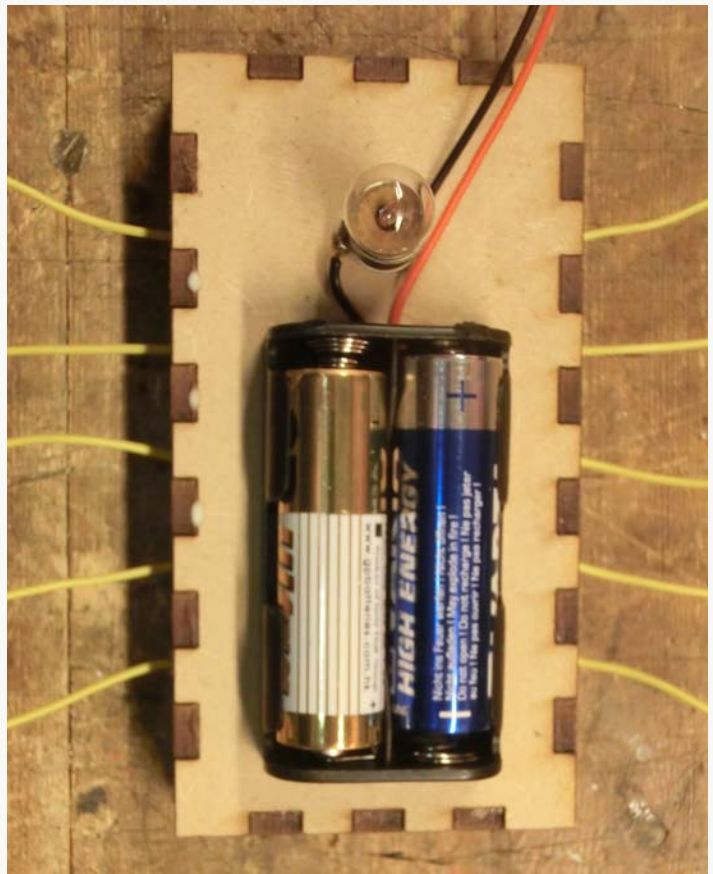


Nils Kr. Rossing, Bojana Gajic, Ola Kleiven, Rannvei Sæther, Eva H. Hagen

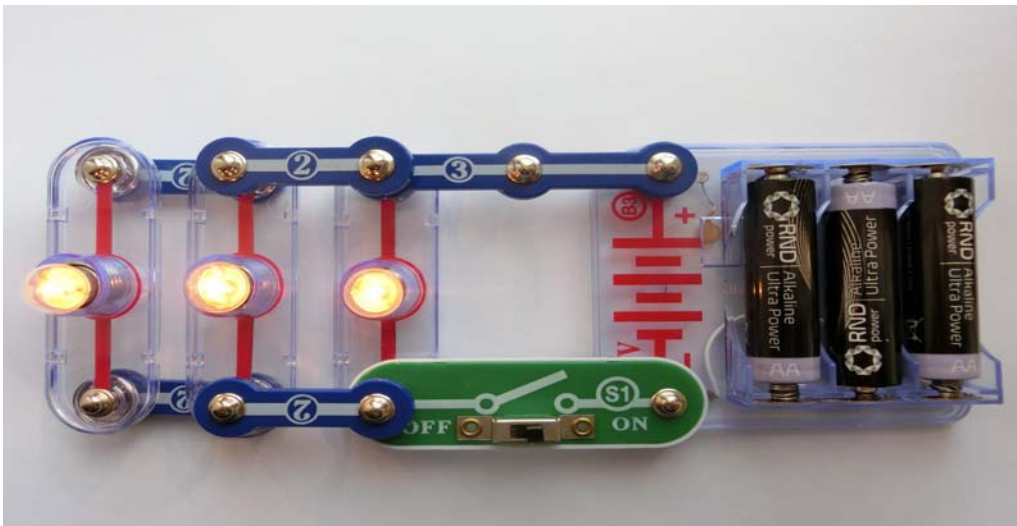
Grunnleggende elektroteknikk og elektrisitetslære



Denne siden er blank

Grunnleggende elektronikk og elektrisitetslære – DeKom

Nils Kr. Rossing, Bojana Gajic, Ola Kleiven,
Rannvei Sæther, Eva H. Hagen



Grunnleggende elektronikk og elektrisitetslære– DeKom

Trondheim 2021

ISBN 978-82-92088-70-8

Layout og redigering: *Nils Kr. Rossing, Vitensenteret i Trondheim*

Tekst og bilder: *Nils Kr. Rossing, Vitensenteret i Trondheim*
Bojana Gajic, Institutt for elektroniske kretser
Rannvei Sæther, Vitensenteret i Trondheim
Ola Kleiven, Vitensenteret i Trondheim
Eva H. Hagen, Vitensenteret i Trondheim

Faglige spørsmål rettes til:

Vitensenteret i Trondheim

v/Nils Kr. Rossing

nkr@vitensenteret.com

Kongensgate 1
7011 Trondheim

Postboks 117
7400 Trondheim

Vitensenteret i Trondheim
Telefon: 72 90 90 07
<http://www.vitensenteret.com/>

Rev 1.4 – 23.09.21

Forsidebilde: Hemmelig boks, Foto: Nils Kr. Rossing



Forord

Heftet er skrevet som en hjelp til gjennomføring av 7. samling av DeKom-tilbudet: *Skapende aktivitet i klasserommet*, som ble gitt til Okstad skole, Tomasskolen og Vikhammer/Vikhammeråsen skole høsten 2021.

Målsetningen med denne sjuende samlingen er å gi deltakerne “hands on” erfaring med elektrisitetkomponenter slike som batterier, LED, motstander, lyspærer, motorer, brytere, reedrele og elektromagneter. I tillegg bør det gis mulighet til å bruke noen utvalgte elektroniske komponenter som transistorer, aktive buzzere, høyttalere, fuktighets- og lyssensorer, ev. også kombinasjon med micro:bit. Det er viktig at utvalget av komponenter gjør det mulig å:

- ... utforske grunnleggende elektriske kretser, åpen og sluttet krets, serie- og parallellkobling,
- ... utforske tenning av lys eller lyd med bruk av enkle sensorer (lyssensor, fuktighetssensor)

Ved å bruke det deltakerne har lært om laserkutting og digital tegning, kunne designe, framstille, koble opp og teste ut hemmelige bokser som et ledd i det å framstille læremidler sammen med elevene.

Heftet er ment som en støtte under arbeidet på kursdagen, men mest som en hjelp i det etterfølgende arbeidet i klasserommet, dog ikke uten videre for utdeling til elevene.

Tilbudet er initiert av Trondheim og Malvik kommune og finansiert av DeKom (Desentralisert Kompetanseheving) midler fra Udir.

De fem utstyrspakkene er finansiert av Trondheim kommune og er for utlån til skolene i prosjektperioden. Tanken er at de ev. skal lånes ut på nytt for senere deltakere i lignende kurs, ev. i andre sammenhenger hvor slikt utstyr er relevant.

Vitensenteret i Trondheim
September 2021

Nils Kr. Rossing
Bojana Gajic
Ola Kleiven
Rannvei Sæther
Eva H. Hagen





Innhold

1 Innledning	9
1.1 Organiseringsen av arbeidet	9
1.2 En didaktisk tilnærming	11
1.3 En tilnærming til elektrisitetlære ved henvisning til dagligdagse hendelser	13
1.4 En oversikt – grunnlaget	16
2 En kvalitativ tilnærming til elektrisitetlære	19
2.1 En atommodell	19
2.2 Elektrisk ladning	21
2.2.1 Statisk elektrisitet	21
2.3 Elektrisk felt og elektrisk strøm	26
2.4 Elektrisk spenning	34
2.5 Elektrisk effekt og energi	35
2.6 Elektrisk ledningsevne og motstand	36
2.6.1 Ledningsevnen til metaller	36
2.6.2 Motstander	37
2.7 Grunnleggende kretser	38
2.7.1 Sluttet krets	38
2.7.2 Serie- og parallellkoblede kretser	41
2.7.3 Ohms lov	42
2.7.4 Serie- og parallellkobling av motstander	43
2.7.5 Kirchhoffs lover	44
3 Misoppfatninger og “dialogisk undervisning”	47
3.1 Vanlige misoppfatninger om elektrisitet	47
3.2 Diagnostisering av misoppfatninger	49
3.3 “Dialogisk undervisning”	59
3.3.1 Erfaringer fra en masteroppgave	60
3.4 Introduksjon til el-lære	63
3.4.1 Testen	63
3.4.2 Dialogisk undervisning ved bruk av Snap Circuit	65
3.5 Utforsk elektriske kretser ved hjelp av halvåpne oppgaver	70
3.5.1 Lommelykt	70
3.5.2 Elektromagnetisk kran	71
3.5.3 Belysning og kjøkkenvifte	71
3.5.4 Vifte eller flyvende propell	72
3.5.5 Ledningsevnetester	72
3.5.6 Micro:bit og Snap Circuit	73
4 Utforskning av elektriske kretser med hemmelige bokser	75
4.1 Lag en enkel hemmelig “boks” I ved hjelp av papp og sølvpapir	75



4.2	Lag en enkel laserkuttet hemmelig boks II	80
4.3	Lag boksen for hemmelige bokser	83
4.3.1	Boksprogrammet “Make-a-box”	83
4.3.2	Lag grunnrisset til den hemmelig boksen	84
4.3.3	Kort om bruk av Inkscape for tegning av hemmelig boks	85
4.4	Bearbeid boksen	86
4.4.1	Bruk av skyvelær for å ta mål	94
4.5	Lag en avansert laserkuttet hemmelig boks III	95
4.5.1	Framstilling av en avansert hemmelig boks	96
4.5.2	Bruk av den avanserte boksen	98
5	Eksempler på bruk av laserkuttede bokser	101
5.1	Bokser som terninger	101
5.2	Bokser som kan åpnes	101
5.3	Boks med lokk	102
5.4	Bokser som braketter	102
5.5	Skuffesystem	103
5.6	Flerkantede bokser	104
6	Framstilling av bokser med laserkutter	107
7	Bygg en fuktighetsdetektor	115
7.1	Byggeveiledning	115
8	Referanseliste	121
Vedlegg A	Viktige begreper	122
A.1	Begreper knyttet til energi	122
A.2	Grunnleggende begreper innen elektrisitet	123
A.3	Andre viktige begreper innen elektrisitetslære	124
Vedlegg B	Forslag til innhold i Snap Circuit sett	125
Vedlegg C	Maler til hemmelige bokser	127
C.1	Kopioriginal hemmelig “boks”	127
C.2	Hemmelig boks enkel	130
C.3	Hemmelig boks avansert	131



1 Innledning

Tema for denne samlingen er fordelt på følgende tema:

- **Grunnleggende elektrisitetstlære.** Grunnen til at vi tar opp dette temaet er flere. For det første er det abstrakt og krevende det viser undersøkelser gjort blant elever både i grunnskolen, videregående og på universitet. Dernest har en ofte behov for å supplere mikrokontrollere som f.eks. micro:bit med enkel elektronikk som brytere, lysdioder og servoer, hvilket krever grunnleggende forståelse for elektriske kretser. Under dette temaet skal vi også se hvordan det står til med elevers forståelse for elektriske kretser og hvilke misoppfatninger som er vanlige.
- **Framstilling av “hemmelig bokser”.** Vi har valgt å inkludere slike fordi de kombinerer flere viktige disipliner, som design av generell bokser ved hjelp av programmer, praktisk bruk av laserkutter, framstilling av læremidler for bruk i forbindelse med elektrisitetstlære og grunnleggende oppkobling av kretser.
- **Lodding og oppkobling av bokser.** Dette punktet følger naturlig av det forrige da lodding og oppkobling vil være viktig når man arbeidet med elektriske og elektroniske kretser. Her inngår tegning av enkle koblingsskjema, oppkobling etter skjema og uttesting av kretsen for å bekrefte at den ble som planlagt.
- **Ev. oppkobling av en fuktighetssensor.** Dette er en liten elektronisk krets som kan brukes til å detektere vannlekkasje, men også brukes som en særdeles følsom ledningsevne tester.

Alle disse temaene er omfattende så det blir kun en smakebit.

1.1 Organiseringen av arbeidet

Arbeidet denne dagen er delt inn i to hoveddeler, en før og en etter lunsj. Vi har dessuten valgt å tilby to parallelle aktiviteter etter lunsj. En for de som ønsker å jobbe mer med programmering av micro:bit og en for de som vil prioritere bruk av laserkutter.

Se forøvrig programmet under:

Tid	Tema	Kommentar
08:30 – 09:00 Ansv. NKR	Introduksjon og omtale av dagens program. Deltagerne refererer fra egen loggbok. Orienterer om utstillingen.	Velkommen og praktisk <ul style="list-style-type: none">• Presentasjon av erfaring (fra loggboka)• Spørsmål etter forrige samling• Dagens program• Status utstyrs pakker• Status prosjekt i klassen• Orienterer om utstillingen• Behov for veiledning?
09:00 – 09:15 Ansv. RS	Starter – Blinkende ball, Løgn-detektor	<ul style="list-style-type: none">• Kroppen leder strøm



09:15 – 12:00 Ansv. NKR, BG, OK	Arbeidsøkt 1: ansv. Bojana/Nils Kr. (90 min) <ul style="list-style-type: none">• Arbeid med snap-circuit og enkle oppgaver med diskusjon• Supplere med demoer, analogier, diskusjoner, og forklaringer etter behov Arbeidsøkt 2: ansv. Nils Kr. Ola (60 min) <ul style="list-style-type: none">• Lær og lag bokser med Make a Box og lag en hemmelig boks i Inkscape• Utskrift på laserkutter	Hva er elektrisitet? <ul style="list-style-type: none">• Påvisning av ladninger• Elektrisk strøm og spenning• Sluttet krets<ul style="list-style-type: none">• Tauanalogien• Bowlingkulemodellen• Bruk av digitale hjelpemidler:<ul style="list-style-type: none">• Lag hemmelig boks
12:00 – 12:30	Lunsj	
12:30 – 15:30 Ansv. NKR	Arbeidsøkt 2: Fortsetter ev. noe tid Kreativ økt 1: ansv. Ola (45 min) <ul style="list-style-type: none">• Bruk av bokser Escape bokser• Objekter for utstilling• Arbeid i grupper Arbeidsøkt 3: ansv. Nils Kr., Ola (60 min) <ul style="list-style-type: none">• Loddekurs• Lodde opp ledninger• Tegn koblingsskjema og koble opp hemmelig boks• Uttesting og avslør hverandres hemmelige bokser Kreativ økt 2: ansv. Nils Kr. (30 min) <ul style="list-style-type: none">• Avanserte hemmelige bokser• Deltakerne får prøve seg Ev. arbeidsøkt 4: ansv. Nils Kr. <ul style="list-style-type: none">• Bygging av elektronisk fuktighetsdetektor	<ul style="list-style-type: none">• Kreativ bruk av hemmelige bokser• Hemmelige bokser som utstilling• Deltakerne jobber i grupper• Noen misoppfatninger• Enkelt loddekurs, lodder ledninger på batteri og på splittbinders• Bruk av koblingsbrett i hemmelig boks• Ha ferdiglagde bokser i reserve• La deltakerne prøve seg på avanserte hemmelige bokser
15:30 – 16:00	Oppsummering og oppgaver til neste gang	Oppgaver til neste gang <ul style="list-style-type: none">• Erfaring fra dagen• Oppgaver til neste gang• Lesestykker• Svare på spørsmål i loggboka



1.2 En didaktisk tilnærming

Hvordan skal man så nærme seg temaet elektrisitet? Det spesielle med elektrisitet er at alle har et forhold til den, siden alle nesten uten unntak, bruker elektrisitet hvert minutt på dagen i form av ulike teknologiske hjelpemidler. At spennvidden i bruken er så enorm, gjør det ikke enklere å formidle hva dette handler om. Bare tenk på at det er det samme grunnleggende naturgitte fenomenet som ligger til grunn for smarttelefonen som for oppvarming av maten vi spiser til middag, så vel som lyset vi tenner om kvelden, eller også som gjør det mulig for oss å se på TV.

Allerede *her* er det naturlig å gjøre et valg. I dette heftet ønsker vi å fokusere på *fenomenet elektrisitet* og energiomvandlerne av ulike slag, både de som brukes i produksjon, distribusjon og “forbruk” av elektrisk energi. Vi ønsker ikke å fokusere på elektronikk, selv om grunnleggende elektrisitetslære er grunnlaget for all elektronikk. Man kan kanskje si at den fysiske grensen for vårt bokprosjekt går ved *adapteren* som transformerer nettspenning ned til lavspent tilpasset elektronikken.

Under har vi forsøkt å trekke opp noen skillelinjer mellom de tre begrepene *elektrisitetslære*, *elektroteknikk* og *elektronikk*:

Elektrisitetslære (el-lære)

er, i sin grunnleggende form, læren om begreper som strøm og spenning, effekt og energi i elektriske kretser; samt måling av disse størrelsene. Elektrisitetslæra omhandler lover som styrer strøm og spenningsfordelingen i kretsene, eksempelvis Ohms lov, Kirchoffs strøm- og spenningslover o.l.. Ofte inkluderer el-læra parallell- og seriekobling av enkle kretselementer (ledere, isolatorer, batterier, brytere, lyspærer o.l.).

Når vi skal definere begrepene elektroteknikk og elektronikk må vi være klar over at disse griper inn i hverandre og delvis overlapper. En må derfor betrakte definisjonene under som veiledende og ikke absolutte.

Elektroteknikk

omhandler hovedsakelig elektrisitet brukt i forbindelse med energioverføring slik som generatorer (vann- og vindenergi o.a.), transformatorer, kraftlinjer, fordelingsanlegg o.l. I tillegg omfatter den elektriske komponenter brukt til framdrift (motorer), elektrisk belysning (lyspærer, lysstoffrør o.l.) og oppvarming (varmeovner). Elektroteknikken behfter seg derfor i stor grad med spenninger over 50 V og store effekter. Den omfatter også måling av effekt og energi, strøm og spenning. En viktig del av dette fagområdet er også energioverføring og bruk av tre-faseteknologi.

Elektronikk

er primært brukt i forbindelse med styresystemer (roboter, automater), overvåkningssystemer (alarmanlegg, overvåking, satellitter), kommunikasjonssystemer (TV-, radio, kringkasting, mobilkommunikasjon, telefon, telefonsentraler, datanett, satellitter), informasjonsbehandling (regnemaskiner, datamaskiner, lagring av data o.l.), kontormaskiner (kopimaskiner), hjelpemidler i hjemmet (videospillere, DVD-maskiner, spillmaskiner, MP3-spillere osv.). Elektronikken omhandler dessuten elektroniske komponenter som kan forsterke og behandle signaler (transistorer, dioder, integrerte kretser, mikroprosessorer og kontrollere). Men også motstander, kondensatorer og spoler brukes mye. Som oftest brukes spenningsnivåer under 50 V og strømmene forsøkes redusert til et minimum. Raske endringer i strømmer og spenninger er ofte av stor betydning (raske PC'er, bredbånd, bruk av mikrobølger ved overføring av informasjon o.l.).



I de siste 30 – 40 årene har elektronikken rykket inn på elektroteknikkens område, ved at halvlederkomponenter er utviklet for store strømmer og høye spenninger. Dessuten er elektronikken mye brukt for styring og overvåking av høyspenningsanlegg. Likeså ser vi at LED-teknologi blir mer og mer sentral innen belysning og vil etter hvert helt overta for glødelampe og lysstoffrør. Skillet mellom de to områdene er derfor blitt vagere.

Elektrisitetslære med elektromagnetisme og feltteori er abstrakt og i seg selv usynlig. Vi er derfor avhengig av å se på virkningen av elektrisiteten ved at dens ulike egenskaper omdannes til observerbare fenomener som lys, varme, bevegelse, eller ved bruk av måleinstrumenter som måler ladning, strøm, spenning og energi. Siden fenomenet er så abstrakt er matematisk modellering og bruk av matematikk blitt et uunnværlig hjelpemiddel for å kunne anvende elektrisitet profesjonelt. Ja, i enkelte sammenhenger er de matematiske modellene også nødvendig for å forstå fenomener knyttet til elektrisitet.

Likevel kan en stille spørsmål om matematikken er et vel så stort hinder for nybegynneren som en hjelp. Noen ganger kan det være riktig å nærme seg naturvitenskapelige fenomener på en rent fenomenologisk måte uten matematikk. Vi har i dette heftet valgt å unngå matematisk beskrivelse, ikke fordi vi mener det er uviktig, men for å utforske mulighetene ved en slik fremstilling.

Så hvor skal man så begynne? Skal man begynne ...

- ... med de grunnleggende fysiske prinsipper som ladning, strøm og spenning,
- ... eller med anvendelse slik vi møter dem til daglig,
- ... eller ved å studere hvordan samfunnet vårt er totalt avhengig av elektrisitet?

I et undervisningsopplegg synes det fornuftig å ta utgangspunkt i det som er kjent for elevene, samtidig som man velger konkrete eksempler på gjenstander som både kan plukkes fra hverandre og er rimelig lett å forstå virkemåten til, samtidig som de gir anledning til å knytte virkemåten opp mot de fysiske prinsippene slik vi finner dem i kompetansemålene.

Både voksne og elever har et hverdagsspråk knyttet til elektrisitet. Dette kan noen ganger være et hinder for å forstå de virkelige prosessene. Vi “bruker strøm”, eller vi “forbruker energi”, selv om det er like mye strøm som kommer til oss gjennom den ene ledning som det som forlater oss gjennom den andre. Ved vekselstrøm vil knapt elektronene komme utenfor husveggen før de snur og kommer tilbake. Likeså kan ikke energi forsvinne, men bare omdannes til andre mindre anvendelige former (varme). Så dermed handler det om å gi elevene et nytt innhold i de gamle begrepene.

Språket blir således en viktig faktor for å gi begrepene et meningsfylt innhold uttrykt på en presis og effektiv måte. For å være istand til dette er det tradisjonelle hverdagsspråket delvis byttet ut med et fagspråk som i videste forstand også inkluderer symboler og matematiske uttrykk. Dette nye språket vil for elevene ofte være en ukjent verden som skaper avstand til fenomenene.

Knain og Kolstø uttrykker det så sterkt at *naturvitenskap er ikke å observere naturen, men å identifisere gjennom navnetting og gjennom å utvikle språklige og symbolske beskrivelser og forklaringer* (Knain, 2011, s. 166). Å beherske et fagområde handler dermed om å kunne bevege seg fritt mellom ulike representasjonsformer etter behov.



Knain og Kolstø foreslår å la elevene veksle mellom å bruke hverdagsspråk og fagspråk slik at ulike *representasjonsformer kan bygge bro mellom hverdagslivets erfaringer og språkverden på den ene siden, og fagets begreper og tenkemåter på den andre* (Knain, 2011, s. 197).

Det handler altså om å utvikle elevenes evne til å koble det de erfarer og observerer til naturfaglig teori. En begynnelse på en slik prosess er å oppmuntre elevene til å *formulere egne forklaringer*, for det de observerer, gjerne skriftlig og utover en ren beskrivelse av prosedyren (Knain, 2011, s. 172).

Veel (1997) omtaler tre ulike typer forklaringer:

- *Sekvensiell forklaring ...*
... viser hvordan et fenomen kan deles opp i sekvenser. Fordøyelsen nevnes som et typisk eksempel, hvor næringstoffene i maten kan følges fra blandingen med spytt i munnen til opp-taket i hver celle.
- *Kausal forklaring ...*
... fokuserer på årsakene til fenomenet som observeres, mao. hvordan fenomenet oppstår. Dette kan godt være abstrakte sammenhenger som ikke uten videre er mulig å se, men som krever en dypere forståelse av fenomenet.
- *Teoretiske forklaringer ...*
... som handler om å sannsynliggjøre en teori gjennom å vise til eksempler som styrker teorien.

Alle de tre typene forklaringer veksler mellom det konkrete fenomenet og bakenforliggende naturvitenskapelige teorier (Knain, 2011, s. 173–174).

På bakgrunn av omtalen foran kan det være lurt å begynne med å studere fysiske gjenstander som utnytter elektrisitet og som elevene har et forhold til gjennom daglig bruk.

1.3 En tilnærming til elektrisitetslæra ved henvisning til dagligdags hendelser

Dersom vi igjen holder elektronikken utenom, *hvilke situasjoner som har med elektrisitet å gjøre må elever forholde seg til i dagliglivet?* Kan vi på noen måte benytte disse for å motivere elever til å heve sin kompetanse innen elektrisitetslære ved at de opplever å lette hverdagslivet? Tross alt skal en av hovedhensiktene ved skolegang være å mestere dagliglivet. Hvorfor skal man da lære om *generatoren i kraftanlegget og induksjon som de færreste får noen nærkontakt med?*

Her er forslag til noen slike hverdagssituasjoner:

1. Hvilken lyspære skal man velge?



I de seneste årene er det blitt langt vanskeligere å kjøpe lyspærer. Før kunne man forholde seg til antall Watt og de fleste hadde da en forestilling om forholdet mellom antall Watt og lysstyrken. Dette ble noe forkludret på 60-tallet da lysstoffrør ble tatt i bruk, men stort sett gikk dette bra siden man forholdt seg til rørets lengde og ikke antall Watt.



På 2000-tallet kom ulike varianter av sparepærer som alle kunne settes i en vanlig sokkel for lyspærer (Edison-sokkel), dermed ble ikke effekt (Watt) noe godt mål for lysstyrken og man innførte Lumen som mål for lysstyrke, en enhet få hadde noe forhold til. Enda mer komplisert ble det når LED-pærene kom i stort utvalg og stor variasjon. Laveffekts pærer er jo en bra ting siden man kan redusere kostnadene til elektrisk energi. Likevel var det ikke noen entydig sammenheng mellom effektforbruket, antall Watt, og lysstyrken i Lumen. Dessuten er prisforskjellene mellom de ulike pærene store noe som også gjør at man må ta hensyn til levetid.

Vi må derfor forholde oss til en rekke parametere:

- Lysstyrke i Lumen for å vurdere graden av opplysning
- Effekten i Watt mht. å spare energi
- Levetid i timer for å kunne sammenligne priser
- Utforming (sokkel, lysfordeling) slik at den passer vår armatur
- Valg av spenning 12 V eller 230 V anlegg, vekselspenning eller likespenning.

Selv om ungdom vanligvis ikke gjør innkjøp av denne typen burde de kunne forstå problemstillingen og ev. motiveres av å skaffe seg oversikt over feltet. Følgende læringsutbytte bør være innen rekkevidde: Effekt, spenning, strømforbruk, lysstyrke, vekselspenning og likespenning, risiko ved 230 V anlegg (helsefare) og risiko ved lavspenningsanlegg (varmgang, brann), og virkningsgrad mht. å utnytte effekten maksimalt til lysformål. Her er det også en annen interessant problemstilling, nemlig om man skal sette pris på den varmen man får fra en lyspære eller anse det som "tapt" energi fordi det er energi som ikke bli til lys. Her kan man inkludere bruk av termostatstyrte ovner for oppvarming, hvilken årstid det er og om varmen er kjærkommen eller til plage.

2. Hvilken metode skal man velge for å varme opp vann?

På 60- og 70-tallet var det relativt enkelt å velge metode for å varme opp vann, det være seg kun vann, eller det var vann for å lage mat, koke poteter, lage te eller kaffe osv. senere ble det mer komplisert ved at man fikk mikrobølgeovner som egnet seg for rask oppvarming av mat, men også en kopp vann. Videre kom vannkokeren som viste seg å være meget effektiv mht. å utnytte energien til oppvarming av vannet.



Også mer tradisjonelle komfyrer har utviklet seg, fra tradisjonelle kokeplater med eller uten magasin, via ovner med ulike typer topper (keramisk), og etter hvert har vi fått induksjonsovner som skal være mer effektive, men som krever kjeler med spesiell bunn.

Tidligere brukte man også trykkokere for å koke mat, da man på denne måten oppnådde koking ved høyere temperatur og dermed kunne redusere tiden for tilberedning.

Selv om de fleste vil ha et noe ureflektert forhold til hvilken metode man bruker for koking av vann, så vil refleksjon rundt dette temaet berøre en hverdags situasjon de fleste er kjent med og på den måten skaper bevisstgjøring rundt problematikken samtidig som det bidrar til refleksjon over energibesparelse, lekkasje av energi og hva de ulike måtene til oppvarming innebærer.

Her vil begreper som strøm, effekt, energi, energiovergang, temperatur, varmekapasitet og induksjon være relevante begreper:

3. Hva er “strømforbruket” i boligen og hva koster det

Spør man en ungdomsskoleelevator hvor mye strøm man “bruker” hjemme, så vil man sannsynligvis få ingen eller mange forskjellige svar, da de færreste har begrep. For ikke lenge siden spurte man folk på gata hvor mye det kostet å lade mobiltelefonen gjennom et helt år. Om det kostet 3 kr., 30 kr. eller 300 kr. Bare 9% svarte riktig, ca. 3 kr. Dette gir sannsynligvis et relativt godt bilde av kunnskapsnivået på dette området blant folk flest og ungdomsskoleelevator spesielt.¹

En bevisstgjøring på dette området ville være særdeles nyttig. Hvor stor andel av strømregningen går med til oppvarming, belysning og elektronisk utstyr? I disse dager vil det dessuten være interessant å la elever reflektere over hva det koster å lade opp en elektrisk bil og dermed hvor utrolig energi-effektivt bensin og diesel er og hvor billig elektrisk energi faktisk er.



1. <https://www.tek.no/artikkel/i/xP71qp/saa-mye-koster-det-aa-lade-en-mobil-til-100-prosent-hver-eneste-dag-i-et>



i denne sammenheng er det også naturlig å reflektere over hvor det er mest å spare. Hva koster det f.eks. å ha TV-en stående på standby i ett år? På denne måten kan man dessuten anvende matematikk i naturfagtimen, hvilket vil være motiverende for å lære matematikk.

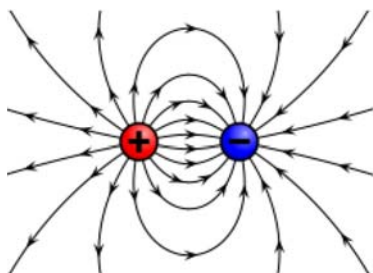
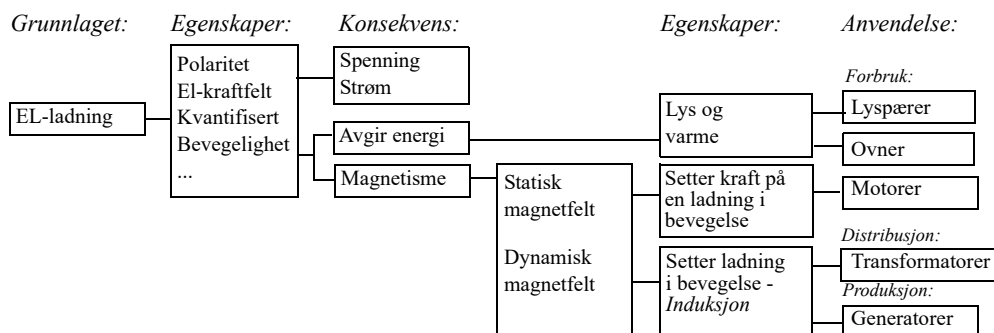
Noen snakker dessuten om å supplere vannenergien med vind- og solenergi. I så fall vil det være nyttig å studere forskjellen i effektivitet mellom de tre ulike kildene til fornybar energi.

Her vil begreper som strøm, effekt, energi, energiovergang og virkningsgrad være relevante begreper.

Til tross for resonnementet over har vi i dette heftet valgt å begynne ganske tradisjonelt med å bygge opp elektrisitetslære fra de grunnleggende fenomenene. La oss forsøke å lage en oversikt over hvordan de ulike fenomenene henger sammen og bygger på hverandre.

1.4 En oversikt – grunnlaget

Det hele begynner med atomet og hvordan dette er bygget opp. Som vi vet så er dette bygget opp av ulike elementærpartikler, etter hvert over 20 stykker hvorav kun tre er elektrisk nøytrale². Et atom som helhet er i utgangspunktet nøytralt, dvs. at den positive og den negative ladningen innen atomet utligner hverandre. Grunnlaget for elektrisitet er derfor *elektrisk ladning*. Det skal vise seg at alt som har med elektrisitetslære bygger på det faktum at det finnes to typer ladninger og egenskapene til disse ladningene. La oss forsøke å lage en oversikt:

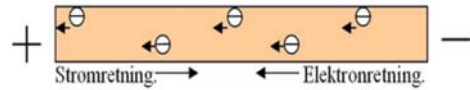


Viktige egenskaper ved elektrisk ladning er derfor at den har *polaritet*, pluss og minus. Hva dette egentlig er vet man lite om. I tillegg til polaritet er ladning *kvantifisert*, dvs. det finnes en minste verdi for ladning (*elementærladning*). Partikler

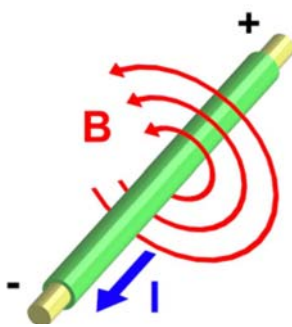
2. <https://no.wikipedia.org/wiki/Element%C3%A6rpartikkel>

med ladning kan enten sitte fast i en krystallstruktur som hos isolatorer, eller være bevegelige som elektroner i en elektrisk leder. En vet også at mellom ladninger av ulik polaritet oppstår det *kraftfelter*. *Ulike ladninger* vil tiltrekkes av hverandre, mens *like ladninger* vil frastøtes av hverandre.

Når ladning beveger seg oppstår en *elektrisk strøm*, antall elektriske ladninger som passerer ett tverrsnitt i en elektrisk leder måles i *Ampere*.



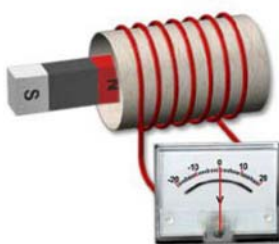
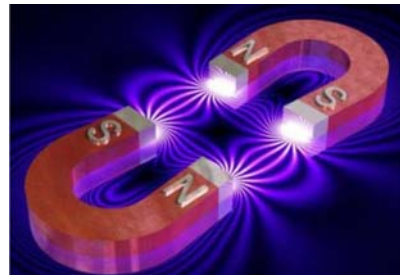
Ladningene drives fram av ladningsforskjeller. *Det elektriske kraftfeltet* er et uttrykk for ladningsforskjellen som driver ladningene gjennom ledningen. *Elektrisk spenning* er et uttrykk for det *arbeidet* (energien) som skal til for å flytte en elektrisk ladning mot feltretningen. På denne måte får elektrisk ladning tilført stillingsenergi, som senere kan brukes til å utføre et arbeid. Elektrisk spenning er et uttrykk for ladingers stillingsenergi og måles i *Volt*.



Når ladninger beveger seg vil det oppstå et *sirkulært magnetfelt* omkring ladningens bevegelsesretning. Dette fenomenet kalles *elektromagnetisme*. Opphavet til *permanente magneter* er sannsynligvis mikroskopiske bevegelser til elementærpartikler (spinn). Jern oppfattes å være magnetisk når alle disse små magnetene er rettet inn i samme retning.³

Alle magneter har to poler, en *nord-* og en *sørpol*. Mellom polene virker det krefter (*kraftfelter*). Like magneter tiltrekker hverandre, ulike frastøter hverandre⁴. Motorer utnytter disse kreftene ved at f.eks. elektromagneter samvirker med fastmagneter og skyver og drar *rotoren* rundt.

Når man skal lage roterende motorer, må man sørge for at de magnetiske kreftene stadig drar i samme retning. For at dette skal være mulig må man sørge for å snu polariteten på magnetene gjennom forløpet, dette er bare mulig ved at man *snur strømretningen i elektromagnetene* synkronisert med bevegelsen. Tradisjonelt gjøres dette med brytere styrt av rotasjonsbevegelsen, *kommutatorer*, eller elektronisk styring av pulser som f.eks. hos børsteløse motorer.



Når man beveger magneter i nærheten av elektriske ledere oppstår det ladningsforskyvninger i ledningen pga. de nevnte kreftene. Dette gir opphav til interne spenninger i ledningen som kan gi elektriske strømmer i *en sluttet krets*. Dette kalles *induksjon* og er grunnlaget for største delen av elektrisk energiproduksjon i verden. *Generatorer* er maskiner som omdanner mekanisk bevegelsesenergi til elektrisk energi ved hjelp av induksjon.⁵

3. Figuren er hentet fra: <https://no.wikipedia.org/wiki/Magnetfelt>

4. Figuren er hentet fra: <http://www.psy-online.tv/magnetisme-humain-sexuel-spirituel-hypnose/>



Transformatorer utnytter også induksjon til å transformere spenning opp til høyere spenninger og ned til lavere spenninger. Dette utnyttes ved distribusjon av elektrisk energi, men også for å tilpasse nettspenningen på 230 V til forbrukerelektronikk ved hjelp av *strømadaptore* og *ladere*.

I dette hefte vil vi utdype disse fenomenene ved hjelp av analogier, enkle eksperimenter og aktiviteter. Heftet gir også oppskrifter til hvordan enkelt elektrisk utstyr kan bygges.



5. Figuren er hentet fra: <http://sksk.no/fysim/induksjon1.htm>

2 En kvalitativ tilnærming til elektrisitetslæra

Vi vil i dette kapitlet forsøke å nærme oss noen sentrale begreper innen elektrisitetslæra ut fra ønsket om å gi elevene en kvalitativ forståelse før de blir konfrontert med det matematiske begrepsapparatet. Primært skal vi se på en enkel atommodell, elektriske ledere og isolatorer. Dessuten skal vi forsøke å lage forklaringsmodeller for spenning, strøm, effekt, energi og induksjon som er begreper elevene normalt har vanskelig for å forstå. Det er heller ikke sikkert at en dypere teoretisk forståelse bør være elevenes første møte med disse fenomenene. La oss starte med å skissere en meget enkel atommodell.

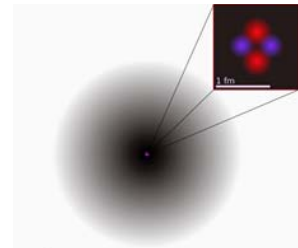
2.1 En atommodell

Kjennskap til en enkel atommodell er en forutsetning for å forstå elektrisk strøm. Det er imidlertid viktig å presisere at det bare dreier seg om en modell. Ingen har sett et atom, det er derfor ingen som kan si eksakt hvordan det ser ut eller er bygget opp. En har imidlertid laget seg modeller som i størst mulig grad harmonerer med den virkelighet som kan observeres ved hjelp av avansert måleutstyr.

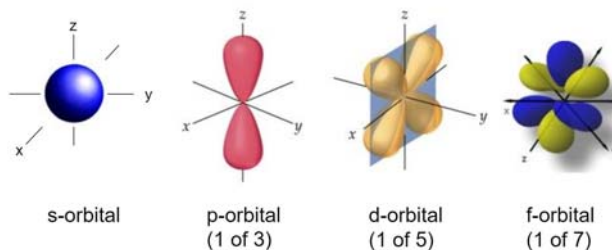
Alle atomer har en *kjerne* som i utgangspunktet består av to typer elementærpartikler, *protonene* som er positivt ladet og *nøytronene* som er uten ladning. Antall protoner i kjernen bestemmer hvilket grunnstoff vi har med å gjøre. I ulike avstander fra kjernen finner vi svermer av negativt ladede *elektroner*. Disse er ordnet i “skall” som ligger i forskjellig avstand fra kjernen. Et atom med like mange elektroner som det er protoner i kjernen, vil være *elektrisk nøytralt*.

Elektroner er svært små og har egenskaper som er svært forskjellig fra partikler vi kjenner fra dagliglivet. Et eksempel er at elektroner i stor grad oppfører seg som bølger. En tegning av et atom viser ofte elektronene som diffuse skyer knyttet til områder eller *orbitaler* med forskjellig form og avstand til kjernen. Orbitalenes form er egentlig en tredimensjonal fordelingsfunksjon som beskriver sannsynligheten for å treffe på et elektron i de ulike posisjonene i nærområdet til atomkjernen. Figur 2.2⁶ viser fire varianter av slike orbitaler, eller romlige sannsynlighetsfordelinger. Som vi ser så finnes det flere varianter av p-, d- og f-orbitalene.

Inntil videre vil vi i denne beskrivelsen se for oss at elektronene befinner i “skall” med en avstand til kjernen.



Figur 2.1
Enkel atommodell.



Figur 2.2 Et sett med orbitaler

6. <https://slideplayer.com/slide/14204839/>



Atomet kan motta energi, ved at ett eller flere av atomets elektroner flytter seg til et skall lengre fra kjernen. Elektronets avstand til kjernen er dermed et uttrykk for elektronets energitilstand. Elektronene kan imidlertid ikke ha en hvilken som helst avstand til kjernen. For at elektronet skal kunne flytte seg fra et skall til et annet lengre fra kjernen, må det få tilført en energimengde som tilsvarer forskjellen mellom to tillatte skallene.

Videre kan atomet *gi fra seg* energi ved at elektronene faller tilbake til et skall som er nærmere kjernen. Slik avgitt energi kan enten resultere i varmestråling eller lys som hos lysdioder eller annen stråling. Vi refererer ofte til elektronenes tillatte energitilstander.

Hos enkelte stoffer ligger de tillatte energinivåene så tett at de nesten opptrer som om de var kontinuerlig forbundet med hverandre. Når flere tillatte energinivåer ligger svært tett sier vi at de danner tillatte energibånd (en tett ansamling av energinivåer). Det ytterste energibåndet som er bundet til atomet kaller vi *valensbåndet*. Antallet elektroner i valensbåndet bestemmer atomets evne til å oppta og ev. avgi elektroner, og er derfor viktig for atomets evne til å binde seg til andre atomer.

Når elektroner i valensbåndet tilføres tilstrekkelig energi, hender det at de forlater atomet. Elektronene er da frigjort fra atomet og kan bevege seg fritt mellom atomene. Vi sier at de befinner seg i *ledningsbåndet*. Materialer som har frie elektriske ladninger er istand til å lede *elektrisk strøm*.

Når vi varmer opp stoffer tilføres atomene i stoffet bevegelsesenergi. Dette gjør at flere elektroner går over fra valensbåndet til ledningsbåndet. Jo mindre energiforskjellen er mellom valensbåndet og ledningsbåndet, jo flere elektroner vil befinne seg i ledningsbåndet.

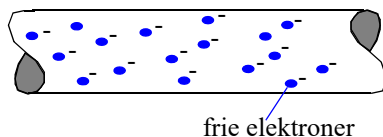
Hos *metaller* overlapper valensbåndet og ledningsbåndet. Dvs. det skal nesten ingen energi til for å føre elektroner opp i ledningsbåndet. Selv ved romtemperatur vil derfor mange elektroner i et metall befinne seg i ledningsbåndet og kunne bevege seg fritt i metallet.

Metaller er derfor gode *elektriske ledere*.

Hos metallene er dessuten atomene bundet til hverandre på en meget regelmessig måte, de danner *gitter* eller *krystallstrukturer*.

Hos *elektriske isolatorer*, som er meget dårlige elektriske ledere, vil elektronene være sterkt bundet til sine atomer, og det skal mye energi til for å føre dem fra valensbåndet til ledningsbåndet slik at de kan bevege seg fritt.

Hele elektrisitetstlære bygger på det faktum at atomet består av partikler *med positive og negative ladninger*. Hva ladningen egentlig er vet vi lite om, derimot vet vi mye om hvordan partikler med ulik ladning oppfører seg, dvs. hvilke lover som gjelder for elektriske ladninger. I det neste avsnittet skal vi se nærmere på noen av disse egenskapene.



Figur 2.4 En elektrisk leder er full av mer eller mindre frie elektroner.

2.2 Elektrisk ladning

I dette avsnittet skal vi se nærmere å hva elektrisitet egentlig er. Vi skal se at elektrisk *ladning* er den mest grunnleggende egenskapen ved elektrisitet og at elektrisk *strøm* og *spenning* er konsekvenser av at det finnes ladning.

2.2.1 Statisk elektrisitet

I en elektrisk leder vil de frie elektronene svirre rundt på en tilfeldig måte. Mellom ladningene vil det være **elektriske felter**⁷. Som vi tidligere har omtalt så finnes det to typer ladninger, de positive og de negative. **Like ladninger** danner felter som gjør at de frastøter hverandre, og **ulike ladninger** danner felter som gjør at ladningene tiltrekker hverandre. Elektronene, som alle har lik negativ elektrisk ladning, vil derfor frastøte hverandre. Dette hindrer dem i å klumpe seg sammen.

Dersom en gjenstand får overskudd av positive eller negative ladninger, sier vi at gjenstanden er *elektrisk ladet*. Siden dette i utgangspunktet ikke er ladninger i bevegelse, sier vi at gjenstanden er *statisk elektrisk ladd*.

La oss se på noen eksperimenter som viser egenskaper med elektriske ladninger:

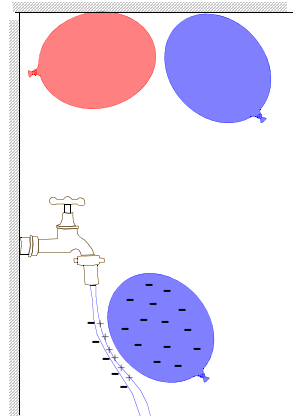
Eksperiment: 1 Elektrisk ladede ballonger I

Til dette eksperimentet trengs en eller flere ballonger og en tynn vannstråle.

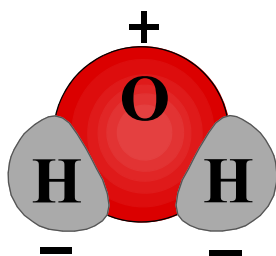
Ta ballongen å gni den mot håret eller en ullgenser i ca. 30 sek. Hold den mot taket og se om den blir hengende.

Hold ballongen i nærheten av en tynn vannstråle og se hva som skjer. Unngå at vannet berører ballongen.

Når vi gnir ballongen mot ulltrøya, vil noen av elektronene hoppe over på ballongen, slik at den blir negativt ladet. Ulike ladninger tiltrekker hverandre, mens like frastøter.



7. Feltbegrepet er abstrakt og vanskelig å forstå. Et *elektrisk felt* et område av rommet hvor det virker en kraft på elektriske ladninger. Et slikt felt har også en retning, dvs. kraften som virker på den elektriske ladningen virker i feltets retning. Tilsvarende har vi *tyngdefelt* og *magnetiske felt*. Tyngdefeltet oppstår rundt en hver masse og gjør at masser tiltrekkes av hverandre. Magnetfelter finner vi rundt magneter og virker på gjenstander som lar seg magnetisere som f.eks. jern.



Taket eller vannet er i utgangspunktet nøytrale, det vil si at det er like mange positive som negative ladninger. Vannmolekylene er polarisert i seg selv, ved at de to hydrogenatomene er bundet litt usymmetrisk til oksygenatomet. Denne skjevheten gjør at molekylene har én positiv og én negativ side, som vist på figuren over til høyre. Når den negative ballongen nærmer seg vann-

molekylene i strålen, vil de vende den positive siden mot den; vi sier at vannstrålen blir polarisert. Den positivt ladede siden av vannstrålen vil i sin tur bli tiltrukket av den negative ballongen, slik at den tynne vannstrålen bøyer seg mot ballongen.

At det også er noe som virker på avstand viser det neste eksperimentet med all mulig tydelighet.

Eksperiment: 2 Elektrisk ladede ballonger II

Til dette eksperimentet trengs en eller flere ballonger og noen papirbiter eller japansk ris.

Riv papiret i mange små biter på ca. 1 cm² og legg dem på bordet.

Ta ballongen å gni den mot håret eller en ullgenser i ca. 30 sek.



Senk ballongen ned mot bitene og se hva som skjer.

Papirbiter lar seg lett løfte fra bordet. Ballongen som gnies mot ull avgir elektroner og blir negativt ladd. Papirbitene er i utgangspunktet nøytrale og vil dermed "oppfattes" som positive i forhold til den negative ballongen som trekker bitene til seg. Det vil også skje en intern ladningsforskyvning i papirlappene slik at den siden som er nærmest ballongen blir mer positiv enn den delen som er langt fra ballongen.

Folie



Eksperimentet viser tydelig at kreftene på papirlappene virker på avstand og trenger ikke berøring for å virke. Det samme kan demonstreres enda tydeligere med en "Fly stick".

En høy spenning genereres i håndtaket på staven slik at papphylsa blir ladet. Når tynn plastfolie kommer i nærheten av den ladete staven kan vi få den til å sveve i lufta over den. Staven og plastfolien frastøter hverandre.



Det er verdt å merke seg at folien først må berøre staven for at den skal sveve. Dette skyldes at den må få samme ladning som staven før den kan sveve over staven – lik ladning frastøter. Vi legger også merke til at folien som består av flere tynne strimler vil folde seg ut hvilket skyldes at alle delene av folien har samme ladning og dermed vil de ulike delene av folien frastøtes av hverandre.

Så hvorfor blir noen stoffer positivt og andre negativt ladet?

Den tribo-elektriske serie⁸

Dette skyldes at noen stoffer gir lett slipp på sine elektroner, mens andre “suger” til seg elektroner (har høy *affinitet*). Under har vi listet opp ulike stoffer. De til venstre gir lettest fra seg elektroner, og de til høyre har størst affinitet til elektroner.

Tribo-elektrisk serie					
+	Tørre hender	Pels	Stål	Polyester	-
	Kaninskin	Lær	Tre	Styrofome	
Avgir lett	Glass	Silke	Rav	Vinyl	Mottar lett
elektroner	Menneskehår	Aluminium	Hard gummi	Silisium	elektroner
	Nylon	Papir	Nikkel, kobber	Teflon	
	Ull	Bomull	Gull, platina		

Når to stoffer langt fra hverandre i denne lista legges inntil hverandre, vil det ene stoffet dra elektroner fra det andre, slik at ladningsbalansen endres. Berøres ett av disse stoffene kan man risikere at det slår gnister over til hånda. Dette skjer vanligvis i tørt vær, for eksempel på tørre vinterdager. Fuktighet gjør at det skjer en kontinuerlig utlading. Man er derfor mindre plaget av statisk elektrisitet på våte dager.

Det er verdt å merke seg at det *ikke* handler om gnidning eller friksjon, men adhesjon (tiltrekning). *Statisk* elektrisitet er derfor betegnelsen for fenomenet. Jevne overflater vil overføre mer ladning siden den innbyrdes berøringsflata er større. Når vi gnir plastlokket mot håret, er det altså ikke for å skape friksjon, men for å øke overflaten slik at mer ladning kan forflytte seg.

Dersom vi ønsker å lage lange gnister på flere centimeter, kan vi bruke en Van de Graaff-generator.

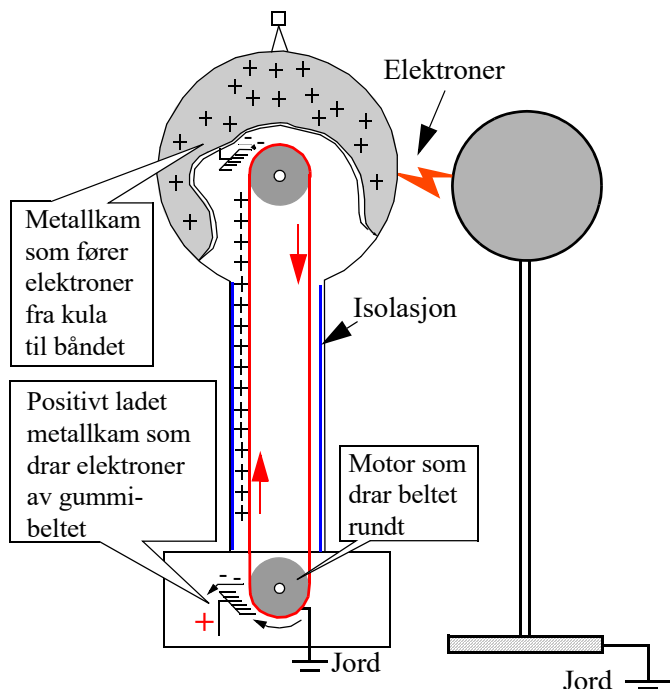
Van de Graaff-generatoren

Det var den amerikanske fysikeren **Robert Jemison Van de Graaff** (1901–1967) som i 1931 oppfant Van de Graaff-generatoren, hovedsakelig for å produsere statisk elektrisitet til sine forsøk. Store Van de Graaff-generatorer produserer spenninger helt opp til 20 millioner volt.

8. Se: <http://soft-matter.seas.harvard.edu/index.php/Tribocharge>

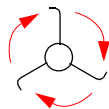


Et gummibånd går som et transportbånd over to tromler, en nederst og en øverst inne i kula. Ved foten av generatoren ligger en børste tett opp til båndet. Denne tilføres en høy positiv spenning. Den vil derfor trekke ut elektroner fra båndet, som blir positivt ladet etter at det har passert børsten. Inne i kula er det nok en metallbørste som er koblet til den store kula. Siden båndet er sterkt positivt ladet (har underskudd av elektroner), vil elektroner bli dratt fra den store kula via børsten og over til gummibåndet. Når ladingen på kula er tilstrekkelig stor, vil vi få en utlading til jord via den vesle kula som er jordet (se figur 2.5). Utladning fra kula kan også tenne et lysstoffrør.



Figur 2.5 Prinsippkisse av en van de Graaff-generator

I stedet for å sette en høy positiv spenning på den nederste kammen, kan en bruke tromler laget av stoffer som står fjernt fra hverandre i den tribo-elektriske rekken. Nederst kan en bruke en trommel av teflon, og øverst en av nylon. Gummibåndet vil ligge mellom disse to stoffene i den tribo-elektriske rekken. Båndet vil dermed tappes for elektroner ved den nederste trommelen, slik at det er positivt ladet når det er på vei opp. Ved den øverste trommelen tilføres elektroner til det positivt ladede båndet. Børstene er plassert tett inntil båndet uten å berøre det. På denne måten blir kula sterkt positivt ladet.



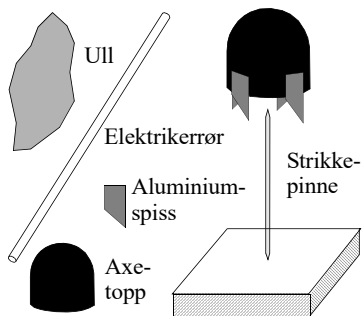
Dersom vi setter en spiss på toppen av kula og balanserer en rotor med tre krumbøyde spisser, vil denne begynne å rotere når kula lades opp. Rotoren vil alltid rotere slik at spissene peker bakover. Vi antar at dette skyldes at negative ladninger i lufta samler seg omkring spissene og lekker inn i spissen slik at kula lades ut. Denne bevegelsen av elektroner vil gi rotoren et puff som vist på figuren til venstre.

Nå er det ikke alle som har en van de Graaff-generator. Det går imidlertid an å lage en meget enkel utgave av en *elektrostatisk motor*.

Eksperiment: 3 Elektrostatisk motor

Til dette eksperimentet trengs dekslet til en deodorant, en spiss strikkepinne, aluminiumsfolie, en trekloss, et elektriskrør (ca. 50 cm) og en ullsokk.

Fil strikkepinnen spiss i den ene enden. Skråklipp fire aluminiumspisser, som vist på figuren til høyre. Klistre de fire spissene til deodorantdekslet, slik at de stikker nedfor kanten. Kutt strikkepinnen slik at den blir ca. 10 cm lang. Bor et hull i en trekloss og sett strikkepinnen ned i huller, slik at den står stødig (alternativt kan plastelina brukes). Plasser dekslet slik at det balanserer på spissen av strikkepinnen.



Gni elektriskrøret kraftig med ullsokken. La deretter røret nærme seg deodorantdekslets høyre side, mens du lar ullkluten nærme seg deodorantdekslets venstre side. Hverken røret eller ullkluten skal berøre dekslet eller aluminium-spissene. Hva skjer?



Lyn er elektrisk utladning fra skyer mot bakken eller mellom skyer. Lyn oppstår ikke først og fremst på grunn av gnidning, men ved at skyene og bakken, eller skyene innbyrdes, har ulik evne til å gi fra seg eller oppta elektroner.⁹

Før vi går videre la oss se hva som menes med *elektrisk felt*.





2.3 Elektrisk felt og elektrisk strøm

Som vi skal se så er det svært mange likhetstrekk mellom *elektriske felt*, *magnetiske felt* og *tyngdefelt*. Utgangspunktet for elektriske felter er ladingers tiltrekning eller frastøtning av hverandre som omtalt foran. Dette er en grunnleggende egenskap ved elektriske ladninger som i seg selv vanskelig lar seg forklare her.

Det er imidlertid ikke vanskelig å tenke seg en opphopning av negativ ladning, dvs. elektroner. En opphoping av positive ladninger kan vi tenke oss som fravær av elektroner. Når vi fjerner elektroner fra et stoff vil det naturlig nok bli overskudd av positivt ladninger som er knyttet til atomkjernen.

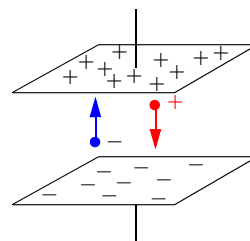
La oss tenke oss at vi har en metallplate med overskudd av negativ ladning (elektroner) og en annen metallplate med overskudd av positive ladninger. Disse er plassert et stykke fra hverandre som vist på figur 2.6.

Normalt vil det ikke gå noen strøm mellom platene siden de ikke er forbundet med noen elektrisk leder, og lufta mellom platene ikke er elektrisk ledende. Dersom et elektron likevel skulle forville seg inn mellom platene, vil elektronet bli tiltrukket av den positive plata og frastøtt av den negative. Med andre ord, elektronet vil bli påvirket av en *kraft* i rommet mellom platene forårsaket av at negative elektroner tiltrekkes av positive og frastøtes av negative ladninger. Uansett hvor elektronet befinner seg mellom platene, så vil det påvirkes av en kraft. Vi sier at det er et *kraftfelt* mellom platene. Dersom platene blir svært store vil kraften være den samme over alt uansett hvor elektronet befinner seg mellom platene, vi sier at kraftfeltet er *uniformt*.

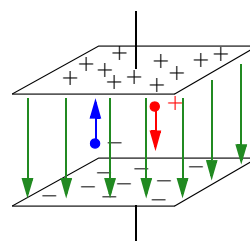
Siden dette handler om elektriske ladninger kaller vi feltet et *elektrisk felt*. Det er heller ikke vanskelig å tenke seg at det elektriske feltet vi her snakker om har en retning. Dvs. at kraften som påvirker elektronet alltid vil peke mot den positive plata.

Dersom en positiv ladning kommer inn mellom platene så vil den negativt ladde plata trekke på den positive ladningen. Siden ladningen til en positiv elementærpartikkel har samme verdi som den negative elementærpartikkelen, elektronet, vil krafta som trekker i den positive partikkelen være like sterk, men virke i motsatt retning som krafta som drar i den negative partikkelen.

Positiv feltretning defineres som den retningen til krafta som virker på en positiv ladning, dvs. fra pluss til minus som vist på figur 2.7.



Figur 2.6 Negative ladninger trekkes mot den positive plata, mens positive ladninger trekkes mot den negative plata.



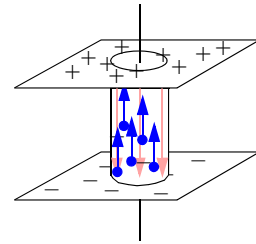
Figur 2.7 Mellom to ladete plater oppstår et uniformt kraftfelt

9. Bildet hentet fra SXC og er tatt av Ronny Beliën, Belgia, gjengitt med tilatelse.



Figur 2.8 Det var den engelske fysikeren og kjemikeren Michael Faraday (1791–1867) som innførte begrepet elektrisk felt.

Det er ikke vanskelig å tenke seg hva som skjer dersom vi forbinder den positive plata med den negative plata med en elektrisk leder. Elektronene på den negativt ladde plata vil bevege seg over til den positive plata, vi sier at det går en elektrisk strøm i ledningen som forbinder de to platene. Strømmen vil fortsette å gå til det har oppstått en likevekt, dvs. at begge platene har samme ladning. Det er altså ladningsforskjellen mellom de to platene som driver strømmen. Eller vi kan si at ladningsforskjellen lager et elektrisk felt inne i ledningen som gjør at elektronene dras mot den positive plata. Etter som ladningsforskjellen blir mindre, vil det elektriske feltet svekkes. Når ladningsforskjellen er null vil også feltet være null.

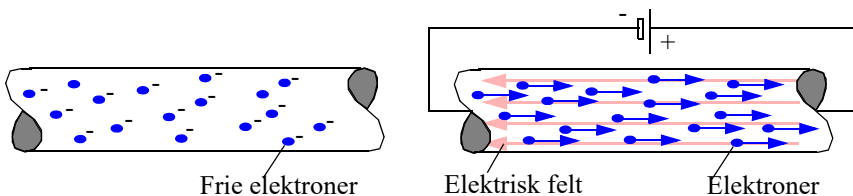


Figur 2.9 Forbinder vi de to platene med en elektrisk leder vil det flyte en strøm av elektroner fra den negative til den positive plata.

Dersom vi derimot klarer å opprettholde ladningsforskjellen mellom platene ved stadig å fylle på med nye elektroner på den negative plata og ta unna elektronene som kommer til den positive plata, så vil feltet og strømmen opprettholdes. For å få til dette trenger vi f.eks. et batteri.

La oss i forutsetningen se bort fra platene og kun betrakte ledningen.

Kobler vi et batteri over ledningen med de frie elektronene, vil de bevege seg mot den positive polen på batteriet. Dvs. i motsatt retning av det elektriske feltet siden de er negative. Batteriet vil sørge for at det stadig fylles på med negative ladninger slik at ubalansen opprettholdes og strømmen kan fortsette å flyte i ledningen.



Figur 2.10 Et metall har frie elektroner som vil bevege seg mot den positive polen på batteriet

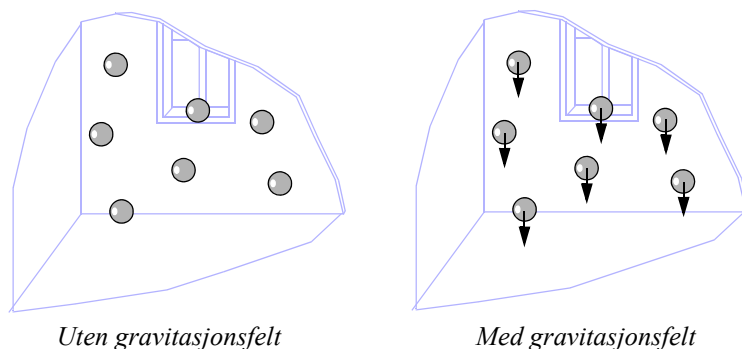
Analogi: 1 Analogi med tyngdefeltet

Det ikke vanskelig å se likhetstrekk mellom et elektriske felt og tyngdefeltet.



Vi kan tenke oss at vi befinner oss i et rom uten tyngdefelt og med en mengde bordtennisballer. Dersom vi slipper ballene vil de sveve rundt på måfå.

Gir vi rommet et tyngdefelt, vil alle ballene bevege seg i retning med feltet og falle mot gulvet. Dersom vi et øyeblikk



Figur 2.11 Rom med og uten gravitasjonsfelt.

tenker oss at ballene var uten masse (vekt), ville de fortsette å sveve til tross for tyngdefeltet.

Forutsetningene for at ballene skal falle til gulvet er derfor *at de både har en masse og at de befinner seg i et tyngdefelt.*

Tyngdefeltet skyldes at all masse tiltrekkes av hverandre. Tiltrekningskraften er proporsjonal med produktet av de to massene. Siden jorda er så stor vil vi oppleve at alle ting faller mot jorda.

Det er viktig å presisere for elevene at det ikke bare er batteriet som inneholder elektroner, men at ledningene er fulle av dem. Når så batteriet tilkobles, vil det elektrisk kraftfelt i ledningen gjøre at elektronene i metallet settes i en ordnet bevegelse mot batteriets positive pol. Det er også viktig å merke seg at feltet utbreder seg med lyshastigheten, men at gjennomsnittsfarten til elektronene bare er noen mm i sekundet.

Analogi: 2 Analogi med ertre i et rør

For å forklare at elektronene beveger seg langsomt mens feltet beveger seg med lysets hastighet er det ikke uvanlig å sammenligne en elektrisk leder med et rør fylt med ertre. Dytter vi inn en ert på venstre side, faller det umiddelbart ut en ert på høyre side (figur 2.12). Selv om gjennomsnittsfarten til ertene er liten, så vil bevegelsen fra venstre mot høyre forplante seg umiddelbart.



Figur 2.12 En elektrisk leder kan sammenlignes med et langt rør med

Dette er en god modell for å vise at til tross for at elektronene beveger seg langsomt så vil alle elektronene begynne å bevege seg samtidig. Imidlertid gir modellen inntrykk av at den raske forplantningen av bevegelsen forutsetter at elektronene dytter borti hverandre. Slik vil det imidlertid ikke forholde seg. Til tross for at elektronene ligger spredt ut over hele ledningen og befinner seg i god avstand fra hverandre så vil de starte å bevege seg samtidig når vi kobler til batteriet.

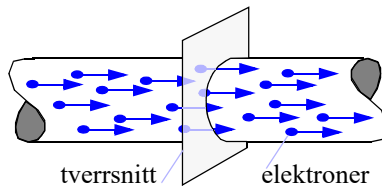
At det må være slik forstår vi dersom vi tenker oss en renne med kuler som ligger



spredt ut over i renna. Det er ikke vanskelig å forstå at alle kulene begynner å trille samtidig når vi forestiller oss at vi kan slå på tyngdefeltet. De er altså ikke avhengige av å dytte borti hverandre. Dette skyldes selvfølgelig at alle kulene samtidig vil påvirkes av tyngdefeltet, på samme måte som alle elektronene i en leder samtidig vil bli påvirket av det elektriske feltet som utbrer seg med en hastighet nær lyshastigheten.

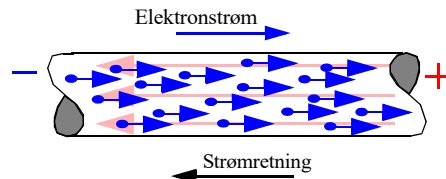
Strømstyrken gjennom en elektrisk leder er definert som:

Den totale ladning som passerer gjennom et tverrsnitt av lederen i løpet av ett sekund.



Figur 2.14 Strømstyrken er lik ladning pr. tidsenhet.

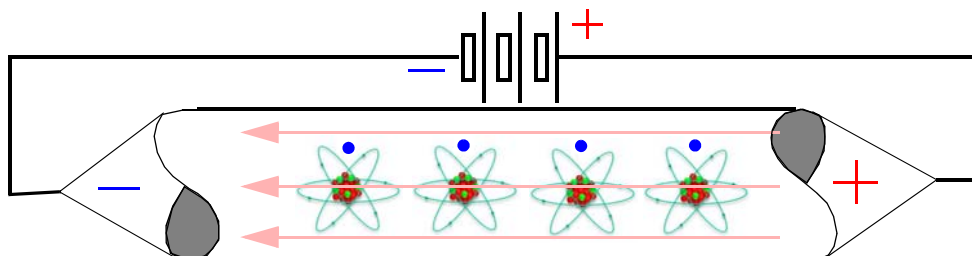
Mange elever synes det er ulogisk at elektronene beveger seg *en* vei, mens strømretningen er definert i motsatt retning. Dette skyldes at positiv strømretning er definert som den retningen positive ladninger vil bevege seg i et elektrisk felt.



Figur 2.15 A) Negative ladninger vil bevege seg fra minuspolen til plusspolen på batteriet.



Dersom vi et øyeblikk frigjør oss fra tanken om at ladningstransport må knyttes til massetransport, i dette tilfellet elektroner, så skal vi se at definisjonen av strømretning likevel kan framstå som logisk.



Figur 2.16 Når et fritt elektron forlater nærområdet til "sitt" atom, vil dette atomet framstå som positivt ladet, helt til elektronet erstattes av et annet fra et naboatom.

Vi tenker oss at alle atomene i ledere har sine frie elektroner i nærheten av sitt atom, dvs. at metallet i ledere er elektrisk nøytralt. Så setter vi på en elektrisk spenning over ledere. Dermed vil elektronene begynne å bevege seg mot den positive polen på batteriet. La oss se på prosessen i "langsom kino".

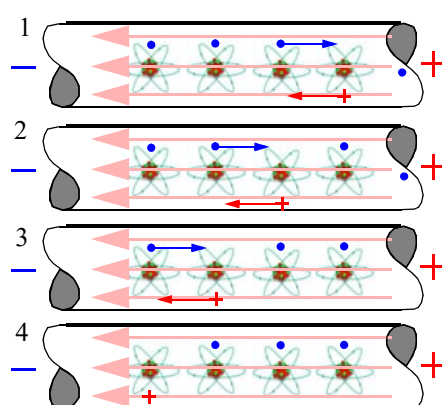
Vi tenker oss at ett av elektronene til atomet lengst til høyre forlater atomet "sitt" og beveger seg mot batteriets positive pol. Når dette skjer blir det gjenværende atomet positivt (1). Rett etter blir den "tomme" elektronplassen fylt opp av naboatomets elektron. Dermed er atomet på nytt nøytralt, mens den positive ladningen har flyttet seg til naboatomet (2).

På denne måten vil den negativt ladede elektronstrømmen flytte seg mot den positive polen på batteriet, mens den positivt ladede "hull"-strømmen vil flytte seg mot den negative polen på batteriet.

Man har da bestemt at strømretningen er den veien den positive ladningen forflytter seg.

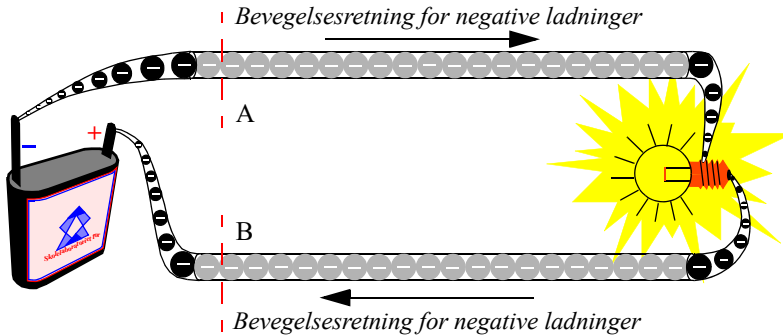
Det er derfor ikke bare av historiske årsaker og manglende kunnskaper at elektrisk strømretning fortsatt defineres motsatt av den retningen elektronene beveger seg. Det gir også mening.

Vi legger merke til at de negativt ladde elektronene beveger seg mot det elektriske feltet, mens den positive ladningen beveger seg med feltet. En kan utfordre elevene til å tenke etter hva som ville ha skjedd dersom en ball (se analogien på figur 2.19 side 31) hadde hatt *negativ* masse (f.eks. hadde veid -100 gram), hvilken vei ville den *da* ha falt i forhold til tyngdefeltet når den ble sluppet?



Figur 2.17 Strømretningen er definert som den veien positiv ladning forflytter seg.

La oss se på en kjent problemstilling i en elektrisk krets før vi går videre. I figur 2.18 ser vi en elektrisk krets med et batteri og en lyspære. Vi vet nå at lampen lyser fordi elektroner passerer gjennom glødetråden i lyspæren.



Figur 2.18 I en elektrisk krets avgir lyspæra energi i form av lys og varme, men hvordan kan elektronene avgi energi?

Vi vet også følgende at dersom vi ...

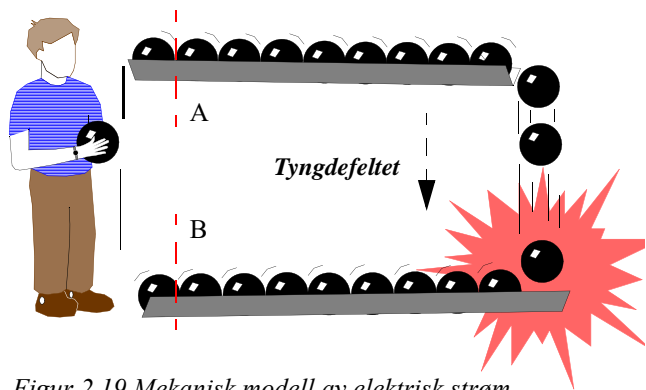
- ... måler antallet elektroner som passerer tverrsnittet av lederen ved punktene A og B, så finner vi at det er det samme i begge punktene.
- ... måler gjennomsnittsfarten til elektronene som passerer tverrsnittene av lederen ved punktene A og B, så vil vi finne at gjennomsnittsfarten er den samme i begge punktene.

Dvs. at elektronene har hverken forsvunnet eller tilsynelatende mistet fart når de har passert lyspæra. Så hvor hentes den utstrålte energien fra?

Analogi: 3 Analogi til elektroner i gravitasjonsfeltet

For virkelig å forstå hva det elektriske feltet betyr for ladningstransporten og den elektriske strømmen, skal vi igjen hente fram den mekaniske modellen (figur 2.19).

Vi tenker oss kuler som ruller langs en renne. I den øverste renna har kulene en viss stillingsenergi (evne til å utføre arbeid). Den slake helningen på renna får kulene til å rulle langsomt mot høyre. Når de kommer til enden av renna faller de utfra kanten samtidig som de akselereres. I fallet vil kulene utføre et arbeid enten ved at de treffer hindringer underveis, eller ved at de treffer den nederste renna. Energien frigjøres ved at det høres et smell og ved at treffpunktet kan bli deformert og oppvarmet.



Figur 2.19 Mekanisk modell av elektrisk strøm.



Så ruller kulene langsomt tilbake til gutten som løfter kulene opp i den øverste renna slik at de på nytt kan rulle ut mot høyre og utføre et arbeid. Gutten utfører et arbeid ved å tilføre kulene stillingsenergi.

La oss merke oss følgende:

- Antallet kuler pr. sekund som triller forbi i punkt A er lik antall kuler som triller forbi i punkt B (analogt med elektronene i eksempelet foran)
- Gjennomsnittshastigheten til kulene som passer punkt A og punkt B er den samme, så tilsynelatende har ikke hastigheten forandret seg fra punkt A til punkt B (analogt med elektronene i eksempelet foran)

Likevel har kulene utført et arbeid.

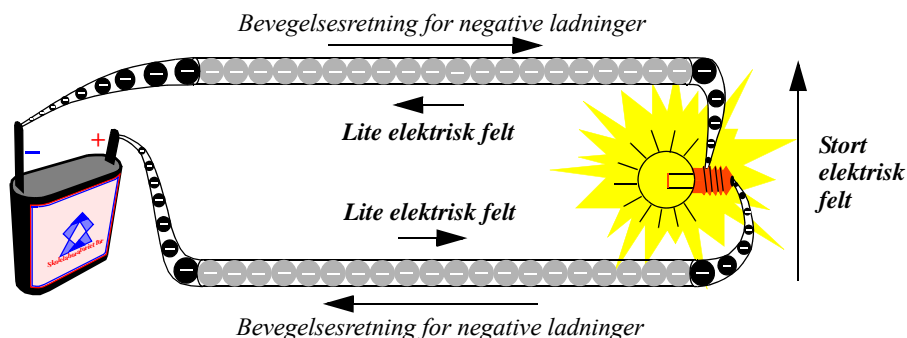
Ut fra denne analogien skjønner vi at kulene akselereres når de faller ut for kanten av renna, for så å bremses opp, og i oppbremsingen avgir de energi. Det er altså kulenes *stillingsenergi som gutten gir dem som i fallet omdannes til bevegelsesenergi*, og som igjen omdannes til varme, lyd og deformering i det de treffer på en hindring.

Vi kan også merke oss at:

- ... **uten tyngdefelt** vil ikke kulene rulle langs renna, og slett ikke falle utfor kanten. Kulene vil rett og slett ikke ha noen stillingsenergi, og kan derfor ikke utføre noe arbeid.
- ... **uten masse** vil ikke kulene ha noen “vekt” og kan ikke bli påvirket av tyngdefeltet. De vil ikke rulle langs renna og ikke falle utfor.

Vi kan altså slå fast at vi **både må ha et tyngdefelt og kuler med masse** for at energi skal kunne transporteres og frigjøres.

La oss så gå tilbake til elektronene som beveger seg i ledningen.



Figur 2.20 Elektriske ladede partikler “faller” i det elektriske feltet. I lyspæra akselereres elektronene dvs. de faller “langt” på kort tid og avgir mye energi.

På samme måte som gutten tilfører kulene stillingsenergi i tyngdefeltet, tilføres de ladede elektronene *stillingsenergi i det elektriske feltet* i batteriet. Når elektronene “faller” gjennom det elektriske feltet i lyspæra så omdannes elektronenes stillingsenergi til bevegelsesenergi. I lyspæra avgir de sin bevegelsesenergi i glødetråden som begynner å gløde pga. oppvarming. Dette skjer ved at elektronene bremses opp idet de støter sammen med atomer i glødetråden. At dette skjer nettopp i glødetråden og ikke i ledningen til og fra, skyldes at glødetråden er laget slik at den øver stor motstand mot elektronene, mens tilførselsledningene yter lite motstand, *dermed blir det aller meste av spenningen liggende over lyspæra og glødetråden, på samme måte som det aller meste av høydeforskjellen i den mekaniske modellen ligger ved enden av renna.*

På vei tilbake til batteriet har de mistet sin stillingsenergi og må få ny energi i batteriet. Her blir de “løftet” opp i det elektriske feltet og kan på nytt falle gjennom feltet og avgi energi. Batteriet tilfører elektronene energi ved å “løfte” dem opp til et høyere elektrisk potensiale, slik at de blir istand til å utføre et *elektrisk* arbeid.

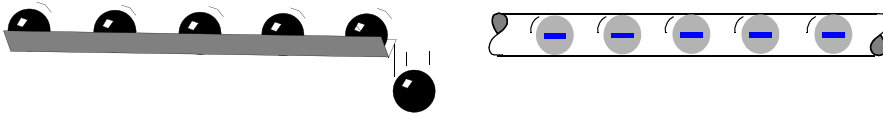
La oss igjen merke oss følgende:

- **Uten et elektrisk felt** vil ikke elektronene bevege seg langs ledningen, og slett ikke gå gjennom lyspæra. Elektronene vil rett og slett ikke ha noe stillingsenergi og kan derfor ikke utføre noe arbeid.
- **Uten ladning** vil ikke elektronene bli påvirket av det elektriske feltet, og de vil ikke bevege seg langs ledningen og ikke gå gjennom pæra.

Vi kan altså slå fast at vi **både må ha et elektrisk felt og elektroner med ladning** for at elektrisk energi skal kunne transporteres og frigjøres.

Vi skjønner også at strømmen av elektroner i begge ledningene er den samme, dvs. strømmen brukes ikke opp i lyspæra. På samme måte som kulene ikke forsvinner selv om de faller fra den øvre til den nedre renna.

Det er også hvert å merke seg at selv om kulene i renna ikke berører hverandre så vil de starte å rulle samtidig når tyngdefeltet “blir slått på”. Slik er det også med elektronene. Alle frie elektroner i ledningen vil begynne å bevege seg samtidig uten at de berører hverandre når spenningen blir slått på. Dette skyldes at både tyngdefeltet og det elektriske feltet utbreder seg med lysets hastighet og vil henholdsvis påvirke alle kuler og elektroner umiddelbart når feltene slås på.



Figur 2.21 Både kuler og elektroner vil begynne å bevege seg umiddelbart når feltene “slås på”, og er ikke avhengig av at de støter bort i hverandre.



Fra omtalen foran kan vi få inntrykk av at elektronene beveger seg pent og pyntelig på geledd langs ledningen, slik er det imidlertid ikke. På grunn av at ledningen har termisk energi (varme) vil elektronene virre rundt i alle retninger. Dette vil de fortsette med også når vi setter på det elektriske feltet. Feltet vil imidlertid medføre at elektronenes resulterende bevegelse blir i retning av batteriets positive pol.

2.4 Elektrisk spenning

Så langt har vi stort sett snakket om elektrisk ladning og elektrisk strøm. Dette er begreper det er mulig å forstå siden man snakker om en fysisk bevegelse av ladete partikler. For folk flest er derfor strøm det primære fenomenet knyttet elektrisitet. Vi snakker om at “strømmen er gått”, eller vi må “betale strømregningen”.

Det mest grunnleggende når det gjelder elektrisitet er imidlertid *ladningen* som er årsaken til *elektriske felt*, dernest er det *spenningen* som driver *strømmen* gjennom ledningen og til slutt *effekt* og *energi* som er det som anvendes rundt om i hjemmene. I denne sammenhengen blir den elektriske ladningen bærer av energien. Elektrisitet kalles derfor også for en *energibærer*. Det ville derfor vært riktigere si at “det er brudd i energitilførselen” eller vi må sørge for å få “betalt energiregningen”.

La oss et kort øyeblikk gå tilbake til vår mekaniske modell. Det er vel ingen tvil om at det koster arbeid å løfte kulene fra B til A. Størrelsen til dette arbeidet er avhengig av massen (m) til hver enkelt kule, hvor høyt (h) de skal løftes og hvor sterkt tyngdefeltet (g) er. Arbeidet (W) kan da uttrykkes slik:

$$W = m \cdot g \cdot h \quad (2.1)$$

Arbeidet pr. masseenheter kan da skrives som:

$$W/m = g \cdot h \quad (2.2)$$

Etter at kulene er løftet opp til den øverste renna er de *tilført stillingsenergi* som avgis når de faller utfor kanten av renna.

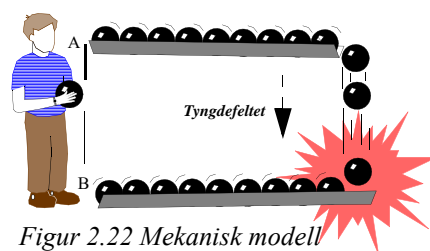
Bytter vi ut kulene med ladninger med ladning, Q , tyngdefeltet med det elektriske feltet, E , og høyden, med strekningen ladningen flyttes mot feltretningen, s , kan vi sette arbeidet som er tilført ladningen lik:

$$W = Q \cdot E \cdot s \quad (2.3)$$

Arbeidet pr. ladningsenhet kan da skrives som:

$$W/Q = E \cdot s \quad (2.4)$$

Som er det vi kalle spenning, U :



Figur 2.22 Mekanisk modell av elektrisk strøm.



$$W/Q = E \cdot s = U \quad (2.5)$$

Vi kan tenke på spenning som den stillingsenergien vi tilfører et elektron ved å “løfte” det gjennom det elektriske feltet en viss strekning, akkurat på samme måte som kula tilføres stillingsenergi når den løftes en høyde, h , i tyngdefeltet. Jo “høyere” ladningen “løftes”, jo høyere spenning og dess større arbeid kan ladningen utføre når den senere faller i feltet.

Det er heller ikke så vanskelig å forstå at to ladninger kan utføre dobbelt så stort arbeid som en ladning, på samme måte som to kuler kan utføre et dobbelt så stort arbeid som en kule. Vi vet at strømstyrken er et uttrykk for antallet ladninger som passerer et tverrsnitt av ledningen i sekundet. Dermed kan vi sette opp det totale arbeidet, P , som den elektriske strømmen, I , under påvirkning av spenningen, U , kan utføre pr. sekund lik:

$$P = U \cdot I \quad (2.6)$$

Hvor P kalles effekt og er *energi pr. sekund* (eller energi pr. tidsenhet). Ved å summere opp effekten over tid så får vi den totale energien E som kan uttrykkes slik dersom effekten er konstant over tiden, t :

$$E = U \cdot I \cdot t \quad (2.7)$$

hvor t er tiden i sekunder.

2.5 Elektrisk effekt og energi

Energi kan være et vanskelig begrep og blir ofte definert som:

Evne til å utføre et arbeid.

Vi har tidligere omtalt stillingsenergi og bevegelsesenergi. Effekt er også energi, men det er *energi pr. tidsenhet*, eller *energi pr. sekund*. Sammenhengen mellom energi og effekt blir da:

Energi = effekt \times tid

Elektrisk effekt kan uttrykkes som:

Elektrisk effekt = strøm \times spenning

Og elektrisk energi blir da naturlig nok:

Elektrisk energi = elektrisk effekt \times tid = strøm \times spenning \times tid

Definisjonen av elektrisk effekt kan virke litt overraskende. La oss forsøke å sannsynliggjøre dette i følgende analogi:



Analogi: 4

Analogi til elektrisk energi

Vi skal nå forsøke å sannsynliggjøre at elektrisk effekt kan skrives som produktet mellom strøm og spenning og tar utgangspunkt i at energi er evne til å utføre et arbeid, og effekt er energi pr. sekund. I denne sammenhengen så er det naturlig å ty til vannanalogien utformet som en foss, hvor elektrisk strøm (ladninger pr. sekund) kan sammenlignes med vannføringen i fossen (vannmolekyler pr. sek.), og spenning kan sammenlignes med fallhøyden til fossen.

Følgende resonnement er ganske intuitivt: Dersom vi skal omdanne energien i fossen til elektrisitet i en generator, så kan vi få *mye effekt* ut av en foss med *lav vannføring* (liten strøm) dersom den har *stor fallhøyde* (høy spenning). Eller vi kan få *mye effekt* ut av en foss med *lav fallhøyde* (lav spenning) bare *vannføringen er stor nok* (stor strøm). Dersom fossen har *både lav vannføring og lavt fall*, får vi *lite effekt* ut av den. På samme måte vil vi kunne få *svært mye effekt* ut av en foss med både *høy vannføring* og *stor fallhøyde*.

Denne analogien kan overføres direkte til elektrisk effekt og energi.

I regnestykket under kan resultatet (effekten) bli det samme enten med høy strøm og lav spenning, eller lav strøm og høy spenning siden effekten uttrykkes som produktet av strøm og spenning:

$$\text{Effekt} = \text{strøm} \times \text{spenning}$$



Foto: Nils Kr. Rossing
Figur 2.23 Storfossen i Humlavassdraget

2.6 Elektrisk ledningsevne og motstand

Motstander er hyppig brukt i både elektro og elektronikk og har mange ulike funksjoner som f.eks. å begrense strømmen i en krets (lysdiode), lage ulike spenningsnivåer slik at transistorer kan virke som de skal eller redusere signalnivået. For å redusere volumet i en lydforsterker kan man bruke motstander med variabel verdi.

2.6.1 Ledningsevnen til metaller

Mengden av frie ladninger i et materiale er med å bestemme materialets elektriske evne til å lede elektrisk strøm. Et materiale med mange frie ledningsbærere (gjerne elektroner) vil ha stor evne til å lede elektrisk strøm, vi sier at materialet har stor *ledningsevne* eller at det har liten elektrisk *motstand* eller *resistivitet*.

Den elektriske motstanden til en ledning av metall er proporsjonal med metallens ledningsevne, dvs. konsentrasjonen av frie ladninger, proporsjonal med lengden, og omvendt proporsjonal med tverrsnittsarealet av ledningen. Det betyr normalt at en tykk ledning har mindre motstand enn en tynn motstand.

Motstanden øker dessuten med temperaturen, noe som skyldes at ladningenes framkommelighet reduseres når bevegelse til metallatomene øker med temperaturen. Temperaturen til stoffer er i bunn og grunn bevegelse, økende temperatur er økende bevegelse. Når vi brenner oss så betyr det at atomer i overflata på den varme gjenstanden slår mot huden slik at det oppstår en skade dersom bevegelsen er kraftig nok.

Normalt ønsker vi at elektriske ledninger av metall skal ha så liten motstand som mulig. Andre ganger ønsker vi å lage en motstand med en helt spesiell motstandsverdi (resistans).

2.6.2 Motstander

En motstand er en elektrisk komponent med to bein som har en spesifisert motstandsverdi eller *resistans*. Slike kan være laget av staver av karbon (kull) som i større eller mindre grad er blandet opp med keramisk støv. Siden karbon leder strøm relativt godt og keramisk støv er isolerende, så vil motstandsverdien øke med økende andel keramisk støv og omvendt. Karbonmotstander er relativt ustabile og kan endre verdi med tiden. En har

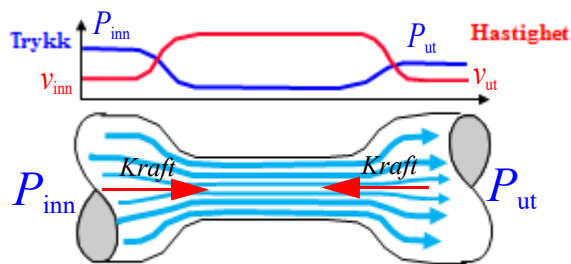


derfor i stadig større grad gått over til *metallfilmmotstander*. Disse består av en tynn film av f.eks. nikkel-krom som er dampet på en sylinder. Motstandsverdien i metallfilmen avhenger av tykkelsen og lengden av metallfilmen. Slike motstander er ofte mer stabile over tid og kan gjøres svært nøyaktige.

Analogi: 5

Motstandens analogi med vann gjennom innsnevret rør

Vi kan sammenligne en elektrisk motstand med en innsnevring av en vannførende rørledning. Vi kan se at en vannstrøm består av vannmolekyler som beveger seg gjennom røret. Mengden vann som passerer et tverrsnitt av røret pr. sekund, kan vi si er et uttrykk for størrelsen på



Vannstrøm m/innsnevring

Figur 2.24 Vannanalogi av elektrisk motstand

vannstrømmen. Dette er helt analogt med elektrisk strøm som er antall ladninger som passerer et tverrsnitt av ledningen pr. sekund.



Siden antall vannmolekyler som passerer et tverrsnitt av røret i gjennomsnitt må være det samme uansett hvor i røret vi måler, så må gjennomsnittsfarten til molekylene være lavere i de deler av røret som har stor diameter enn der hvor røret er innsnevret. Dette er vist med en rød kurve på figur 2.24.

For at farten til molekylene skal øke, så må de akselereres. Det er lett å forstå at akselerasjonen må skje der vannet møter innsnevringen. Vi vet også at vannmolekylene må utsettes for en kraft for at de skal akselereres. Da er det ikke vanskelig å tenke seg at denne kraften er et resultat av trykkendringer i vannet langs røret, og at vannet akselererer fra høyt mot lavt trykk. Dermed vil trykket i den smale delen av være lavere enn trykket i den tykke delen av røret, som kanskje er litt overraskende. Tilsvarende vil vannet når det kommer ut av innsnevringen måtte bremses opp. For at dette skal være mulig må det virke en kraft motsatt vei som bremser vannmolekylene der røret utvides.

For at vannet skal bevege seg gjennom røret inkludert innsnevringen, så må trykket P_{inn} være større enn trykket P_{ut} . Vi kan si at det er en trykkforskjell over innsnevringen.

Det er heller ikke urimelig å anta at den totale vannstrømmen gjennom røret vil påvirkes av innsnevringen. Siden den er der, så vil totalstrømmen bli noe mindre enn om den ikke hadde vært der. Skulle vi ha oppnådd like stor vannstrøm med innsnevring som uten, så måtte vi ha økt trykket fra kilden (springen).

Dette er helt ekvivalent med elektrisk strøm. Her bytter vi ut vannmolekylene med ladning og trykket med elektrisk spenning (U). Strømmen (I) blir lik antall ladninger som passerer et tverrsnitt av en ledning pr. sekund. For at ladningene skal akselereres gjennom motstanden så må det være en spenningsforskjell over motstanden.

I det neste avsnittet skal vi se nærmere på hvordan strømmen fordeler seg i kretser som har flere greiner, Ohms og Kirchhoffs lover.

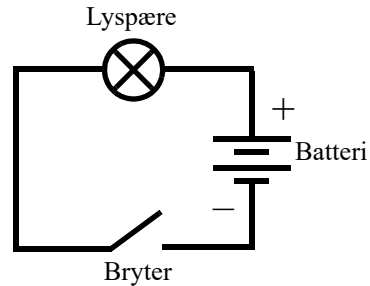
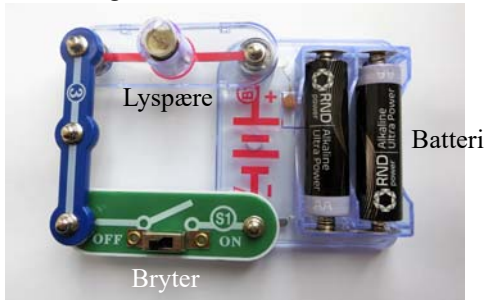
2.7 Grunnleggende kretser

Ulike kretselementer som batterier, lyspærer, brytere, motstander, LED osv. kan kobles sammen på utallige måter og det skal ikke mye til før kretsen blir så komplisert at det er vanskelig å forstå hvordan strømmene går. I dette avsnittet skal vi se på de mest grunnleggende oppkoblingene og hvilke lover som gjelder for slike.

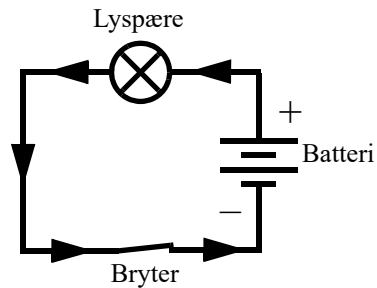
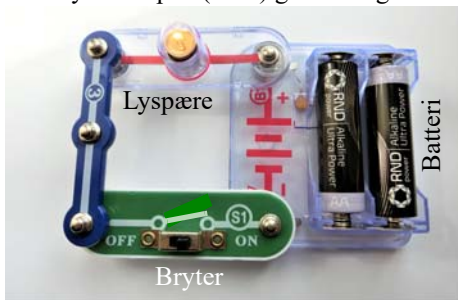
2.7.1 Sluttet krets

Den elektrisk strømmen i kretsen på figuren under går fra batteriets positive pol gjennom bryteren, lyspæra og tilbake til batteriet. Til venstre har vi koblet opp kretsen med elementer fra Snap Circuit og til høyre ser vi den samme kretsen tegnet med symboler, vi kaller dette et *koblings-skjema*. Når vi kjenner betydningen av symbolene så er et koblings-skjema mer oversiktlig og

lettere å tolke. Batterier eller lyspærer kan se ganske forskjellige ut i virkeligheten, men siden ulike typer batterier eller lyspærer tegnes med de samme symbolene så blir kretsskjemaene ganske enhetlige.



Med bryteren åpen (OFF) går det ingen strøm i kretsen og lyspæra lyser ikke.



Med bryteren er lukket (ON) går det strøm i kretsen og lyspæra lyser, *kretsen er sluttet*, og det går en strøm fra batteriets positive pol (+) tilbake til batteriets negative pol. Uten denne ubrutte tilbakeveien vil det ikke gå noen strøm i kretsen.

Refleksjon: Et nærliggende spørsmål er *hvorfor må kretsen være sluttet for at det skal gå strøm?*

Diskusjon: En forutsetning for at det skal gå strøm i ledningen er at det er frie ladninger. Skapes det et brudd i ledningen så oppstår et område med få eller ingen frie ladningsbærere, slik det er i luftgapet mellom polene i den åpne bryteren. Uten ladningsbærere ingen elektrisk strøm.

En ofte brukt analogi for å gi elever forståelse for sluttet krets er *tauanalogien*.

Analogi: 6

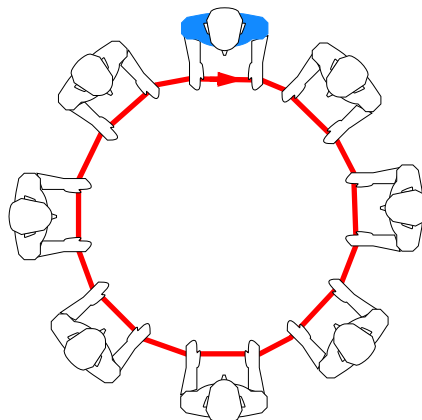
Tauanalogien for elektrisk strøm og spenning



Tauanalogien er egnet for å vise egenskaper med sluttet krets og sammenhengen mellom strøm og energi. Den egner seg imidlertid dårlig til å illustrere forgreininger.

Elevene står i en ring og holder løst om et tau hvor endene er knyttet sammen slik at det dannes en sammenhengende ring. Tauet skal gli lett gjennom svakt knyttede hender. Tauet illustrerer strømmen i en sluttet krets.

Læreren eller en av elevene (blå skjorte på figur 2.25), er “batteriet” og skal sørge for at “strømmen” sirkulerer rundt i kretsen. Elevene legger merke til at snora beveger seg samtidig og med like stor hastighet, i alle deler av kretsen. Akkurat like mye snor som forlater “batteriet” kommer tilbake, ingen ting hoper seg opp noen plass i kretsen. Dette tilsvarer at strømmen er den samme overalt (Kirchhoffs strømlov).



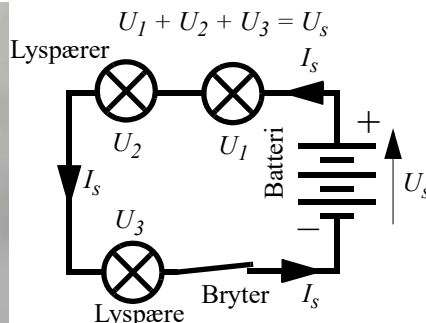
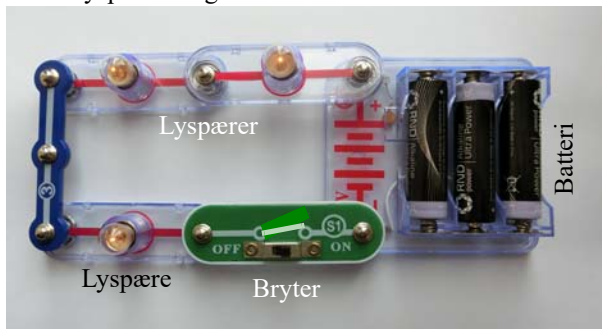
Figur 2.25 Tauanalogien

Det er batteriet som driver strømmen gjennom kretsen. Dersom elevene holder hardere i tauet så vil “batteriet” måtte bruke mer kraft (høyere spenning) for å opprettholde den samme “strømstyrken” (farten på tauet). Dersom kraften holdes konstant vil tauet gå langsommere (større motstand gir mindre strøm). Elevene som holder hardere om snora vil kjenne at de blir varme i hendene, dvs. det avgis varme.

Analogien egner seg godt til å illustrere at strømmen er den samme overalt i kretsen og at strømmen (tauet) ikke blir brukt opp på sin vei gjennom kretsen. De skjønner også at energi må tilføres av batteriet og blir avgitt hos det enkelte kretselementet (elevene) og at dette taper batteriet for energi (“batterieleven” blir sliten). De skjønner også at strømmen begynner å gå samtidig i alle delene av kretsen når “strømmen” slås på (Angell et al., 2019).

2.7.2 Serie- og parallellkoblede kretser

I kretsen under har vi koblet tre lyspærer og tre batterier etter hverandre. Vi sier at vi har *serie-koblet* lyspærene og batteriene.

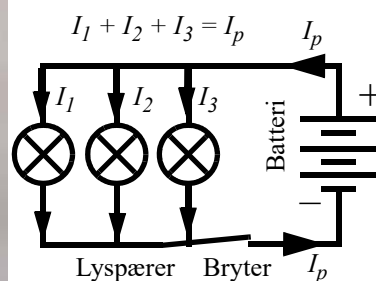
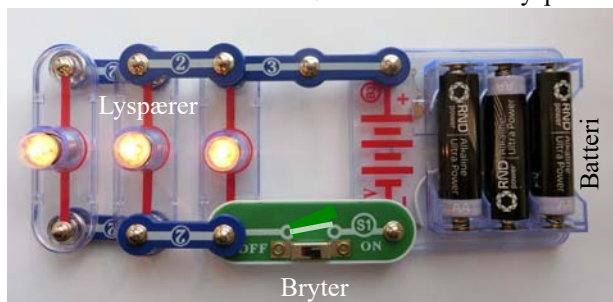


I en seriekobling vil den samme strømstyrken (I_s) passere gjennom alle lyspærene. Det samme gjelder for bryteren og batteriene. Av bildet over kan vi også skimte at lyspærene lyser med den samme lysstyrken, hvilket indikerer at strømstyrken i samtlige pærer er den samme. Spenningen til batteriet vil imidlertid fordele seg over hver av lyspærene slik at summen av spenningen ($U_1 + U_2 + U_3$) er lik spenningen til batteriet (U_s) (Kirchhoffs spenningslov).

Refleksjon: Hvordan kan strømstyrken være den samme når strømmen har avgitt energi på sin vei gjennom kretsen?

Diskusjon: På samme måte som elv renner utfor en foss og kan utføre et arbeid ved å drive et kvernhjul eller en elektrisk generator, så faller elektronene gjennom lyspærene og utfører et arbeid og lager lys. På samme måten som vannmengden og vannhastigheten er den samme på oversiden som på nedsiden av fossen, er strømstyrken den samme før og etter lyspæra. Men både vannet og elektronene har mistet energi i fallet, stillingsenergien er blitt mindre.

Figuren under viser en *parallellkobling* av tre lyspærer. Dersom lyspærene er helt like så vil strømmen fra batteriet fordele seg med like mye for hver pære. Strømmen (I_p) ut og inn av batteriet vil være lik summen av strømmene i hver av lyspærene ($I_1 + I_2 + I_3$) (Kirchhoffs strømlov).



Refleksjon: Vi legger merke til lysstyrken på lyspærene i parallellkoblingen er mye sterkere enn lysstyrken hos pærene i seriekoblingen, til tross for at lyspærene og batteriene er de samme.



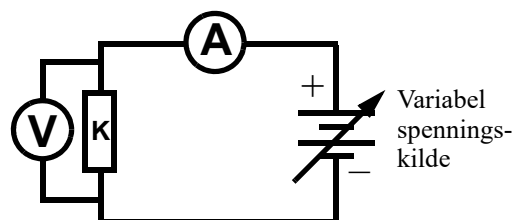
Diskusjon: Siden lysstyrken er større i parallellkoblingen så kan vi anta at strømmen gjennom hver lyspære er større enn hos seriekoblingen. Hvorfor er strømstyrken i parallellkoblingen større enn i seriekoblingen.

For å kunne svare på det må vi se på *Ohms lov*.

2.7.3 Ohms lov

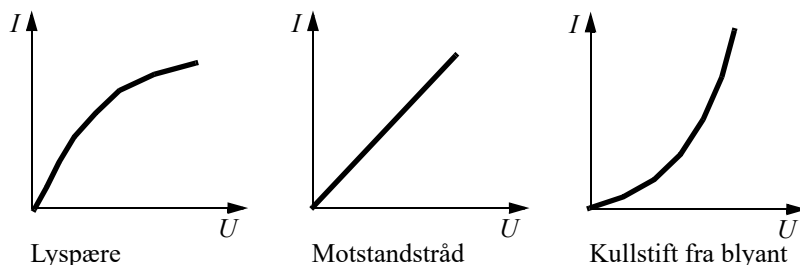
I figuren til høyre har vi vist en enkel sluttet krets med et batteri der vi kan variere spenningen. Vi har en komponent med en motstand (K) og måleinstrumenter for måling av strøm (A) og spenning (V).

Vi kan tenke oss at vi kan bytte ut, komponenten, med ulike materialer som f.eks. en lyspære, en motstandstråd (konstantan) og en blyant (dvs. kullstiften i sentrum av blyanten).



Figur 2.26 Kretse for karakterisering av kompo-

nen. Vi ønsker å finne ut om strømmen gjennom komponenten endres når vi endrer spenningen. Målinger viser at sammenhengen er forskjellig avhengig av hvilket materiale K består av.



Figur 2.27 Måling av strøm som funksjon av spenningen over ulike materialer, en lyspære, en motstandstråd og kullstiften i en blyant.

Som vi ser av figur 2.27 så er sammenhengen mellom strøm og spenning ganske forskjellige for de tre materialene vi har valgt å måle på. For lyspæra avtar økningen i strømstyrke når spenningen blir høy nok, dvs. at forholdet U/I øker når U øker, som betyr at motstanden i glødetråden øker etter som den blir varm. Motstandstråden derimot er ganske lineær, dvs. at forholdet U/I er konstant. Mens hos grafitten i blyanten øker strømmen mer etter som spenningen øker, dvs. forholdet U/I avtar med økende spenning, som betyr at motstanden i grafitten avtar når strømmen øker, hvilket sikkert også skyldes at materialet oppvarmes. Vi kaller slike kurver for U - I -karakteristikken for de ulike materialene (Grimenes et al., 2011, side 506).

Den tyske fysikeren og matematikeren **Georg Simon Ohm** (1789 – 1854) undersøkte slike U - I -karakteristikker for ulike materialer på 1820-tallet og fant flere materialer hvor sammenhengen var lineær. dvs. at U/I var konstant.



For de materialene der forholdet mellom spenningen U over materialprøven og strømmen I gjennom materialprøven er konstant, så kan vi formulere følgende lov:

$$U = R \cdot I \quad (2.8)$$

Loven kalles **Ohms lov** etter Georg S. Ohm som arbeidet med denne sammenhengen, og hvor R er en materialkonstant som kalles materialets *resistans*. Det er ikke selv ligningen som er Ohms lov, men det at det er et konstant forhold mellom strøm og spenning. Er dette tilfelle, så sier vi at materialet følger Ohms lov.

Mye av stoffet i dette avsnittet er hentet fra Grimenes et. al. (2011).

Refleksjon: Så hvorfor er strømstyrken i parallellkoblingen av lyspærer større enn i seriekoblingen?

Diskusjon: I parallellkoblingen så står hele batterispenningen over hver lyspære, mens i seriekoblingen så fordeles batterispenningen seg over de tre lyspærene. Lavere spenning gir mindre strøm i følge Ohms lov, og mindre strøm gir mindre lys. Vi antar at motstanden i hver av pærene er den samme i begge tilfellene selv om vi vet at dette ikke er helt riktig som vi har diskutert foran. Uansett vil endringen i resistans på grunn av oppvarming være mindre enn konsekvensene av serie- og parallellkobling av lyspærer.

2.7.4 Serie- og parallellkobling av motstander

Her er det på sin plass å nevne at den *totale resistansen* som batteriet “ser” i kretsen er bestemt av hvordan lyspærene er koblet opp. Kobler vi tre pærer i parallell så er det som om vi i en vannledning koblet tre vannkraner i parallell. Åpner vi alle tre kranene så strømmer det tre ganger så mye vann ut gjennom rørene. På samme måte vil det gå tre ganger så mye strøm i den elektriske kretsen dersom vi har tre pærer i parallell. Kretsens resistans er en tredjedel i forhold til hva den ville ha vært dersom bare en pære satt i kretsen.

I en seriekobling av lyspærer vil imidlertid strømmen i kretsen bli en tredjedel av strømmen i forhold til om vi bare hadde en pære.

Analogien med vannkraner kommer imidlertid til kort ved en slik seriekobling av lyspærer, da vannstrømmen neppe ville blitt reduserte til en tredjedel dersom vi koblet tre kraner etter hverandre og skrudde opp alle tre. Dette er et av mange eksempler på at analogier har sine begrensninger.

Her må vi se på spenningen. I en seriekobling fordeles spenning fra batteriet likt over de tre pærene. Dvs. at spenningen over hver pære er en tredjedel av den vi hadde over hver pære i parallellkoblingen. En tredjedels spenning gir en tredjedels strøm når resistansen i pæra er den samme. Siden strømmen skal være den samme i et hvert tverrsnitt av kretsen så vil strømmen i kretsen bli en tredjedel.

Vi konkluderer med:

Parallellkobling av n antall like lyspærer (motstander) gjør at strømmen blir $1/n$ av hva strømmen blir med en lyspære.



Seriekobling av n antall like lyspærer (motstander) gjør at spenningen over hver lyspære blir $1/n$ spenningen over hva den ville ha blitt med en lyspære. Dermed vil også strømmen i en slik seriekobling bli $1/n$ i forhold til hva strømmen ville ha vært i en lyspære.

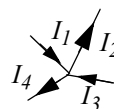
Vi er da klare for å se på viktige lover som oppsummerer det vi alt har sett, Kirchhoffs to lover.

2.7.5 Kirchhoffs lover

Sammen med Ohms lov er **Kirchhoffs lover** de viktigste lovene som gjelder for elektriske og elektroniske kretser. Disse lovene hjelper oss å forstå hvordan strøm og spenning *fordeler* seg i en krets.

Kirchhoffs første lov (også kalt Kirchhoffs strømlov):

Konsekvensen av denne loven er kort og godt at der hvor ledninger møtes i et knutepunkt der må summen av strømmene inn mot knutepunktet være lik strømmene ut fra knutepunktet.

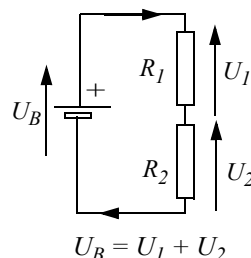


Noen ledninger fører strøm inn mot knutepunktet, andre leder strøm bort fra knutepunktet. Summen av de som leder strøm bort fra punktet må være like de som leder strøm inn mot knutepunktet. Dette betyr at strøm ikke kan forsvinne eller dukke opp i et knutepunkt, heller ikke hope seg opp i knutepunktet.

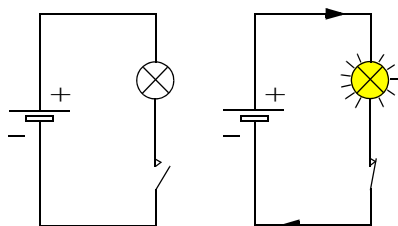
Kirchhoffs andre lov (også kalt Kirchhoffs spenningslov):

En av de viktigste konsekvensene av Kirchhoffs andre lov er at om vi summerer potensialforskjellene (spenningen) langs en sluttet krets så vil summen bli lik null.

I eksempelet i figur 2.28, ser vi at batterispenningen U_B blir liggende over de to resistorene R_1 og R_2 , slik at summen av spenningene U_1 og U_2 blir lik batterispenningen U_B .



Figur 2.28 Kirchhoffs andre lov.



Figur 2.29 En krets må være sluttet for at det skal gå strøm.

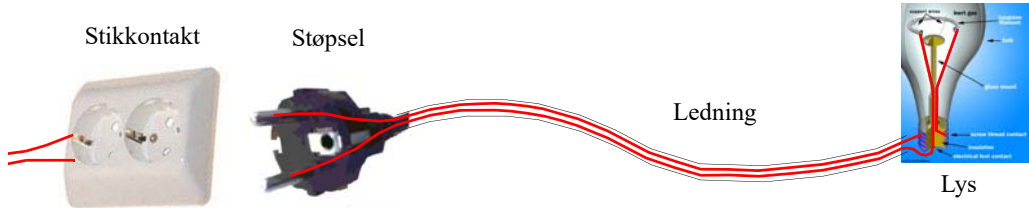
Disse lovene har en viktig konsekvens: Nemlig at det *kun kan gå strøm i en sluttet krets*. Med sluttet krets mener vi at strømmen *både* må ha en ubrutt vei fra den ene polen på batteriet fram til lampen, og en returvei tilbake til den andre polen på batteriet.

Selv om dette synes opplagt, så er det ikke selvsagt at elevene skjønner det med en gang. Som vi tidligere har omtalt kan det være forvirrende at det bare går en synlig ledning fra stikkontakten til lampen.

Stikkontakten er den delen som vanligvis sitter fast i veggen, mens støpselet er det som henger på ledningen og stikkes stikkontakten i veggen. Ved å studere et støpsele så ser en at det har to ledninger. Den ene fører strømmen inn til apparatet og den



andre fører strømmen tilbake til generatoren for å få en *sluttet krets*. Dette blir imidlertid noe mer komplisert siden stikkontakter vanligvis leverer *vekselspenninger*.



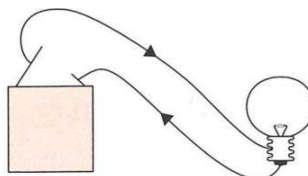


3 Misoppfatninger og “dialogisk undervisning”

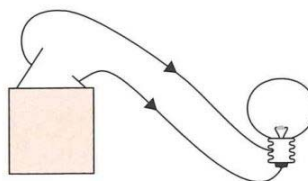
3.1 Vanlige misoppfatninger om elektrisitet

Før vi går videre kan det være greit å se nærmere på en del vanlige misoppfatninger om elektrisitet. Oppgaven i figuren under er hentet fra The Second International Science Study (SISS) (Sjøberg, 1986) og gir et godt bilde av hvilke forestillinger elever har når det gjelder elektrisk strøm.

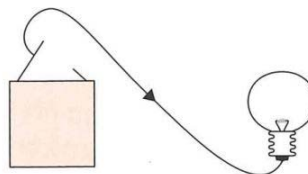
- A Strømmen går inn i lampen gjennom den ene ledningen. Den får glødetråden til å lyse, og like mye strøm går tilbake til batteriet gjennom den andre ledningen.



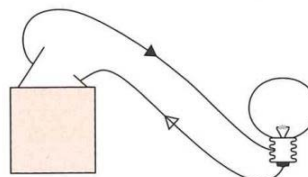
- B Det går strøm til lampen gjennom begge ledninger. Strømmen møtes i glødetråden og får den til å lyse.



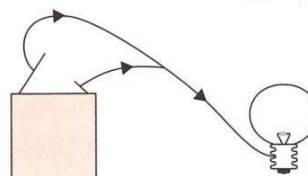
- C Det går strøm til lampen fra en av polene på batteriet. Strømmen får glødetråden til å lyse.



- D Strøm går inn i lampen gjennom den ene ledningen. Strømmen får glødetråden til å lyse. Det som er igjen av strøm, går tilbake til batteriet.



- E Strøm fra begge polene på batteriet samles og går inn i lampen. Strømmen får glødetråden til å lyse.



Disse oppgavene illustrerer hver for seg ulike måter å forestille seg hvordan det blir lys i en lyspære. Det viser seg at blant norske elever i ungdomsskolen så er alternativ B, “kollisjonsmodellen” populær. Likeså alternativ D, “strømforbruksmodellen” og alternativ E som er en variant av “entrådsmodellen”, også kalt “modell uten returstrøm”, vist under alternativ C, populære.

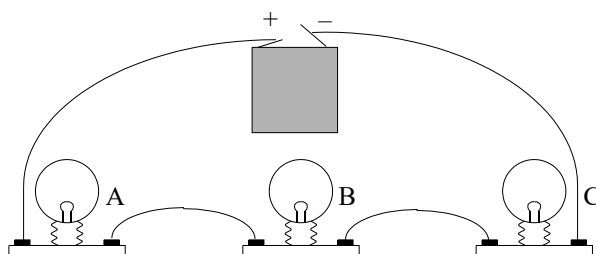


At mange heller til *strømforbruksmodellen* er kanskje ikke så rart, siden lampen avgir lys og varme så må jo energien tas fra *noe* hos strømmen slik at det blir mindre igjen av dette *noe*. Som vi skal se så kjenner vi igjen denne forestillingen når elever skal forklare hva som skjer i elektriske kretser.

Det er også forståelig at mange tyr til *en-trådsmodellene* ut fra ren observasjon, det går jo normalt bare en ledning fra stikkkontakten og fram til lampen eller det elektriske apparatet. De færreste har åpnet en ledning og sett at den ofte består av to eller tre ledninger (to strømførende ledninger pluss jord).

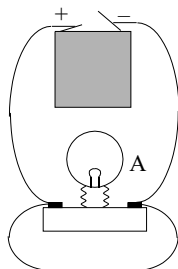
Bruken av *kollisjonsmodellen* er noe mer komplisert å forstå, men det kan være en logisk konsekvens av at noen har fått med seg at det trengs to ledninger fram til en lyspære for at det skal bli lys, og hva er vel mer logisk enn at strømmen i de to strømmene møtes i pæra og gir lys. En konsekvens av dette kan være at pære B lyser sterkere enn pære A og C i figur 3.1.

En konsekvens av strømforbruksmodellen er at den første lampen (A) i en seriekobling lyser mer enn de neste som kommer senere langs strømveien. En antar da at strømmen i dette tilfellet går fra + til -. For de som tenker elektronstrøm kan en lett ende opp med at C lyser sterkere enn B og A. Det som ev. skulle bli til overs av strøm går så tilbake til batteriet

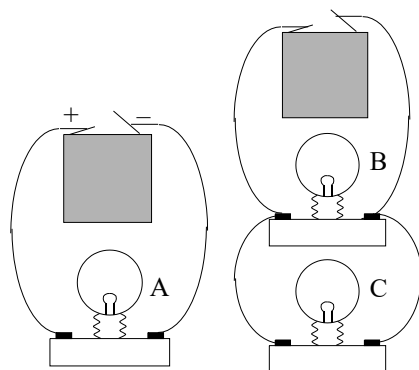


Figur 3.1 Med strømforbruksmodellen vil A lyse sterkere enn B og C.

Mange betrakter også batteriet som en *konstant strømkilde* hvilket betyr at når to lyspærer kobles i parallell så vil hver pære lyse svakere jo flere pærer som må dele på strømmen. Her vil mange mene at A lyse sterkere enn B og C siden strømmen fra batteriet må fordele seg på B og C. Man kan imidlertid lett komme til å tolke et resultat feil siden dette vil også være riktig dersom man ikke opererte med idealiserte komponenter.



Figur 3.3 Selv om lyspæra er kortsluttet så vil den lyse siden noe av strømmen likevel vil gå gjennom pæra.



Figur 3.2 Med konstant strømkilde vil A lyse sterkere enn B og C

En feil som gjerne går igjen er antagelsen om at selv om en pære er kortsluttet, som vist i figur 3.3, så vil fortsatt noe av strømmen gå gjennom pæra.

En annen vanlig misforståelse er at strømmen i kretsen påvirkes sekvensielt etter som den passerer de ulike komponentene, denne misoppfatningen går under betegnelsen *sekvenstenkning*. Med en slik oppfatning vil strømmen påvirkes av komponentene etter som de passeres “nedstrøms”, men ikke “oppstrøms”. Dette kan bli konsekvensen av å bruke en vannmodell for å forklare strømmen i en krets. Elevene betrakter kretsen som en elv. Lager man en innsnevring på eleven langt nede i elevløpet så vil ikke dette påvirke vannstrømmen ved elevens kilder (Angell et al., 2019).

Som vi vet så må hele strømkretsen betraktes som et helhetlig system, hvor en endring i motstand i hver komponent vil påvirke strømmen i hele kretsen.

3.2 Diagnostisering av misoppfatninger

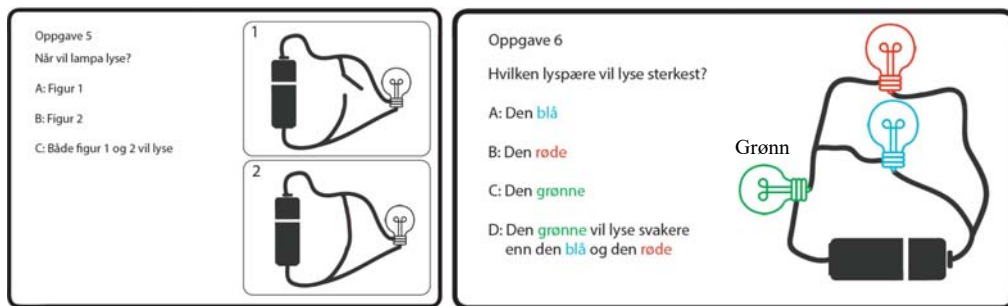
Opp gjennom årene er det gjort en mengde undersøkelser med tanke på å avsløre elevers misoppfatninger mht. elektrisitet (Engelhardt, Beichner, 2003). Her skal vi nøye oss med å referere undersøkelser som er gjennomført av masterstudenter ved NTNU de seneste årene og som bl.a. har ført til omfattende testing av studenter som begynner ved NTNU.

Høsten 2017 ble det gjennomført undersøkelser av hvordan forståelsen av grunnleggende elektriske kretser var hos elever på 5., 7., 9. trinn og på Vg1 (Olsen, 2018). Figuren under viser hvilke spørsmål som elevene ble presentert for.

The figure shows four task cards arranged in a 2x2 grid. The top-left card is a legend for symbols: a light bulb (Lyspære), a battery (Batteri), a wire (Strømledning), and a switch (Strømbryter). The top-right card contains two tasks: Oppgave 1 asks to draw how to connect a battery to a light bulb, and Oppgave 2 asks to describe what happens in the circuit from task 1. The bottom-left card contains Oppgave 3, which asks which of four bulbs in a circuit will glow brightest, with options A (red), B (blue), C (green), and D (all same). The bottom-right card contains Oppgave 4, which asks which of two bulbs in a circuit will glow brightest, with options A (blue), B (red), and C (both same).

Figur 3.4 Fire av de seks spørsmålene som ble stilt til elever i 5., 7., 9., og Vg1

Spørsmålene var nøye utvalgt for å kunne avsløre elevenes forståelse av elektriske kretser samtidig som testen skulle være kortfattet.



Figur 3.5 De to siste av de seks spørsmålene som ble stilt til elever i 5., 7., 9. trinn, og Vg1

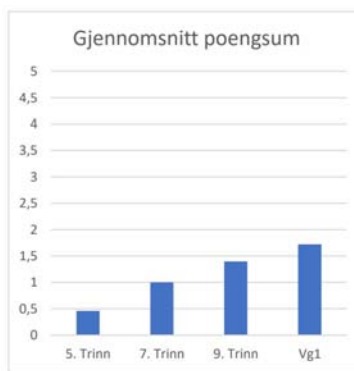
Det må sies at antallet informanter var relativt beskjedent (13 på 5. trinn, 17 på 7. trinn, 20 på 9. trinn og 29 på Vg1), totalt deltok 79 i undersøkelsen derav 37 gutter, 40 jenter og 2 uten oppgitt kjønn. I tillegg til fagprøven ble det gjort intervju av to elever fra hvert trinn med mest mulig spredning av ytelse fra fagprøven. 5. og 7. trinn hadde enda ikke hatt undervisning i elektrisitet/lære, mens 9. og Vg1 elevene hadde hatt elektrisitet/lære ett eller to år tilbake i tid.

Figur 3.6 viser hvordan gjennomsnittlig skår endret seg med årstrinnene. Maksimal skår var 5 poeng. Vi ser at den største relative økningen er fra 5. til 7. trinn hvor de i mellomtiden ikke har hatt undervisning i elektrisitet/lære, økningen må derfor sannsynligvis tilskrives kognitiv utvikling hos elevene eller kunnskap hentet utenfor skolen (Olsen, 2018).

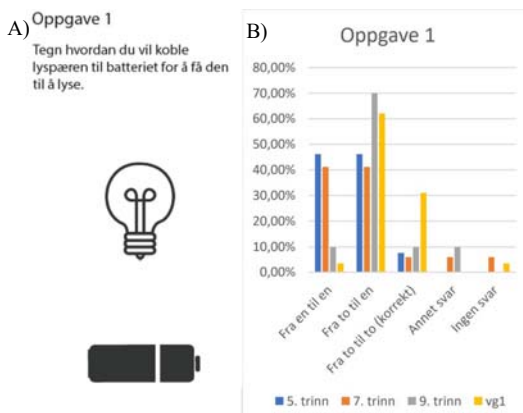
Det som overrasker mest er likevel den relativt svake kunnskapen hos elever på videregående skole.

Oppgave 1: Elevene skal tegne forbindelseslinjer mellom batteriet og pæra for at den skal lyse. Svarene fordeler seg på ulike kategorier.

1) "Fra en til en" der elevene tegner ledning fra en pol på batteriet til en pol på pæra (ingen returstrøm),
 2) "Fra to til en" der elevene tegner ledning fra begge polene på batteriet som så føres sammen til en pol på lyspæra, og 3) "Fra to til to" som er den korrekte oppkoblingen. Vi legger spesielt merke til den høye



Figur 3.6 Gjennomsnittlig skår på fagprøve pr. årstrinn, hvor 5 er maks.



Figur 3.7. A) Oppgavetekst B) Fordelingen av type svar på de ulike kategoriene. Fra en pol på batteriet til en på pæra, Fra to på batteriet til en på pæra og to fra batteriet til to til pæra (korrekt).

andelen elever i videregående skole som holder fast ved en entrådsmodell (ingen retur strøm) og det lave antallet korrekte svar på 9. trinn (10 %) og Vg1 (31 %).

Oppgave 3:

Figur 3.8 viser at over 50% av elevene på videregående skole heller enten til en forbruksmodell (A eller C) eller en kollisjonsmodell (B). Det kan likevel se ut til å være fallende tiltro til forbruks-

Figur 3.8 A) Seriekobling av pærer. Baserer elevene seg på forbruksmodellen, kollisjonsmodellen eller har de en korrekt forståelse av kretsen? B) Svarene antyder at nærmere 50% av Vg1 elevene fortsatt heller til forbruks- eller kollisjonsmodellen.

A)

Oppgave 3

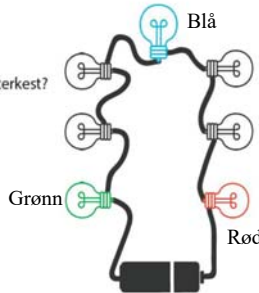
Hvilken lyspære vil lyse sterkest?
Sett ring rundt svaret.

A: Den **rote**

B: Den **blå**

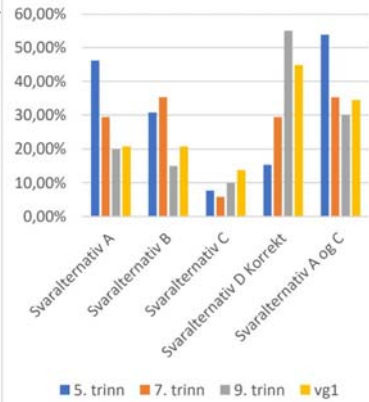
C: Den **gronne**

D: Alle vil lyse like sterkt



B)

Oppgave 3



modellen med økende alder. Vi legger også merke til at resultatene antyder at ungdomsskoleelever synes å ha en mer korrekt forståelse for seriekobling av lyspærer enn elever på Vg1, hvilket kan bety at de har forstått at strømstyrken er konstant i hele kretsen. Det må imidlertid presiseres at masterstudenten ikke har vurdert om forskjellene er signifikante.

Oppgave 4 undersøker elevenes forståelse av egenkapene til parallellkobling av lyspærer. Resultatene synes å vise en betydelig tro på at den nærmeste pæren lyser sterkest, spesielt er dette tydelig blant ungdomsskoleelever. Det er også

Figur 3.9 A) Oppgave 4 tester elevenes forståelse av parallellkobling. B) Resultatene synes å vise en betydelig tro på at den nærmeste pæra lyser sterkest.

A)

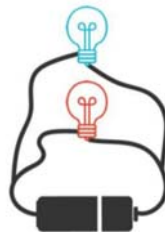
Oppgave 4

Hvilken lyspære vil lyse sterkest?

A: Den **blå**

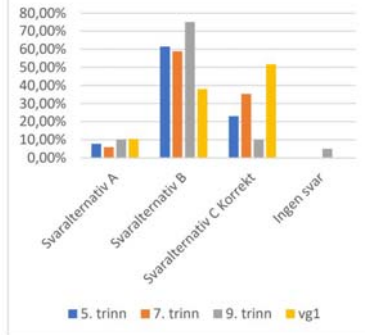
B: Den **rote**

C: De vil lyse like sterkt



B)

Oppgave 4



interessant å legge merke til at så få elever på ungdomsskolen velger riktig alternativ til tross for en bedring fra 5. til 7. trinn. Dette kan tyde på at de har en felles kilde som har gitt dem feil forståelse. En skal heller ikke se bort fra at noen har tenkt riktig og sett bort fra idealiserte ledninger, og antatt at kortere ledninger gir lavere motstand og dermed høyre strøm og sterkere lys, hvilket i teorien er korrekt, men i praksis neppe ville vært mulig å registrerer.

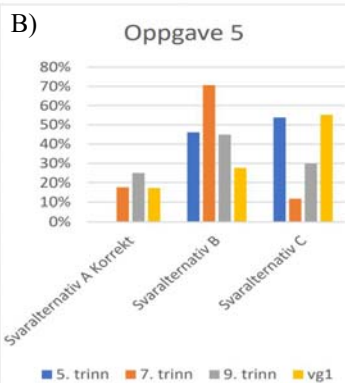
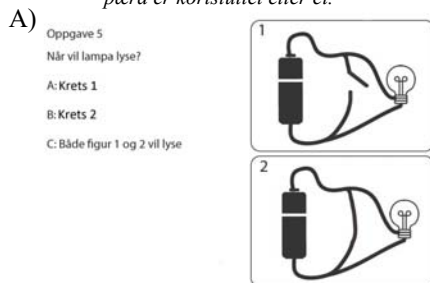


Oppgave 5 undersøker elevenes forståelse for kortsluttede kretser.

Resultatene tyder på at en vesentlig andel av elevene mener at det ikke spiller noen rolle om pæren er kortsluttet eller ikke for at pæra skal lyse. Over 80% av

Vg1 elevene mener at det er slik og ca. 75% av elevene i ungdomsskolegruppen.

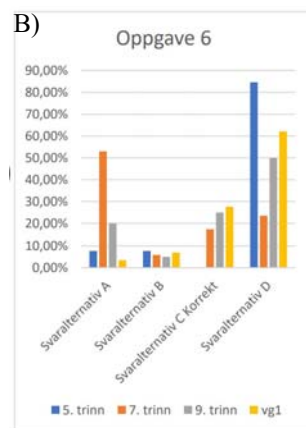
Figur 3.10 A) Oppgave 4 tester elevenes forståelse av kortslutning B) Resultatene synes å indikere at det ikke spiller noen rolle for strømmen i pæra om pæra er kortsluttet eller ei.



Oppgave 6 undersøker om elevene klarer å kombinere kunnskaper om serie- og parallellkobling.

Her ser vi at både elever fra ungdomsskolen og videregående favoriserer at grønn lampe lyser svakere enn både rød og blå lampe. Bare ca. 25% av elevene på 9. trinn og Vg1 svarer riktig, at den grønne pæra lyser sterkest.

Figur 3.11 A) Oppgave 4 tester elevenes evne til å kombinere kunnskaper om serie- og parallellkobling. B) Resultatet av testen viser at under 30% av elevene på 9. trinn og Vg1 har svart riktig.



Ut fra den relativt beskjedne populasjonen som er undersøkt så er det vanskelig å komme med noen kategorisk konklusjon, men resultatene synes å antyde at det er en betydelig grad av misoppfatninger både før og etter undervisning av elektrisitetlære:

Tabell 1: Oversikt over riktig svar fra 9. trinn og Vg1

Tema	Korrekte svar	
	9 trinn	Vg1
Oppkobling av lyspære	10%	31%
Seriekobling av lyspærer, lysstyrke	55%	44%
Parallellkobling, lysstyrke	10%	51%
Kortslutning, hvem lyser?	25%	17%
Kombinert parallell- og seriekobling, lysstyrke	25%	28%

I 2018 gjorde en annen masterstudent ved Institutt for lærerutdanning ved NTNU (Foss, 2019), en studie blant 9. trinnselever hvor han så på forskjeller i misoppfatninger blant elever som *hadde hatt* undervisning i elektrisitetslære, hvor undervisningen *pågikk i det studien ble gjort* og blant de som *var ferdig* med undervisning i elektrisitetslære.

Studien omfattet 337 elever på 9. trinn fra en større norsk by. Studien ble gjort etter at elevene hadde besøkt et Newton-rom hvor de blant annet hadde hatt undervisning om elektrisk induksjon. Det ble brukt omtrent de samme spørsmålene som omtalt foran (Olsen, 2018), kun oppgave 1 og 2 var sløyfet. Spørsmålene ble lagt til en mer omfattende fagprøve knyttet til besøket ved Newtonrommet.

Tabell 2: Antall elever som hadde hatt, som ikke hadde hatt og som ikke visste om de hadde hatt undervisning elektrisitetslære før gjennomføring av prøve.¹⁰

Hvor mye elektrisitetslære har du hatt på ungdomsskolen så langt?		Frekvens	Prosent	Gyldig prosent
Gyldig	Vi har ikke startet enda	95	28,2%	34,2%
	Vi har startet, men har noe igjen	89	26,4%	32,0%
	Vi er ferdig	64	19,0%	23,0%
	Vet ikke	30	8,9%	10,8%
	Totalt	278	82,5%	100,0%
Mangler		59	17,5%	
Sum		337	100,0%	

Som det framgår av tabell 2 så var 64 av elevene (23%) ferdige, 89 (32%) hadde begynt, men var ikke ferdige og 95 (34,2%) var ferdige med undervisning av elektrisitetslære i klasserommet. Det er interessant å se i hvilken grad undervisningen påvirker resultatene fra undersøkelsen.

10. "Mangler" var en gruppe elever hvor læreren ikke lot elevene besvare denne delen av spørreundersøkelsen siden de ikke hadde hatt undervisning i elektrisitetslære enda. Dvs. de hadde misforstått poenget med denne delen av spørreundersøkelsen.



Tabell 3: Krysstabell for misoppfatninger og mengde undervisning

		Mengde undervisning			Totalt
		Ingen	Pågående	Ferdig	
Hverdagsforestilling	Nei	12,0%	17,0%	20,3%	16,0%
	Ja	88,0%	83,0%	79,7%	84,0%
Totalt		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Antall		92	88	64	244

Ut fra svarene har kandidaten funnet ut hvem av elevene som i besvarelsene har vist at de har misoppfatninger knyttet til elektrisitetstlære (tabell 3). Vi registrerer at blant de som ennå *ikke har hatt* elektrisitetstlære på 9. trinn, så er det funnet misoppfatninger i en eller flere av oppgavene hos 88,0% av besvarelsene. Hos de som *holder på med* elektrisitetstlæra på det tidspunktet undersøkelsen ble gjort, var det 83,0% av elevene som hadde misoppfatninger, mens det var 79,7% av *de som hadde hatt* elektrisitetstlære som fortsatt hadde misoppfatninger. Det kan se ut som om at det er en forbedring på ca. 8%-poeng fra de som ikke hadde hatt (88%) til de som hadde hatt (79,7%) undervisning i elektrisitetstlære. Hvilket må sies å være en overraskende liten forbedring.

Det må imidlertid påpekes at kandidaten ikke har studert om graden av misoppfatninger hos den enkelte elev har endret seg, som må sies å være en svakhet ved analysen. Uansett indikerer resultatene at elevene har manglende forståelse innen elektrisitetstlære selv etter undervisning.

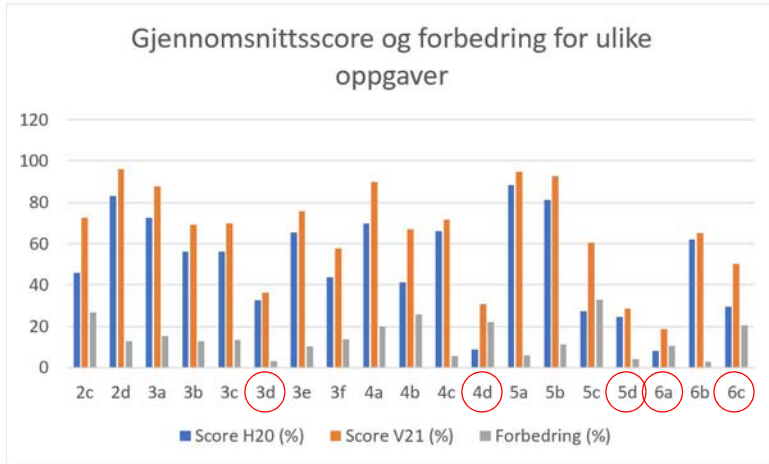
I 2019 ble det laget en mer omfattende test som tok sikte på å undersøke de grunnleggende kunnskapene vedrørende elektrisitetstlære til studenter som begynner ved studier innen fagretningene Elektronisk systemdesign og innovasjon, og studenter ved Kybernetikk og robotikk ved NTNU¹¹. De samme testene ble også benyttet for å sjekke kunnskapene til elever ved et par videregående skoler som tok faget Fysikk 1.

Testen er ganske omfattende, her skal kun se på et lite utvalg av svar som peker seg ut som spesielt vanskelig for studentene ved NTNU.

Undersøkelsen er ganske grov da den ikke tar hensynet til graden av misoppfatninger. Likevel viser den en trend som gjør at man kan stille spørsmål ved i hvilken grad undervisningen ved grunnskole og i videregående skole har fungert etter intensjonen. Alle studenter som tas opp ved NTNU fra videregående skole skal ha hatt Fysikk 1, ev. Fysikk 1 og 2.

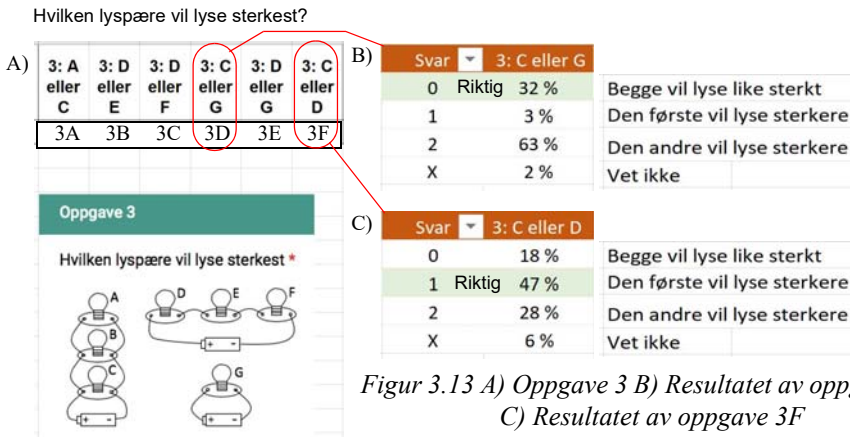
11. Testen ble utviklet av Bojana Gajic i samarbeid Lars Lundheim ved Institutt for elektroniske systemer og Nils Kr. Rossing ved Inst. for fysikk i 2019. Bojana har også utviklet Excel-arket som oppsummerte og systematiserte resultatene som er analysert av masterstudent Peter Fadum Lefsaker våren 2021 (Lefsaker, 2021).

Testen viser at noen tema ved elektrisitetstlære faller tungt for et flertall av studentene. Den delen av testen som vi skal se nærmere på inneholder spørsmål knyttet batterier og lamper koblet opp på ulike måter, med spørsmål om hvilke pærer som lyser, ev. lyser sterkest, eller hvilke batterier som lades ut raskest i den aktuelle oppkoblingen¹². Figur 3.12 viser prosentvis riktig svar av første års studenter ved fagretningene Elektronisk systemdesign og innovasjon (ES), og studenter ved Kybernetikk og robotikk (KR). Diagrammet viser skår ved oppstart august 2020 (H20) og etter et halvt år med studier, januar 2021 (V21). Vi legger spesielt merket til det svake resultatet på oppgave 3d, 4d, 5d, 6a og 6c (Lefsaker, 2021).



Figur 3.12 Gjennomsnittlig prosentvis poengscore for et utvalg ulike deloppgaver for august 2020 og januar 2021 (Lefsaker, 2021)

Hele 48% av ES-studentene og 34% av KR-studentene svarte feil på *alle* disse fem oppgavene ved oppstart høsten 2020. Også i januar 2021 da testen ble gjentatt for den samme gruppen studenter, var resultatet fortsatt svakt, men man registrerte en gjennomsnittlig forbedring på 11%-poeng for de nevnte oppgavene. Vi velger derfor å se nærmere på nettopp disse oppgavene.



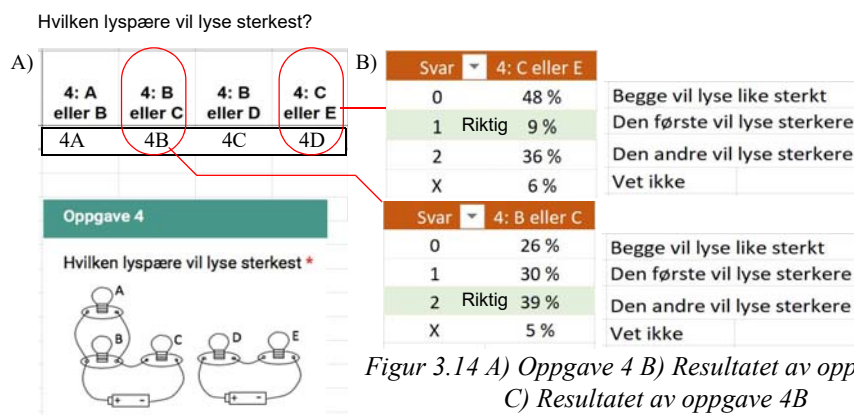
Figur 3.13 A) Oppgave 3 B) Resultatet av oppgave 3D C) Resultatet av oppgave 3F

12. Testene gjennomført høsten 2020 og våren 2021 inneholdt også spørsmål knyttet til dynamiske forhold som inkluderer spoler og kondensatorer. Denne delen er ikke omtalt her.



Figur 3.13 viser oppgave 3 og resultatet for to av deloppgavene, 3D og 3F. Det er spesielt spørsmålet 3D, om hvilke av lyspære C eller G som lyser sterkest som er interessant. Her svarer hele 63% feil, at G lyser sterkest. Det kan se ut som om de tenker at *batteriet er en konstant strømkilde* og at denne konstante strømmen i det ene tilfellet vil fordeles på pærene A, B og C, mens i tilfellet med lyspære G så vil hele strømmen gå gjennom pæra. En slik tankegang harmonerer med de 28% som svarer at pære D lyser sterkere enn C i oppgave 3F. Med andre ord ikke *alle* er konsekvente i sine valg.

Vi finner en lignende tendens i oppgave 4D som vist i figur 3.14.

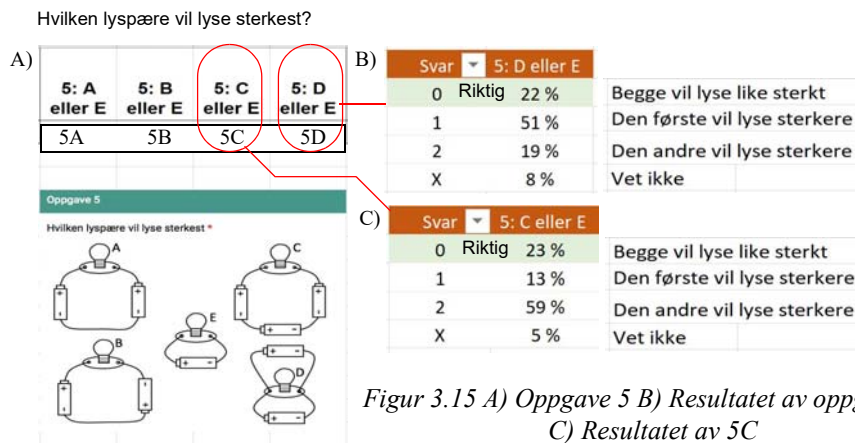


Figur 3.14 A) Oppgave 4 B) Resultatet av oppgave 4D
C) Resultatet av oppgave 4B

Vi legger merke til at hele 48% svarer at C og E vil lyse like sterkt, hvilket støtter resultatet fra 3D om batteriet som konstant strømkilde. Dessuten mener hele 36% at E vil lyse sterkere enn C som er vanskeligere å tolke, men kan indikere en form for strømforbrukstenkning siden det er flere lyspærer før pære C enn pære E så vil mer av strømmen brukes opp slik at C vil lyse svakere enn E. Vi kan slå fast at det er kun få som tenker på en lyspære som en motstand og at to lyspærer i parallell vil gi en lavere motstand og dermed høyere strøm i kretsen totalt.

De 30% som svarer at B lyser sterkere enn C kan ha en form for sekvensiell tenkning, men dette svaret støtter ikke konstant strømkilde.

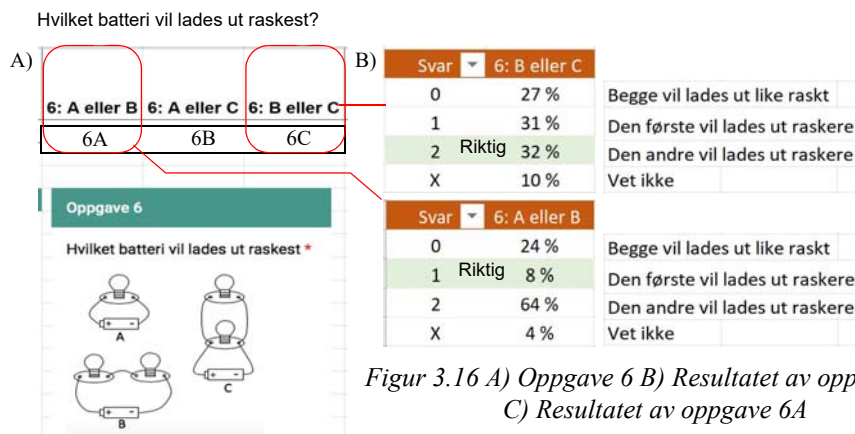
Vi finner en lignende tendens i oppgave 5D som vist i figur 3.15.



Igjen ser vi at det foretrukne valget for hele 51% er at to batterier i parallell vil gi sterkere lys enn kun ett batteri, dvs. mange synes å betrakte batteriet som en konstant strømkilde, mens bare 22% har valgt det riktige svaret.

Også i oppgave 5C har mange svart feil, dette kan imidlertid skyldes at de ikke har sett nøye nok på hvilken vei de seriekoblede batteriene er snudd.

Vi finner lignende tendenser i oppgave 6A og 6C som vist i figur 3.16.

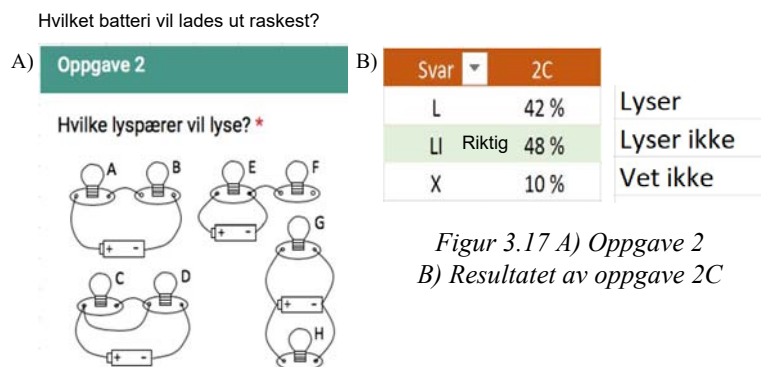


Oppgave 6 spør hvilken oppkobling som vil tappe batteriet raskest. I oppgave 6C hvor man spør om batteriet lades ut raskere med to pærer i serie, enn en pære, svarer hele 64% feil at det er den oppkoblingen med flest pærer som tapper batteriet raskest. Det kan se ut som om de fleste tenker at to pærer vil lade ut batteriet raskere enn kun en pære. En slik tankegang kan harmonere med at man betrakter batteriet som en konstant strømkilde, sjønt det er ikke sikkert informantene tenker slik.



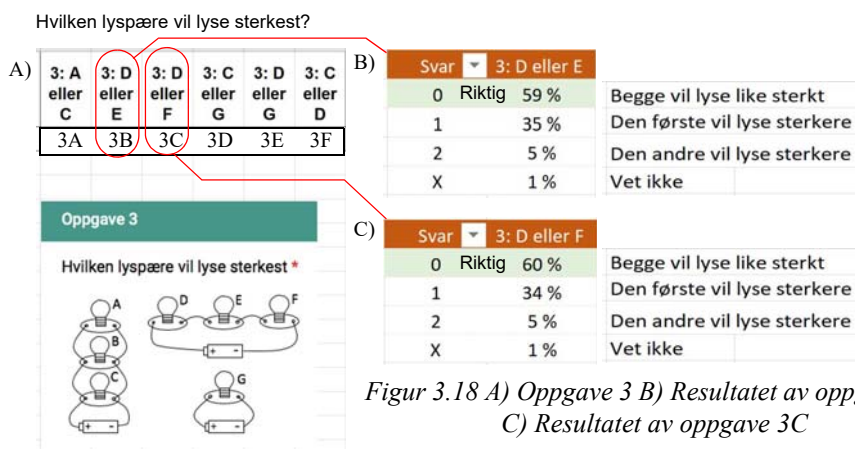
Usikkerheten blir imidlertid større når begge oppkoblingene som skal sammenlignes har to lyspærer. Da fordeles svarene omtrent jevnt ut over de tre alternativene (27%, 31% og 32%) (figur 3.17 B).

La oss også ta med et spørsmål fra oppgave 2, resultatet er vist i figur 3.17.



På spørsmål om hvilken pære som lyser av pærene A til H så svarer studentene sort sett riktig, men det er en oppgave som volder problemer, nemlig om pære C som er kortsluttet, lyser eller slukket. Her svarer hele 52% feil at “den lyser” eller “vet ikke”. Dette er et svar som tyder på sekvenstenkning. Som en ungdomsskoleelev uttrykte det: “Hvordan “vet” strømmen når den kommer til et “veiskille” at den ene veien er uten pære og den andre er med”. Med en slik problemstilling i tankene vil det sannsynligvis være nærliggende å mene at strømmen velger å dele seg.

Oppgave 3B og 3C viser tydelig tendenser til strømforbrukstenkning.



Av figur 3.18 ser vi at ca. 40% mener at pærene i en seriekobling lyser med forskjellig styrke. Ca 35% mener at den som er nærmest + polen på batteriet og ca. 5% at den nærmest – polen, lyser sterkest. Begge disse variantene kan lett knyttes til strømforbrukstenkning. Den mest dominerende (ca. 35%) er de som mener at strømmen “først brukes opp” fra + polen, dvs. i



strømretningen. Mens en minoritet (ca. 5%) er de som mener at strømmen “først brukes opp” fra – polen, dvs. den veien som elektronene beveger seg. I en slik betraktning ligger det også en viss grad av sekvensiell tenkning.

Oppsummering

La oss forsøke oss på en oppsummering:

- Den mest utbredte misoppfatningen synes å være å betrakte batteriet som en konstant strømkilde. Dette synes å gå igjen i flere av besvarelsene (3D, 4D, 5D og 6A). Dette er kanskje ikke så rart siden det er ganske vanlig å betrakte strøm som det primære fenomenet i elektrisitet (Angell et al., 2019).
- Ca. 40% anvender strømforbrukstenkning når de analyserer kretser (3B og 3C)
- Ca. 50% mener at en kortsluttet pære lyser eller er usikre, som kan tolkes som en form for sekvenstenkning (2C).
- Bruk av Ohms lov og å betrakte en lyspære som en motstand, synes fjernt for flere av studentene. Dette vises spesielt i forbindelse med oppgave 4D hvor hele 91% svarer feil eller “vet ikke”. Vi finner lignende tendenser i oppgavene 4A til 4C.

Forøvrig er det tydelig at informantene ikke har vært konsekvente gjennom besvarelsen, men har endret strategi under veis. Dette er også noe som flere av masterstudentene har bemerket (Olsen, 2017, Lefsaker, 2021).

Så hvordan kan vi legge opp undervisningen for å bøte på dette?

3.3 “Dialogisk undervisning”

I boka *Nysgjerrighet – Dybdeløring i informasjonssamfunnet* (Lindholm, 2021), skriver Markus Lindholm om “dialogpedagogikk”. Med det mener han åpne samtaler som ikke nødvendigvis leder til konklusjoner, men som kan hjelpe elevene til å oppdage nye spørsmål som han mener er selve definisjonen på vitenskap som prosess (Lindholm, 2021, side 282).

Lindholm ser i denne sammenhengen elevene som en ressurs i klasserommet der de ofte kan være de som ser en sak fra helt nye sider enn det læreren er istand til.

Han skriver:

Å vekke faglig nysgjerrighet i klasserommet kan være krevende, og det handler i sin kjerne ikke minst om hvilket forhold læreren selv har til sitt fag. På den faktuelle fløyen står læreren over elevene. Men på den prosessorienterte fløyen står elevene mange ganger over læreren, fordi deres åpne blikk lettere leder samtalen mot nye paradokser. Dialogisk undervisning avhenger av at elevene selv ser noe som et problem og har spørsmål.
(Lindholm, 2021 side 283)

Et særdeles viktig poeng i denne sammenhengen er at det opprettes en tillit og trygghet mellom lærer og elever og innbyrdes mellom elevene. Han skriver videre:

... jeg har tidligere drøftet betydningen av å se elevene, og at de også ser hverandre. Å bli sett er ikke mindre viktig i tenårene. Men nå oppstår blikkontakten først og fremst gjennom faget,



når elevene merker at læreren verdsetter deres spørsmål, og at de gjenkjenner sin egen undring i den voksne. Å merke at den kunnskapsrike voksne anerkjenner ens egen nysgjerrige usikkerhet langs fagets yttergrenser, er å bli sett i tenårene. (Lindholm, 2021, side 283–4)

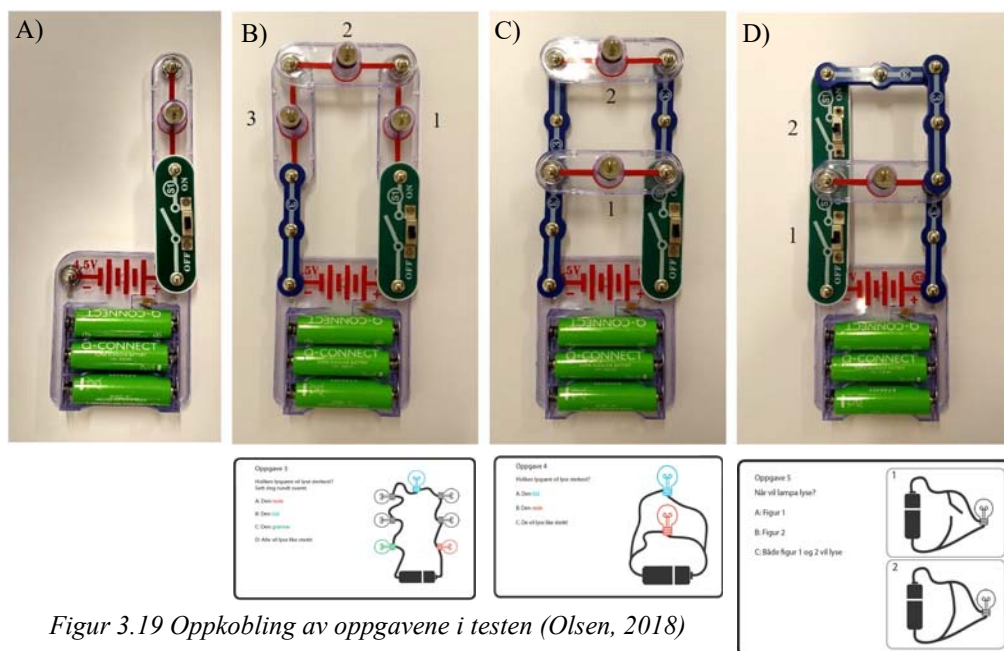
Jeg tror det var noe slikt masterstudent Morten-Andre Olsen opplevde da han intervjuet elevene i forbindelse med spørreundersøkelsene han gjennomførte høsten 2017.

3.3.1 Erfaringer fra en masteroppgave

Som tidligere nevnt ble det i etterkant av spørreundersøkelsen utført av Morten-André Olsen i 2017 utført intervju av et mindre utvalg av informantene, to fra hvert trinn. Hensikten var å forstå mer om bakgrunnen for hvorfor de svarte som de gjorde. Utvalget var gjort med tanke om å få et så bredt bilde som mulig, derfor ble også sterke og svake elever valgt ut.

Siden elevene, spesielt fra de yngste trinnene, manglet faglige begreper egnet til å uttrykke det de ville forklare, falt valget på bruk av byggelementer fra Snap Circuit hvor de ulike kretsene brukt i spørreundersøkelsen kunne bygges opp fysisk slik at informantene kunne peke og forklare med egne ord, der de manglet faguttrykk.

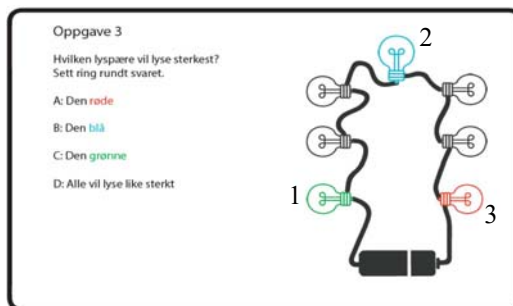
Figur 3.19 viser tre av oppgavene brukt under testen. Hver krets har en bryter som gjør det mulig for informantene og komme med forslag til hva som vil skje med lyset i pærene når bryteren kobler kretsen til batteriet, og hvorfor det blir slik. Når så bryteren slås på vil de umiddelbart se om antagelsen var riktig eller gal og de får mulighet til å revurdere forslagene sine. En slik situasjon er svært lærerik for de involverte, men krever stor tillit mellom informant og forsker (Olsen, 2018, side 20 – 21.



Figur 3.19 Oppkobling av oppgavene i testen (Olsen, 2018)

La oss se på et eksempel hvor informant H, en elev på 7. trinn, skal forklare hva som skjer i en seriekobling av tre lyspærer, oppgave 3 (kun med 3 lyspærer).

H: Den første lyspæren (peker på lyspære 1) kommer til å lyse sterkest, så kommer den neste til å lyse svakere (lyspære 2), og den neste enda svakere (lyspære 3), fordi det kommer mindre strøm til den. (Olsen, 2018, side 43)



Figur 3.20 Oppgavene i testen (Olsen, 2018)

Her er det en elev som har en forestilling om at strømmen brukes gradvis opp etter som den passerer pærene på vei mellom polene på batteriet. Når hun slår på bryteren så ser hun at antagelsen er feil og må håndtere en kognitiv konflikt.

Før bryteren blir slått på så får hun spørsmål om lysstyrken dersom kretsen bare hadde en lyspære eller om den hadde tre pærer i serie. Da svarer hun slik:

H: Ja, fordi det er den første (peker på lyspæren i seriekoblingen som er nærmest batteriets - pol), og da er det ingenting som har bremset den, så det kommer like mye strøm til begge to (ref. lyspæren i kretsen med en lyspære og den første lyspæren i seriekoblingen).

Her viderefører hun sitt logiske resonnement med strømforbrukstenkning. Den første pæra i kretsen med tre i serie vil lyse like sterkt som den ene, fordi “det er ingen ting som har bremset den (strømmen)” når den når den første pæra. Vi registrerer også at informanten synes å erkjenne begrepet *motstand* siden strømmen blir “bremset opp” i lyspæra.

Etter at begge kretsene er testet, opplever hun en kognitiv konflikt når hun ser at kretsen med bare en lyspære lyser sterkere enn lyspærene i en seriekobling. Hun blir nødt til å lage en ny hypotese:

H: Jeg tror det er fordi strømmen... når det er tre bortover... så blir strømmen bremset, så blir det mindre strøm til en lyspære, fordi det er tre lyspærer. Hver lyspære bremser strømmen litt, og så går den igjennom, så det går like mye strøm i hver lyspære. Fordi strømmen må gå igjennom tre lyspærer lyser den svakere enn der den bare må gå igjennom én.

Morten: Vil de andre lyspærene lyse om vi skrur ut denne her? (skrur ut lyspære 2 (figur 3.19 B))

H: Ehh nei, fordi alt henger sammen. Det er jo sånn at på juletreet at om en pære går så lyser virker det ikke lenger.

M: Så hva skjer med strømmen? Hvorfor lyser ikke de to andre?

H: Strømmen går igjennom pæren, men den bremser ikke. (Olsen, 2018, side 44)

En slik metode brukt i undervisningen er muligens gunstig mht. læring, men særdeles ressurskrevende. Olsen skriver:

Prosessen med intervjuet ga flere inntrykk. For det første var verdien i å la elevene få



danne hypoteser som måtte begrunnes, for så å teste ut hypotesene og forklare hva som skjer i kretsen i etterkant, enorm. Ikke bare ga dette elevene sjansen til å styre sin egen konstruksjon av kunnskap, det ga elevene en læringsarena som ikke krever forkunnskaper eller teoribøker. Ikke minst får læreren et innblikk i hvordan elevene tenker, et innblikk jeg sjeldent har fått før. (Olsen, 2018, side 66)

Det er ikke vanskelig å forstå et en slik form for undervisning kan være effektivt og gi gode resultater, men hvem har ressurser til å drive en slik en til en undervisning?

Eric Mazur ved Department of physics ved Havard University har utviklet ulike metoder for å kunne gjennomføre noe lignende for elever i større klasser ved universitetet. Her utnytter han *medelever* som veiledere (“Peer instruction”) der det lar seg gjøre (Mazur, 1996).

Metoden kan kort oppsummeres slik:

1. Læreren gir en kortfattet introduksjon til et tema.
2. Læreren stiller et spørsmål med flere alternative svar (“multiple choice”) som utfordrer misoppfatninger. Spørsmålene må være vel utvalgt og formulert. Det har ingen hensikt å stille trivielle spørsmål som alle kan svare på. Ei heller inkludere alternativer som ingen vil komme til å velge. Formulering av gode spørsmål er derfor viktig, men krevende. Det ideelle spørsmålet er det som gir typisk en riktig svarprosent på mellom 40 – 60% første gang spørsmålet stilles. Svarene som er feil bør også helst avsløre misoppfatninger.
3. Ved hjelp av et responssystem (f.eks. bruk av smarttelefon) stemmer elevene på hvilke svar de tror er riktige. Anonymitet er av betydning.
4. Elevene sitter gjerne i grupper på 3 – 4 elever. Etter at de har svart første gang blir de bedt om å diskutere svaralternativene internt i gruppen i noen minutter. Spørsmålene stilles så på nytt og studentene gjentar avstemningen.
5. Læreren kan så velge å respondere på resultatet. Dersom antall riktig svar i utgangspunktet ligger i det nevnte prosentområdet (40 – 60%), er det sannsynlig at en student i hver gruppe har det riktige svaret. En diskusjon vil få fram flere synspunkter på spørsmålet. Det er imidlertid rimelig at den som har det riktige svaret vil argumentere overbevisende slik at flere vil helle mot det riktige svaret ved neste avstemning. Uansett vil spørsmålet bli belyst fra flere sider. Resultatet vil uansett bli en god pekepinn for hva læreren nå bør gjøre. Dersom de aller fleste svarer riktig kan læreren gå videre i undervisningen, dersom det fortsatt er en del misoppfatninger så må læreren ta tak i disse.

På et vis fungerer denne typen som en slags en-til-en undervisning for større grupper og tvinger fram en gruppediskusjon der elevene må presentere og forsvare sine standpunkt, en diskusjon som i seg selv kan være svært klargjørende.

Dersom kunnskapsnivået varierer mye, som det gjerne kan gjøre når nye tema introduseres, så kan det være problematisk å benytte en slik metode, men den kan være med å dempe den sterke spredningen i gruppen. Metoden er i første rekke utviklet for bruk på universitet, men med fornuftig valg av spørsmål burde metoden egne seg både i videregående skole og i ungdomsskolen.

I denne sammenhengen ønsker vi primært å skape diskusjon rundt bruken av konkreter som Olsen prøvde ut med sine elever.

3.4 Introduksjon til el-lære

Avsnittet gir en introduksjon til el-lære for bruk i grunnskolen:

For å få igang en diskusjon om elektrisitetslære skal vi ta utgangspunkt i en test vi gjennomfører for studenter som begynner på fagretninger for elektronikk, reguleringsteknikk (kybernetikk) og robotikk. Noen av dere vil synes at noen spørsmål er lette, mens andre er mer krevende. Ta vare på svarene for eget bruk. De trenger ikke deles med andre.

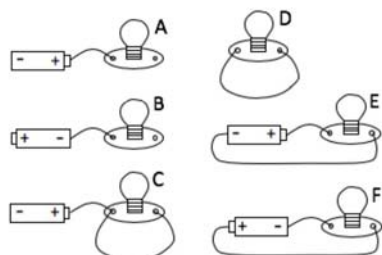
3.4.1 Testen

Følgende gjelder for denne testen:

Komponent	Forutsetninger
Batteri 	<ul style="list-style-type: none"> gir konstant spenning har endelig energi alle batteriene er like
Lyspære 	<ul style="list-style-type: none"> har konstant motstand lyser hvis det går strøm gjennom den lysstyrken øker med strømstyrken alle lyspærene er like
Ledning 	<ul style="list-style-type: none"> har ingen motstand (ingen energitap)

Oppgave 1

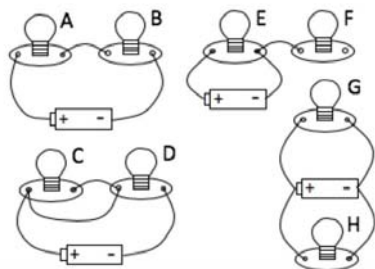
Hvilke lyspærer vil lyse?



	Lyser	Lyser ikke	Vet ikke
A –	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B –	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C –	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D –	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E –	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F –	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Oppgave 2

Hvilke lyspærer vil lyse?

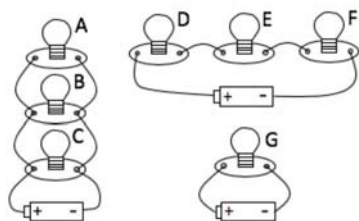


	Lyser	Lyser ikke	Vet ikke
A –	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B –	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C –	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D –	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E –	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F –	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
G –	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
H –	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Oppgave 3

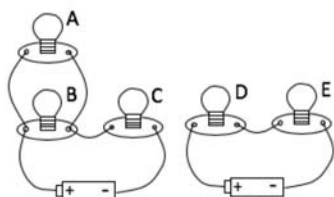
Hvilken lyspære vil lyse sterkest?



	Begge vil lyse like sterkt	Den første vil lyse sterkere	Den andre vil lyse sterkere	Vet ikke
A eller C	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D eller E	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D eller F	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C eller G	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D eller G	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C eller D	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Oppgave 4

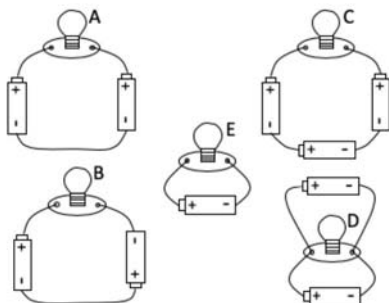
Hvilken lyspære vil lyse sterkest?



	Begge vil lyse like sterkt	Den første vil lyse sterkere	Den andre vil lyse sterkere	Vet ikke
A eller B	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B eller C	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B eller D	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C eller E	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

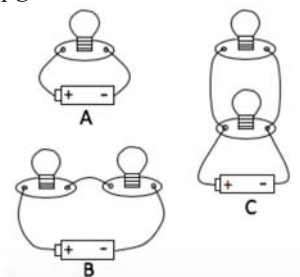
Oppgave 5

Hvilken lyspære vil lyse sterkest?



	Begge vil lyse like sterkt	Den første vil lyse sterkere	Den andre vil lyse sterkere	Vet ikke
A eller E	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B eller E	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C eller E	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D eller E	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Oppgave 6



	Begge vil lades ut like raskt	Den første vil lades ut raskere	Den andre vil lades ut raskere	Vet ikke
A eller B	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A eller C	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B eller C	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3.4.2 Dialogisk undervisning ved bruk av Snap Circuit

Teorien om de “Løse delene”

I 1971 publiserte landskapsarkitekten Simon Nichol森 en artikkel der han hevdet at barn trenger det han valgte å kalle for “løse deler”. “Løse deler” er gjenstander som ikke inngår i noen funksjonell sammenheng, men som kan være hentet fra ulike sammenhenger opp gjennom årene, det kan være roteskuffen til mormor, eller verkstedet til bestefar, eller en byggeplass hvor bygningmaterialer ligger spredt utover uten ennå ha funnet sin plass i bygget. Barn synes å elske slik steder med “løse deler”, som ofte dessverre oppfattes som for farlige for barn. (Lindholdm, 2021, side 124-5) (Nicholson, 1971)

Nichol森 mener at fascinasjonen beror på at gjenstandene er udefinerte, de har ennå ingen definert funksjon og vil kalle på barns fantasi og skaperglede. Jeg husker ennå den gang våre barn fikk LEGO modeller som skulle settes sammen etter en oppskrift. Det var morsomt en gang, deretter ble delene i modellen blandet med alle de andre klossene og ble til “løse deler” som ga fantasien fritt spillerom.

I 2009 ble **RemMidasenteret i Trondheim** opprettet, et senter for kreativ gjenbruk. Senteret er et ressursenter for barn og barnehager og bygger på Reggio Emilia pedagogikk. Senteret tar vare på og systematiserer overskuddsmateriell fra butikker og bedrifter og har på den måten etablert et sted rikt på “løse deler”.



Vi leser fra nettsidene deres:

RemMidasenteret i Trondheim kommune er Norges eneste godkjente ReMida. Senteret har eksistert siden 2009 og er helfinansiert av Trondheim kommune. Ann Sylvi Olsen, leder for ReMida, er også leder for Svartlamon kunst- og kulturbarnehage.

RemMidasenteret i Trondheim retter seg i hovedsak mot barn og unge i alderen 1-16 år, men er også åpne for andre interesserte som ansatte og studenter ved høyskoler, universiteter og voksenopplæring.

Målet er å skape et senter som tilbyr barn og pedagoger overskuddsmaterialer fra butikker/bedrifter. Disse materialene skal motiverer til utforskning. ReMida er kulturprosjekt som vektlegger miljø, pedagogikk og estetiske tilnæringsmåter.

Senteret er åpent mandag - fredag 08:30 – 15:30.

<http://www.reggioemilia.no/remida-trondheim.html>

Snap Circuit

Man kan fundere på hvor grensen går mellom ferdig definerte byggeklosser og “løse deler”.

Snap Circuit er et elektrisitets- og elektronikkbyggsett som gjør det lett å koble opp enkle og mer kompliserte kretser. Ulempen med Snap Circuit er at veien fra byggekloss til et funksjonelt produkt kan være litt for lang da den krever kunnskap. Har man imidlertid først ervervet dette



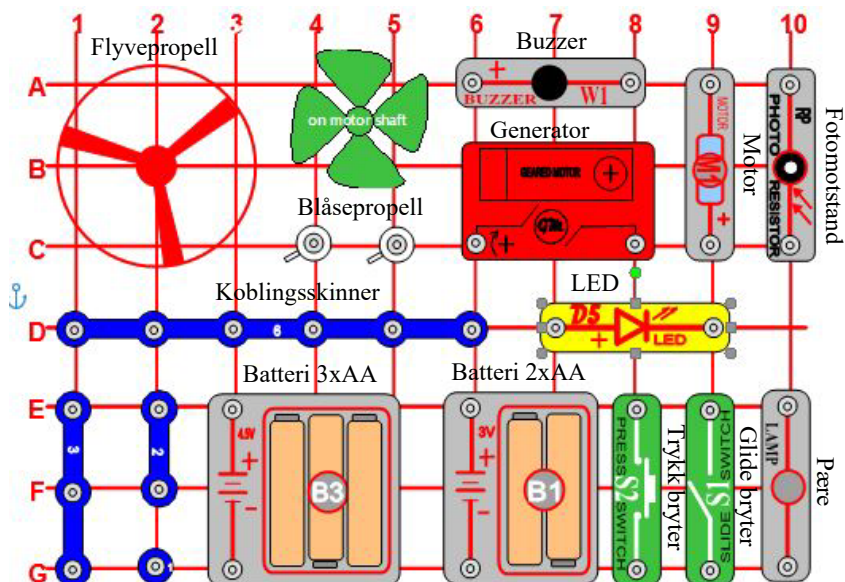
minimum av kunnskaper åpner det seg en verden av muligheter.

Man kan laste ned et Worddokumentet – Snap Circuit Designer – som gir mulighet til å tegne kretser med Snap Circuit komponenter:

<https://www.elenco.com/snap-circuits-designer/>



La oss bruke et utvalg av følgende komponenter for å teste ut noen av oppgavene i testen:



Tre kategorier komponenter:

Vi har valgt å dele inn komponentene i tre kategorier eller grupper:

1. **Energikilder**
F.eks. batterier, solceller, generator
2. **Energi “forbrukere”**
F.eks. lyspærer, LED, motorer, lydgivere
3. **Energiledere**
F.eks. koblingsskinner, brytere

Noen ganger oppleves det litt galt å snakke om “energiforbruk”, siden det alltid vil være snakk om *energiomvandling*. F.eks. så vil en lyspære omdanne elektrisk energi til lys og varme, en motor vil omdanne elektrisk energi til bevegelse og varme osv. Vi kan si at vi forbruker *høyverdig* energi (elektrisitet) og omdanner den til *lavverdig* (varme) som er vanskelige å utnytte ulike formål.

Forslag til framgangsmåte:

Vi vil at dere skal:

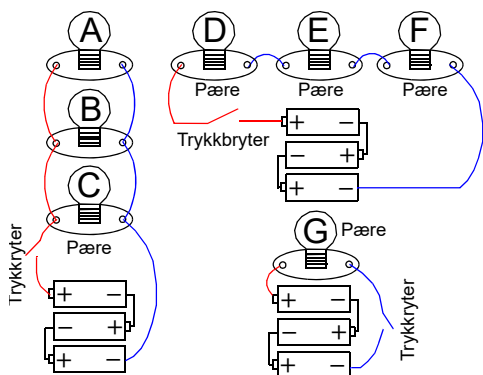
1. ... bygge opp kretsene med bryter, men vente med å koble til batteriet med bryteren
2. ... lage en hypotese om hva svaret på spørsmålene blir og forklar hvorfor det blir slik
3. ... koble til batteriet med bryteren og sjekk om hypotesen stemmer
4. ... diskuter resultatet, ev. diskuter hvilke utfordringer elevene deres vil ha med den aktuelle oppgaven

Bli kjent med Snap Circuit

... og koble opp følgende kretser etter som dere trenger dem:

Oppgave 3

Hvilken lyspære vil lyse sterkest?



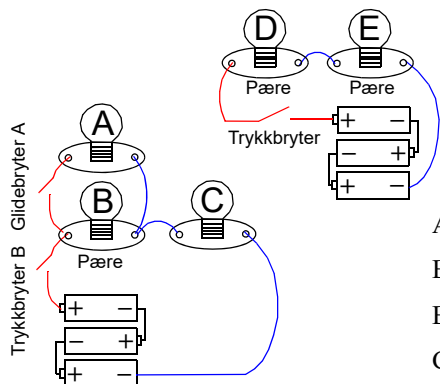
	Begge vil lyse like sterkt	Den første vil lyse sterkere	Den andre vil lyse sterkere	Vet ikke
A eller C	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D eller E	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D eller F	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C eller G	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D eller G	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C eller D	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

1. Koble opp kretsene
2. Lag hypoteser om hva svarene på spørsmålene blir og forklar hvorfor det blir slik
3. Koble til batteriet med bryteren og sjekk om hypotesen er riktig
4. Diskuter resultatet



Oppgave 4

Hvilken lyspære vil lyse sterkest?



	Begge vil lyse like sterkt	Den første vil lyse sterkere	Den andre vil lyse sterkere	Vet ikke
A eller B	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B eller C	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B eller D	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C eller E	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

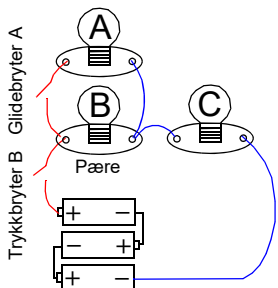
1. Koble opp kretsene og sett glidebryter A i stilling "On"
2. Lag hypoteser om svarene på spørsmålene og forklar hvorfor det blir slik
3. Koble til batteriet med trykkbryterne og sjekk om hypotesene var riktig
4. Diskuter resultatene

Hva skjer når glidebryter A kobles fra og trykkbryter B trykkes?

Hvordan lyder Ohms lov?

Hvordan kan den brukes for å løse denne oppgaven?

Hva skjer med lyset i B og C når glidebryter A åpnes?



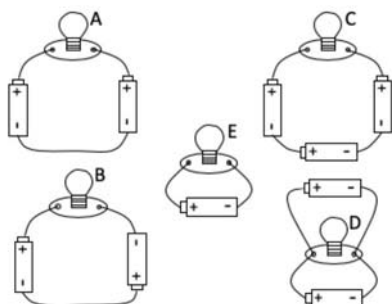
	Vil lyse svakere	Vil lyse like sterkt	Vil lyse sterkere
B	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

1. Diskuter hva resultatet blir, lag hypoteser og argumenter for det dere mener skjer
2. Undersøk hva som skjer når trykkbryter B er trykket inn og glidebryter A åpnes
3. Diskuter og forklar resultatet

Oppgave 5

Vi skal nå undersøke hva som skjer når vi kobler noen av batteriene feil vei.

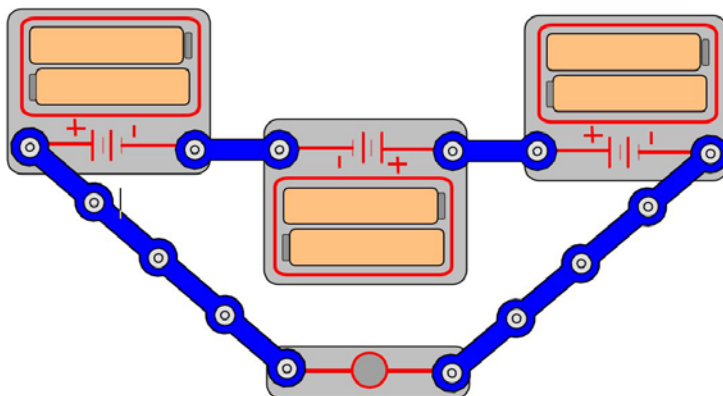
Hvilken lyspære vil lyse sterkest?



	Begge vil lyse like sterkt	Den første vil lyse sterkere	Den andre vil lyse sterkere	Vet ikke
A eller E	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B eller E	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C eller E	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D eller E	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

1. Diskuter hva resultatet blir, lag hypoteser og forklar hva som skjer
2. Koble opp kretsene etter hvert som dere trenger dem og undersøk hva som skjer
3. Diskuter og forklar resultatet

For å få testet ut disse oppgavene velger vi å la hvert batteri på tegningen være en seriekobling av to batterier slik at hvert batteri har en spenning på 3V. En løsning med tre batterier kan da f.eks. se slik ut (C på figuren over). Vi må da passe litt på så vi ikke overbelaster lyspæra.

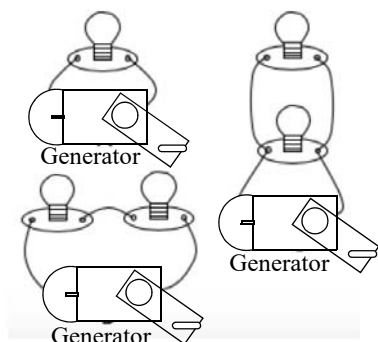


Oppgave 6

Å teste ut hvilken oppkobling som lader ut batteriet raskest tar noe tid og vil gi batteriene en temmelig brutal behandling. Vi velger derfor å bruke en generator og kjenne på hvor tungt det er å



drive håndgeneratoren rundt. Jo tyngre den er å dra, jo større belastning, og jo raskere vil batteriene bli ladet ut dersom vi bruker batteri istedet for generator.



	Begge vil lades ut like raskt	Den første vil lades ut raskere	Den andre vil lades ut raskere	Vet ikke
A eller B	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A eller C	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B eller C	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

1. Diskuter hva resultatet blir, lag hypoteser og forklar hva som skjer
2. Undersøk hva som skjer ved å koble opp kretsene etter som dere trenger dem
3. Diskuter og forklar resultatet

Oppsummering

Det er viktig å summere opp til slutt. Følgende spørsmål kan være til hjelp:

- Har det dukket opp noen spørsmål under veis?
- Har noen oppdaget noe overraskende?
- Har dere endret måten dere har tenkt på mens dere har jobbet med oppgavene?

3.5 Utforsk elektriske kretser ved hjelp av halvåpne oppgaver

I dette avsnittet skal vi gi noen oppdrag som passer for elevene. Vi vil ikke gi svaret på oppgavene, men oppmuntre dem til selv å finne løsninger med å eksperimentere med Snap Circuit. Hvert oppdrag har en viss progresjon fra A, B, C osv.

3.5.1 Lommelykt

Oppdraget 1A

Bruk deler fra Snap Circuit til å lage en lommelykt med av/på knapp og med bruk av batteri.

Oppdrag 1B

Endre energikilden fra batteri til håndgenerator. Hvilke utfordringer møter dere da?

Oppdrag 1C

Endre energikilden til vind. Hvilke spesielle utfordringer gir det?

Oppdrag 1D

Endre energikilden til solceller. Hvilke utfordringer gir dette?

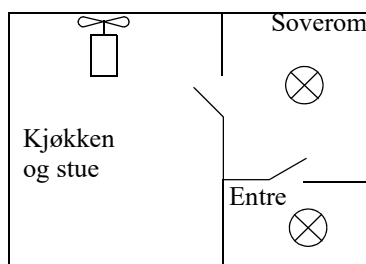
3.5.2 Elektromagnetisk kran

Oppdrag 2A

Bruk deler fra Snap Circuit til å lage en magnetisk kran til å flytte binders med. Hva skal til for å løfte flest mulig binders i ett løft?

3.5.3 Belysning og kjøkkenvifte

Tenk dere at det skal installeres elektrisitet i et lite modellhus med entre, soverom og kjøkken med stue. Tegn opp rommene på et A4-ark. Dimensjoner huset slik at strekkene ikke blir for lange for bruk av Snap Circuit.



Oppdrag 3A

Det skal legges inn lys i entreen som skal kunne tennes med en glidebryter.

Oppdrag 3B

Det skal legges inn lys på soverommet. Lyset skal ha egen glidebryter og gå på samme kurs som entreen. Lyset i rommene skal kunne tennes og slukkes uavhengig av hverandre.

Oppdrag 3C

Det skal legges inn kjøkkenvifte på kjøkkenet som skal startes med en trykkbryter. En lysdiode skal tennes samtidig som at kjøkkenvifta starter. Kjøkkenvifta skal gå på samme kurs som entreen og soverommet.

Oppdrag 3D

Diskuter om et lignende elektrisk opplegg kan brukes i et lite hus som elevene bygger av papp eller lignende, og om det er hensiktsmessig å bruke mer egnede komponenter enn Snap Circuit.



3.5.4 Vifte eller flyvende propell

Oppdrag 4A

Bruk deler fra Snap Circuit til å lage en vifte for å kjøle deg ned når du er varm. Vifta skal startes med en trykkbryter.

Oppdrag 4B

Gjør om vifta til en flyvende propell. Den flyvende propellen skal ta av med en trykkbryter. Hva er egentlig den elektriske forskjellen mellom en vifte og en flyvende propell?

Oppdrag 4C

Lag en oppkobling slik at vifta kan gjøres om til en flyvende propell eller omvendt, ved hjelp av glidebrytere og trykkbrytere. Forsøk å bruke færrest mulig komponenter.

3.5.5 Ledningsevnetester

Oppdrag 5A

Lag en innretning som kan brukes til å undersøke om noe ledere elektrisk strøm. Prøv følgende stoffer: Stål, binders, tre, papir, blyanter, sølvpapir ...

Oppdrag 5B

Prøv også om appelsin, vann, melk, saft, brus, Cola eller lignende leder elektrisk strøm. Hva gjør dere dersom dere har mistanke om at stoffet leder strøm dårlig, men at ledningsevnetesteren ikke er følsom nok?

Oppdrag 5C

Lag en spørretavle. En spørretavle lages av en papplate, med spørsmål på venstre side og svarene hulter til bulter på høyre side. Ved hvert av spørsmålene og ved hvert av svarene er det et hull som viser litt sølvpapir. Tilsvarende hull er plassert ved svarene. På baksiden forbindes hullene mellom spørsmål og tilhørende svar med strimler av aluminiumfolie. Bruk ledningsevnetesteren til å sjekke ut om hva som er riktige svar på spørsmålene.

Hvordan kan to foliestrimler krysse hverandre uten at det blir elektrisk kontakt?

Hvordan kan du lett gjenbruke tavla, men med andre spørsmål?

Dekorer tavla slik at den ser spennende ut.

For tips om hvordan tavla kan lages se avsnitt 4.1, side 75.

Spørretavle

● Spørsmål 1	Svar A	●
● Spørsmål 2	Svar B	●
● Spørsmål 3	Svar C	●
● Spørsmål 4	Svar D	●
● Spørsmål 5	Svar E	●
● Spørsmål 6	Svar F	●
● Spørsmål 7	Svar G	●
● Spørsmål 8	Svar H	●
● Spørsmål 9	Svar I	●

3.5.6 Micro:bit og Snap Circuit

I de neste oppdragene skal vi kombinere Mikro:bit med Snap Circuit. Til dette trenger vi en kontakt for Micro:bit for bruk sammen med Snap Circuit som går under navnet Snap:bit.

Tips: Solcellemotoren og LED kan drives direkte fra utgangene til Micro:bit'en. Lyspærer og den vanlige motoren trekker for mye strøm.



Oppdrag 6A – Blinkende lysdiode

Lag en blinkende lysdiode.

Undersøk hvor raske blinkene kan være før dere ser dem som et sammenhengende lys.

Prøv med lysdioder med forskjellig farge. Er det noen forskjell på fargene når det gjelder raskeste blinkhastighet det er mulig å se?

Klarer dere å få tre ulike farger til å blinke samtidig for lettere å kunne sammenligne?

Oppdrag 6B – Trafikklys

Koble opp en rød, en gul og en grønn lysdiode. Klarer dere å få dem til å lyse i rekkefølge slik at de lyser slik som et ordentlig trafikklys?

Skriv programmet slik at dere kan bestille grønt lys som for fotgjengeroverganger. Bruk en av bryterne på Micro:bit'en til å be om grønt lys.

Skriv programmet slik at det blir blinkende grønt lys når det er kort tid igjen av det grønne lyset.

Bruk lyssensoren til automatisk å slå på blinkende gult når det blir mørkt i rommet.

Oppdrag 6C – Fjernstyring av belysning og kjøkkenvifte

Bruk to Micro:bit. Plasser den ene i Snap Circuit sokkelen. Den andre Micro:bit'en skal brukes til å fjernstyre den første. Tenk dere at dere skal innrede modellhuset med lys i entre og soverom, og med kjøkkenvifte i kjøkken og stue (Oppdrag 3A – C). Denne gangen uten brytere, men koblet til Micro:bit'en. Lag to programmer som gjør det mulig å fjernstyre lysene i entreen, i soverommet og kjøkkenvifta med bryterne på den håndholdte Micro:biten.





4 Utforsking av elektriske kretser med hemmelige bokser

I dette kapittelet skal vi se på hvordan vi kan utforske enkle elektriske kretser for bedre å forstå hvordan strømmen oppfører seg. Grunnlaget er å forstå at kretsen *må være sluttet* for at det skal gå strøm. Deretter at det er den samlede motstanden som bestemmer strømmen gjennom den sluttede kretsen, og når kretsen består av flere greiner så vil strømmen fordele seg i de ulike greinene i henhold motstandsverdien i den enkelte greina. Størrelsen på strømmene er igjen bestemt av spenningen over kretsen og verdien av motstandene i kretsen i henhold til *Ohms lov*:

$$\text{Strømmen i kretsen} = \frac{\text{Spenningen over motstanden i kretsen}}{\text{Verdien av motstanden i kretsen}}$$

I utforskningen av naturvitenskapen er vi avhengig av observasjoner. Ikke uvanlig ser vi ikke hva som skjer på mikronivå, men kun resultatene av disse mikroskopiske prosessene. Et eksempel er når vi slår på strømbryteren og det blir lys i lampen. Ved hjelp av måleinstrumenter (Ampere-meter (strømmåler), Volt-meter (spenningsmåler) o.l.), kan vi få innsyn i hva som skjer, vi kommer på en måte ett skritt nærmere årsakene til det vi kan observere. Men nesten uansett hvor dypt vi kan se inn i prosessene, så er det ofte fortsatt en eller flere underliggende prosesser som vi ikke er i stand til å observere eller forstå.

Vi lager oss derfor mentale forståelsesmodeller av de “usynlige” prosessene som kan hjelpe oss til å få en *kvalitativ* forståelse av hva som skjer. Slike forståelsesmodeller er viktige, men ofte vanskelig å lage slik at de stemmer helt med det vi kan observere. Dessuten egner de seg dårlig til å sette tallverdier på det som skjer i prosessen. Derfor suppleres ofte de kognitive forståelsesmodellene med *matematiske modeller* slik at vi også blir istand beregne størrelsen til parametere i prosessene. I vårt tilfelle *strømstyrkene* (i Ampere), *spenningsnivåene* (i Volt) og *motstandsverdiene* (i Ohm) i kretsen. Ohm’s lov er nettopp en slik matematisk modell av hva som skjer inne i en elektrisk krets.

I den grad det er mulig ønsker vi at elevene skal få ta del i utforskningen av enkle elektriske kretser for å hjelpe dem til å danne mentale forståelsesmodeller. De *læremidlene* vi presenterer i det følgende, er lukkede “bokser” som elevene gjennom bruk av et måleinstrument (pære og batteri) kan utforske for å lage en beskrivelse av det som befinner seg inni boksen og som de ikke kan se. Vi håper at en slik oppgave stimulerer til utforskning og en forståelse av noe av naturvitenskapens egenart.

4.1 Lag en enkel hemmelig “boks” I ved hjelp av papp og sølvpapir

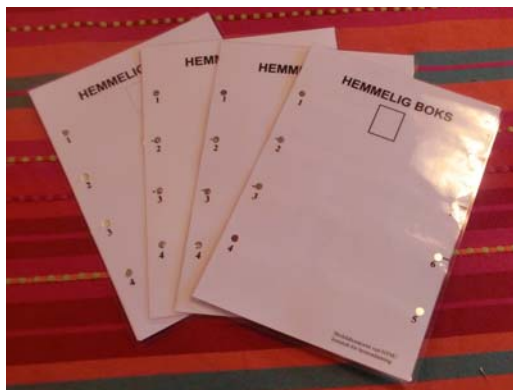
La oss begynne enkelt. Den første “boksen” som egentlig ikke er en boks, men en laminert plate, er et læremiddel elevene selv kan lage med enkle midler og utfordre hverandre på.



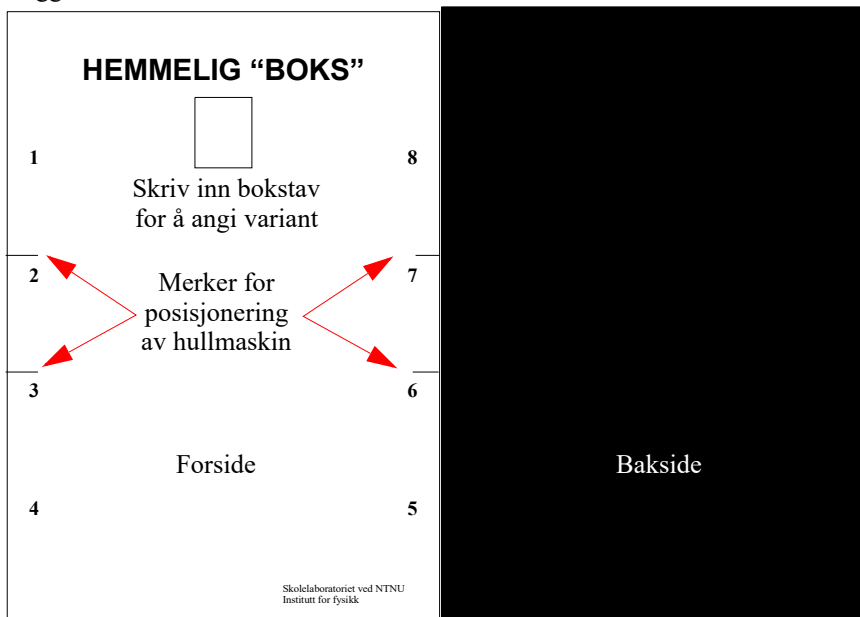
Ekspiriment: 4 Hemmelig “boks” I

Til dette eksperimentet trengs, kartong, aluminiumsfolie, lamineringsplast (A5), blank tape, batteriholder, batterier, lyspære og ledninger. I tillegg trenges en lamineringsmaskin, hullmaskin, loddebolt og loddetinn, saks og avbiter.

Den hemmelige “boksen” eller plata skal ha 8 målepunkter. Mellom målepunktene går det ledninger av strimler laget av aluminiumsfolie. Disse forbinder målepunktene. Hvordan de er forbundet med hverandre er skjult mellom to ark.



1. Trykk opp malen på en A4 kartong 160 g (eller tykkere), denne angir for- og bakside av den hemmelige “boksen”. Kopioriginal finnes i vedlegg C.1, side 127.



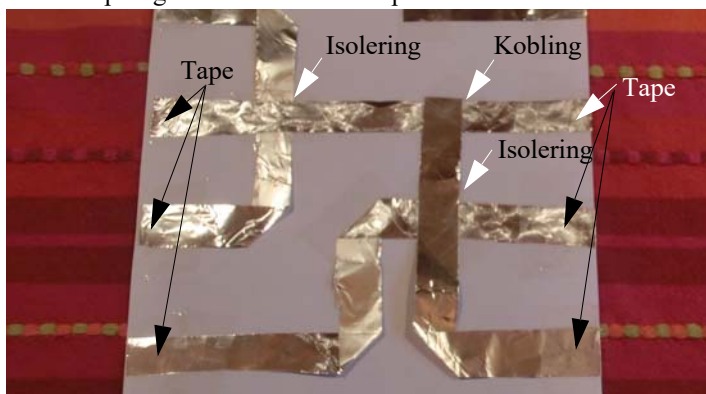
Firkanten under teksten *Hemmelig* "boks" kan brukes til å skriv inn en bokstav som angir hvilken variant av "boksen" dette dreier seg om. De fire strekene brukes til å posisjonere hullmaskinen riktig langs kantene



- Legg forsiden inn i en A5 lamineringslomme med den sveisede kanten opp og lag 8 hull, fire på hver side, posisjonert omkring de fire strekene langs kantene. Ta deretter forsiden ut av lamineringslommen. Du har nå fått plassert hullene for de åtte målepunktene riktig på forsiden og i lamineringsplasten. Baksiden skal ikke ha hull.
- Klipp strimler av aluminiumsfolie ca. 1 cm brede (bilde under til venstre). Disse limes til baksiden av forsiden slik at de dekker de aktuelle målehullene som vist til høyre på bildet under. Aluminiumstrimlene leder strøm og vil skape forbindelse mellom målepunktene. Fest strimlene med klar tape.

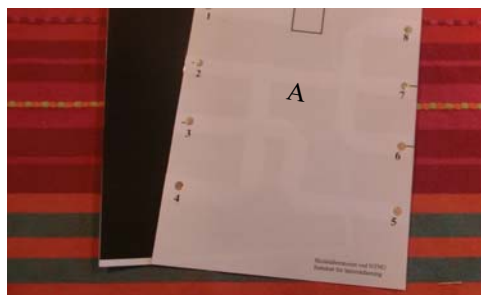


- Der du vil forbinde to strimler elektrisk med hverandre så legger du dem over hverandre og setter på en tape. Der du vil lage en isolert bru, legger du tape i mellom to kryssende aluminiumstrimler som vist på figuren under. Sett en tape over aluminiumen der de dekker et hull.



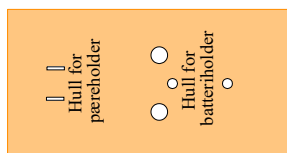


5. Dekk til aluminiumstripene med baksidkartongen og legg de to arkene inn i lamineringslommen. Påse at hullene i lamineringslomma faller over hullene med aluminiumsfolie. Det kan være lurt å la baksiden være svart eller legge inn en ekstra papp slik at det blir umulig å se banene ved å holde plata opp mot lyset.

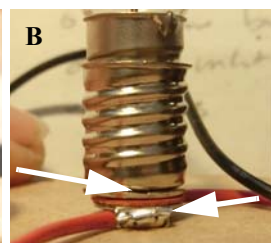
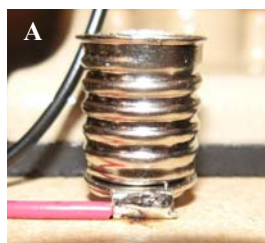


6. Kjør lamineringslommen med kartongen og aluminiumstripene gjennom lamineringsmaskina med den sveisede sidekanten først. så er den hemmelige “boksen” ferdig. Merk den hemmelige “boksen” med en bokstav som vist på bildet over til høyre.

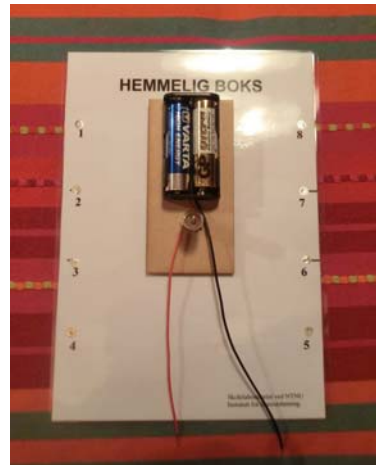
7. For å lage proben som vi skal bruke for å teste om det er forbindelse mellom målepunktene med, bruker vi en batteriholder (2 x AA) med ledninger og en lyspæreholder med lyspære som vi monterer på en papplate eller en MDF-plate, som er litt kraftigere.



Det er viktig å passe på når man lodder ledningene på pæreholderen slik at det ikke blir kortslutning. Det er viktig at de to delene av sokkelen merket med piler ikke forbindes (figuren til høyre, bilde B). Da oppstår en kortslutning og pæra vil ikke lyse.



8. Skru fast holderen med to maskinskruer (f.eks. M3x10mm eller kortere) og stikk beina til lyspæreholderen gjennom de to små hullene i plata og bøy dem på undersida.
9. Klipp av den sorte ledningen slik at stubben som står igjen, lett kan rekke bort til det ene beinet til lampesokkelen. Avisoler den korte ledningen med avmantlingstangen eller avbiteren. Dersom det er vanskelig å komme til, kan batteriholderen løsnes fra plata. Avisoler enden av resten av den svarte ledningen.
10. Lodd den korte sorte ledningen til den ene siden av lyspæresokkelen og resten av den svarte ledningen til den andre siden av pæresokkelen.

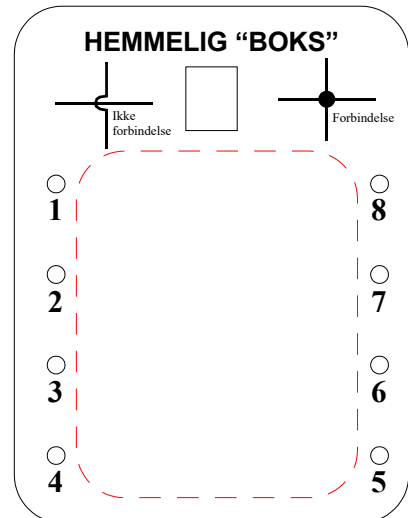


Dermed er det bare å sette i to AA-batterier og den hemmelige “boksen” er ferdig til bruk.

Det kan også være lurt å lage et ark der elevene kan tegne inn koblingsskjemaet sitt. På arket under er det også vist hvordan de skal tegne koblingsskjemaet på papiret når to forbindelser møtes og man vil markere at de har elektrisk forbindelse eller ikke har elektrisk forbindelse.

Se vedlegg C.1, side 127 for kopioriginal.

La elevene selv lage koblingsskjemaet for “boksen” på forhånd for deretter å lage den med aluminiumstrimler i en hemmelig “boks”. Deretter kan ulike grupper i klasserommet utfordre hverandre.



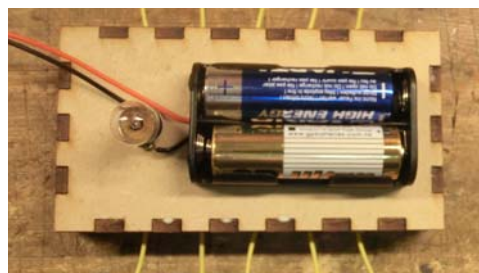
Den neste boksen er litt mer varig, men krever at man har tilgang til en laserkutter. Ev. kontakter ett av de ti regionale vitensenterne.



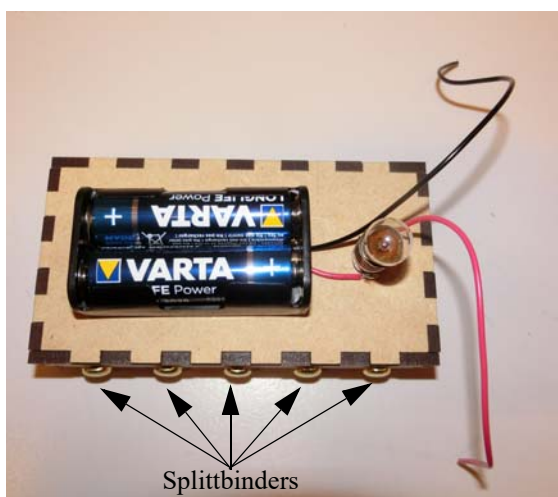
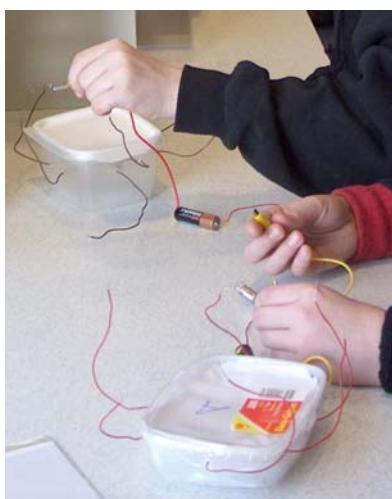
4.2 Lag en enkel laserkuttet hemmelig boks II

Eksperiment: 5 Hemmelig "boks" II

Til dette eksperimentet trengs en laserskåret boks, skruer og muttere, tynn ledning, maskerings- eller elektriker tape, batteriholder, batterier (2xAA) og lyspære, ev. et lite koblingsbrett. I tillegg trenges loddebolt og loddetinn, avmantlingstang og avbitter. Man kan også bruke en standard ugjennomsiktig plastboks som man borer hull i.



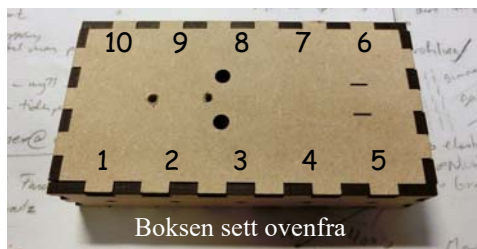
På bildet under til venstre ser vi to eksempler på hemmelige bokser laget av ugjennomsiktige plastbokser hvor ledningene stikker ut av hull i siden av boksene. Under til høyre ser vi en laserkuttet hemmelig boks.



Fra boksen kan det komme inntil 10 ledninger som er merket med tallene 1 til 10 (se bildet under). I lokket av boksen er det montert en batteriholder med lyspære som kan brukes som probe for å sjekke hvilke ledninger som er forbundet med hverandre.

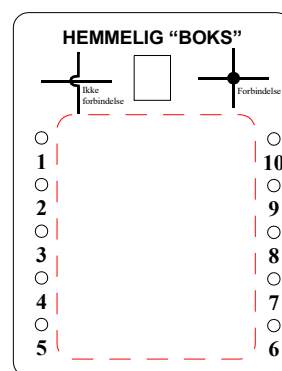
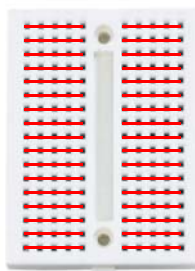
Et alternativ til bruk av ledninger er splittbinders (figur over til høyre). Dette gir en enklere og ryddigere oppkobling, men det viser seg at elevene mister noe mht. å forstå at det handler om sammenkobling av ledninger.

1. Har man designet boksen riktig er det unødvendig å bruke lim. Da skal det være nok å klemme de innfelte "fingrene" inn i hverandre så skal boksen henge sammen. Vent med å monter lokket. Merk lokket med tallene 1 – 10 som vist på bildet til høyre. Ett tall for hver åpning i sidene.



2. Bruk den vedlagte sjablonen (figuren lengst til høyre) og lag et koblings skjema over hvordan du ønsker å koble sammen ledningene. Husk at mer enn to ledninger kan kobles sammen, i tillegg til at noen kan henge helt fritt uten forbindelse med noen andre.

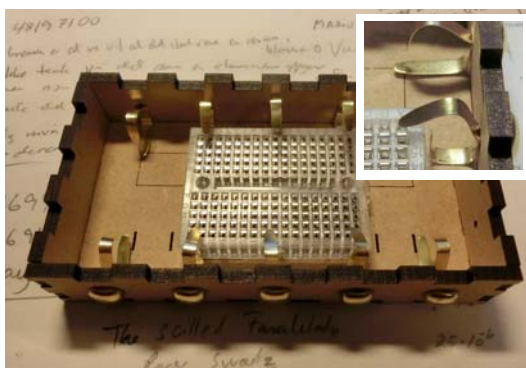
Koblingsbrett



3. Vi skal bruke et lite koblingsbrett (figuren nærmest til høyre) for å koble sammen ledninger. Hullene i koblingsbrettet er forbundet slik de røde strekene indikerer.

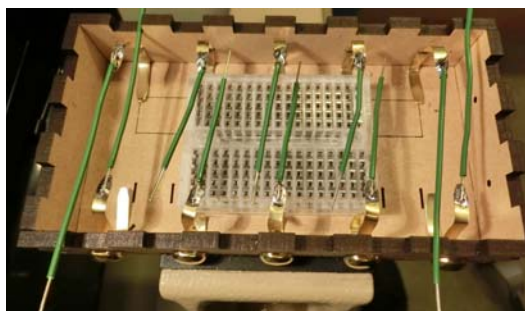
4. Ta av dekkpapiret på limflaten og monter koblingsbrettet i bunnen av boksen. Dette vil gjøre det mulig raskt å endre oppkoblingen av boksen.

5. Stikk inntil ti splittbinders inn gjennom spaltene i sidene på boksen. Bruk et flatt skrujern til å presse den underste delen av splittbindersene ned i hjørnekanten til boksen slik at bindersene sitter godt. Den øverste delen kan peke rett ut fra veggen i boksen eller bøyes som vist på figuren.



6. Bruk entråd leder ikke tykkere enn 0,6 mm og klipp til fire ledning på 6 cm og seks ledninger på 4 cm. Avisoler endene til ledningene og lodd dem til splittbindersene som vist på bildet til høyre. De lengste ledningene festes i ytterkantene av rekkene.

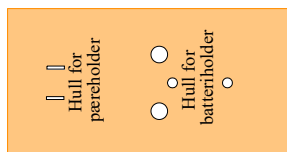
7. Bruk koblingsbrettet til å forbinde ledningene etter koblings skjemaet.



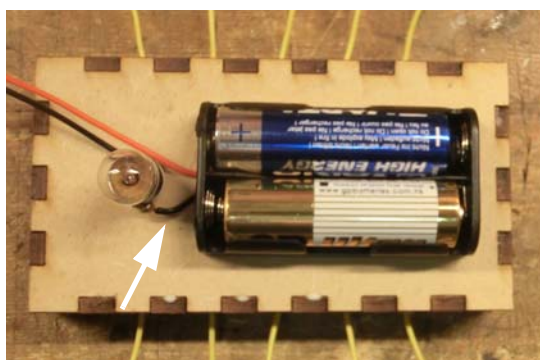


Lag proben

8. For å lage proben som vi skal bruke for å teste om det er forbindelse mellom målepunktene, bruker vi en batteriholder (2 x AA) med ledninger og en lyspæreholder med lyspære som vi monterer på toppen av boksen

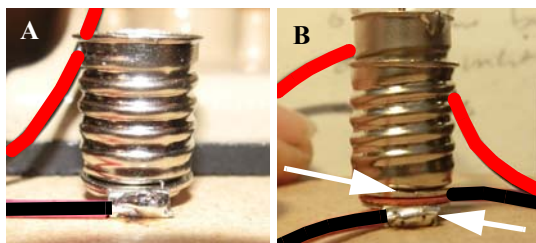


9. Klipp av den sorte ledningen slik at stubben som står igjen lett kan rekke bort til det ene beinet til lampesokkelen (se pil på figur til høyre). Avisoler den korte ledningen med avmantlingstanga eller avbiteren. Avisoler også enden av den avkappede delen av den svarte ledningen.



10. Skru fast batteriholderen med to maskinskruer (M3 x 10 mm). Stikk beina til lyspæreholderen gjennom de to små spaltene i plata og bøy dem på undersida.

11. Det er viktig å passe på at det ikke blir kortslutning når man lodder ledningene til pæreholderen. De to delene av sokkelen merket med piler *må* ikke forbindes (figuren til høyre, bilde B). Da oppstår en kortslutning og pæra vil ikke lyse.



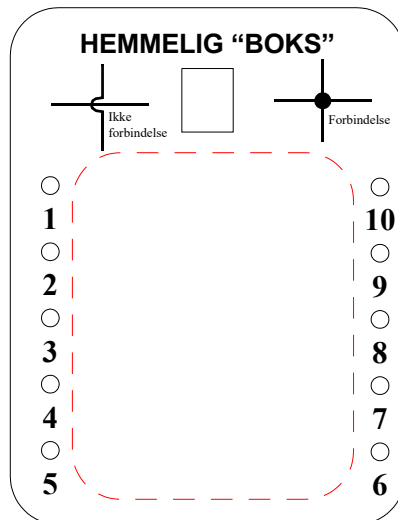
12. Lodd den korte sorte ledningen til den ene siden av lyspæra og resten av den svarte ledningen til den andre siden av sokkelen.

Dermed er det bare å sette i to AA-batterier og den hemmelige boksen er ferdig til bruk.

Det kan også være lurt å lage et ark hvor elevene kan tegne inn sitt forslag til koblingsskjema. Arket til høyre viser hvordan de skal illustrere når to forbindelser møtes på papiret og man vil markere at de *har elektrisk forbindelse* eller *ikke har elektrisk forbindelse*.

Se vedlegg C.1, side 127 for kopioriginal.

Elever i ungdomsskolen kan selv konstruere og koble opp slike bokser og utfordre hverandre med å bestemme koblingsskjemaet.



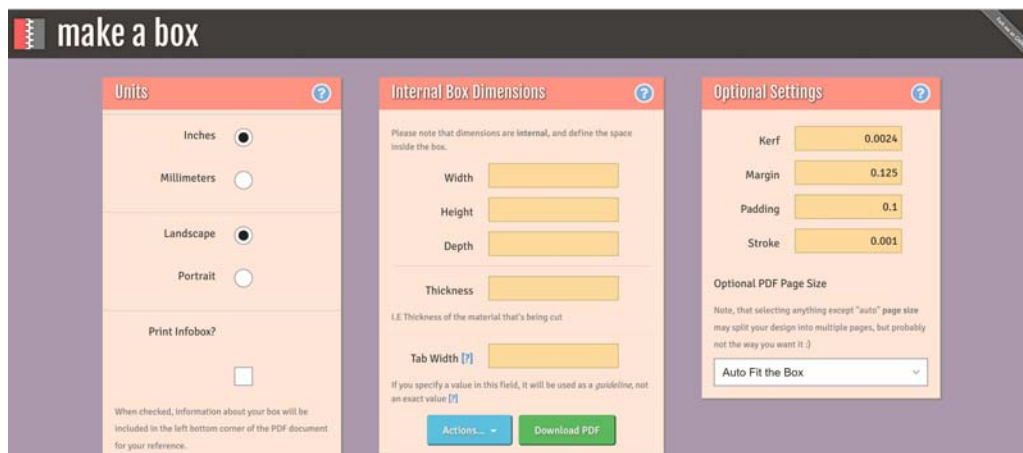
4.3 Lag boksen for hemmelige bokser

Til dette bruker vi nettsiden Make-a-box og bearbejder fila med Inkscape.

4.3.1 Boksprogrammet “Make-a-box”

Nettadresse: <http://makeabox.io/>

Programmet lager innelukkede bokser. Innvendig bredde, høyde og dybde kan spesifiseres i inch eller millimeter. Videre angis materialtykkelsen. Vi anvender normalt 3,3 mm tykt MDF



Sammenføyningen skjer ved hjelp av fingre. Fingerbredden (“Notch”) kan spesifiseres eller være uspesifisert. Er sistnevnte tilfelle velges fingerbredden lik 3 x materialtykkelsen. Vi anbefaler å la programmet spesifisere fingerbredden.



“**Kerf**” angir bredden på kuttet som laseren gir. Ved å spesifisere denne bredden, kan fingrene tilpasses slik at sammenføyningene passer perfekt til hverandre. Man skal imidlertid være temmelig erfaren for å angi en optimal verdi. Dersom ingenting spesifiseres, settes bredden til 0,007 inch eller 0,18 mm. I dette tilfellet har vi valgt å bruke 0,15 mm.

“**Margin**” angir marginene rundt tegningen av boksene, mens “**Padding**” angir marginene mellom sidene til boksen når de skrives ut på tegningen. “**Strok**” angir tykkelsen til linjene på utskriften. Her kan man gjerne velge de verdiene som programmet foreslår.

“**Settings**” gir mulighet for å lagre eller hente tidligere parametere.

En praktisk egenskap ved dette programmet er at layouten på tegningen kan tilpasses ulike arkstørrelser. Om ønskelig kan også boksens parametere skrives ut i en egen ramme nederst i tegningen.

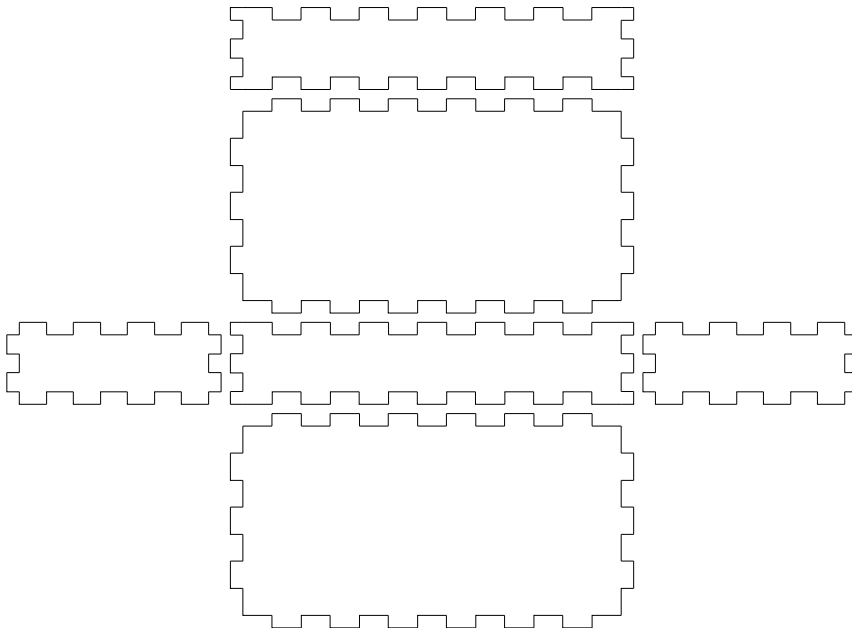
4.3.2 Lag grunnrisset til den hemmelig boksen

Gi boksen følgende innvendige mål:

- Lengde x bredde x høyde = 100 x 50 x 20 mm
- Sett materialtykkelsen til 3,3 mm
- Sett Kerf til 0,15 mm
- La fingerbredde (“Tab Width”) stå åpent
- La “Margin”, “Padding” og “Stroke” stå åpent
- Du kan bruke “Auto Fit the Box” vi skal likevel endre plasseringen av delene før utskrift.

Når parameterne er satt inn, velg “Download pdf”. Du vil da etter hvert få spørsmål om hvor filen skal lagres.

Figuren under viser et eksempel på utskrift av delene til en lignende boks.



Vi skal nå arbeide videre med disse delene i Inkscape før vi sender den endelige pdf-fila til laser-kutteren.

Framstilling i skreddersydde bokser er praktisk i mange sammenhenger. Se kapittel 5 for eksempler på ulike bruk av bokser.

4.3.3 Kort om bruk av Inkscape for tegning av hemmelig boks

Dette er et relativt avansert og allsidig tegnverktøy. Her skal vi vise de vanligste kommandoene som trengs for å bearbeide “Hemmelige bokser”.

Programmet Inkscape åpnes ved å velge symbolet vist til høyre.



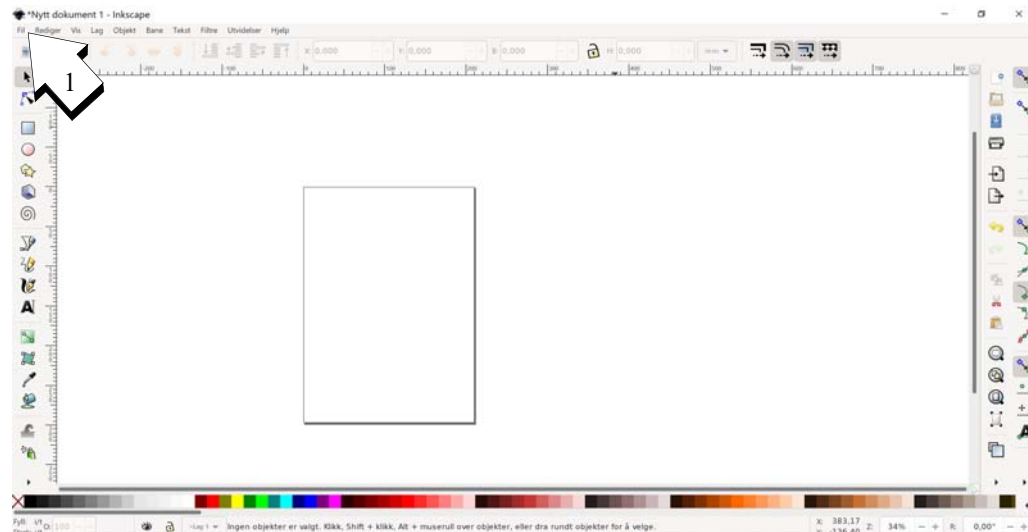
Selve boksen har vi laget ved hjelp av programmet “Make-a-box” se avsnitt 4.3.1 på side 83.



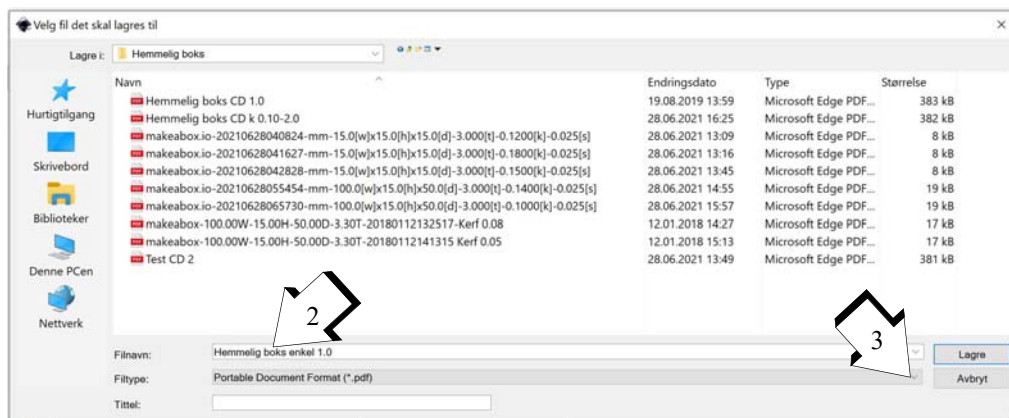
4.4 Bearbeid boksen

Åpne programmet og lagre

Når vi åpner Inkscape så vil vi automatisk få en stående A4-side som vist på figuren under. Det første vi skal gjøre er å lagre og å gi fila et navn ved å velge **Fil** (1) og **Lagre som**.



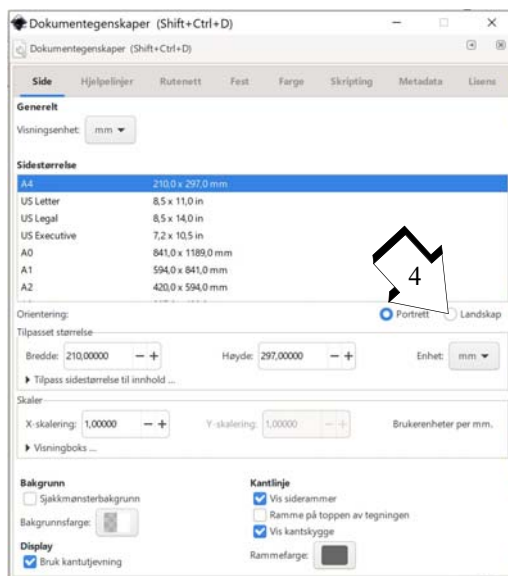
Vi har valgt filnavnet *Hemmelig boks enkel 1.0* (2), med filformat lik *PDF* (3). Dere bør velge et navn som indikerer hvem som eier fila, f.eks. med å bruke fornavn.



Velg dokumentstørrelse og format

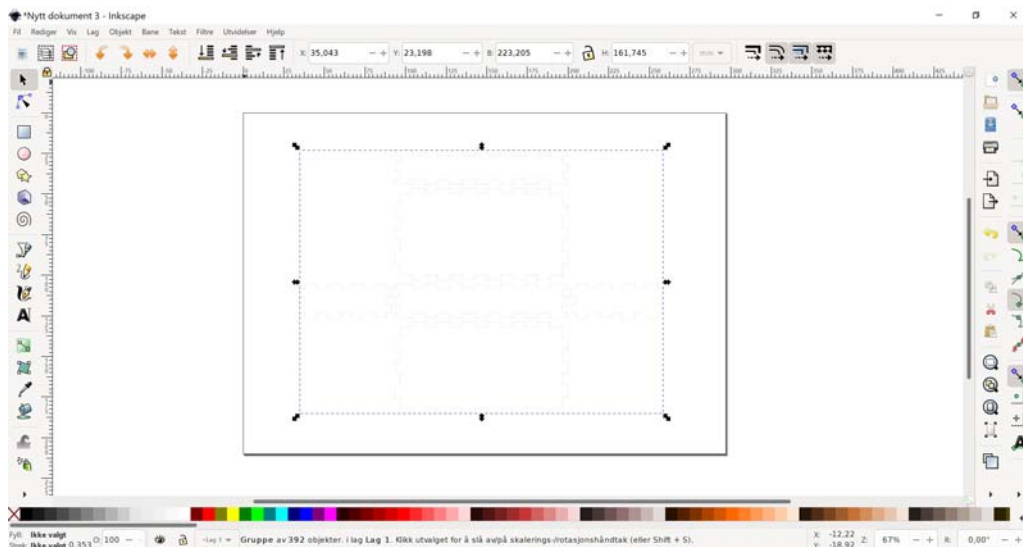
Dersom vi ønsker oss et liggende A4 ark som mal så velger vi **Fil** og deretter **Dokumentegenskaper**. Da får vi opp en meny som gir oss mulighet til å velge liggende format (4), figuren til høyre. Vi velger liggende A4-format

Her kan vi også skreddersy formatet om vi ønsker det.

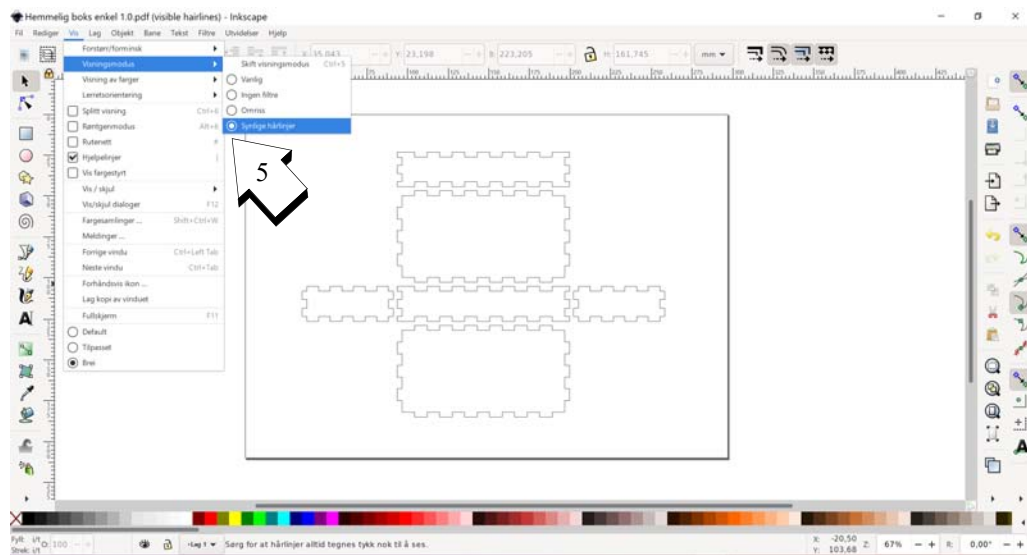


Importer en pdf-fil og vis hårlinjer

Importer boksfilen og plasser den på arket. Dette gjøres ved å velge **Fil** og **Importer** og så velge pdf-boksfilen (4). Ved opplasting får du et valg. Velg å importere **Text** som tekst på eget lag.



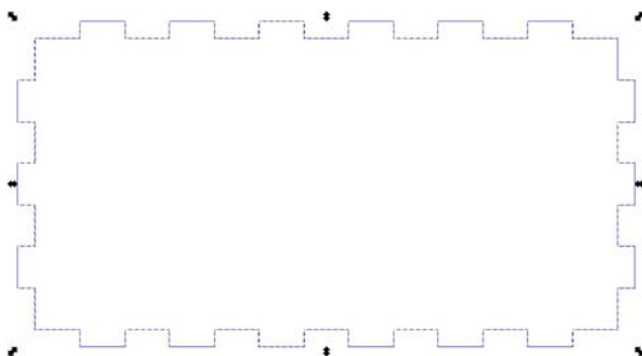
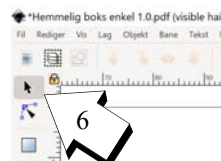
Den utbrettede boksen får nå fint plass på A4-arket og er importert som *ett* objekt som kan flyttes rundt på arket, vi legger den på arket uten å endre størrelsen. Vi legger merke til at bitene er tegnet med svært tynne og nesten usynlige streker. For at vi skal se strekene tydeligere, velger vi **Vis** fra menylinjen, og **Visningsmodus** og **Synlige hårlinjer** (5) (se figur under).



Oppl s (“Ungroup”) og samle i grupper (“Group”)

Slik bitene er organisert tar de imidlertid un dig stor plass. Vi vil derfor reorganisere dem. For   f  til det m  vi l se opp gruppen slik at vi kan behandle hver enkelt bit for seg. Dette g r vi ved   merke alle bitene (venstreklikk p  dem) for deretter   velge **Objekt** fra menylinjen og deretter **Del opp gruppe**, eller **ctrl + u**.

Ulempen med dette er at *hver enkelt delstrek i hver bit blir et objekt som kan flyttes*. Dermed m  vi gruppere bitene p  nytt. Det g r vi ved   ramme inn hver enkelt bit med musa og velge **Objekt** fra menylinja og deretter **Grupper**, eller **ctrl + g**. Pass p  at ikke delstreker fra naboobjekter blir med. G r du noe feil kan du alltid velge det ugjort med **ctrl + z**. Husk ogs    velge pilverkt yet, pila  verst i h yremenyen (6) n r noe skal merkes.

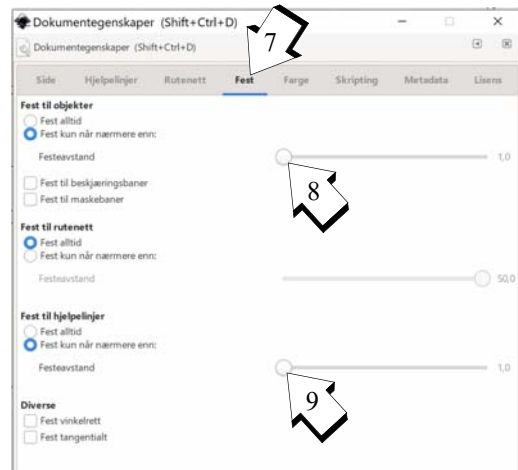


Figuren over viser den valgte brikken f r den er gruppert. Etter gruppering omringes brikken med en stiplet linje. Gjenta gruppering av de resterende brikkene.

Dersom du har behov for å zoome inn i bildet, velger du **ctrl + mushjulet**. Du kan flytte deg rundt på tegneflata med gliderne under og til høyere, eller ved å bruke **mushjulet** (opp og ned) og **shift + mushjulet** (høyre og venstre).

Rotasjon og omplassering av brikker

Vi kan flytte brikkene ved å venstreklikke og dra dem dit vi ønsker. Imidlertid kan de ha en tendens til å “klistre seg til” andre brikker når de kommer nær nok. Ved å velge **Fil** fra menylinjen og **Dokumentegenskaper** og **Fest** (7) så kan vi sette avstanden de må ha for at de skal feste seg. Vi setter **Fest til objekter** (8) og **Fest til hjelpelinjer** (9) til minimum, se figur til høyre.



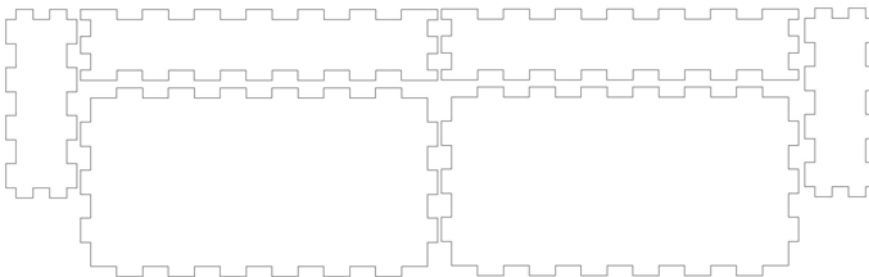
Vi kan også ha behov for å rotere et objekt. Skal vi dreie 90° enten mot venstre (10) eller høyre (11) kan vi bruke pilene under menylinja, se figuren til høyre.



Alternativt kan man velge **Objekt** fra menylinja og deretter **Omform**. Vi får da opp en meny til høyre med ulike faner, deriblant **Roter** (12), hvor vi kan sette den nøyaktige rotasjonsvinkelen.



Vi kan dermed plassere brikkene som vi vil, f.eks. som vist på figuren under.



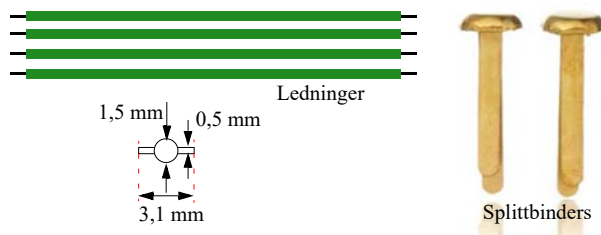
Lagre tegningen.



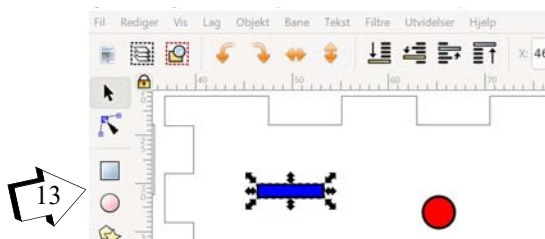
Tegn inn hull for splittbinders/ledning og plasser på linje

Vi ønsker å kunne velge å sette inn inntil 5 splittbinders eller ledninger langs hver av langsiden av boksen.

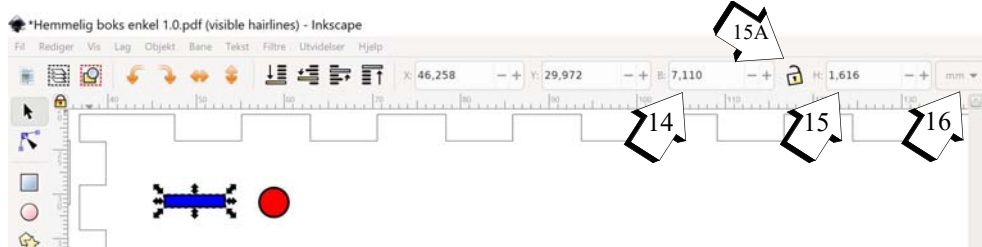
For å kunne velge ledning eller splittbinders, lager vi hull som passer for begge deler, se figuren til høyre.



Sirkler og rektangler tegnes med verktøyet på menyen til venstre. Klikk på rektangelet i menyen (13) og bruk musa. Venstreklakk og dra ut et rektangel med vilkårlig størrelse. Klikk på sirkelen i menyen (13) og dra ut en sirkel med vilkårlig størrelse.



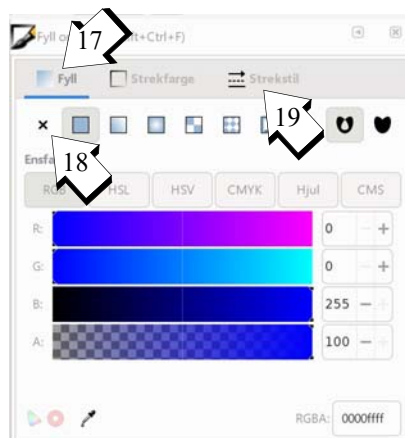
Vi skal nå justere størrelsen og linjetykkelsen til de to figurene, og deretter fjerne fyllfargen.



For å sette størrelsen på en kontrollert måte, merker vi figuren og setter bredde (B) (14) og høyde (H) (15) til henholdsvis $B = 3,1$ mm og $H = 0,5$ mm (refererer til figuren over). Vi gjør det samme for sirkelen og setter $B = H = 1,5$ mm. Pass på at du arbeider med millimeter (mm) (16) og at “hengelåsen” er åpen (15A).

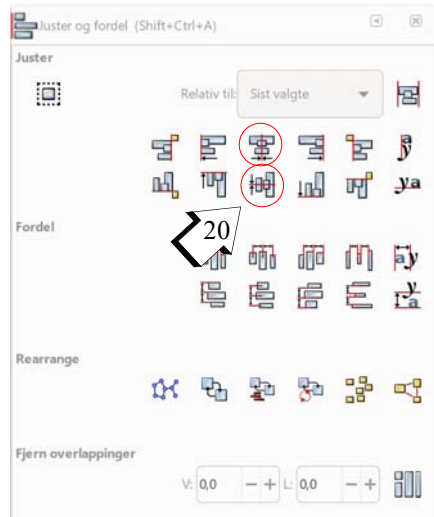
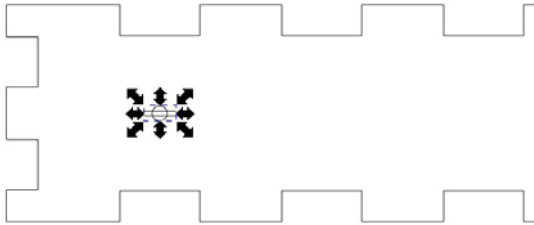
For å fjerne fyllet velger vi *Objekt* fra menylinjen og *Fyll og strek* fra menyen. Det kommer da opp en meny til høyre der vi velger *Fyll* på menylinja (17). Her velges ingen fyll (x) (18).

Så skal vi gjøre linjene tynne som hårstrå, *hårlinjer*. Dette gjør vi først ved å velge *Strekstil* og deretter setter vi *Tykkelse* til 0,05 (19). Inkscape gir dessverre ikke mulighet til å velge “hårlinje”.

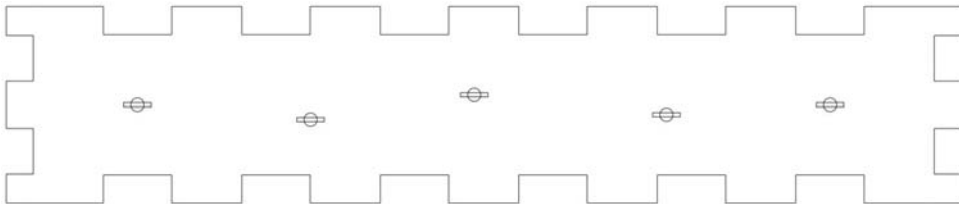


For å sentrere og sette figurene på linje velger vi igjen **Objekt** fra menylinja og deretter velges **Juster og fordel**.

Først må vi sammenstille rektangelet og sirkelen slik at de ligger sentrert over hverandre. Det gjør vi ved å merke begge og senterer figurene i horisontal og vertikal retning (20). Så bruker **ctrl + g** for å gruppere de to figurene.



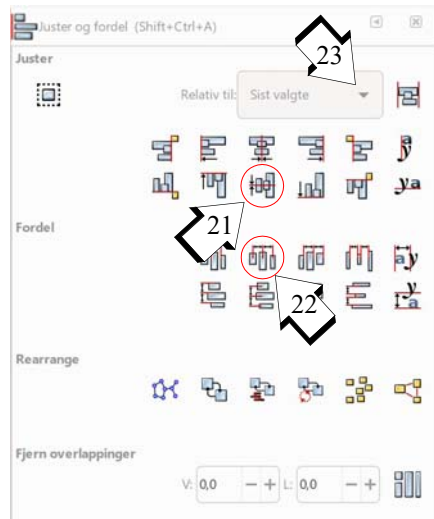
For å kopiere og mangfoldiggjøre hullene merker vi figuren og bruker **ctrl + c** for å kopiere og **ctrl + v** for å skrive ut en kopi. Vi gjentar dette til vi har fått fem kopier. Så fordeler vi dem omtrent som vist på figuren under og passer på at de to ytterste er plassert omtrent som på figuren.



Så merkes alle de fem hullene og vi velger å sentrere dem horisontalt slik at de kommer på linje (21). Deretter vil vi også gjerne at de skal fordeles med lik avstand mellom hvert hull. Til det bruker vi kommandoen **Fordel sentra med lik avstand vannrett** (22).

Vi velger å gruppere de fem hullene ved å merke og gruppere alle fem og bruker **ctrl + g**.

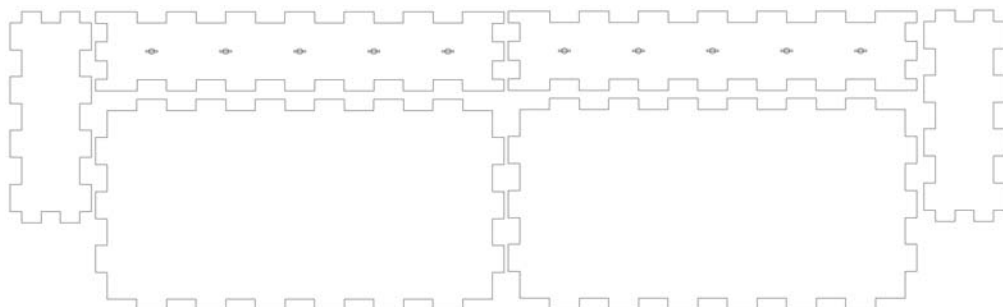
Vi ønsker også at rekka med hull er sentrert både horisontalt og vertikalt i sideveggen. Vi ønsker også at brikken skal være i ro, mens hullene senteres på brikken. For å få til det må vi merke både hullene og brikken. Vi ønsker at den vi merker først skal senteres på den vi merker sist. Vi går til nedtrekksmenyen **Relativt til** (23), og velger **Sist valgte**. Vi bruke **Shift +**





venstre klikk for å velge flere figurer etter hverandre. Den vi velger til sist er den de øvrige sentreres om. Velges hullene først og deretter brikken, vil hullene bli sentrert på brikken, slik at brikken forblir i ro på arbeidsflata.

Kopier så hullrekka over til den andre lange sideveggen og sentrer den på samme måte.

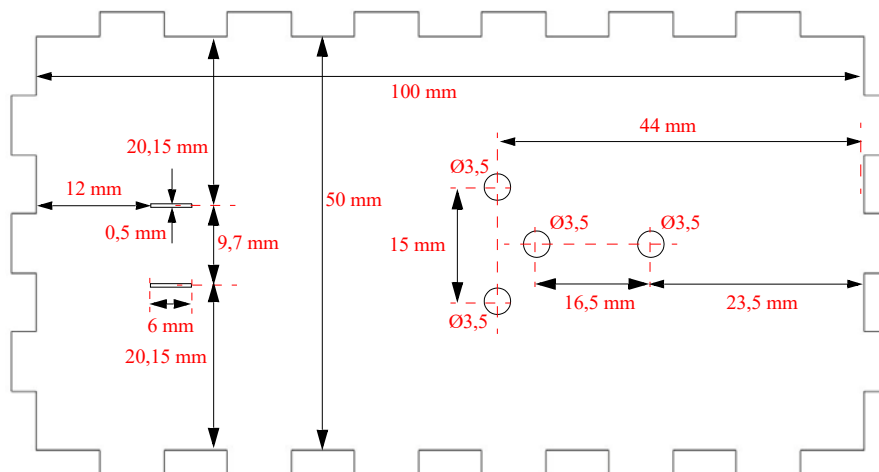


Det siste vi nå skal gjøre er å lage hull til feste av batteriholder og lyspære.

Hull for batteriholder og lyspæresokkel

Vi skal nå lage hull for en lampeholder og en batteriholder.

Siden batteriholderene kan være av forskjellig type så har vi markert to sett med hull. Velg det som passer best til den aktuelle batteriholderen.



For å gjøre dette trenger vi følgende kommandoer:

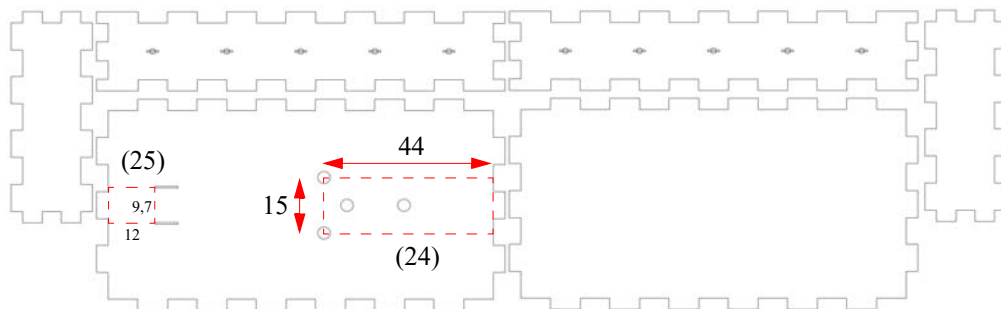
- Framstilling av rektangler og sirkler med en spesifisert størrelse
- Korrekt plassering i forhold til hverandre (se tegning over)

- Kopiering av objekter
- Oppstilling av objekter på linje og sentrering

Tegn inn hullene i enten topp- eller bunnplata som vist på figuren (plasseringen av hullene definerer hva som blir topplata). Dimensjonene og innbyrdes avstander mellom hullene er kritiske (se figuren over).

Plassering av hull etter mål

Alt som trengs for å lage disse hullene skal være omtalt foran, men det kan være litt vanskelig å plassere hullene på rett plass. Her finnes det flere måter. Jeg synes det enkleste er å lage seg *hjelperekangler* med ønskede dimensjoner. F.eks. vet vi at sentrum av de to vertikalt plasserte hullene skal være 44 mm fra høyre kant og ha en innbyrdes vertikal avstand på 15 mm.



Da lager vi oss et rektangel (stiplet) som er 44 mm langt og 15 mm bredt (24) og senterer dette om den horisontale senterlinjen til topplata. Vi kan nå plassere de to hullene i hjørnene til rektangelet som vist på figuren over.

Siden de to spaltene til venstre skal plasseres 12 mm fra høyre kant i en innbyrdes avstand på 9,7 mm, lager vi oss et hjelperekangel (25) på 12 x 9,7 mm som vi legger inntil høyre kant hos toppplata som vist i figuren over.

På denne måten kan vi få plassert hullene korrekt. Når hullene er plassert, fjernes hjelperekanglene.

“Hairlines” og lagring som pdf-fil

Alle linjer som er under en viss tykkelse vil skjæres av laserkutteren. Dersom de er over denne terskeltykkelsen vil de bli gravert. Siden vi ønsker at alle linjer skal skjæres, gjør vi tykkelsen av linjene minimale, dvs. vi setter dem til hårtykkelse eller “*Hairlines*”. Siden vi ikke har noen egen “*Hairline*”-kommando i Inkscape, velger vi en tykkelse som vi vet er tynn nok. Vi setter linjetykkelsen til 0,01 mm.

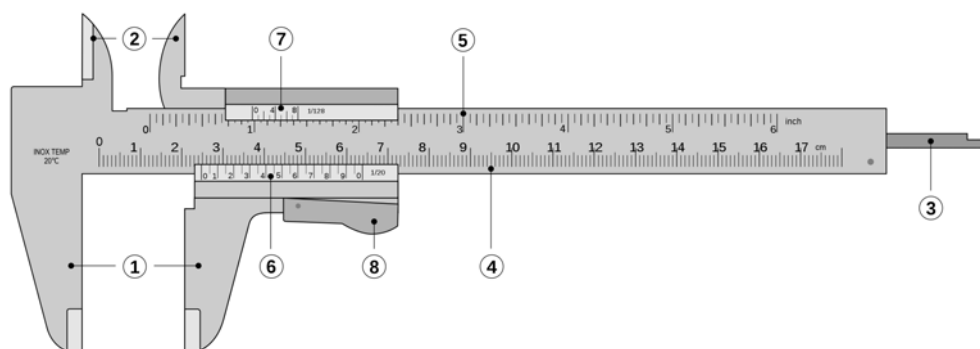
- Merk alle delene
- Sett tykkelsen til 0,01 mm. Dette gjør at alle merkede linjer får denne tykkelsen.

Derneft lagres filen som pdf-fil ved å velge **Fil** fra menylinjen og **Lagre som** for så å velge PDF som **Filtype**.

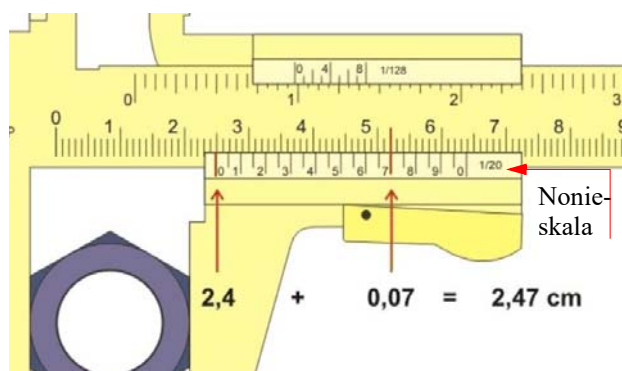
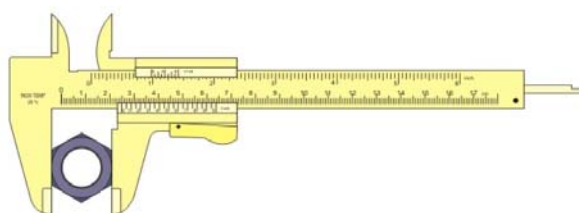


4.4.1 Bruk av skyvelær for å ta mål

Foran har vi oppgitt alle mål, men ofte er ikke det tilfelle, man må finne dimensjonene ved hjelp av måling. For måling av slike dimensjoner som her er skyvelæret til god hjelp¹³.



1. Målekjeft, utvendig måling
2. Målespisser, innvendig måling
3. Målestang, dybdemåling
4. Måleskala (cm)
5. Måleskala (tommer)
6. Nonieskala (1/20 mm)
7. Nonieskala (tommer)
8. Utløserknapp



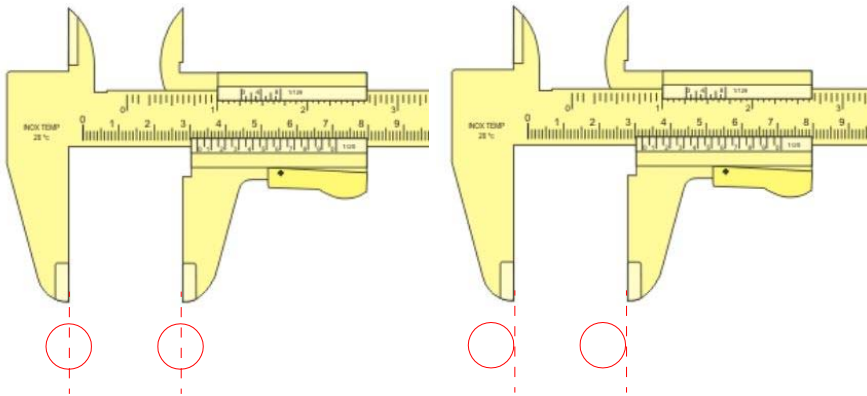
Skal man finne utvendige mål av f.eks. en mutter, omslutter man mutteren med *målekjeften* som vist nederst på figuren til høyre og leser av på måleskalaen, her i eksempelet: 2,4 cm. Imidlertid ser vi at avlesningen er nærmere 2,5 enn 2,4 cm. For å få en mer nøyaktig avlesning bruker vi *nonieskalaen*. Denne skalaen

er laget slik at der delstreke hos nonieskalaen akkurat treffer en av målestrekene i måleskalaen, der har vi verdien i 1/10 dels mm. I vårt eksempel kan vi også lese av 1/20 dels mm.

I tillegg til å ta utvendige måle med målekjeften, kan vi ta innvendige mål med *målespissene* og dybden av hull med *målestangen*.

13.Figuren er hentet fra Wikipedia og tegnet av Joaquim Alves Gaspar, modified by ed g2s – Eget verk, CC BY 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1365717>

Skal man måle senteravstanden mellom hull (figuren under til venstre) så har man ikke noe fysisk å støtte seg til enn å anslå midtpunktet av sirklene. I slike tilfeller kan det derfor være lettere å måle mellom de to høyrekantene av hullene som vist på figuren under til høyre. Er hullene like store så vil en slik måling gi samme resultat som om vi målte mellom midtpunktene hos hullene.



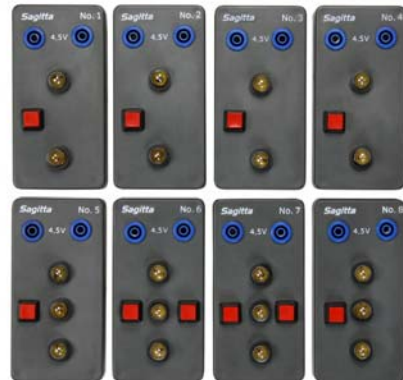
Man kan også benytte målespissene om det er lettere.

4.5 Lag en avansert laserkuttet hemmelig boks III

Den neste boksen er litt mer avansert og passer kanskje best for elever i ungdomsskolen. Den krever også at man har tilgang til en laserkutter, ev. kontakter ett av de ti regionale vitensenterne.

Læremiddelfirmaet Sagitta¹⁴ selger en serie med 8 slike bokser som er nummerert fra 1 til 8 med økende vanskelighetsgrad. For å komme igang med å utforske boksene, kobler man til et 4,5V batteri med laboratorieleddninger. Dernest kan man studere hva som skjer med lyset i lyspærene når man trykker ned en eller flere brytere. I tillegg kan man kontrollere hypotesene sine ved å skru ut og inn lyspærene og se hva som skjer med lysstyrken hos de andre.

Det finnes et lignende sett av hemmelig bokser som er utstyrt med elektroniske komponenter som lysdioder, transistorer, LDR, motstander og brytere¹⁵. Disse boksene kan enten tilsluttes likespenning eller vekselspanning (10 – 15 V).



14. <https://www.sagitta.se/artikel.php?kid=101-116&sok=&id=2884&sort=#.Wdkxarpulhc>

15. <https://www.sagitta.se/artikel.php?kid=101-116&sok=&id=2885&sort=#.Wdkyypulhc>

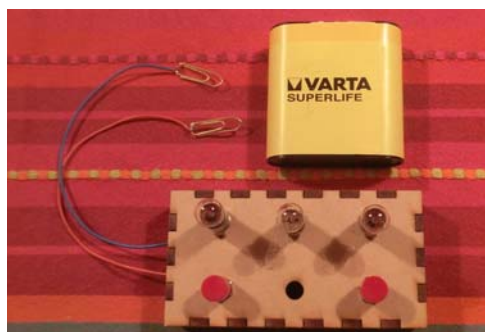


4.5.1 Framstilling av en avansert hemmelig boks

Ekspériment: 6 Hemmelig “boks” III – Avansert

Til dette eksperimentet trengs en laserskåret boks, skruer og muttere, ledning, batteriholder, batteri (4,5 V), to binders, trykkbrytere, lyspæreholdere og lyspærer. I tillegg trenges loddebolt og loddetinn, avmantlingstang¹⁶ og avbiter.

Disse hemmelige boksene er av en helt annen type og langt mer krevende enn de vi har beskrevet så langt. Dvs. denne typen hemmelige bokser kan differensieres fra de helt enkle til det meget kompliserte.

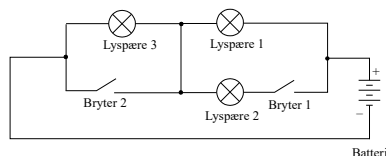


Denne boksen består av inntil tre lyspærer og tre trykkbrytere, brytere som slutter en krets når de trykkes inn. En kan selv velge antall pærer og brytere og hvordan de skal kobles sammen. Et 4,5 V batteri kobles til boksen for å gi strøm til kretsen.

Å komponere et koblingsskjema som gir en passende utfordring for elever på et visst kunnskapsnivå kan være vanskelig. Det kan derfor være lurt å lage en serie bokser med økende vanskelighetsgrad.

La oss se hvordan vi kan lage slike hemmelige bokser.

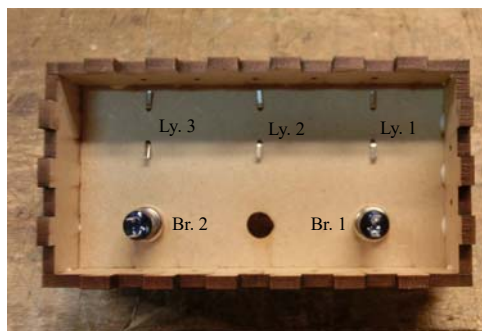
1. Begynn med å tegne koblingsskjema. Ta hensyn til hvilken vanskelighetsgrad boksen skal ha. Husk at det som kan synes enkelt når en tegner skjemaet, kan oppfattes som svært komplisert når man skal finne ut av det.



2. Monter lyspæresoklene og bryterne. Bøy loddespydene til soklene på baksida av topp-plata og fest bryterne¹⁷ med en mutter på oversida.



3. Ta utgangspunkt i topplokket til boksen og monter de fire sideveggene. Er bok-

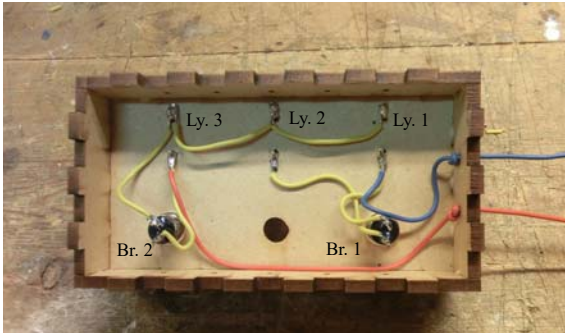


sen rett dimensjonert skal det ikke være nødvendig å bruke lim for å holde boksen sammen.

¹⁶.En avmantlingstang er et verktøy for å ta av isolasjonen på ledninger.

¹⁷.Bryteren i dette eksemplet er en bryter som er i salg hos Clas Ohlson og er dermed lett tilgjengelig men dyr.

4. Avisoler endene og koble opp ledningene i henhold til koblingskjemaet ved hjelp av loddebolt.



5. Til slutt loddes to binders til de to ledningene som stikker ut av boksen. Disse kobles til de to polene på et 4,5V batteri.

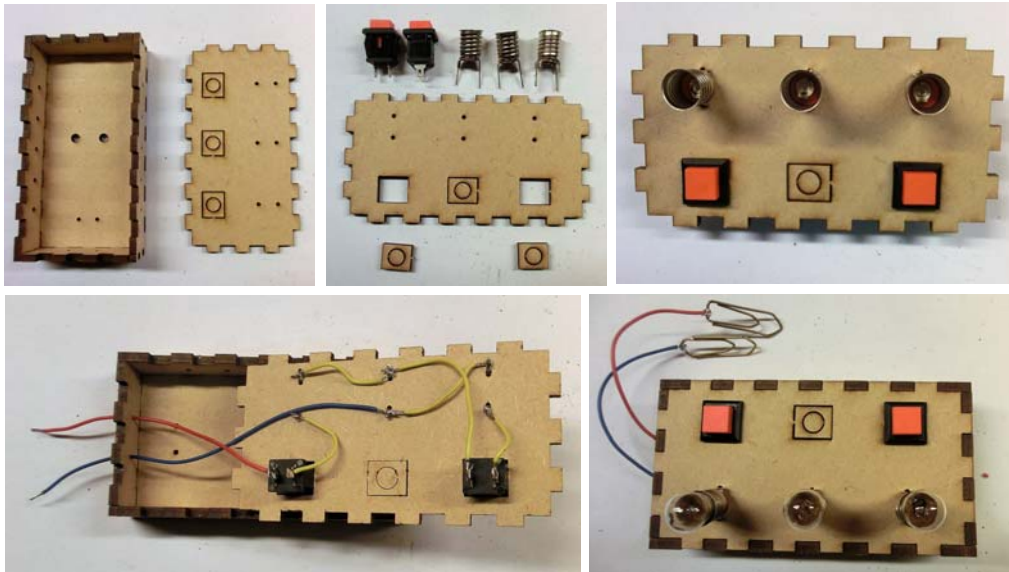
Den hemmelige boksen er nå klar for bruk.

Siden bryterne i denne varianten er lett tilgjengelig, men relativt dyre, så har vi også laget en billigere variant med brytere innkjøpt fra ELFA.

Siden framstillingen er svært lik den som er omtalt foran, så gjentar vi ikke beskrivelsen, men viser resultatet.

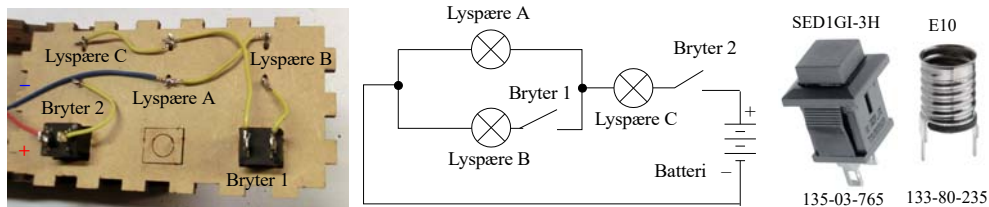


Bildene under viser en alternativ utgave av den hemmelige boksen.





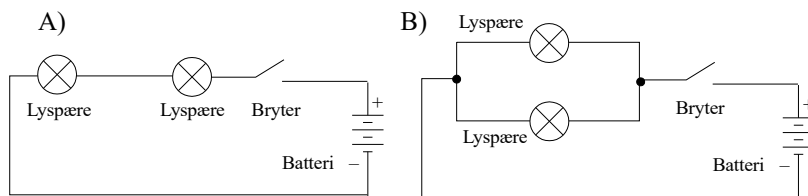
Koblingsskjemaet for denne boksen er vist i figuren under til høyre. Oppkoblingen er vist til venstre, bildet viser undersiden av topplata.



Bryteren som er benyttet er en enpolt trykkebryter (ELFA 135-03-765). Komplette komponentliste finne i vedlegg C.3.2 på side 131.

4.5.2 Bruk av den avanserte boksen

Selv om vårt eksempel beskriver en svært krevende boks, så kan vi begynne mye enklere. I koblingsskjemaet under er vist to enkle koblinger, en seriekobling av to pærer og en parallellkobling av to pærer, begge med en bryter

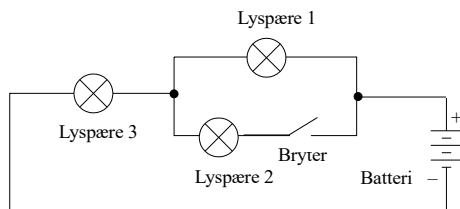


La oss tenke oss at vi har en boks med to lyspærer og en bryter. Hvordan skal man avgjøre hvilken av disse koblingene som er den riktige. Begge lyspærene tenner når bryteren trykkes inn.

Det finnes to løsninger på denne utfordringen:

- *En seriekobling (A) vil redusere strømmen i pærene slik at lysstyrken reduseres. Det er imidlertid vanskelig å bedømme lysstyrken dersom man ikke kan sammenligne med en lyspære som ikke er seriekoblet.*
- *En kan trykke ned bryteren og så skru ut den ene pæra. Dette vil løse problemet.*

Her er en annen oppgave:



Forsøk å tenk igjennom hva som skjer med lyset i de tre lyspærene når bryteren trykkes inn, ev. en eller flere av pærene skrur ut:

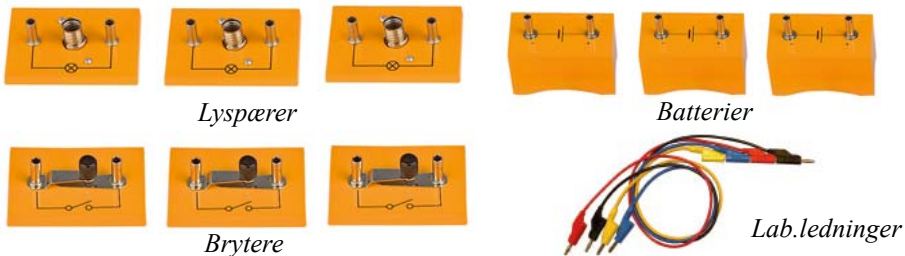
- *Hvilke lyspærer lyser og hvordan er den forholdsmessige lysstyrken når batteriet kobles til?*
- *Hva skjer med lyset i lyspærene når man trykker på bryteren?*
- *Hva skjer med lyset i de tre lyspærene når en og en av de tre pærene skrur ut og bryteren ikke er trykket inn?*
- *Hva skjer med lyset i de tre lyspærene når en og en av de tre pærene skrur ut og bryteren er trykket inn?*
- *Er det mulig å skru ut to av pærene, slik at den siste fortsatt lyser når bryteren er trykket inn?*

Det kan være lurt å gjennomgå slike spørsmål for hver oppgave man lager.

Uttesting med bruk av konkrete

Det er flere måter å bruke hemmelig boks III på:

- *Man kan gi elevene en rekke alternative kretsløsninger og be dem velge og argumentere for den løsningen de mener er den riktige. Om flere grupper arbeider med den samme boksen, men oppnår forskjellig svar, så kan man la dem argumentere for hver sin løsning og se hvem som til slutt får gjennomslag for sitt forslag.*
- *En mer abstrakt arbeidsmetode er at elevene tegner skjema etter som de arbeider med kretsen, helt til de kommer fram til et forslag de vil gå for. La dem så argumentere for hvorfor den løsningen de har valgt er den riktige.*
- *Som en forlengelse av metoden foran så kan de få utlevert lyspærer i holdere, brytere, lab.ledninger og et batteri, for så å prøve ut den løsningen de har foreslått, dermed kan de kontrollere og ev. korrigere seg selv.*



Denne siste metoden synes å være den mest konstruktive da de selv kan etterprøve forslaget sitt til løsning, for ev. å gjøre endringer om de ser at oppkoblingen ikke reagerer på samme måte som den hemmelige boksen.

Her kan man også benytte Snap Circuit eller lignende for uttesting, se avsnitt 3.3, side 59.

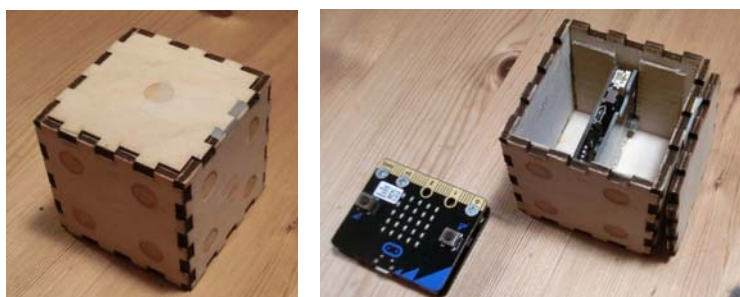


5 Eksempler på bruk av laserkuttede bokser

Når man bruker et programverktøy som “Make a boks” så ender man opp med en lukket eske med spesifiserte indre dimensjoner. En slik lukket boks har begrenset verdi, men med litt enkel bearbeiding kan den brukes til mange forskjellige formål.

5.1 Bokser som terninger

En terning er en lukket kubisk boks. Med en passende størrelse og med markering av øyne på de seks sidene, så kan de brukes til å kastes med. Mer interessant blir terningen dersom den inneholder en micro:bit som registrerer orienteringen og overfører denne til en annen micro:bit som er programmert som en riste terning. Det brukeren av risteterningen ikke vet er at orienteringen av boksteringen bestemmer resultatet til risteteringen via trådløs kommunikasjon mellom de to.



5.2 Bokser som kan åpnes

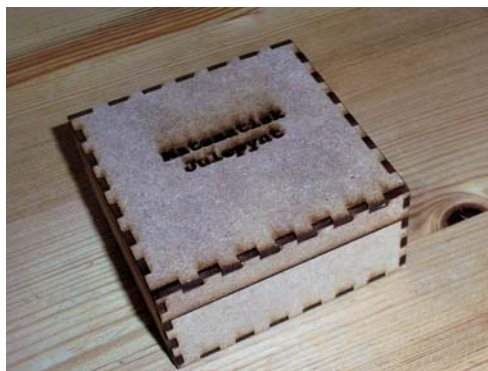
Det kan være litt krevende å lage boksen slik at en eller flere sideflater kan brettes ut slik at den kan åpnes. I dette eksempelet ønsket vi å vise hvordan en utbrettet kube ville se ut. Dermed var det nødvendig å hengsle alle sideflatene. Dette ble gjort ved å bore tynne hull gjennom sidene til fingrene som gikk inn i hverandre langs sidekantene. En stift i hvert hjørne var tilstrekkelig.



5.3 Boks med lokk

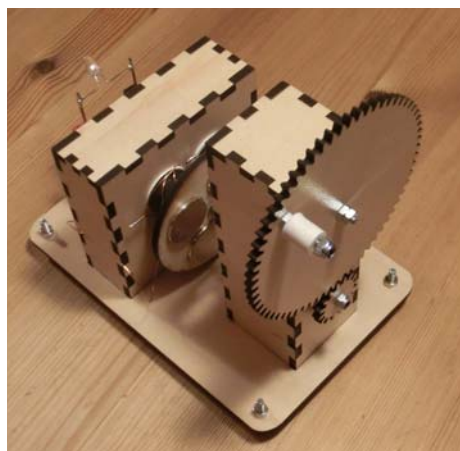
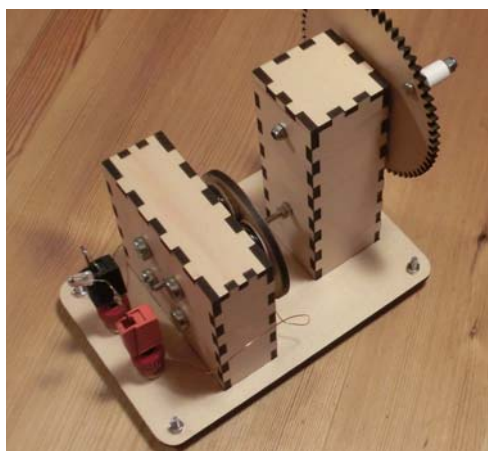
Ønsker man en boks med lokk så kan man enten lage to bokser, en som går utenpå den andre; for så skjære bort, henholdsvis øverste og nederste delene av de to boksene. Dermed blir det to halv-bokser hvor den videste boksen kan brukes som lokk over den minste.

Alternativt kan man lage en boks og dele denne på tvers slik at den øverste delen blir lokk og den nederste blir selve boksen. Siden tverrsnittet av boksene blir likt, kan ikke den ene gå utenpå den andre. I stedet lager man en foring på innsiden av boksen som stikker noen millimeter opp over kanten slik at lokket holdes på plass som vist på figuren under. Lokket kan ev. utsmykkes med ornamenter

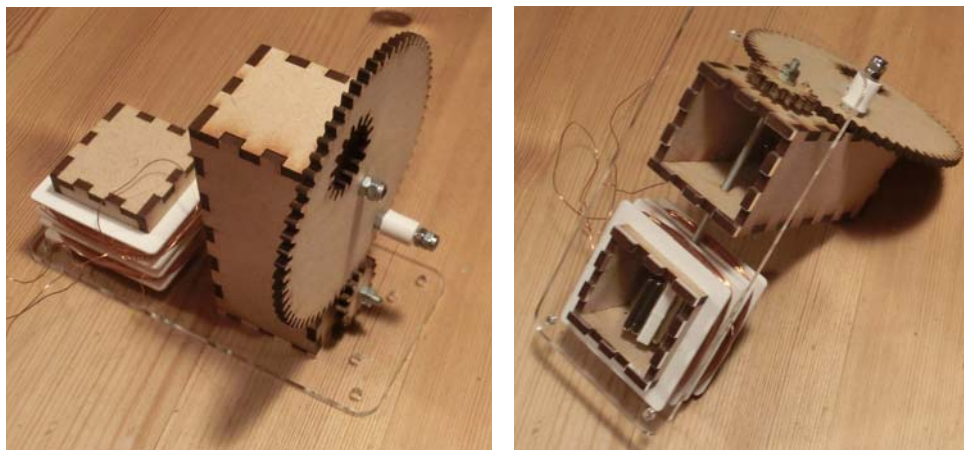


5.4 Bokser som braketter

Noen ganger kan man trenge stødige braketter for akslinger, som her for disse to håndgeneratorene for demonstrasjon. Siden dette kun er utstyr for demonstrasjon så har vi valgt bokser som stødige braketter. Bunnplata i boksen fjernes og fingrene fuges ned i monteringsplata.



I denne varianten har vi også brukt en av boksene som hus for den roterende magneten, og som holder for to 3D-printende spoleformer der statorspolen er viklet.



5.5 Skuffesystem

En boks som er åpen i toppen kan også oppfattes som en skuff og settes inn i et rammeverk som vist på bildene under. Her er topplatene tatt av og fingrene fjernet. Et rundt hull i fronten gjør det lettere å dra ut skuffen.



Spalter i sidene på skuffene kan lages slik at det er mulig å sette inn en eller flere skillevegger. To smale spalter i fronten gjør det mulig å sette inn en merkelapp med innholdfortegnelse. I en real

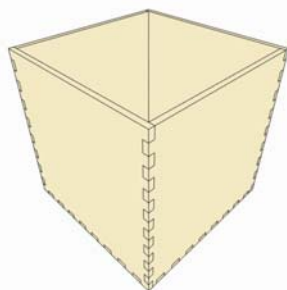


er det ikke vanskelig å lage skuffer med ulik bredde som vist på bildet under. Tar man ut en skuff har man også en hylle.

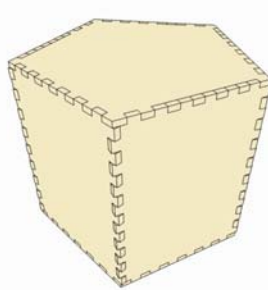


5.6 Flerkantede bokser

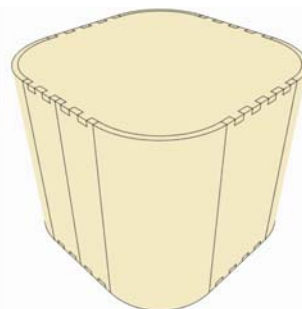
Ved hjelp av andre boksprogrammer så kan man lage bokser med mer en fire sideflater. Med programmet MakerCase¹⁸ kan man lage bokser med ulike antall sidekanter fra 3 og oppover, eller også med avrundede hjørner som vist på figuren under.



Basic Box
Simple boxes



Polygon Box
Polygon boxes with 3 or more sides



Kerf Bent Box
Boxes with round corners

18. <https://www.makercase.com/#/>

En slik boks ble brukt for å lage et sekskantet hull fundament for elektronikken til en av Viten-
senterets utstillinger i det nye elektrorommet.





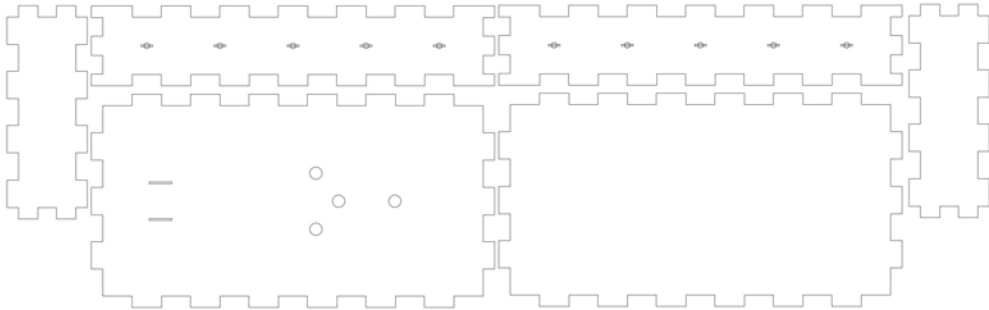
6 Framstilling av bokser med laserkutter

I dette kapittelet skal vi trinn for trinn vise hvordan vi går fram for å skjære ut den “Den hemmelige boksen” vi har tegnet på laserkutteren ved Vitensenteret. Vi forutsetter at skjærefila finnes i pdf-format.

1. Hent opp skjærefila


Det enkleste er å overføre boksmønsteret på en minnepinne til administrasjons-PC’en som er koblet opp mot laserkutteren. Ev. kan fila legges på en felles server.

Figuren under viser det ferdige skjæremønsteret til “Den hemmelige boksen”.



Tegningen skal nå være i format 1:1. I denne beskrivelsen bruker vi FlexiDesign som ligger på administrasjons PC’en, alternativt kan man bruke CorelDRAW. I FlexiDesign kan vi dekomponere tegningen flytte rundt på delene og ev. legge på tekst.

2. Åpne i FlexiDesigner

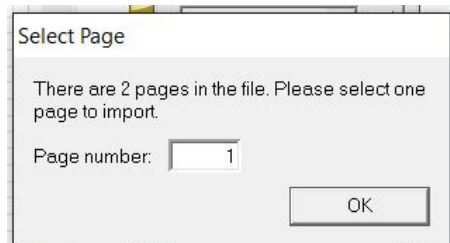
Gå til administrator-PC’en, logg på og åpne FlexiDesigner ved å velge ikonet . Du vil da få opp arbeidsflata. Sjekk at den er på størrelse med laserkutteren (ca. 1016 x 711 mm)

3. Importer pdf-fila

Velg “Import”-kommandoen (Under *File* i menylinja) og velg ønsket fil for import.

Dersom fila består av flere sider, blir du bedt om å angi hvilken side i dokumentet du skal importere.

En stiplet firkant viser omrisset av tegningen. Plasser tegningen øverst i venstre hjørne av arbeidsflata.



4. Løs opp grupper (Ungroup) i tegningen

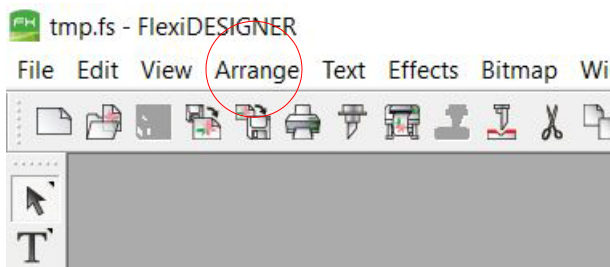
Om ønskelig kan du nå endre posisjon på brikkene, noe som kanskje ikke er nødvendig.

- Merk hele tegningen ved å ramme den inn. Strekene i tegningen skal nå være røde.



- Gå til menylinja øverst og velg *Arrange*, og velg deretter *Group*, for så å velge *Ungroup* (ev. trykk *ctrl + u*)

Nå er alle delene av tegningen delt opp slik at det er mulig å plassere delene slik at de passer best mulig til arbeidsstykket den skal skjæres ut i. Det er også mulig bare å skrive ut deler av tegningen om det er ønskelig.



- Gå til menylinja øverst og velg *Arrange*, og velg deretter *Group*, for så å velge *Group* (ev. trykk *ctrl + g*)

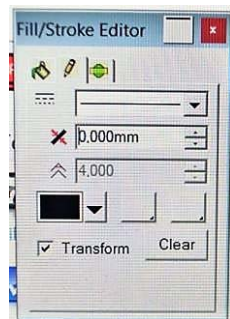
Merk at det kan være lurt å gruppere de enkelte delene av boksen på nytt. Flexidesigner oppfører seg imidlertid annerledes enn Inkscape i og med at den tar med hele nabobrikken dersom denne berøres av innrammingen med musa. Det er derfor viktig å sørge for at rammen kun dekker den delen som skal grupperes.

5. Sett bredden av alle linjer til 0.00 mm

Laserkutteren vil automatisk skjære alle linjer som er under en gitt linjebredde. For å være sikker på at det skjer, merker vi hele tegningen og velger heltrukken linje med linjebredde 0,00 mm i innboksen til høyre for arbeidsfeltet - "Fill/Stroke Editor" (se bildet til høyre).

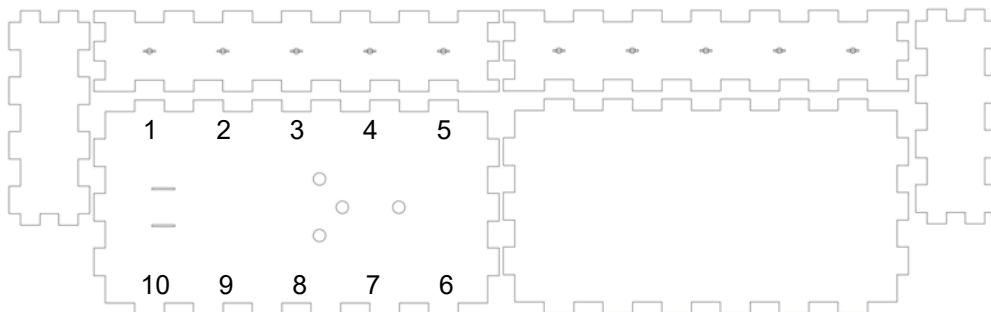
- Velg "blyanten" i menyen
- Velg heltrukken linje
- Sett linjebredde til 0,00 mm

Dette gir et design med "hairline" (hårlinjer – linjer med "hårs" bredde), dvs. minimal tykkelse på linjene som skal skjæres.



6. Legg inn tekst

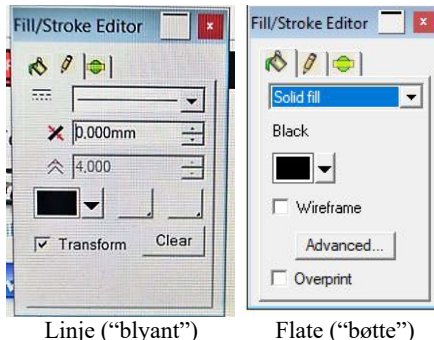
Det kan være ønskelig å gravere en tekst f.eks. nummerering av ledningene.



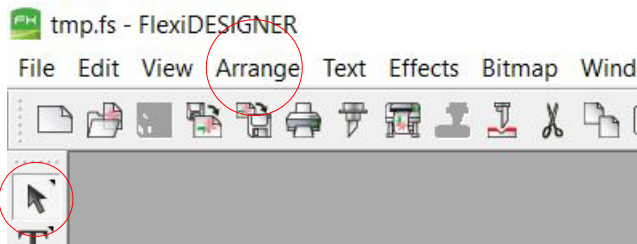
Gjør slik:

- Velg “T” fra menyen til venstre kant
- Flytt markøren til et ledig sted på arbeidsflata og skriv inn ønsket tekst

- Dersom teksten blir hvit, marker teksten ved å ramme den inn og bruk *Fill/Stroke Editor*. Velg fanen med “bøtte” og sett fargen til sort. Gå så til “blyant” og velg *Clear*, nederst til høyre. Dette vil fjerne alle streker som ev. omkranser alle bokstaver slik at en ikke risikerer at de skjæres ut istedet for å graves.



- Om ønskelig kan teksten roteres. Teksten roteres ved å gå inn i *Arrange* og velg *Rotate* (eller ctrl + r). Kommandoen kan brukes til ikke bare å rotere tekst, men alt man ønsker å rotere.



- Skriv inn antall grader i innboksen til høyre. + 90° dreier mot venstre og – 90° dreier mot høyre.
- Velg pila øverst i menyen til venstre og flytt teksten ditt du ønsker å ha den.
Vær klar over at gravering kan ta lang tid, gjerne mye lengre tid enn skjæring. Det kan derfor være like greit å droppe graveringen og heller skrive tallene på med en tusj eller blyant.

7. Plassering av tegningen for utskrift

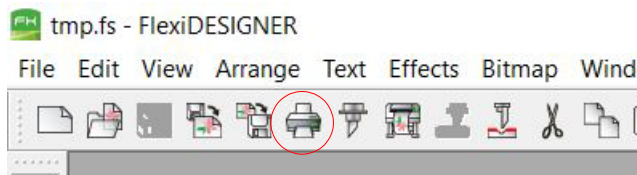
Det er praktisk å plassere det som skal skrives ut øverst i venstre hjørne i arbeidsflata.

- Merk det som skal skrives ut og flytt det øverst til venstre i arbeidsflata.

8. Sett opp laserkutteren

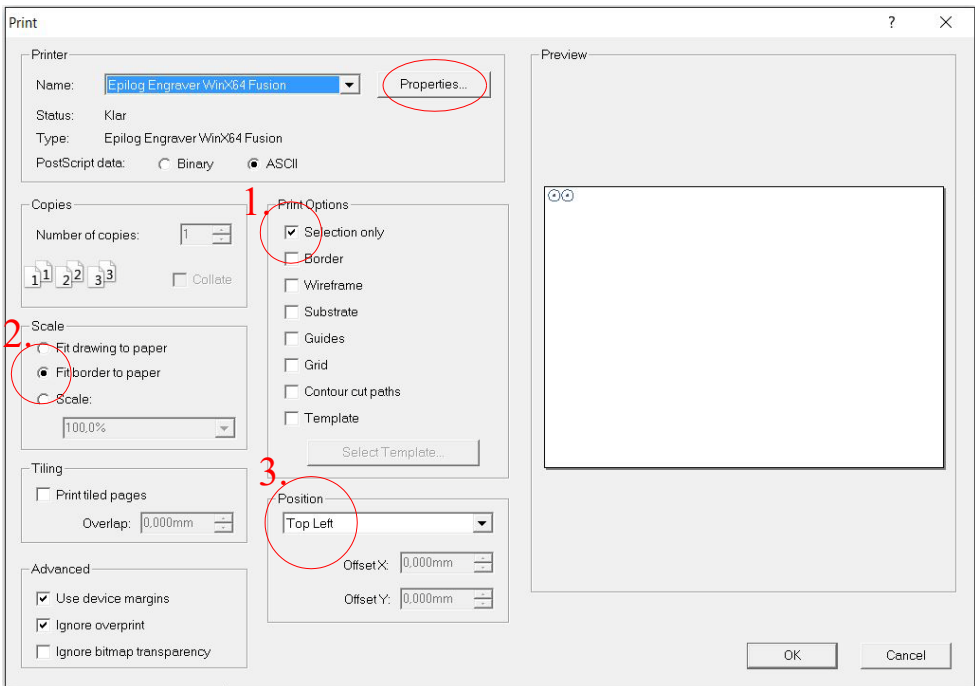
Vi skal nå forberede for utskrift (skjæring og ev. gravering). I dette eksempelet velger vi 3,0 mm MDF.

- Forbered fila til utskrift ved å velge utskriftsymbolet på menylinja over arbeidsflata.





- Du vil da få opp utskriftsmenyen.



- Pass på at følgende er sjekket ut:
 1. Print Option: *Selection only* (Velger å skrive ut bare det som er merket)
 2. Scale: *Fit border to paper* (Ev. Scale 100%)
 3. Position: *Top Left*

9. Sett opp laser-spesifikasjoner

Vi skal nå bestemme effekt og hastighet til laseren. Velg *Properties* i utskriftsmenyen, se figur over.

Du vil da se menyen til høyre: For skjæring og gravering av 3,0 mm MDF velg følgende parametre:

1. *Job type*: Velg *Combined* (skjærer og graverer i en operasjon)



2. *Raster Setting*: (Graving): *Speed* = 90 %, *Power* = 25 %, *Freq.* = 50 %

3. *Vector Setting*: (Skjæring): *Speed* = 15 %, *Power* = 100 %, *Freq.* = 50 %

Dersom det bare skal skjæres velges *Vector* og det er ikke nødvendig å sette opp for *Raster* graving. Trykk *OK*

10. Send filen til laserkutteren

Jobben sendes til laserkutteren ved å trykke *OK* i printermenyen

Dersom laserkutteren er påslått vil displayet vise et jobbnnummer og navnet på jobben, sammen med en estimert tid for skjære/ graveringsjobben.

11. Oppsett av laserkutter

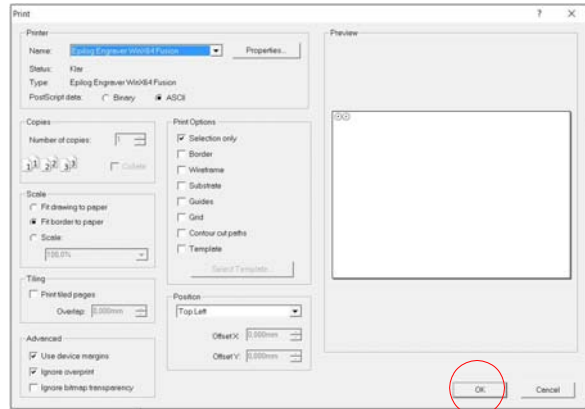
Det er to brytere som må slås på:

- Slå på laserkutteren med bryteren nede foran til høyre på maskina (svart)¹⁹.
- Avtrekk *startes med rød lysende knapp* på framsida *idet laseren starter å skjære eller gravere*.
- Ventilasjonen i rommet startes med bryteren på veggen til høyre innenfor skyvedøra. Normalt skal den stå i *Auto*.
- Bruk hørselvern, det er viktigere enn du skulle tro.

12. Plassering av plata.

Et godt alternativ er å:

- **Plasser plata.** Legg øverste venstre hjørnet på plata i øverste venstre hjørne på bordet.
- **Slå på markeringslaseren**, rødt punkt. Knappen er vist på figuren til høyre. En diode lyser grønt når den er påslått. Den viser stedet der laseren til en hver tid er posisjonert.
- **Bruk pilene** på kontrollpanelet for å flytte den grønne markøren til: "JOG" for å forskyve startpunktet til ønsket posisjon på plata. Gjerne 1 cm fra kanten av bordet i bakkant og 1 cm fra kanten til venstre.
- **Trykk ned** joy-stikken når ønsket posisjon er oppnådd, og posisjonen blir låst som nytt referansepunkt, dvs. som øverste venstre hjørne i arbeidsflata (altså ikke hjørnet på selve tegningen).



¹⁹. Hovedbryteren på laserkutteren er sjelden avslått, den er nede til høyre bak.



13. Fokusering

Fokuseringen gjøres for at laserstrålen skal være i fokus i overflata av plata.

- **Ta metalltriangelet** som ligger i fordypningen til venstre på laserkutteren, og heng det på de to knagene på skrivehodet som vist på figuren til høyre.



- **Flytt den grønne markøren** til "FOCUS" med piltastene og bruk joy-stikken til å justere opp eller ned slik at triangelet akkurat tangerer plata.
- **Bekreft at fokusering** er utført ved å trykke joy-stikken rett inn.
- Fjern kalibreringstriangelet



14. Skjæring og gravering

Laserkutteren er nå klar til å skjære og gravere. Normalt vil den starte med å gravere og avslutte med å skjære:

- Lukk det store lokket, laseren vil ikke slås på før lokket er lukket (se Tips I under)
- Trykk **GO** for å starte jobben
- Trykk **STOP** for å stoppe jobben
Jobben kan startes på nytt igjen ved å trykke **GO**, den vil da forsette der den slapp.
- Trykk **RESET** om du vil at jobben skal starte helt på nytt. Du må da starte den på nytt ved å trykke **GO**

TIPS I: Dersom du trykker GO uten å lukke lokket, så vil den gjennomføre hele jobben med avslått laser. Dette er nyttig for å se om resultatet ser riktig ut før skjæring, ev. for å sjekke at den holder seg innenfor ønsket areal. Jobben kan avbrytes og startes på nytt så snart man får bekreftet at ting ser riktig ut.

TIPS II: Ved oppstart hender det at det tar noen sekunder før laseren slår seg på. I så fall kan det være noen cm som ikke er skåret. Dette kan være problematisk siden man ikke får løsnet delen fra plata. Det er derfor lurt å følge med i starten for å se om det skjer. I så tilfelle kan man etter at skjæringen er ferdig, starte jobben på nytt å stoppe den etter at den manglende biten er skåret.

- **NB! Slå på avtrekkskabinettet**
Det er et eget kabinett til høyre for laserkutteren. En knapp lyser rødt, denne trykkes idet skjæringen starter og avtrekksvifta starter. Dersom dette ikke gjøres vil laserkutteren fylles med røyk som etter hvert vil sive ut i rommet.





-
- Ikke forlat en laserkutter som skjærer, det er viktig å se om alt går som forventet og at materialet ikke tar fyr. **VIKTIG:** Ved ev. brann: slå av laserkutteren med nødbryteren nede til høyre, åpne lokket og slukk brannen med brannteppet som ligger oppe på avtrekksenheten.
15. **Ta ut arbeidsstykket og plukk ut delene**
Vær forsiktig når små deler skal plukkes ut, de kan lett falle ned mellom sprinklene i rista som holder arbeidsstykket. Det kan være lurt å kjøre skjærehodet tilbake og så løfte bort plata. Da skal de utskårne delene ligge igjen på rista.
16. **Rengjøring og opprydding**
Alle platerester tas ut av laserkutteren og kastes. Om de er verdt å ta vare på legg dem i metallkassen ved veggen, ev. bær dem tilbake til lageret.
- Linsa og speilet i skjærehodet skal rengjøres etter hver jobb. Be ansvarlig om å gjør dette ev. gjør det under oppsyn av ansvarlig.



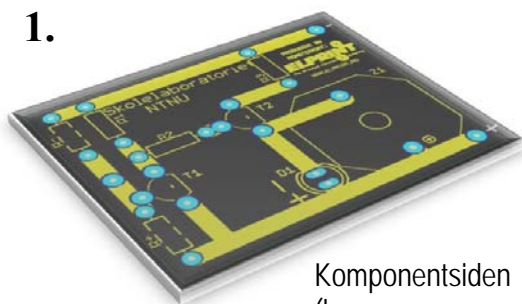
7 Bygg en fuktighetsdetektor

Fuktighetsdetektoren er et enkelt byggesett som egner seg for bruk både på mellomtrinnet og på ungdomsskolen. Det er relativt enkelt å koble opp og har en del interessante anvendelser. Kretsen selges som byggesett ved Skolelaboratoriet ved NTNU (kr. 90,00 + MVA). www.ntnu.no/skolelab/byggesett-for-salg

7.1 Byggeveiledning

1. Ta ut monteringsplata.

På *komponentsiden* (siden med tekst) skal komponentene stå, på *lodd siden* (siden med loddebaner) skal vi lodde dem til kobberbanene.

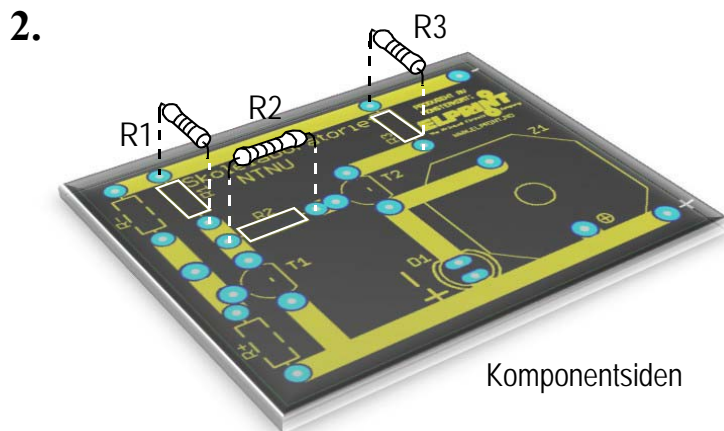


Komponentsiden
(banene er normalt ikke synlig)

2. Finn motstandene, R1, R2 og R3

- R1 (rød, fiolett, orange, gull), 27 000 Ω ,
- R2 (orange, orange, rød, gull), 3 300 Ω ,
- R3 (grønn, blå, brun, gull), 560 Ω .

Fargene skal leses fra venstre mot høyre når gullringen er til høyre. Beina til motstanden bøyes i rett vinkel og stikkes gjennom hullene fra komponentsiden og presses helt ned til monteringsplata. Det spiller ingen rolle hvilken vei de plasseres.

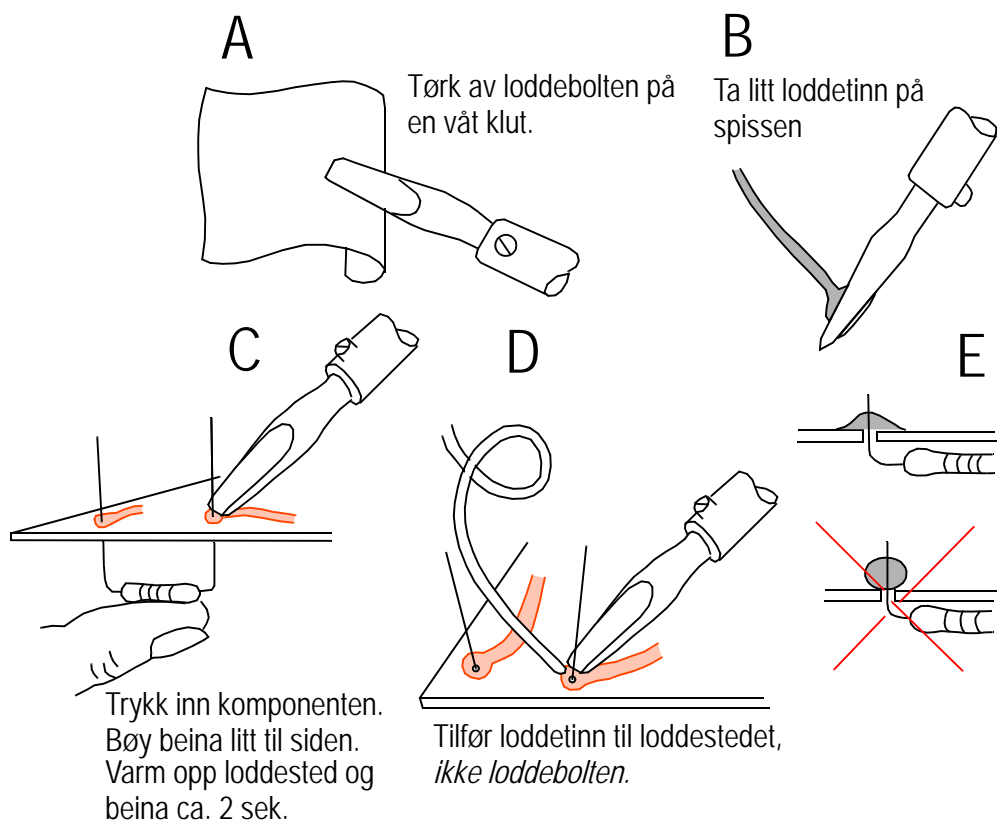


Komponentsiden

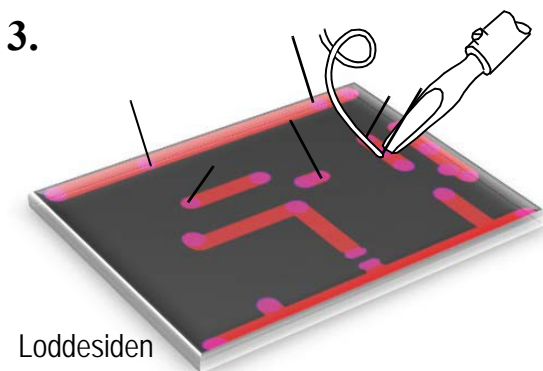


3. **Gå gjennom loddekurset.**
Snu kortet slik at loddesiden kommer opp.

Loddekurs



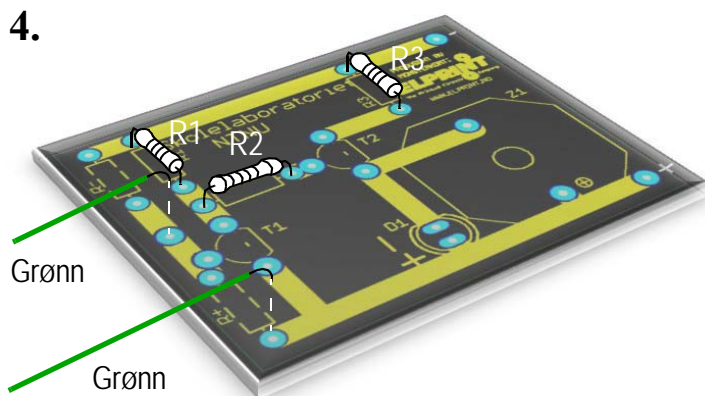
Lodd fast beina til de to motstandene. Klipp av beina inntil loddingen.



4. Finn de to grønne ledningene

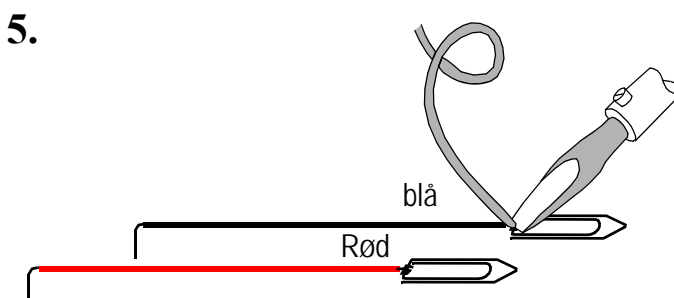
Ta av ca. 5 mm av isolasjonen i hver ende.

Monter ledningene som vist på figuren under og lodd fast på loddessiden.



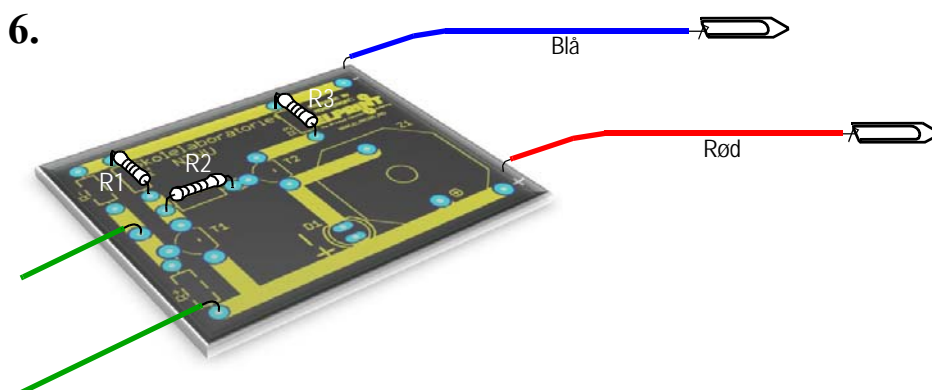
5. Finn bindersene og den røde og den blå ledningen.

Ta av ca. 5 mm isolasjon i begge ender av den blå og den røde ledningen. Lodd en binders i den ene enden av hver ledning.



6. Monter batteriledningene

Monter ledningene på monteringsplaten som vist på figuren til venstre. Pass på at den røde kobles til + og den blå til -.

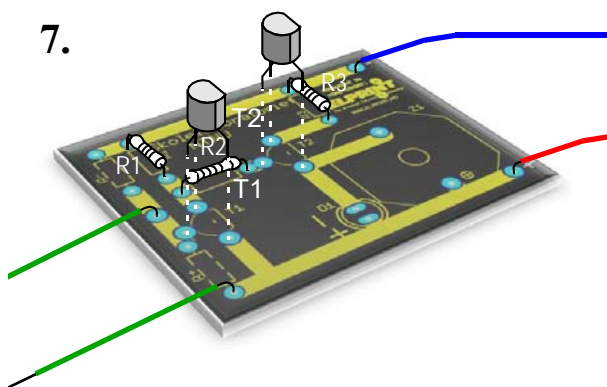




7. Monter transistorene

Finn transistorene, T1 og T2. Pass på at den flate siden plasseres som angitt på monteringsplata. Spre beina litt ut og stikk dem ned i hullene i plata. Det er svært viktig at de settes rett vei. Ikke press transistorene helt ned til plata.

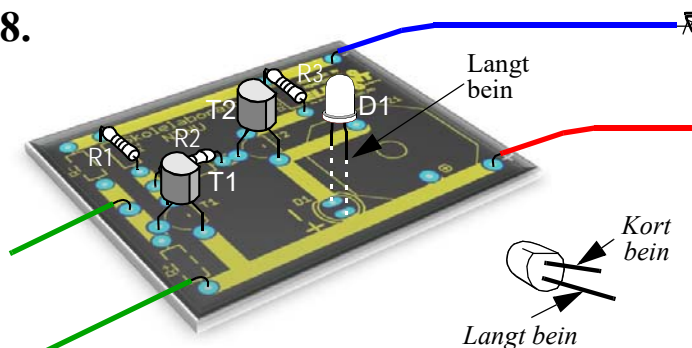
7.



8. Monter lysdioden

Finn lysdioden, D1. Lysdioden har en + og – side. Det lange beinet er + siden og skal stikkes ned i hullet merket + på monteringsplata.

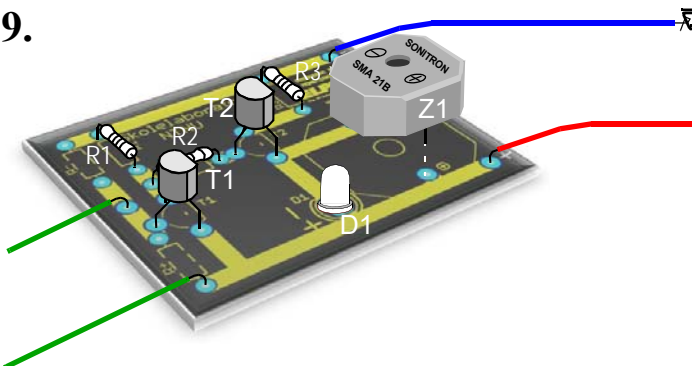
8.



9. Monter summeren

Finn summeren, Z1. Summeren har en + og – side. Pass på at beinet på + siden stikkes ned i hullet merket + på monteringsplata. Monter summeren som vist på figuren til høyre.

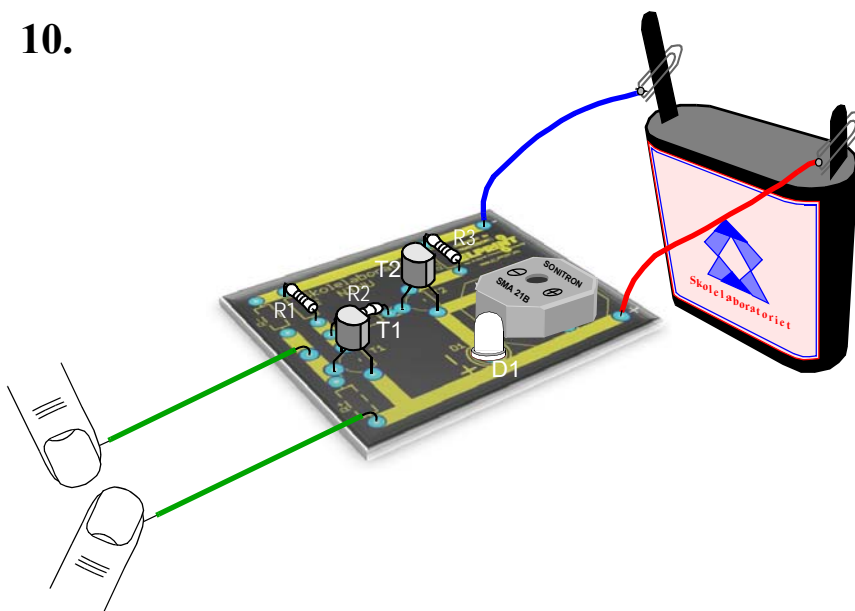
9.



10. Sjekk og test

Sjekk at alt er montert riktig og at loddingene er gode. Koble til batteriet og sjekk at kretsen virker ved å ta en grønn ledning i hver hånd. Summeren skal da pipe.

10.



11. Bruksområder:

- Ledningsevne tester
- Undersøk om det går strøm gjennom kroppen
- Fuktighetsalarm
- Tørkealarm, varsler at planter trenger vann
- ...





8 Referanseliste

- [1] Angell, C., Bungum, B., Henriksen, E. K., Kolstø, S. D., Persson, J. & Renstrøm, R. (2019), *Fysikkdidaktikk*, (2. utg). Cappelen Damm
- [2] Engelhardt P.V., Beichner R.J. (2003), *Students' understanding of direct current resistive electrical circuits*, Am. J. Phys. 72 (1), January 2004
- [3] Foss, B.(2018), *Elevers forståelse av elektrisitet*, Masteroppgave i naturfagdidaktikk, Institutt for lærerutdanning, NTNU
- [4] Grimenes, A.A., Jerstad, P. og Sletbak B. (2011), *Grunnleggende fysikk for universitet og høyskole*, Cappelen Damm
- [5] Knain, E., Kolstø S.D. (red.) (2011), *Elever som forskere i naturfag*, Universitetsforlaget
- [6] Lindholm, M. (2021), *Nysgjerrighet – Dybdeløring i informasjonssamfunnet*, Universitetsforlaget
- [7] Marion, P.v., Hov H., Thyraug T. Trongmo Ø. (2009), *Senit – Naturfag Vg1*, Gyldendal undervisning
- [8] Mazur, E. (1996), *Peer Instruksjon: A User's manual* (Pearson Educational Innovation: Instructors for Physics), Pearson
- [9] Nicholson, S. (1971) "How NOT to Cheat Children – The Theory of Loose Parts", *Landscape Architecture* 62, 30 – 34
<https://media.kaboom.org/docs/documents/pdf/ip/Imagination-Playground-Theory-of-Loose-Parts-Simon-Nicholson.pdf>
- [10] Olsen, M.A (2017), *Elektriske kretser, hva er nå det? En enkeltcasestudie som undersøker elevers forståelse for elektriske kretser*, Masteroppgave i naturfagdidaktikk, Institutt for lærerutdanning, NTNU
- [11] Rossing, N.K. (2017), *Idehefte for bruk av laserkutter*, Vitensenteret i Trondheim, Rev. 1.2 september 2016, ISBN 978-82-92088-57-9
<https://www.ntnu.no/skolelab/bla-hefteserie>
- [12] Rossing, N.K. (2008), *Fysikk eksperimenter – for bruk i skolen*, Tapir akademisk forlag, ISBN 978-82-51922869
- [13] Sjøberg, S. (1986), *Elever og lærere sier sin mening*, Oslo: Universitetsforlaget
- [14] Veal, R. (1997), *Learning how to mean – scientifically speaking: apprenticeship into scientific discourse in secondary school*. I F. Christie og J.R. Martin (red.), *Genre and institutions: Social processes in the workplace and school* (s. 161 – 195). London: Cassel
- [15] **Magnetitt:**
a) <http://www.ig.uit.no/geostudiesamling/magnetitt.htm>
b) <http://no.wikipedia.org/wiki/Magnetitt>



Vedlegg A Viktige begreper

Under samtalen med elevene kan det være aktuelt å ta opp en del begreper. La oss nevne noen og henviser til teoridelen av heftet for utdypning.

La oss først se på begreper og lover knyttet til energi.

A.1 Begreper knyttet til energi²⁰

Her er noen grunnleggende begreper og definisjoner knyttet til energi:

- **Energi:**

Hva er egentlig energi?

Energi er det som gjør det mulig å utføre arbeid. Jo mer energi som er tilgjengelig, desto mer arbeid kan utføres.

Energi følger visse lover som det er greit å ha klart for seg:

- **Energilovene:**

Her skal vi se på de tre viktigste:

1. *Energi kan ikke skapes eller forsvinne, den kan bare endre form, f.eks. fra elektrisk energi til lys og varme*
2. *Hver gang energi omformes fra en form til en annen, vil noe høyverdig energi bli omformet til lavverdig energi. Når vi snakker om energitap mener vi at noe av energien omformes til lavverdig energi.*
3. *Energimengden er konstant, men kvaliteten avtar hver gang energi omformes.*

- **Lavverdig og høyverdig energi:**

Man skiller gjerne mellom lav- og høyverdig energi.

Lavverdig energi er en energiform er vanskelig å utnytte, eksempel er varmeenergi. Høyverdig energi kan derimot brukes til mange forskjellige ting. Elektrisitet er en høyverdig energiform som lett lar seg bruke til ulike ting.

- **Energikilde:**

Dersom energi ikke kan oppstå og ikke kan forsvinne, hva er da en energikilde?

En energikilde er noe vi kan høste energi fra.

Elektrisitet er derfor egentlig ingen energikilde. Dersom vi kunne samlet opp lynet og brukt denne til å varme mat eller gi lys i hjemmene, så ville den være en energikilde, men det klarer vi ennå ikke.

- **Fornybare og ikke fornybare energikilder:**

Energikilder som stadig fylles på slik som vann, vind og sollys kalles fornybare

Energikilder som det tar millioner av år å fylle opp slik som kull, olje og gass, kalles ikke-fornybare.

²⁰Mange av definisjonene i dette avsnittet er hentet fra Senit Naturfag Vg1 (Marion et al. 2009)



- **Energibærer:**

Hva er så en energibærer?

Energibærere gjør det mulig å frakte energi over store eller små avstander. Noen energibærere kan også lagre energi.

Hydrogen og elektrisitet er eksempler på energibærere. Mens hydrogen kan lagres på tanker og fraktes, så er elektrisitet “ferskvare” og må sendes rundt og brukes med en gang. Vi kan imidlertid lagre små mengder elektrisk energi i batterier eller akkumulatorene, dvs. som kjemisk energi. Eller vi kan la elektrisiteten spalte vann til hydrogen og oksygen som igjen kan lagres i tanker.

- **Energibruker**

Siden vi ikke kan bruke opp energien så er vel “energibruker” like meningsløst som energikilde?”

En energibruker er et sted der energi brukes til å utføre et arbeid ved å omdanne en energiform til en annen. På kjøkkenet omdannes elektrisk energi til å varme opp mat. I bilen omdannes bensin (olje) til bevegelse og varme for å transportere personer og varer.

La oss se på noen begreper knyttet til elektrisitet

A.2 Grunnleggende begreper innen elektrisitet

Her er noen grunnleggende begreper og definisjoner knyttet til elektrisitet:

- **Ladning (avsnitt 2.2)**

Det er ikke så lett å definere hva ladning er da man egentlig ikke vet det, man definerer det derfor med noen viktig observerbare egenskaper: *Ladning er en grunnleggende egenskap ved noen legemer som gjør at de virker på hverandre med elektriske krefter. Det er to typer ladninger: Positive (protoner) og negative (elektroner). Like ladninger frastøter hverandre og ulike ladninger tiltrekker hverandre. Elektriske krefter avtar raskt med avstanden. Måleenheten for lading er Coulomb.*

- **Spenning (avsnitt 2.4)**

Mellom to ansamlinger av henholdsvis positive og negative ladninger oppstår det kraftfelder slik det også oppstår tyngdefelter mellom to masser. På samme måte som det kreves tilført energi (arbeid) for å løfte en masse fra et nivå til et høyere nivå, kreves det et arbeid for å løfte en ladning i det elektriske feltet. Det er denne tilførte energi til ladningen som kalles spenning. Måleenheten for spenning er Volt.

- **Strøm (avsnitt 2.3)**

Elektrisk strøm er ladninger i bevegelse. Strømstyrken bestemmes av hvor mange ladninger som passerer et tverrsnitt pr. tidsenhet (sekund). Positiv strømretning er den veien positiv ladning beveger seg. Negative ladninger beveger seg mot strømretningen. Måleenheten for strøm er Ampere.

- **Elektrisk effekt (avsnitt 2.5)**

Arbeid utført pr. tidsenhet (sekund). Siden elektrisk spenning er tilført energi pr. ladning, og elektrisk strøm er antallet ladninger pr. tidsenhet, så blir:

Elektrisk effekt (Watt) = Elektrisk spenning (Volt) x Elektrisk strøm (Ampere).

Måleenhetene for effekt er Watt.



- **Elektrisk energi (avsnitt 2.5)**

Energi er utført arbeid over tid. Jo lengre tid man holder på med en gitt arbeidsinnsats pr. tidsenhet (effekt) jo mer arbeid får man gjort. Det samme gjelder for elektrisk energi:

Elektrisk energi = Elektrisk effekt x tid.

Måleenheten for energi Joule.

A.3 Andre viktige begreper innen elektrisitetstlære

Her er noen andre viktige begreper knyttet til elektrisitetstlære:

- **Elektriske ledere**

Elektriske ledere har evne til å lede elektrisk strøm. Elektriske ledere kan være gode eller dårlige. De fleste metaller er gode ledere. Gode ledere har mange ladninger som lett bevege seg.

Evnen til å lede elektrisk strøm måles i Siemens.

- **Elektrisk isolator**

Elektriske isolatorer har liten eller ingen evne til å lede elektrisk strøm. Plast, keramikk og glass er eksempler på gode isolatorer. Hos gode isolatorer er ladningene bundet til atomene i stoffet slik at de ikke kan bevege seg. Isolatorer brukes til å isolere ledere fra hverandre for å hindre kortslutning.

- **Elektrisk resistans**

Resistansen til en leder er lik forholdet mellom spenningen over lederen og strømmen gjennom den. Metaller har lav resistans, men f.eks. kullstoff har høy resistans. Resistansen er avhengig av stoffets ledningsevne, lengde og tykkelse. Resistans måles i Ohm og er det inverse av ledningsevnen. Resistansen = $1/\text{Ledningsevnen}$.



Vedlegg B Forslag til innhold i Snap Circuit sett

For å kunne ha nytte av Snap Circuit i DeKom-sammenheng foreslår vi at det lages 5 sett hvor hvert sett inneholder følgende komponenter:

Tabell B.1 Oversikt over innhold i Snap Circuit sett

#	Type	Pris/ stk	Bestillingsadresse
8 stk	Lyspærer 4,5 V	0,75£	6SCL4B (https://cpc.farnell.com)
5 stk	Lyspære sokkel	1,83£	6SCLS (https://cpc.farnell.com)
1 stk	Rød vifte, flygende tallerken	0,75£	6SCM1F (https://cpc.farnell.com)
1 stk	Grønn vifte	1,07£	6SCM4B (https://cpc.farnell.com)
2 stk	Batterholder 2 x AA	2,91£ (5)	6SCB1 (https://cpc.farnell.com)
2 stk	Batterholder 3 x AA	3,88£ (5)	6SCB3 (https://cpc.farnell.com)
1 stk	Motor	4,85£	6SCM1 (https://cpc.farnell.com)
1 stk	Solcellemotor	8,63£	6SCM4 (https://cpc.farnell.com)
2 stk	Generator	12,99£	6SCHC (https://cpc.farnell.com)
1 stk	Solcelle 2,5 V	-	-
1 stk	Elektromagnet	7,55£	6SCM2 (https://cpc.farnell.com)
1 stk	Jernkjerne magnet	1,07£	6SCM3B (https://cpc.farnell.com)
1 stk	Kompass	1,64£ (5)	6SCCOM (https://cpc.farnell.com)
6 stk	1 snap kontaktskinne	0,71£ (10)	SNP-6SC01 (www.kiwi-electronics.nl)
6 stk	2 snap kontaktskinne	1,77£ (5)	6SCU2 (https://cpc.farnell.com)
8 stk	3 snap kontaktskinne	0,96£ (5)	6SC03 (https://cpc.farnell.com)
6 stk	6 snap kontaktskinne	1,34£ (5)	6SC06 (https://cpc.farnell.com)
4 stk	Jumper ledning Hvit	1,07£	6SCJ3F (https://cpc.farnell.com)
2 stk	Rød LED	1,64£ (5)	6SCD1 (https://cpc.farnell.com)
2 stk	Grønn LED	1,64£ (5)	6SCD2 (https://cpc.farnell.com)
2 stk	Gul LED	4,49£ (5)	6SCD5 (https://cpc.farnell.com)
3 stk	Glidebryter	1,61£	6SCS1 (https://cpc.farnell.com)
3 stk	Trykkbryter	1,61£	6SCS2 (https://cpc.farnell.com)
2 stk	Vender	2,91£	6SCS5 (https://cpc.farnell.com)
2 stk	Meter (V og A)	4,99£	6SCM5 (https://cpc.farnell.com)
1 stk	Buzzer	2,04£	6SCWC (https://cpc.farnell.com)
1 stk	Snap:bit Micro:bit holder	24,95£	KW-2711 (www.kiwi-electronics.nl)
1 stk	Baseplate, stor (9 x 6)	5,95\$	6SCBG (https://shop.elenco.com)
Alternativer			
8 stk	Lyspære 2,5/3,2 V	0,60\$	6SCL1B (https://shop.elenco.com)
1 stk	Snap:bit extension set	17,98\$	(https://www.tindie.com)
	Total pris (se eget regneark)	2 230,92	NOK/sett



Alternative leverandører for enkelt deler til Snap Circuit:

<https://cpc.farnell.com> (Engelsk - £)

<https://www.kiwi-electronics.nl> (Nederland - €)

<https://www.robotshop.com> (USA - \$)

<https://shop.elenco.com> (USA -\$) - Ser ut til å være billigst på noe

<https://www.tindie.com/products/snapbit/snapbit-extension-kit/> - Snap:bit extension




Vedlegg C Maler til hemmelige bokser

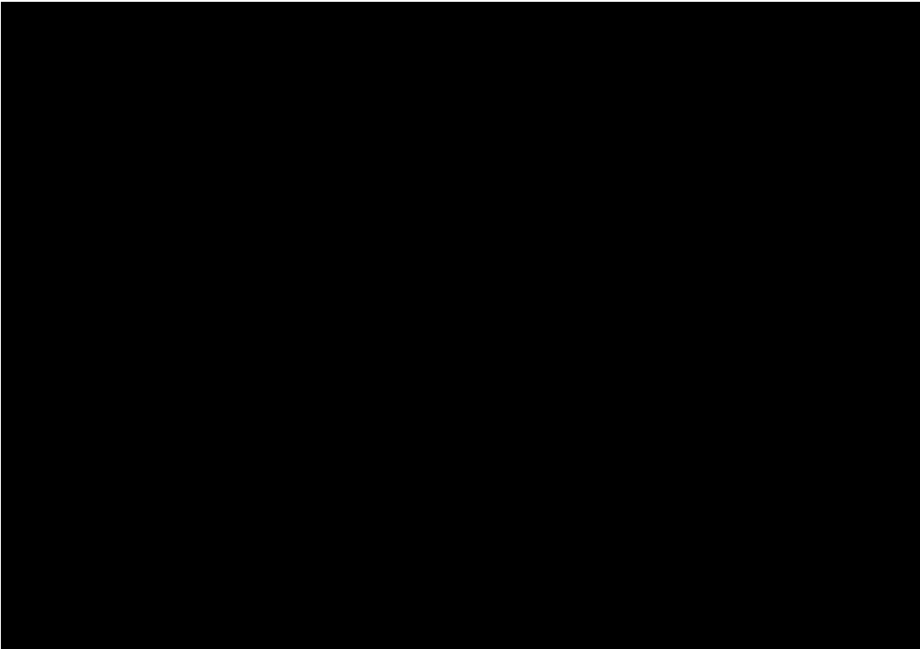
C.1 Kopioriginal hemmelig “boks”



Forstørr opp malen slik at den akkurat dekker ett A4 ark.

HEMMELIG "BOKS"		8
1		7
2		6
3		5
4		

Skolelaboratoriet ved NTNU
Institutt for lærerutdanning



Ark for tegning av koblingsskjema.

HEMMELIG "BOKS"

Forbindelse

Ikke forbindelse

1 2 3 4 5 6 7 8

HEMMELIG "BOKS"

Forbindelse

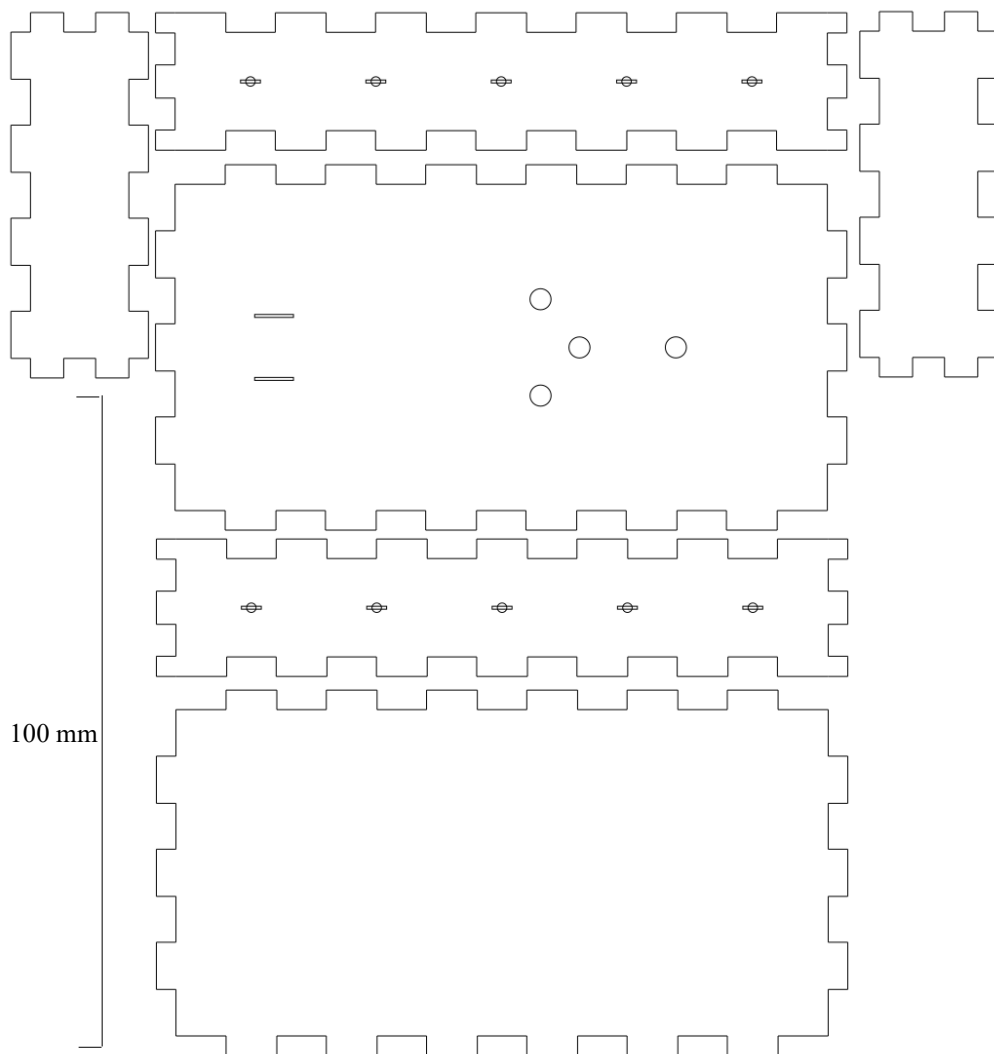
Ikke forbindelse

1 2 3 4 5 6 7 8

C.2 Hemmelig boks enkel

C.2.1 Skjæremal enkel hemmelig boks

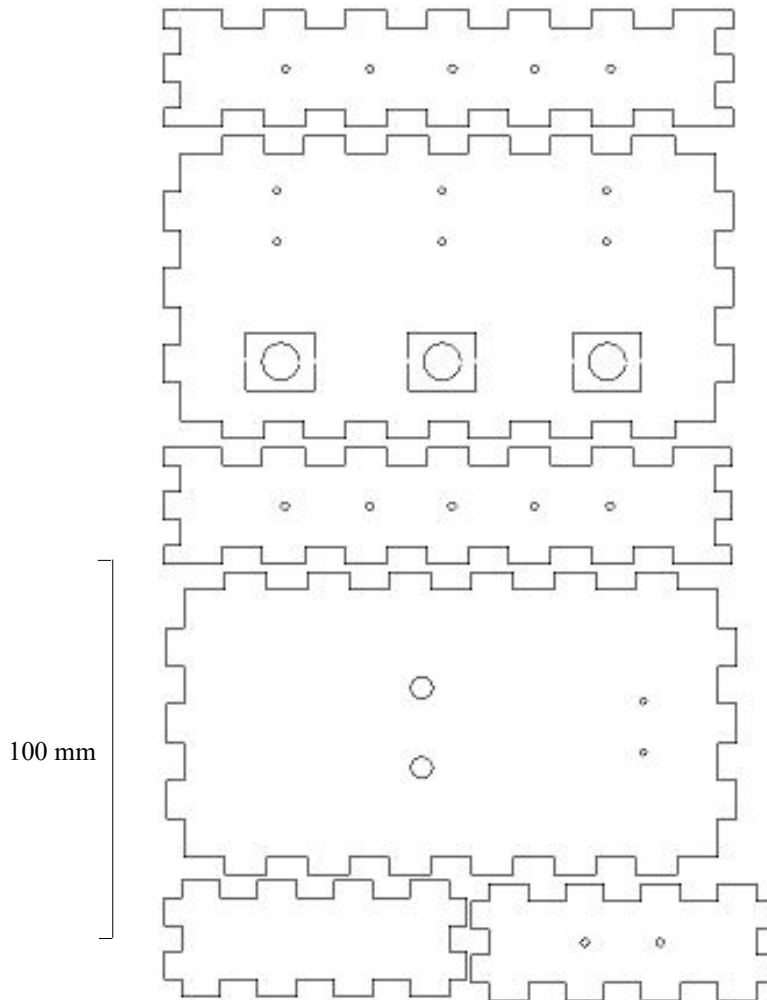
Mal for skjæring av hemmelig boks med innvendige mål 100 x 150 x 15 mm. Målestokken er noe usikker pga. justeringer under trykkingen av heftet:



C.3 Hemmelig boks avansert

C.3.1 Skjæremal hemmelig boks

Mal for skjæring av hemmelig boks med innvendige mål 100 x 150 x 15 mm. Målestokken er noe usikker pga. justeringer under trykkingen av heftet:



C.3.2 Komponentliste hemmelig boks, avansert

Boks	3,3 mm MDF - Laserkuttet
Lyspære	2,5 V, 0,2 A, ELFA nr. 133-46-624 Stk. pris 10 stk.: 6,74 NOK + MVA
Lyspære	2,5 V, 0,3 A, ELFA nr. 133-46-625 Stk. pris 10 stk.: 6,74 NOK + MVA
Bryter	Enpolt, trykkbryter, 0,5 A, ELFA nr. 135-03-765 Stk. pris 10 stk.: 11,00 +MVA



Lampeholder	E10 m/loddespyd, ELFA nr. 133-80-235 Stk. pris 10 stk.: 8,11 + MVA
Rød ledning	Helukabel, 0,25mm ² , rød tvunnet, ELFA nr. 155-20-424 Meterpris ved kjøp av 25 m: 2,35 NOK + MVA
Blå ledning	Helukabel, 0,25mm ² , blå tvunnet, ELFA nr. 155-20-432 Meterpris ved kjøp av 25 m: 2,64 NOK + MVA
Gul ledning	Helukabel, 0,25mm ² , gul tvunnet, ELFA nr. 155-20-440 Meterpris ved kjøp av 25 m: 2,54 NOK + MVA
Binderser	For feste til batteriklemmene
Batteri	4,5 V flatbatteri, standard

Det finnes imidlertid billigere utgaver dersom man søker litt på nettet:

Lampesokkel E10 0,4\$ for 20 stk:

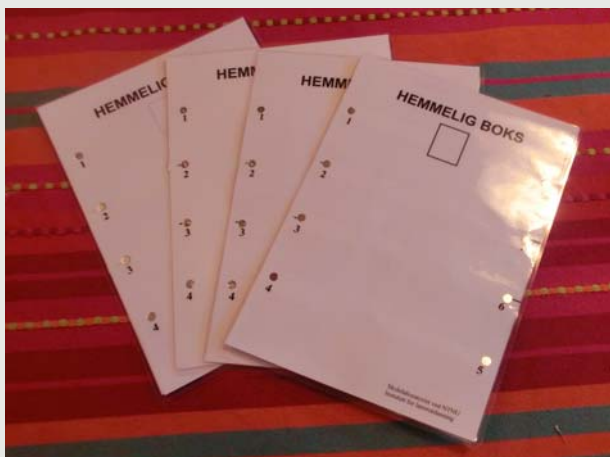
http://www.topledlight.com/e10-bulb-lamp-screw-socket-base-holder-soldering-tag-connection_p1951.html

Lampesokkel E10 8,8\$ for 50 stk:

<https://www.aliexpress.com/item/HGhomeart-50pcs-Mini-E10-Lamp-Socket-Lighting-Accessories-Lamp-Fitting-Pure-Copper-Lampholder-Holder-E10-Holder/32810877022.html>







Heftet er skrevet som en hjelp til gjennomføring av 7. samling av DeKom-tilbudet: Skapende aktivitet i klasserommet.

Målsetningen med denne sjuende samlingen er å gi deltakerne “hands on” erfaring med elektrisitetskomponenter slike som batterier, LED, motstander, lyspærer, motorer, brytere og elektromagneter. I tillegg bør det gis mulighet til å bruke noen utvalgte elektroniske komponenter som transistorer, aktive buzzere, høyttalere, fuktighets- og lyssensorer, ev. også kombinasjon med micro:bit. Det er viktig at utvalget av komponenter gjør det mulig å utforske grunnleggende elektriske kretser, åpen og sluttet krets, serie- og parallellkobling, og å utforske tenning av lys eller lyd med bruk av enkle sensorer (lyssensor, fuktighetssensor)

Ved å bruke det deltakerne har lært om laserkutting og digital tegning, kunne designe, framstille, koble opp og teste ut hemmelige bokser som et ledd i det å framstille læremidler sammen med elevene.

Nils Kr. Rossing (nkr@vitensenteret.com)
Dosent i naturfagdidaktikk ved NTNU og prosjektleder ved Vitensenteret i Trondheim.

Bojana Gajic (bojana.gajic@ntnu.no)
Førsteamanuensis, Institutt for elektroniske systemer ved NTNU

Ola Kleiven (ola@vitensenteret.com)
Lærer og prosjektleder for Super:bit-prosjektet ved Vitensenteret i Trondheim

Rannvei Sæther (rannvei@vitensenteret.com)
Pedagog ved Vitensenteret i Trondheim

Eva H. Hagen (eva@vitensenteret.com)
Leder formidleravdelingen Vitensenteret i Trondheim