piirin läpi kulkeva virta pienenee.</p>		$R \rightarrow I$	M3
2a	<p>O12: Alotanks mä vai? Mä laitoin että A on kirkkain. A on B:tä kirkkaampi ihan sillä perusteella koska se B:n vastus on suurempi, siin tulee tää *os B* teho on pienempi. Eli täällä *os A* on suurempi tehonkulutus kun täällä *os B*. Sillä perusteella tää *os A* palaa kirkkaammin kun toi *os B*</p>	<p>Koska jännite molempien vastuksien yli on samat, niin tehonkulutus on pienempi lampussa B jossa on suurempi resistanssi kuin lampussa A.</p>	$U, R \rightarrow P$	M10

	<p>O12: PUI ja URI kaavat mitä mä pyöritin että mä sain sen vastauksen.</p> <p>Haastattelija: Eli virta oli eri. Mites sitten se jännite?</p> <p>O12: No jännitehän siellä on sama kummallakin, ja jos tossa jännite samat niin sen takii siinä nyt ei ollu, tehon kautta mä sit mietin.</p>			
2b	Joo, no. Jatkoin tota tehojen kautta. Laskin mitkä virrat menee ja niistä johtuen saadaan sit tehot kun jännitelähde on kaikissa samanlainen.		$U, I \rightarrow P$	M10
2c	<p>O12: [...] lampun kannalta tämä virtapiiri *os E* on aivan sama kuin tossa *os A* ja täällä *os F* aivan sama kuin tossa *os B*...jännitteet on samat ja...tavallaan kuluttuaa virtalähteen energiaa nopeemmin tää *os EF*, mutta lamppujen kannalta B ja F on...</p> <p>Haastattelija: Niin et sä et laskenu ollenkaan? Sä vaan päättelet?</p> <p>O12: En joo. Mä vaan päätteletin.</p> <p>Haastattelija:Joo</p> <p>O12: Kaikki muut sit tietysti edellisten perusteella.</p>			M9

(013)

Tehtävä	Selitys	Tulkinta	Relaatio	Malli
1	No, tota...no kun mä siis aattelin että tästä A-A:n läpi menee niin kun se koko..tota..piirissä kiertävä virta. Se olis sit kirkkain. Sit tästä osa siitä virrasta menee niin kun tänne *os D haaraa* ja osa tänne *os BC* haaraa. Sit nää *os BC* palaa himmeemmin. Ja sitten tota..kun täs tää B ja C - tällä puolella se resistanssi on suurempi resistanssi kuin tolla D:llä ja sit	Piirin kokovirta menee A:n läpi, joten A on kirkkain. Haarakohdassa suurempi osa virrasta menee D:n läpi koska D:n resistanssi on pienempi. Näin	$R \rightarrow I$	M3

	tältä *os D* puolelta menis enemmän virtaa eli toi D olis kirkkaampi kuin B ja C ja sit kun nää *os BC* on niin kun sarjassa niin ne olis niin kun yhtä kirkkaat	ollen D on kirkkaampi kuin B ja D, jotka loistavat yhtä kirkkaasti koska ovat sarjaankytketty.		
2a	No miekin sain että se A olis kirkkain, kun se P on just niin kun UI. Ja sit jos se U on sama...samalla perustelulla että I on suurempaa tolle A:lle kun se resistanssi on pienempi.		$U, I \rightarrow P$	M10
2b	O13: no siis mä aattelin ensin..tai äsken jo hiffattiin että toi A oli kirkkaampi kun B ja sitten lähin käsitteelen et kumpi näistä *os CD* on kirkkaampi ja just samalla tavalla kun se molempien läpi se virta on sama, ja sit U on RI ja tässä *os C* on isompi R eli isompi U, tai potentiaali yli tän *os C* yli ja sit teho on U kertaa I. Haastattelija: Mm-m O13: ja sit mä aattelin just et kun näis kiertää *os A ja B* isompi virta kun tässä *os CD* ja sit myöskin näitten lamppujen *os C ja D* yli on pienempi potentiaaliero ja sit kun se P on U I niin niiden on pakko olla, näitte *os CD* himmeämpiä kuin noi *os AB*	A on kirkkaampi kuin B aikasemman perusteella. C on kirkkaampi kuin D koska niitten läpi menee sama virta mutta jännite C:n yli on suurempi. Sekä A:n että B:n läpi menee suurempi virta kuin C:n ja D:n läpi ja jännite A:n ja B:n yli on suurempi kuin C:n tai D:n yli. Näin ollen C ja D ovat himmeämpiä kuin A ja B	$U, I \rightarrow P$	M5
2c	O13: Mä lähin liikkeelle tosta että A on kirkkaampi kuin B,C ja D, niin kun se saatiin tuossa edellisessä tehtävässä. Sit mie kävin miettiin, mie ensin ratkasin niin kun E:n ja F:n järjestyksen. Haastattelija: Miten? O13: No et kun niiden molempien yli on niin kun sama potentiaaliero...niin sitten kun E:n vastus on pienempi Haastattelija:MM O13: Sit siitä menee isompi virta jollon se palaa kirkkaammin kuin F. Ja sit tässä vaiheessa mä..ei ollu hajuakaan miten sijoitan tän E:n ja F:n sitten näitten suhteen *os ABCD*	Potentiaaliero E:n ja F:n yli on sama. E:n vastus on pienempi joten sen läpi kulkee suurempi virta, näin ollen E palaa kirkkaammin.	$U \rightarrow I$, kun R	M4

2c	O13: Sit mie tiiät sä päättelin silleen kuitenkin et kun jos tän E:n yli on sama potentiaaliero kuin ton A:n ja niillä on sama vastus, niin siinä tietysti pitäis mennä sama virta läpi jolloin se teho olis sama ja ne olis yhtä kirkkaita ja tolla samalla logiikalla B ja F olis yhtä kirkkaita.		$U, I \rightarrow P$	M10

Intervju III

(011)

Tehtävä	Selitys	Tulkinta	Relaatio	Malli
1	No A, D ja E, ne ovat yhtä kirkkaita, koska siinä on, siinähan on potentiaaliero on niinku sama yli kaiken, ja jos potentiaaliero on sama ja vastus on sama, niin siinä menee sama virta, jolloin se palaa yhtä kirkkaasti.		$U \rightarrow I$, kun R	M4
1	[...]Ja sitten tää B, C:hän ne on suurempi vastus koko piirissä, eli siin kulkee pienempi virta, jolloin ne taas palaa himmeämpänä.		$R \rightarrow I$	M3
2	[...] ensin mä vertasin näitä *A,B* mikä on niinku kirkkaampi. Ja koska tos on suurempi vastus, niin siin kulkee pie...tai siin piirissä kulkee pienempi virta, jolloin tää *A* on sitten kir...tai jol on suurempi virta, niin tää *A* palaa kirkkaammin, niin joo, se se, niin suurempi virta niin, suu tai se palaa kirkkaammin silloin.	A:n vastus on pienempi kuin B joten sen läpi menee suurempi virta. Näin ollen se palaa kirkkaammin kuin B.	$R \rightarrow I$	M3
2	[...] ja sitten mä katoisin näitten *C,D* sisäinen suhde ja totesin, että tässä on, niinku ensinnäkin tässä on suurempi kokonaisvastus kuin näissä *A,B*, kumpaakin, niin ja sitten, eli täs kulkee, suurempi kokonaisvastus, niin suurempi kokonaisvastus ja sama kuitenkin potentiaaliero tässä yli, niin sitten siinä on pienempi virta kuin näissä.	CD-piirin kokonaisvastus on suurempi kuin AB-piirissä mutta potentiaaliero koko piirin yli on sama. Näin ollen virta piirissä CD on pienempi.	$U \rightarrow I$, kun R	M4
2	[...]mä mietin sillee, kun tässä on virta kuitenkin sama koko piirissä ja täs on	C:n ja D:n läpi menee sama virta.	$U, I \rightarrow P$	M10

	suurempi vastus, niin silloin jos se vastus on suurempi, myös potentiaaliero on suurempi. Ja sitten taas, jos potentiaaliero on suuri, niin saadaan sille, sille sille, $P=UI$ – kaavalla, että jos se, se se, virta on vakio mutta siinä on suurempi potentiaaliero niin sitten se kuluttaa niinku enemmän, jolloin se C palaa kirkkaammin kuin D.	C:n vastus on suurempi ja näin ollen potentiaaliero C:n yli on suurempi. Näin ollen tehonkulutus C:ssä on suurempi kuin D:ssä ja C palaa kirkkaammin.		
2	[...] Ja sitten mä lähin miettii tätä *E,F* tilannetta ja huomasin, että tässä on sama potentiaaliero yli molempien, tai tässä *E* on sama potentiaaliero kuin tässä *A*, jolloin ja tää on sama vastus, niin tästä menee sama virta, eli nämä *A,E* ovat yhtä kirkkaita.	Lampuilla A ja E on samat vastukset ja potentiaaliero niiden yli on sama. Näin ollen virta molemmissa piireissä on sama ja lamput palavat yhtä kirkkaina	$U \rightarrow I$, kun R	M4
2	[...]miten mä sain tän *C,D* verrattuna näihin muihin . Tai mä mietin sen, kun se virta on pienempi, tai kokonaisvirta on pienempi, eihän se voi palaa kirkkaammin kuin nää muut siinä tapauksessa, eli ne tulee siihen loppuun.			M2
3	Joo, tota noin mä mietin tätä puhtaasti niiden potentiaalierojen mukaan, että kun me tiedetään, jos se menee yhden tommosen pariston yli, niin se potentiaali kasvaa, potentiaaliero kasvaa. Niin niin, täshän, täs B-tapauksessa, lampun B piirissä niin tässä se potentiaaliero on niinku tuplasti tai kaks kertaa suurempi kuin tässä A:ssa kun tässä on kaks näitä paristoja, niin silloin se potentiaaliero sen lampunkin yli on just se kaks kertaa suurempi ja ku se on suurempi se potentiaaliero ja vastus on sama, niin siin kulkee suurempi virta, jolloin se palaa kirkkaammin kuin se A tän perusteella.	Lampuilla A ja B on samat vastukset mutta potentiaaliero B:n yli on suurempi. Näin ollen myös virta B:n läpi on suurempi ja lamppu B palaa kirkkaammin kuin lamppu A.	$U \rightarrow I$, kun R	M4
3	[...] Näissä pisteissä *C:n yli* on sama potentiaaliero kuin näissä pisteissä *A:n yli*. Jolloin nää *A ja C* palaa yhtä kirkkaina, kun siellä on sama vastus.		$R \rightarrow U$	M8

(012)

Tehtävä	Selitys	Tulkinta	Relaatio	Malli
1	No kun täällä laskee yhteisvastuksen, niin se on puolet, eli tän systeemin *FG* yhteisvastus on puolet tän vastuksesta *H*, jolloin se potentiaaliero tai tää *paristo* jakaantuu sillee, et 1/3 on tällä välillä *FG* ja 2/3 on tällä välillä *H*. Jos tää *paristo* on esimerkiksi 24V virtalähde, niin täällä *H* se potentiaaliero on 16V ja tolla pätkällä *FG* 8. Ja sit samalla katto nää. Täällä *BC* se menee tietysti puoliks kun nää on sarjassa 12 ja 12 ja tuolla *A* 24 ja täällä *DE* 24 kummanki.	Koska H:n vastus on kaksi kertaa FG:n vastuksesta, niin myös jännite H:n yli on kaksinkertainen verrattuna FG:n. Näin ollen H palaa kirkkaampana kuin F ja G.	$R \rightarrow U$	M8
2	Joo, no ekaks, ensinnäkin tää, et näitten lamppujen kannalta niin siis, koska toi potentiaaliero on sama, toi A ja E on yhtä kirkkaat ja sitten B ja F on yhtä kirkkaita, näillä ei ollut mitään toisiinsa nähden eroa.			M9
2	No siis ihan tää, jos kattoo, vastuksiin lähtee kattomaan, niin tää vastus *A* on pienempi kuin toi *B*, mistä johtuen virta täällä *A* on suurempi A:ssa kuin B:ssä ja sitä kautta se teho on suurempi A:ssa kuin B:ssä, jolloin tää *A* palaa kirkkaammin koska sen tehonkulutus on suurempi.		$R \rightarrow I$ $I \rightarrow P$	M3, M6
2	[...]Ja täällä *CD* taas piirin kokonaisvastus on suurempi kuin kummassakaan näissä kohdassa *A,B*, mistä siis saadaan, että se virta täällä *CD* on pienempi kuin kummassakaan näissä *A,B*, kun se potentiaaliero jakaantuu vielä täällä *CD*, sekin on yksittäisen lampun yli on pienempi, ikä tarkoittaa sitä, että tän teho *C* sekä tän *D* teho on pienempi kuin mikään näistä muista.	Piirissä CD kulkee kaikista pienin virta. Lisäksi potentiaaliero yksittäisten lamppujen C:n ja D:n yli on pienempi kuin muissa lamppuissa. Näin ollen tehonkulutus lamppuissa on pienempi kuin muissa piireissä.	$U, I \rightarrow P$	M10
2	[...]eli tällä C:llä on suurempi se potentiaaliero sen C:n yli kuin tässä D:n yli ja koska se virta on sama, niin silloin tän *C* tehonkulutus on suurempi.		$U, I \rightarrow P$	M10
3	Joo, aikalailla, samat perustelut et. Tuol tosiaan kun on kytketty sarjaan virtalähteet, niin potentiaaliero kasvaa ja silloin tää B palaa kirkkaammin kuin A. Nää rinnakkain kytketyt virtalähteet ei kasvata potentiaaliero ja A ja C ovat yhtä kirkkaita			M9
3	O12: [...] Ja sit täällä *DE* tosiaan, kun nää kaks virtalähdettä, tää siis kytketty eripäin, niin nää kumoaa toisensa vaikutukset, eli noivoi unohtaa ja sit meillä on sarjaan		$R \rightarrow U$	M8

	<p>kytketyt vastukset</p> <p>Haastattelija: Ja sarjaan kytkettyjen vastuksen tapauksessa</p> <p>O12: No kokonaisvastus on suurempi ja tai sitten tulee potentiaaliero jakaantuu sit tänne, eli täällä siis potentiaalierot on D:n tai E:n yli on puolet siitä mitä se on täällä A:n yli.</p>			

(013)

Tehtävä	Selitys	Tulkinta	Relaatio	Malli
1	No tota mä lähin siitä, et toi A niinku kirkkain, koska siin menee se, tai niinku siin on tota koko potentiaaliero ton yli lampun yli ja sit tos D:ssä ja E:ssä on sama tilanne			M9
1	[...]sit mie mietin, et nää B ja C on tietysti yhtä kirkkaat, kun ne on tota sarjassa ja niitten pitää sit olla himmeempiä.			M1
1	[...]Mie sijoitan ton H tonne väliin, että koska tota, tän piirin *FGH* niinku kokonaisvastus on pienempi kuin tän ja sit se koko piirin virta menee tän *H* läpi. Sit täs piiris ois siis isompi virta ja sit se ois kirkkaampi kuin noi B ja C.		$R \rightarrow I$	M3
1	[...]Ja sitte tota nää F ja G mie sijoitin niinku himmeimmiks, kun se potentiaaliero on pienin niitten yli.			M9
2	No siis, no ensin mie sijoitin nää A ja B, täs on isompi astus, siin kulkee pienempi virta ja sit niillä on sama potentiaaliero niitten yli, sit mie $P=UI$ - kaavan avulla aattelin.		$U, I \rightarrow P$	M10
3	[...]Mä aattelin kans sillee ton ensin, et toi B on tietysti kirkkaampi kuin A, kun siinä on tupla V, niin kuin isompi toi potentiaaliero saman lampun yli, niin sit se palaa kirkkaammin.			M9
3	[...]Ja sit tänkin mä aattelin ihan samalla tavalla, nää kun on tollee nurinperin tai toi toinen, sen voi aatella, et siinä ei ois yhtään mitään, et siinä on vaan kaks lamppuu, yks virtalähde ja kaks lamppuu niinku sarjassa. Ja sit ne palaa himmeämmin kuin A, kun joo kun siinä kulkee pienempi virta ja sit se potentiaalierokin yhden lampun yli on		$U, I \rightarrow P$	M5

	pienempi.			
--	-----------	--	--	--