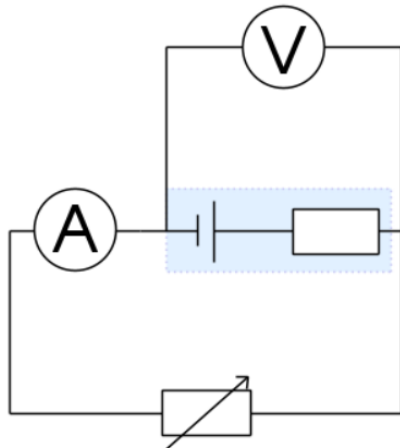


2. Sisäinen resistanssi (15 p.)

2.1 Laadi yksinkertainen kytkentäkaavio, jolla voit mitata pariston sisäisen resistanssin. Kerro, mitä komponentteja kytkennässäsi käytät. (4 p.)

RATKAISU



Käytän kytkennässä pariston lisäksi säätövastusta, virtamittaria ja jännitemittaria.

2.2 Mitä pariston sisäinen resistanssi tarkoittaa? Mistä se johtuu ja mitä sisäinen resistanssi tarkoittaa virtapiirin kannalta? (4 p.)

RATKAISU

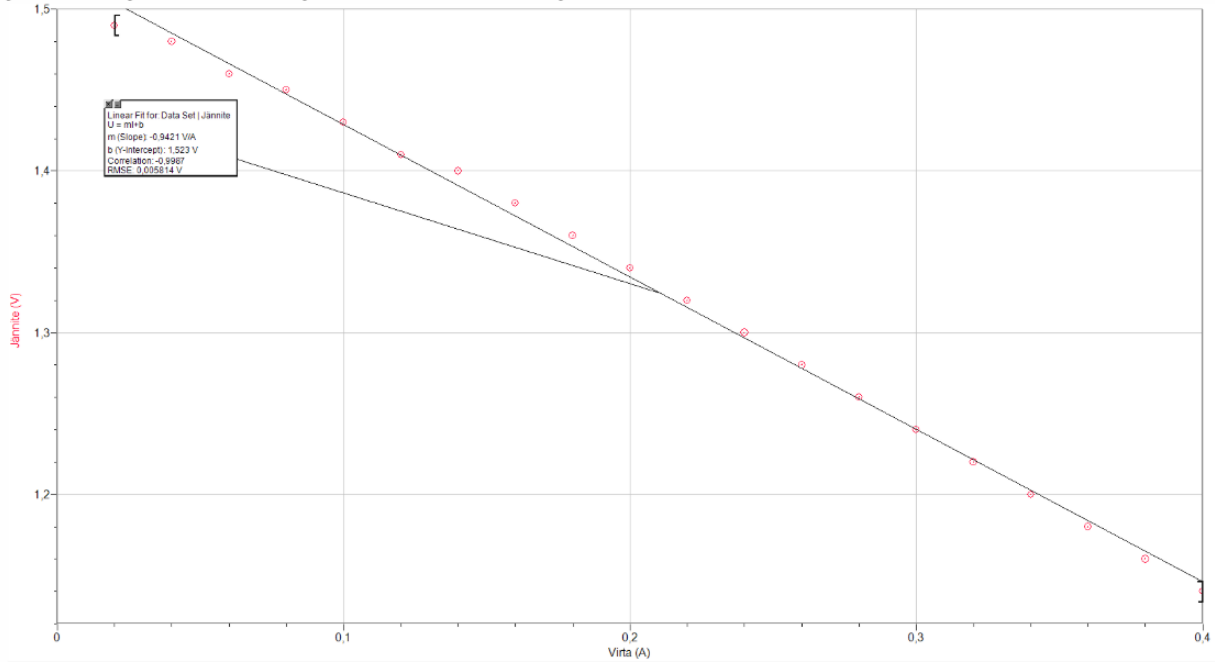
Pariston sisäinen resistanssi johtuu pariston sisäisten komponenttien vastuksista ja kemiallisista prosesseista sähkövirran kulkiessa paristosta ulos virtapiiriin.

Mitattaessa kuormittamattoman pariston jännitettä, lähdejännitettä, saadaan suurempi jännitetulos, kuin mitattaessa kuormitetun pariston jännitettä. Kuormitetun pariston jännite, napajännite, saadaan kun lähdejännitteestä vähennetään sisäisestä resistanssista johtuva jännitehäviö  $U = E - R_s I$ .

2.3 Aineistossa 2.A on esitetty erään virtapiirin läpi kulkevan virran ja pariston napajännitteen arvoja kulloisellakin hetkellä. Määritä näiden tietojen avulla virtapiirissä käytetyn pariston sisäinen resistanssi. **7 p.**

**RATKAISU**

Sisäinen resistanssi saadaan kuormitetun pariston napajännitteen yhtälöstä  $U = E - R_s I$ . Piirretään mitatuista jännitteistä ja virroista kuvaaja, sekä sovitetaan kuvaajaan suora.



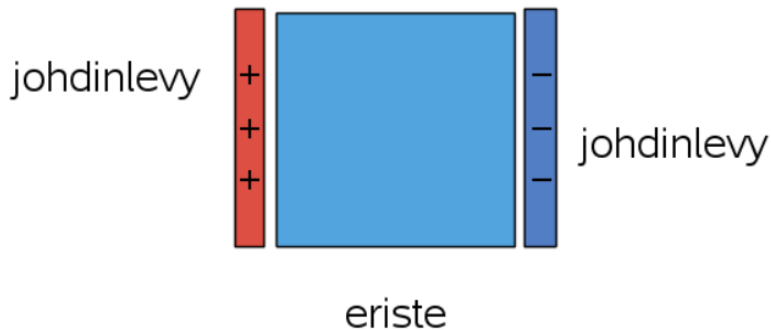
Suoran yhtälö kuvastaa kuormitetun jännitelähteen napajännitettä piirissä kulkevan sähkövirran funktiona. Kulmakertoimeksi saadaan  $0,9421 \frac{V}{A} \approx 0,94 \Omega$

**3. Kondensaattori 15 p.**

Kondensaattorit ovat elektronisia komponentteja, jotka kykenevät varastoimaan sähköistä varausta väliaikaisesti. Kondensaattorit toimivat periaatteessa pitkäikäisinä sähköisinä akkuina, jotka voidaan ladata ja purkaa nopeasti.

3.1 Selosta havainnekuvia käyttäen yksinkertaisen levykondensaattorin rakenne. Mitä yksinkertainen kondensaattori sisältää? **3 p.**

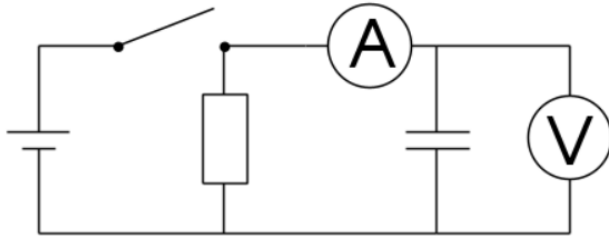
**RATKAISU**



Levykondensaattori sisältää kaksi johdinlevyä, joiden välissä on jokin eristeaine.

3.2 Piirrä kytkentäkaavio, jolla pystyt sekä lataamaan, että purkamaan kondensaattorin. Kondensaattorin lataamisen ja purkamisen aikana mitataan kondensaattorin jännitettä ja virtapiirissä kulkevan virran suuruutta. **6 p.**

RATKAISU

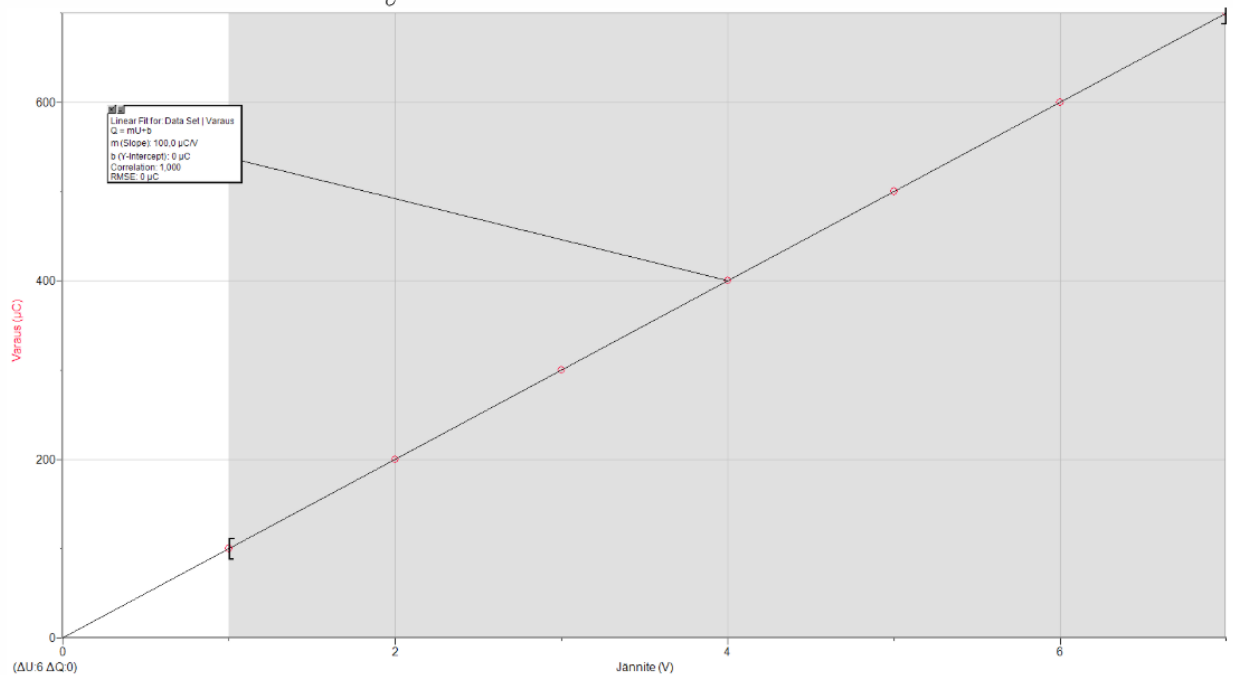


3.3 Opiskelija tutki erästä tuntematonta kondensaattoria seitsemällä eri jännitelähteellä mitaten samalla varauksen suuruutta. Opiskelijan saamat mittausulokset löytyvät aineistosta 3.A. Määritä kondensaattorin kapasitanssi. **6 p.**

6 p.

RATKAISU

Kondensaattorilain mukaan kondensaattorin varaus on levyjen välisen jännitteen ja kapasitanssin tulo  $Q = UC$ , josta kapasitanssiksi saadaan  $C = \frac{Q}{U}$ . Laaditaan mittausaineistosta kuvaaja ja sovitetaan pisteistöön suora.



Suoran kulmakertoimesta saadaan kondensaattorin kapasitanssi.  $C = 100,0 \frac{\mu\text{C}}{\text{V}} = 100 \cdot 10^{-6} \frac{\text{C}}{\text{V}} = 0,1 \text{ mF}$

## 4. Ledit **15 p.**

Tutustu kokeen liitteessä 4.A olevaan tekstiaineistoon "Tekoölyn näkemys kysymykseen "Miten ledit toimivat?".

### Aineisto

#### 4.A Tekoölyn näkemys kysymykseen "Miten ledit toimivat?"

4.1 Täydennä tekoölyn vastausta selvittämällä p- ja n-tyypin puolijohteet ja miten pn-rajapita liittyy lediin. **6 p.**

## RATKAISU

Ledit muodostuvat puolijohdekomponenteista, joihin on seostettu pinnalle ns. epäpuhtausatomeja.

P-tyyppin puolijohdeessa on pinnalla epäpuhtausatomeja, joilla on yksi elektroni ulkokuorellaan vähemmän, kuin puolijohdemateriaalilla. Puuttuvaa elektronia nimitetään aukoksi ja siihen voi siirtyä elektroni muualta. P-tyyppin puolijohdeessa varauksenkuljettajana toimivat aukot.

N-tyyppin puolijohdeessa puolijohdemateriaalin pinnalle on saostettu atomeja, joilla on yksi elektroni ulkokuorellaan enemmän, kuin puolijohdemateriaalilla. Nämä ylimääräiset elektronit toimivat varauksenkuljettajina.

Kun p- ja n- tyyppin puolijohdeet yhdistetään saadaan aikaan pn-liitos. Liitoksen rajapinnalla ylimääräiset elektronit n-tyyppistä siirtyvät täyttämään p-tyyppin aukkoja. Näin syntyy ns. tyjennysalue. Varauksenkuljettajat voivat kulkea tyjennysalueen läpi vain silloin, kun p-tyyppin puoli on kytketty korkeampaan potentiaaliin, kuin n-tyyppin puoli.

4.2 Täydennä tekoölyn vastausta ja selosta, miten perinteisissä hehkulamputissa valo syntyy lämmityksen seurauksena. Miksi lamppu lämpenee? **4 p.**

### RATKAISU

Perinteinen hehkulamppu ja sen toiminta perustuu lampun sisällä olevan vastuslangan lämpenemiseen. Vastuslanka tarjoaa sähkövirralle suuren resistanssin. Resistanssin vaikutuksesta vastuslangan lämpötila nousee sähkövirran kulkiessa sen lävitse. Vastuslangan lämpötila nousee hyvin korkeaksi ja tällöin havaitaan vastuslangan hehkuvan kirkkaasti säteillen valoa ympärilleen.

4.3 Hehkulamput voi kytkeä käytännössä miten päin vain ja lamppu silti valaisee. Ledeissä kytkentäsuunnalla on iso merkitys. Väärinpäin kytketty led ei valaise. Mihin tämä eroavaisuus lamppujen välillä perustuu? **5 p.**

### RATKAISU

Hehkulamput toiminta perustuu vastuslangan lämpenemiseen. Vastuslangan kannalta ei ole väliä kumpaan suuntaan sähkövirta kulkee sen läpi.

Ledit koostuvat pn-liitoksesta, jonka rajapinnassa on ns. tyjennysalue jossa n-tyyppin puolijohdeeseen ylimääräiset elektronit ovat vaeltaneet täyttämään p-tyyppin aukkoja. Kytkettäessä tasajännitelähteen positiivinen napa yhdistetään n-tyyppin puolijohdeeseen ja negatiivinen napa p-tyyppin puolijohdeeseen, kasvaa tyjennysalue, eikä sähkövirta pääse kulkemaan ledin läpi. Näin kytkettynä led on kytketty estosuuntaan.

Kun jännitelähteen positiivinen napa kytketään p-tyyppin puolijohdeeseen ja negatiivinen napa n-tyyppin puolijohdeeseen, saadaan sähkövirta kulkemaan ledin läpi. Tällöin led on kytketty päästösuuntaan.

## 5. Elektroskooppi **15 p.**

Elektroskoopilla voidaan tutkia sähkövarauksia. Aineistoissa 7.1.A, 7.2.A ja 7.3.A. on kuhunkin tehtävään liittyvä video. Vastaa aineistosivulla olevien videoiden perusteella seuraaviin kysymyksiin.

5.1 Katsele video 7.1.A "Elektroskoopin varaaminen - tapa 1". Tiedetään, että muovipussilla hangattaessa eboliittisauva varautuu positiivisella sähkövarauksella. Selitä, miten elektroskooppi käyttäytyy ja miten elektroskooppi varautuu.

**5 p.**

### RATKAISU

Alussa elektroskoopin osoitin on rungossa kiinni. Muovisauvaa hangataan muovipussilla ja sauvalla kosketetaan elektroskooppia, jolloin osoitin liikauttaa ja asettuu pienen välimatkan päähän osoittimen rungosta.

Elektroskooppi on aluksi varaamaton. Sauva varautuu hangattaessa positiivisesti, jolloin sauvasta irtoaa elektroneita muovipussiin. Sauvan koskettaessa elektroskooppia elektroneita siirtyy osoittimesta sauvaan, jolloin elektroskooppiin jää elektronien vajaus. Elektroskooppi varautuu positiivisesti.

5.2 Katsele video 7.2.A "Elektroskoopin varaaminen - tapa 2". Tiedetään, että kankaalla hangattaessa eboniittisauva varautuu negatiivisella sähkövarauksella. Selitä, miten elektroskooppi käyttäytyy ja miten elektroskooppi varautuu.

5 p.

#### RATKAISU

Alussa elektroskoopin osoitin on rungossa kiinni. Muovisauvaa hangataan kankaalla ja sauva tuodaan lähelle osoittimen kantaa. Osoitin liikahdaa ja asettuu pienen välimatkan päähän osoittimen rungosta. Sauvaa pidetään lähellä ja sormella kosketetaan osoittimen runkoa, jolloin viisari palaa pystyasentoon. Kun sauva viedään pois, viisari heilahtaa jälleen erilleen rungosta.

Elektroskooppi on aluksi varaamaton. Sauva varautuu hangattaessa negatiivisesti, ja kankaasta siirtyy elektroneita sauvaan. Kun sauva tuodaan lähelle osoittimen kantaa, pakenevat elektronit osoittimessa vastakkaiseen päähän. Osoittimen viisarin puoleinen pää on varautunut negatiivisesti ja yläpäähän jää elektronien vajuus. Kun sormella kosketetaan kantaa, sormesta siirtyy elektroneita täyttämään elektronien vajuusta. Osoittimen kokonaisvaraus on sen jälkeen negatiivinen. Kun sauva viedään pois, elektroskooppi jää kokonaisvaraukseltaan negatiiviseksi.

5.3 Elektroskooppi varataan ja sen lähelle tuodaan varattu eboniittisauva. Katsele video 7.3.A ja selitä sähkövarausten siirtymisten avulla elektroskoopin käyttäytyminen. 5 p.

#### RATKAISU

Elektroskoopin viisari näyttää aluksi sähkövarausta. Sauvaa hangataan kankaalla, jolloin sauva varautuu (negatiivisesti). Kun sauva tuodaan lähelle osoittimen kantaa elektroskoopin viisari siirtyy pystyasentoon. Sauvan negatiivinen sähkövaraus karkottaa elektroneita kohti osoittimen alaosaan. Koska viisari näyttää sähkövarauksen pienentyvän viisarin puoleisessa päässä, elektroskoopissa on alunperin ollut positiivinen kokonaisvaraus. Alaosaan siirtyvät elektronit täyttävät elektronien vajuusta ja viisari siirtyy pystyasentoon. Elektroskoopin kokonaisvaraus säilyy, koska sauva ei kosketa laitetta ja sauvan kadottua viisari palaa vinoon asentoon, kun varaukset järjestäytyvät uudelleen.

## 6. Sähköpyörä 20 p.

Sähköavusteisen polkupyörän akustossa käytetään AAA-kokoisia litiumioniparistoja, joiden nimellisjännite on 3,7 V ja kapasiteetti 3600 mAh. Akuston jännitteeksi kerrotaan 36 V ja kapasiteetiksi 14,4 Ah. Akuston kapasiteetti kasvaa rinnan kytkettyjen paristojen lukumäärän mukaan.

6.1 Päättele kuinka monta paristoa akustossa on ja miten paristot on kytketty toisiinsa. Piirrä kytkennästä kaaviokuva.

6 p.

### RATKAISU

Akustossa voi olla sarjaan- ja rinnankytkettyjä paristoja. Sarjaan kytkettyjen paristojen jännite summautuu, mutta kapasiteetti on yhtä suuri kuin yhdellä paristolla. Rinnan kytkennässä paristojen kapasiteetti summautuu, mutta jännite ei muutu.

Jotta nimellisjännite kipuaisi arvoon 36 V, sarjaan kytkettyjä paristoja tarvitaan

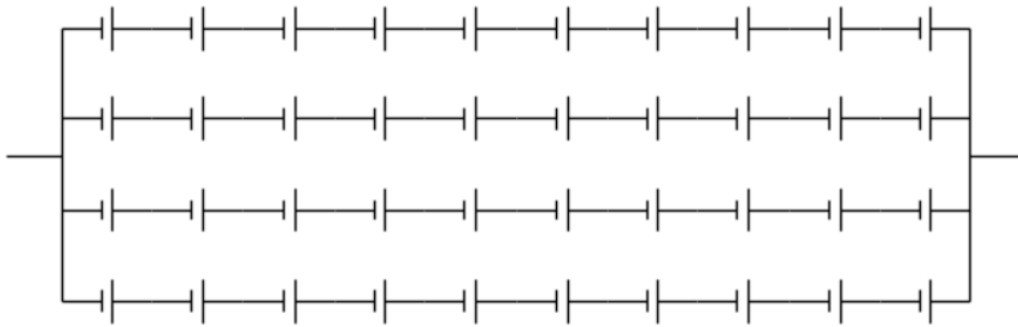
$$\frac{36 \text{ V}}{3,7 \text{ V}} = 9,729 \text{ kpl}$$

eli kymmenen kappaletta.

Kapasiteetin kasvattamiseksi näitä kymmenen pariston jonoja tarvitaan

$$\frac{14,4 \text{ Ah}}{3600 \cdot 10^{-3} \text{ Ah}} = 4$$

Akustossa on siis  $4 \cdot 10 = 40$  paristoa. Akkujen kytkentäkaavio



6.2 Kuinka paljon sähköenergiaa akustossa on täyteen ladattuna? **4 p.**

### RATKAISU

Tapa 1.

$$U = 36 \text{ V}$$

$$\text{Kapasiteetti} = 14,4 \text{ Ah}$$

Akkua ladattaessa siihen siirtyy sähkövaraus  $Q$ . Akkuun siirtynyt energia on yhtä suuri kuin potentiaalieron yli varausta siirrettäessä tehty työ. Työn  $W$  suuruus voidaan laskea kaavasta

$$W = \Delta Q \cdot U$$

missä  $U$  on täyteen ladatun akun jännite. Akun kapasiteetti kertoo kuinka suuren sähkövirran akustosta saa tietyssä ajassa. Sähkövirta määritellään siirtyvien varausten määränä aikayksikössä.

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

Tästä voidaan ratkaista akun varaus.

$$\Delta Q = I \cdot \Delta t$$

Akun varaus on siis yhtä suuri kuin akun kapasiteetti. Energia täyteen ladatussa akussa

$$E = \Delta Q \cdot U = I \Delta t \cdot U = 14,4 \text{ Ah} \cdot 36 \text{ V}$$

$$E = 14,4 \text{ A} \cdot 3600 \text{ s} \cdot 36 \text{ V} = 1\,866\,240 \text{ J} \approx 1,9 \text{ MJ}$$

Tapa 2.

Teho on energian kulutus aikayksikköä kohden.

$$P = \frac{E}{\Delta t}$$

Ratkaistaan energia ja sijoitetaan tehon määritelmä  $P = UI$ .

$$E = P \Delta t = UI \Delta t$$

Akuston kapasiteetti kertoo kuinka suuren sähkövirran akustosta saa tietyssä ajassa, jolloin termi  $I \Delta t$  voidaan korvata kapasiteetilla. Energia

$$E = UI \Delta t = 36 \text{ V} \cdot 14,4 \text{ Ah} = 14,4 \text{ A} \cdot 3600 \text{ s} \cdot 36 \text{ V}$$

$$E = 1\,866\,240 \text{ J} \approx 1,9 \text{ MJ}$$

Akustossa on sähköenergiaa 1,9 MJ.

**6.3** Suomessa sähköavusteisen polkupyörän maksimiteho saa olla korkeintaan 250 W. Kuinka kauan voisi ajaa maksimiteholla pelkästään akuston sähköenergiaa käyttämällä? **3 p.**

### RATKAISU

$$P = 250 \text{ W}$$

Tehon määritelmästä voidaan ratkaista aika.

$$t = \frac{E}{P} = \frac{1\,866\,240 \text{ J}}{250 \text{ W}} = 7464,96 \text{ s} = \frac{7464,96 \text{ s}}{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}} = 2,0736 \text{ h} \approx 2,1 \text{ h}$$

Täydellä teholla voisi ajaa 2,1 tuntia.

**6.4** Kuinka paljon maksaa akuston lataukseen käytettävä sähköenergia, jos vuoden aikana latauskertoja on 200 kpl? Sähköenergian hinta on 15 snt/kWh. **3 p.**

### RATKAISU

Energiaa kuluu 200 latauskerralla

$$200 \cdot 1\,866\,240 \text{ J} = 373\,248\,000 \text{ J}$$

Muunnetaan kilowattitunneiksi.

$$1 \text{ kWh} = 1000 \cdot \text{W} \cdot 3600 \text{ s} = 3,6 \text{ MJ}$$

$$1 \text{ MJ} = \frac{1}{3,6} \text{ kWh}$$

Energian kulutus

$$200 \cdot 1,866\,240 \text{ MJ} = 200 \cdot 1,866\,240 \cdot \frac{1}{3,6} \text{ kWh} = 103,68 \text{ kWh}$$

Energian hinta

$$103,68 \text{ kWh} \cdot 15 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} = 1555,2 \text{ snt} \approx 15 \text{ € } 55 \text{ snt}$$

Sähköenergia maksaa 15 € 55 snt.

6.5 Polkupyörän näytöllä on eräällä hetkellä akuston jännite 32,2 V ja sähkövirta 5,5 A. Määritä pariston sisäinen resistanssi. **4 p.**

**RATKAISU**

$$E = 36 \text{ V}$$

$$U = 32,2 \text{ V}$$

$$I = 5,5 \text{ A}$$

$$R_s = ?$$

Polkupyörän sähköjärjestelmä voidaan ajatella yksinkertaiseksi virtapiiriksi, missä kuormana on sähkömoottori. Akuston jännite on silloin napajännite, joka on hieman pienempi kuin akuston nimellisjännite.

Kirchhoffin jännitelain mukaan virtapiirin lähdejännitteiden summa on yhtä suuri kuin potentiaalihäviöiden summa. Potentiaalihäviötä aiheuttavat itse moottori (kuorma) ja akuston sisäinen resistanssi. Moottorin potentiaalihäviö  $RI$  on yhtä suuri kuin mitattu napajännite.

$$E = RI + R_s I$$

$$E = U + R_s I$$

$$R_s = \frac{E-U}{I} = \frac{36 \text{ V} - 32,2 \text{ V}}{5,5 \text{ A}} = 0,690 \text{ } 909 \text{ } \Omega \approx 0,69 \text{ } \Omega$$

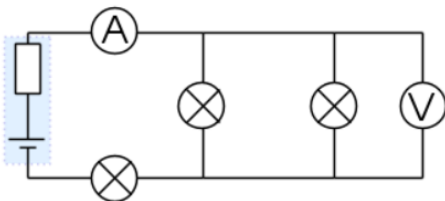
Akuston sisäinen resistanssi on 0,69  $\Omega$ .

**7. Kytkenät 20 p.**

Eräessä kytkennässä on käytetty paristoa, jonka lähdejännite on 9,0 V, sekä kolmea identtistä lampua. Kaksi näistä lampuista on rinnankytketty toisiinsa ja kolmas lamppu on sarjassa näiden kanssa. Pariston sisäinen resistanssi on 0,5  $\Omega$ . Yksittäisen lampun resistanssi on 20  $\Omega$ ,

7.1 Piirrä kytkennän kytkentäkaavio. Lisää piiriin virtamittari, joka mittaa koko piirissä kulkevaa sähkövirtaa, sekä jännitemittari, joka mittaa rinnankytkettyjen lampujen yhteistä jännitehäviötä. **4 p.**

**RATKAISU**



7.2 Kuinka suuri sähkövirta kulkee sarjaankytketyn lampun läpi? **6 p.**

**RATKAISU**

$$E = 9,0 \text{ V}$$

$$R_s = 0,5 \text{ } \Omega$$

$$R = 20 \text{ } \Omega$$

Virtapiirissä kulkeva virta saadaan Ohmin laista  $U = RI$ , josta virta  $I = \frac{U}{R_{tot}}$ .

Virtapiirissä on kaksi rinnan kytkettyä lampua, jotka ovat sarjassa kolmannen lampun ja pariston sisäisen vastuksen kanssa. Määritetään kokonaisresistanssi.

$$R_{tot} = R_s + R_3 + \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)^{-1}$$

Tällöin piirissä kulkevalle virralle saadaan

$$I = \frac{E}{R_{tot}} = \frac{E}{R_s + R_3 + \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)^{-1}}$$

$$I = \frac{9,0 \text{ V}}{0,5 \text{ } \Omega + 20 \text{ } \Omega + \left( \frac{1}{20 \text{ } \Omega} + \frac{1}{20 \text{ } \Omega} \right)^{-1}} = 0,29508... \text{ A} \approx 0,3 \text{ A}$$

7.3 Kuinka suuri sähkövirta kulkee rinnankytkettyjen lamppujen läpi? 4 p.

#### RATKAISU

Edellisessä kohdassa saimme koko virtapiirissä kulkevan virran suuruudeksi noin 0,3 ampeeria. Kirchhoffin I lain mukaan virtapiirin haaraumakohtaan tulevien virtojen summa on yhtä suuri, kuin siitä lähtevien virtojen summa.

Rinnankytketyissä vastuksissa jännitehäviö on jokaiselle vastukselle sama. Koska lamput ovat identtiset ja jännitehäviöt ovat samat, täytyy Ohmin lain  $U = RI$  mukaan molempien lamppujen läpi kulkea sama virta.

Näin ollen molempien lamppujen läpi kulkee puolet koko piirin virrasta.

$$\frac{1}{2} \cdot 0,29508... \text{ A} = 0,1475... \text{ A} \approx 0,15 \text{ A}$$

7.4 Mitä tapahtuisi lamppujen kirkkaudelle, jos kaikki lamput olisi kytketty sarjaan? Perustele vastauksesi. 3 p.

#### RATKAISU

Jos kaikki lamput olisi kytketty sarjaan, olisi piirin kokonaisresistanssi suurempi, kuin alkuperäisellä kytkennällä.

Alkuperäisessä kytkennässä kokonaisresistanssi

$$R_{tot} = R_s + R_3 + \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)^{-1} = 0,5 \Omega + 20 \Omega + \left(\frac{1}{20 \Omega} + \frac{1}{20 \Omega}\right)^{-1} = 30,5 \Omega$$

Jos kaikki lamput olisivat sarjassa on kokonaisresistanssi

$$R_{tot,sarja} = R_s + R_1 + R_2 + R_3 = 60,5 \Omega$$

Kirchhoffin II lain mukaan suljetun virtapiirin yli potentiaalien summa täytyy olla nolla. Paristo nostaa piirin potentiaalın 9,0 volttiin, joten vastusten on suoritettava yhteensä 9,0 voltin jännitehäviö.

Ohmin lain mukaan

$U = RI$ . Mitä suurempi piirin resistanssi on, sitä pienempi on piirissä kulkeva virta.

Kytettäessä kaikki lamput sarjaan, kasvaa piirin kokonaisresistanssi ja näin ollen virta pienenee.

7.5 Mitä tapahtuisi lamppujen kirkkaudelle, jos kaikki lamput olisi kytketty rinnan? Perustele vastauksesi. 3 p.

#### RATKAISU

Jos kaikki lamput olisi kytketty rinnan, olisi koko piirin resistanssi pienempi kuin alkuperäisellä kytkennällä.

Alkuperäinen piirin kokonaisresistanssi on edellisestä osatehtävästä  $R_{tot} = 30,5$

Lamppujen ollessa rinnan, on kokonaisresistanssi

$$R_{tot,rinnan} = R_{sis} + \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right)^{-1} = 7,1666... \Omega \approx 7,2 \Omega.$$

Kirchhoffin II lain mukaan suljetun virtapiirin yli potentiaalien summa täytyy olla nolla. Paristo nostaa piirin potentiaalın 9,0 volttiin, joten vastusten on suoritettava yhteensä 9,0 voltin jännitehäviö.

Ohmin lain mukaan

$U = RI$ . Mitä pienempi piirin resistanssi on, sitä suurempi on piirissä kulkeva virta.

Lamppujen ollessa rinnan kytkettynä on virta suurempi, kuin alkuperäisessä kytkennässä.