

## **FYSP101/1 NOPEUDEN MITTAUS TASAISESSA LIIKKEESSÄ**

### **Työn tavoitteita**

- tutustua oppilaslaboratorioon ja laboratoriotyöskentelyn käytäntöihin
- oppia soveltamaan virheanalyysin peruskäsitteitä yksinkertaisessa käytännön tilanteessa
- tutustua alustavasti Capstone -ohjelmiston käyttöön
- opetella alustavasti kuvaajien piirtämistä tietokoneella

Tämä ensimmäinen laboratoriotyö tehdään poikkeuksellisesti ryhmätyönä, jotta laboratorion kynnys ei nousisi kenellekään liian suureksi. Työssä käydään läpi assistentin johdolla kaikki tarpeelliset käytännön seikat mittauspöytäkirjan tekemisestä lähtien. Ilmiö on valittu tarkoituksella hyvin helpoksi, jotta sen haastavuus ei veisi tarkkaavaisuutta laboratoriokäytänteiden ja virheanalyysin harjoittelulta.<sup>1</sup> Työssä tutustutaan myös ensimmäistä kertaa Capstone -mittausohjelmistoon ja kuvaajien piirtämiseen tietokoneella. Capstonen käyttöä opetellaan perusteellisemmin Kinematiikan kuvaajat -työssä eli sen käyttöä ei ole tarkoitukseen oppia kattavasti vielä tässä työssä.

### **Yleistä**

Mittauslaitteistona on ilmatyynyraita, jolla voidaan lähes kitkattomissa olosuhteissa demonstroida mekaniikan ilmiöitä, tässä työssä tasaista liikettä. Käytössä on myös tietokoneistettu Capstone -mittauslaitteisto, jolla voidaan kaikuluotaukseen perustuen määrittää ilmaradalla liikkuvan vaunun paikka, nopeus ja kiihtyvyys.

Ryhmätyössä tutustutaan mittausten, tulosityöskentelyn ja virheanalyysin perusteisiin.

---

<sup>1</sup> Niille, jotka ovat jo tehneet aiemmin laboratoriotyöitä esim. kemiassa, nämä asiat ovat todennäköisesti vanhan kertausta. Toivottavasti jaksatte olla kärsivällisiä tämän työn kohdalla, sillä nyt tarkoituksena on saada kaikki opiskelijat samalle viivalle laboratoriotyöskentelyn suhteen.

Käsiteltäviä asioita on useita. Työhön tulee ottaa mukaan tavallisen muistiinpanopaperin lisäksi millimetripaperia ja taskulaskin: näitä tarvitaan runsaasti.

Virheanalyysi – tai paremminkin mittauksen epätarkkuuden analyysi – on erittäin tärkeä fysiikan osa. Sen alkeita opetellaan johdantokurssilla ”Laboratoriotöiden perusteet” ja tässä ryhmätyössä. Oivallinen oppikirja virheanalyysin ymmärtämiseen on John. R. Taylorin kirja: *An Introduction to Error Analysis*, Oxford University Press, 1982 (toinen painos 1997). Oppilaslaboratorion töissä virheanalyysi liittyy jossain muodossa lähes kaikkiin töihin. Peruskursseilla virhearviomenetelmäksi hyväksytään *Laboratoriotöiden perusteet* -kurssilla opetettu maksimi-minimi -keino.

Työn FYSP101/1 suorittaminen tarkoittaa osallistumista ryhmätyöhön, tulosten ja virheiden laskemista sekä kotitehtävien tekemistä. Mittausten tekemiseen on varattu aikaa neljä tuntia. Lisäksi yksi tunti käytetään Origin -kuvanpiirto-ohjelman opetteluun. Vaikka kyseessä on ryhmätyö, kaikki kotitehtävät tehdään henkilökohtaisesti – tämä siksi, että ryhmätyö ja varsinkin sen kotitehtävät toimivat *Laboratoriotöiden perusteet* -luentojen ”kuulusteluna”. Työ arvostellaan skaalalla 0-12 (läpikäytyyn vaaditaan 6 pistettä).

### **Kotitehtävät 1 – Tehdään ennen mittauksiin saapumista!**

1. Olet mitannut ajat 6.05 s, 6.13 s, 6.10 s, 5.98 s ja 6.08 s. Laske aikojen keskiarvo ja keskiarvon keskivirhe (valmista ohjelmaa tai taskulaskimen tilastotoimintaa ei saa käyttää). Laita laskut näkyviin välivaiheineen.
2. Jos tehtävän 1 ajat liittyvät tasaisella nopeudella etenemiseen, kun matkaksi on mitattu  $(2,30 \pm 0,01)$  m, mikä on tällöin keskinopeus virheineen maksimi-minimi -keinolla laskettuna?

## Mittauksiin valmistautuminen

1. Jokainen alustaa oman mittauspöytäkirjansa. Sitä mukaa kun mittauslaitteita otetaan käyttöön, kirjoitetaan niiden merkki, malli ja käyttöasetukset pöytäkirjaan.
2. Kytetään virta magneettilaukaisijaan: tasavirta, max. 5V DC, 2A. Harjoituksen vuoksi jännite ja virta mitataan yleismittarilla, ja tulos kirjataan mittauspöytäkirjaan virherajoiheen; käytetyt mittarit tulee tietysti ilmoittaa mittauspöytäkirjassa. Jännitteen ja virran arvoja ei muuteta työn aikana. Jos niin tehdään, se pitää ehdottomasti mainita mittauspöytäkirjassa. Tässä tapauksessa muutos ei kuitenkaan vaikuta tulosten vertailtavuuteen.
3. Etsitään kokeilemalla puhaltimen intensiteetille sopiva arvo (2 – 5 riippuen puhaltimen tehosta, arvo merkitään mittauspöytäkirjaan) ja käynnistetään puhallin. Tätä arvoa ei saa muuttaa työn aikana. Jos niin tehdään, se pitää ehdottomasti mainita mittauspöytäkirjassa. Muutos vaikuttaa vaunun kitkaan, joten eri asetuksilla tehdyt mittaukset eivät ole vertailukelpoisia. Virhearviota ei tarvitse antaa.
4. Asetetaan vaunu magneettilaukaisijaan. Kuminauhan jännitystä ei missään tapauksessa saa työn aikana muuttaa – muuten tulokset eivät ole vertailukelpoisia.
5. Kokeillaan, että laukaisin toimii ja vaunu liukuu hyvin radalla. Testailla **saa** ja **pitää!**

### **1. approksimaatio (keski)nopeuden mittauksessa: yksittäinen mittaus** (suhteellinen virhe, systemaattinen virhe, maksimi-minimi -virhetarkastelu, 15 yksikön sääntö, tulosten ilmoittaminen)

Mitataan nopeus tavalla, joka useimmille varmaankin tulee ensimmäisenä mieleen, eli lähetetään vaunu liikkeelle ja mitataan yhdessä pisteessä aika, jonka se tunnettuun matkaan käyttää. Tämä nopeudenmittaustapa sopii tasaisen liikkeen lisäksi keskinopeuden arvioimiseen ei-tasaisessa liikkeessä (esim. kiihtyvä, paloittain tasainen tai epäsäännöllinen).

Tutustutaan käytettäviin mittalaitteisiin tarkemmin ja määritetään niiden mahdollinen systemaattinen virhe. Laitteiden systemaattiset virheet poistetaan yleensä kalibroinnilla, ja niin nytkin tehdään, jos aihetta on. Usein laitteen systemaattinen virhe riippuu laitteen käyttöasetuksista, jolloin se annetaan esim. kertoimena tai graafisesti kuten työssä "Terminen elektroniemissio"; joskus taas se on vakio, joka mitataan kuten työssä "Valosähköinen ilmiö".

**Tehtävä 1:** Arvioidaan käytetyn mittanauhan systemaattinen virhe vertaamalla sitä muutamaa muuhun mittanauhaan, käytännössä mittaamalla mahdollinen poikkeama yhden metrin matkalla. Arvioidaan, onko ko. virhe niin suuri, että se tarvitsee ottaa huomioon korjaustekijänä etäisyysmittauksessa (tarvitsee, mikäli ko. virhe on samaa suuruusluokkaa tai enemmän kuin mittanauhan lukemisvirhe ks. tehtävä 3).

**Tehtävä 2:** Arvioidaan sekundaattorien systemaattinen virhe vertaamalla niitä keskenään pitkällä mittausajalla (verrattuna ajoaikaan), esim. 2 minuuttia. Arvioidaan, onko ko. virhe niin suuri, että se tarvitsee ottaa huomioon korjaustekijänä aikamittauksissa (tarvitsee, mikäli ko. virhe on samaa suuruusluokkaa tai enemmän kuin sekundaattorin lukemisvirhe mitattavilla ajoilla).

**Tehtävä 3:** Asetetaan vaunu laukaisijaan ja mitataan sen etäisyys johonkin penkissä olevaan, mielellään kaukana olevaan pisteeseen. Mietitään sekä etäisyys- että aikamittauksen kannalta, mistä osasta vaunua mitataan. Vaihtoehdot ovat lähinnä vaunun alkupiste, joka on etäisyysmittauksen kannalta helppo, tai vaunun keskikohdan pylvä, joka helpottaa aikamittausta. Ilmoitetaan tämä valinta mittauspöytäkirjassa. Etäisyyden s mittauksessa kiinnitetään erityistä huomiota mittausvirheen arviointiin. Mittausvirhettä aiheuttavat ainakin mittanauhan lukemisvirhe (yleensä 0,5 mm on sopiva arvio – miksi?) sekä mahdollisesti vaunun alkukohta (tämän mittaus ja virhearvio on hankalampi tehdä). Ilmoita etäisyyden arvo virheineen (pyöristä virhe esim. neljän merkitsevän numeron tarkkuudelle ja tulos sen mukaisesti).

**Tehtävä 4:** Aika  $t$  mitataan yhdellä kellolla. Virhettä aiheuttavat mm. mittaajan reaktioaika, kello, magneettilaukaisin ja ilmarata. Virheen arviointi tässä tapauksessa on hyvin hankalaa. Jatkon kannalta on opettavaista, että virhe annetaan nyt valmiina,

suhteellisena virheenä, joka on 10% mitatusta tuloksesta – huomaa, että tämä on vain tähän tilanteeseen liittyvä arvio eikä mitenkään kuvaa ajan mittauksen tarkkuutta yleensä. Laske ajan virhe ja pyöristä aika virheineen samalla tavalla kuin etäisyys tehtävässä 3.

Tässä vaiheessa nopeus  $v$  on laskettavissa ja päästään työläämpään mutta yhtä tärkeään osaan, virhearviointiin. Tieteellinen tulos on nimittäin arvoton ilman luotettavaa virhearviointia, joka tässä työssä käsitellään hyvin huolellisesti. Virhearvio tullaan jatkossa vaatimaan kaikissa laboratoriotöissä (kenties muutamaa lapputyötä lukuun ottamatta). Helpoin yksittäisen mittauksen virheanalyysitapa on ns. maksimi-minimi -keino (ks. Laboratoriotöiden perusteet -moniste).

**Tehtävä 5:** Lasketaan viimein nopeus ja sen virhe, ensin kaikella sillä tarkkuudella, minkä taskulaskin antaa. Sen jälkeen mietitään virhetuloksen järkevyyttä ja suoritetaan pyöristys ns. 15 yksikön säännön mukaisesti. Virheen ilmoittamisessa ja virheanalyysissä ylipäätään on olemassa runsaasti erilaisia perusteltuja käytäntöjä. Virheanalyysi ei siis ole eksaktia eikä standardoitua. JYFL:n oppilaslaboratorion perus- ja aineopintojen töissä on kuitenkin otettu käyttöön joitakin standardeja, joiden käyttämistä vaaditaan aina. Ehkä tärkein JYFL-standardi on edellä mainittu 15 yksikön sääntö. Sen mukaan virhe ilmoitetaan pääsääntöisesti yhden merkitsevän numeron tarkkuudella. **Poikkeuksena** on tapaus, jossa pyöristetyn virheen merkitseväksi numeroksi tulisi 2, mutta pyöristämätön virhe on lähempänä ykköstä. Tällöin virhe pyöristetään kahden merkitsevän numeron tarkkuuteen. Tämän seurauksena pyöristetyn virheen merkitsevinä numeroina on enintään luku 15, mistä säännön nimi tulee. Välituloksissa ilmoitetaan pari merkitsevää numeroa enemmän pyöristysvirheen eliminoimiseksi (kuten tehtiin tehtävissä 3 ja 4). Toinen JYFL-standardi liittyy *virheiden* pyöristämiseen: ne pyöristetään harjoitustöissä aina ylöspäin. (Huom! **Tulos** pyöristetään tietysti normaalisti joko ylös- tai alaspäin!)

**Tehtävä 6:** Tulos ja sen virhe ilmoitetaan aina samalla tarkkuudella. Tämä pätee myös välituloksiin tehtävissä 3 ja 4.

## **2. approksimaatio (keski)nopeuden mittauksessa: graafinen ja tilastollinen menetelmä** (PNS-suoran sovitus, graafinen virhearviointi, tilastolliset ja karkeat virheet)

Mikäli mittaus on toistettavissa, se kannattaa toistaa mittauksen luotettavuuden parantamiseksi. Edellä suoritettu mittaus on toistettavissa, mikäli ilmarata on samassa asennossa ja ilmapuhallin samalla intensiteetillä. Teemme nyt tilastollisen mittauksen ja tilastollisen virheanalyysin sekä tutustumme karkeisiin virheisiin. Karkeat virheet poistetaan yleensä uusimalla mittaus, tai jos se ei ole mahdollista, poistamalla karkeasti virheelliset mittaukset (tämä on erittäin vaarallista, ja taitamattomasti tehtynä saattaa merkitä tutkimusvilppiä tai tutkimuksen merkittävimmän osan sivuuttamista).

Tässä osassa mitataan kuljettu matka ja siihen käytetty aika useassa pisteessä ja osoitetaan, että liike on tosiaan tasaista.

**Tehtävä 1:** Mitataan liukuradalta useita pisteitä (virhearvioineen), yksi jokaista ryhmän jäsentä kohti.

**Tehtävä 2:** Koeajojen jälkeen tehdään useita monen pisteen aikamittauksia siten, että opiskelijat kiertävät uuteen paikkaan ennen seuraavaa mittausta. Jos siis opiskelijoita on 5 kpl, niin tehdään 10 ajoa (jokainen mittaaja käy kahdesti kullakin mittauspisteellä) ja yhteensä  $10 \times 5$  aikamittausta.

**Tehtävä 3:** Lasketaan aika ja sen virhe jokaiselle pisteelle keskiarvon ja keskiarvon keskivirheen avulla, käyttäen Exceliä. Keskiarvo ja keskiarvon keskivirhe ovat tilastollisen virheanalyysin tärkeimmät menetelmät.

**Tehtävä 4:** Kokeillaan, kuinka paljon poikkeava mittaustulos vaikuttaa keskiarvoon ja keskiarvon keskivirheeseen. Lisätään mittaustuloksiin yksi ”huono” mittaustulos ja lasketaan ajan keskiarvo ja keskiarvon keskivirhe uudelleen.

**Tehtävä 5:** Nyt voitaisiin laskea keskinopeudet kuten approksimaatiossa 1. Sen sijaan tehdään graafinen analyysi tehtävässä 3 laskettuja tuloksia käyttäen. Piirretään jokainen (aika, etäisyys)-piste millimetripaperille (aika, etäisyys)-koordinaatistoon virherajoihin.

Virherajat merkitään pisteen ympärille vaaka-(aika) ja pystysuorina (etäisyys) palkkeina.

**Tehtävä 6:** Piirretään pisteiden läpi suora, joka "tuntuu" parhaiten pistejoukkoon "sopivan". Mikäli pisteet eivät ole lähestulkoon suorassa linjassa, joudutaan toteamaan, että liike ei ole ollut tasaista. Tehdään joka tapauksessa suoran sovitus eli lineaarinen sovitus (regressio). Määritetään nopeus.

**Tehtävä 7:** Piirretään samaan kuvaan virhesuorat, siis kaksi suoraa, mahdollisimman loiva ja kalteva, jotka juuri ja juuri sopivat pisteiden virherajoihin. Määritetään näiden suorien kulmakertoimet, niiden erotus nopeuteen verrattuna ja valitaan suurempi erotusten itseisarvo, siis poikkeama, nopeuden virheeksi. Tässä vaiheessa graafisesti arvioitu tulos on valmis. Kuvaan merkitään kulmakertoimet, annetaan sille otsikko ja palautetaan aikanaan 2. kotitehtävien yhteydessä.

**Tehtävä 8:** Tehdään suoran sovitus (lineaarinen regressio) tietokoneen avulla ns. PNS-menetelmällä. Oppilaslaboratorion tietokoneissa PNS-sovituksen tekemiseen voidaan käyttää esim. Capstone-, Excel-, Gnuplot- tai Origin-ohjelmaa. Näistä kaksi viimeksi mainittua ohjelmaa ovat tarkoitettuja korkealaatuisten julkaisukelpoisten kuvien tekemiseen, ja ne ovat täten suositeltavia piirto-ohjelmia. Excelissä ja Capstonessa kuvan käsittelyominaisuudet ovat vaatimattomammat. Tässä tehtävässä käytetään Origin-ohjelmaa.

### **3. approksimaatio nopeuden mittauksessa: tietokonemittaus**

Viimeinen mittaus tehdään tietokoneistetulla mittauslaitteistolla käyttäen Capstone-mittausohjelmistoa. Capstonea käytetään myöhemmin monissa oppilaslaboratorion harjoitustöissä.

**Tehtävä 1:** Tehdään ajo, katsellaan sen tuloksena saatavia käyriä (matka, nopeus ja kiihtyvyys ajan funktiona) ja kirjataan tulos (nopeus ja kiihtyvyys) mittauspöytäkirjaan.

## **Kotitehtävät 2 – Palauta kahden viikon kuluessa mittauksista!**

Nämä tehtävät tehdään mittausten jälkeen. Tarkoituksena on varmistaa, että Laboratoriotöiden perusteet -luennoilla ja ryhmätöissä opetetut asiat ovat riittävän hyvin hallussa tulevia laboratoriotöitä silmälläpitäen. Kaikkiin tehtäviin tulee vastata. Kotitehtäviä tarkistettaessa vastaamatta jättäminen tuottaa miinuspisteitä, eli edes nollan saamiseksi on vähintään kerrottava, miksi ei osannut tehtävää ratkaista. Näiden tehtävien lisäksi palautetaan Kotitehtävät 1, mittauspöytäkirja, tuloskaavake sekä mittauksissa tehty millimetripaperipiirros. Kotitehtävät kirjoitetaan A4-paperiarkeille, vihkosta repäistyt epämääräiset paperit eivät kelpaa. Palautusaikaa on kaksi viikkoa mittausvuorosta.

**1. Eri virhetyyppien yhdistäminen.** Oletetaan, että mittaat vaunun etäisyyden johonkin pisteeseen penkillä tasan 1 metriksi, ja arvioit mittanauhan lukemisvirheeksi 0,5 mm ja vaunun keskikohdan paikan mittausvirheeksi 2 mm. Yhdistä virheet ja anna lopputulos virheineen. Onko joku mahdollinen virhetekijä vielä huomioimatta? Jos on, niin miten otat sen huomioon tuloksessa?

**2. Systemaattisen virheen huomioiminen.** Mittaat tilastollisesti vaunun kulkuajaksi  $(5,0 \pm 0,5)$  s. Tiedät, että käyttämäsi kello jättää 5 minuuttia tunnissa. Miten poistat tämän systemaattisen virheen tuloksestasi? Testaa, antaako ehdottamasi korjaus oikean ajan, kun kellolla on mitattu aikaa tunnin ajan. Miten otat systemaattisen virheen huomioon siinä tapauksessa, että valmistaja on ilmoittanut kellolla mitatun ajan epätarkkuudeksi 1% tuloksesta, mutta et tiedä kyseisen kellon kohdalla sitä, jättääkö vai edistääkö se (vai tekeekö kumpaakaan<sup>2</sup>)?

---

### <sup>2</sup> Mistä laitteen mahdollisen systemaattisen virheen voi tietää?

Tilastollinen virheanalyysi toimii nimenomaan satunnaisvirheille. Mittalaitteen tarkkuudesta tai oikeammin sen puutteesta johtuva virhe on luonteeltaan systemaattista. Esim. kellot pyritään valmistamaan siten, että ne näyttävät täsmälleen oikein. Valmistuneet kellot eivät kuitenkaan ole ideaalisia, vaan niissä on systemaattista virhettä. Jos tutkitaan lukuisia kelloja, todetaan, että eri testiajanjaksoilla kokeiltaessa kellojen näyttämällä ajoilla on tietty keskihajonta (mittaustulokset ovat normaalisti jakautuneet ”oikean ajan” ympärille, mikäli valmistaja ei ole tehnyt sellaista virhettä, joka aiheuttaa kaikkiin kelloihin säännönmukaisesti jonkun systemaattisen virheen). Valmistaja saattaa ilmoittaa laitteen käyttöoppaassa jonkun virherajan laitteen tarkkuudelle ja tämä virheraja pohjautuu todennäköisesti juuri tämänkaltaiseen suurella joukolla laitteita tehtyyn keskihajonnan määrittämiseen. Eli tietty laite voi näyttää systemaattisesti joko liian suuria tai liian pieniä arvoja, ja arvio keskimääräiselle epätarkkuudelle on annettu käyttöoppaassa. Jotain tiettyä laitetta käytettäessä ei voi olla varma, onko juuri kyseisen laitteen systemaattinen virhe ylös- vai alaspäin vai näyttääkö juuri kyseinen laite ”oikein”. Tämän tutkimiseksi täytyisi tehdä (tarkkoja) testejä approksimaation 2 tehtävän 3 mukaisesti.



**3. Maksimi-minimi -keino.** Suureille  $a$ ,  $b$  ja  $c$  on mitattu seuraavat arvot virheineen (pyöristys tehty 15 yksikön sääntöä tarkemmin, koska arvot ovat välituloksia):  $a = (3,540 \pm 0,113)$ ,  $b = (3250,0 \pm 59,5)$  ja  $c = (27,134 \pm 0,287)$ . Laske suureen  $d$  arvo virheineen maksimi-minimi -keinolla, kun

a)  $d = \frac{a \cdot b}{c}$  (Tee virheen laskeminen kahdella eri tavalla.)

b)  $d = \frac{e^a \cdot (100 - c)}{b}$

c)  $d = \frac{(8b - c) \cdot a}{\ln a}$  (Jos et arvaa  $a$ :n kokonaisvaikutusta, etsi ratkaisu kokeilemalla.)

**4. Keskiarvo vs. painotettu keskiarvo.** Tulokset 3. approksimaatiosta voisi määrittää myös samaan tapaan kuin 2. approksimaatiossa, yksinkertaisesti laskemalla kaikkien tulosten keskiarvo ja sen keskivirhe. Tämä olisi kuitenkin väärä tapa, koska eri pisteiden mittauksilla on erilaiset virhearviot. Tällaisessa tapauksessa on loogista, että tarkempia mittauksia painotetaan enemmän kuin epätarkempia mittauksia. Siksi pitäisi käyttää painotettua keskiarvoa ja sen virhettä (ks. Laboratoriotöiden perusteet -moniste). Oletetaan nyt, että on tehty seuraavat 4 aikamittausta:  $(5,0 \pm 0,1)$  s,  $(5,4 \pm 0,5)$  s,  $(5,5 \pm 0,5)$  s ja  $(6,0 \pm 1,0)$  s. Laske ajalle tulos keskiarvon ja painotetun keskiarvon kaavoilla, tietysti virheineen. Näet, että jälkimmäisellä, ja siis oikealla tavalla, laskettuna epätarkoilla mittauksilla on hyvin pieni vaikutus lopputulokseen.

**5. Keskiarvo vs. painotettu keskiarvo, osa 2.** Eräissä tapauksissa (oppilaslaboratoriossa todella esiintyy kyseisiä) väärän kaavan valinta voi tuottaa huiman epärealistisen virhearvion ja tuloksen. Tällaisessa tapauksessa fyysikon hälytyskellon pitäisi soida! Oletetaan ääriesimerkiksi seuraavat 4 aikamittausta (jotka voivat esim. olla peräisin eri mittaajilta tai eri mittausvälineistä):  $(5,0 \pm 0,1)$  s,  $(5,0 \pm 0,5)$  s,  $(5,0 \pm 0,5)$  s ja  $(5,0 \pm 1,0)$  s. Laske nyt tulokset edellisen tehtävän mukaisesti kahdella tavalla. Pohdi lopuksi näiden virhearvioiden mielekkyyttä.

**6. PNS-suoran piirtäminen tietokoneella.** Harjoittele Originin käyttöä tekemällä mitatuista (taulukko 1) ajan ja paikan mittauspisteistä (aika, paikka) -kuvaaja ja siihen suoransovitus.

Sovitusohjelmien käyttöohjeet löytyvät oppilaslaboratoriosta, tietokonehuoneesta ja oppilaslabran nettisivuilta (ks. Originin ohjeen luku 5.1). Kuvassa tulee olla mittauspisteiden ja sovitettujen suorien lisäksi virhesuorat. Virhesuorien piirtäminen käsin on hyväksyttävissä, mutta piirtämisen voi tehdä myös tietokoneella. Virhesuorien piirtoon Originilla apua löytyy ohjeen luvusta 5.3. Tulosta tekemäsi kuva ja palauta muiden tehtävien kanssa.

**Taulukko 1: Mitatut ajan ja paikan arvot**

Aika (s)	0,5 ± 0,02	1,04 ± 0,1	1,67 ± 0,01	2,27 ± 0,1	2,91 ± 0,012	3,50 ± 0,1	4,10 ± 0,02	4,80 ± 0,01	5,35 ± 0,012
Paikka (m)	0,25 ± 0,11	0,50 ± 0,1	0,75 ± 0,12	1,00 ± 0,1	1,25 ± 0,13	1,50 ± 0,15	1,75 ± 0,1	2,00 ± 0,12	2,25 ± 0,15

7. **”Johtopäätökset” -kappaleen kirjoittaminen.** Eräs työselostuksissa vaadittava kappale on "Johtopäätökset" ("Conclusions"). Kirjoita tästä työstä sellainen! Ohjeita selostuksen kirjoittamiseen löydät oppilaslaboratorion nettisivuilta kohdista Työselostuksen laatiminen ja Selostuksenkirjoitusopas (sama opas myös FYSP102 työohjemonisteen Liitteestä 1). Tutkimusraporteissa tässä osassa tarkastellaan tehtyä tutkimusta, sen tulosten luotettavuutta ja merkitystä. Tässä työssä määritettiin (keski)nopeus eri tavoilla, joten voit verrata saatuja tuloksia toisiinsa ja pohtia mahdollisten erojen syitä. Kerro myös, mikä on mielestäsi paras tapa mitata (keski)nopeutta. Voit lisäksi esittää kappaleessa vapaita kommentteja työstä. Kirjoita ”Johtopäätökset” –kappale puhtaaksi word-tekstinkäsittelyohjelmalla.

8. **Kansilehti.** Harjoittele vielä Word-tekstinkäsittelyohjelman käyttöä ja kirjoita kansilehti työllesi. Kaikkiin työselostuksiin kuuluu kansilehti. Kansilehden malli löytyy työosaston verkkosivulta. Kansilehdelle kuuluva tiivistelmä kirjoitetaan englanniksi (tiivistelmän kieliasua ei arvostella).

## **Loppusanat**

Virheanalyysi ei ole koskaan eksaktia, mutta kuhunkin tilanteeseen on olemassa parempia ja huonompia keinoja. Käytäntöjä on paljon ja siksi tutkimusraporteissa on aina mainittava, minkä virheanalyysitavan on valinnut. Tutkijalla täytyy olla tiedossaan laaja valikoima erilaisia keinoja, jotta hän pystyy perustellusti valitsemaan ongelmaansa sopivan. JYFL:n laboratoriotöiden eräs tärkeimpiä tehtäviä on näiden erilaisten keinojen käytön oppiminen. Pääsääntöisesti mittausten ja virhetarkastelun tekemiseen on kolme eri lähestymistapaa: yksittäinen mittaus (vrt. approksimaatio 1), toistomittaus (vrt. approksimaatio 2) tai graafinen määrittäminen (vrt. approksimaatio 3). Tarvittaessa tehdään jatkolaskuja ja otetaan virheen eteneminen huomioon. Näistä tavoista valitaan tilanteeseen parhaiten sopiva(t) menetelmä(t). Oikean tavan valinta ei ole helppoa – oma päättely ja harkinta ovat tärkeimpiä kokeellisen työn tekijän välineitä!

## **Muistiinpanoja:**