

IXPF24 Fysiikka, ryhmälaboratoriotyö IST4S1 / E1 / A3
Oksanen Janne, Vaitti Mikael, Vähämartti Pasi

Jyväskylän Ammattikorkeakoulu, IT-instituutti
IXPF24 Fysiikka, Kevät 2005, 6 ECTS
Opettaja Pasi Repo

Äänen nopeus pitkässä tangossa

Laatija - Pasi Vähämartti

Vuosikurssi - IST4S1

Tekopäivä 2005-1-20

Palautuspäivä 2005-2-3

Ryhmä E1 / A3

Oksanen Janne



Vaitti Mikael



Vähämartti Pasi



LABORATORIOTYÖN KUVAUS

Tehtävän määrittely:

Tarkoitus on tutkia ja määrittää pitkittäisen ääniaallon etenemisnopeus kolmessa mitoiltaan identtissä, mutta eri materiaalisessa metallitangossa. Lopuksi saatuja tuloksia verrataan taulukkokirjoista saatuihin tuloksiin. Lisäksi tarkoitus on oppia ymmärtämään, että mikään tulos ei ole tarkka, vaan kaikissa tuloksissa on epätarkkuutta. Tässä työssä harjoittelemme virhemarginaalien laskemista, joilla kuvataan tätä epätarkkuutta.

Äänennopeus määritellään kahdella tavalla:

1. Laskemalla mitatuista arvoista
2. Kokeellisesti, tietokoneen mittaamista ja piirtämistä kuvaajista

Tehtävän suorittamisen aikana tullaan mittaamaan tankojen painoja (kg), pituuksia ja halkaisijoita (m). Taulukkokirjasta katsomalla selvitetään tankojen materiaalin kimmokerroin (GPa). Saaduista mittaustuloksista lasketaan materiaalien tiheydet (kg/m^3), sekä varsinainen asia jota tutkitaan - äänen nopeus (m/s) eri tangoissa. Kaikille tuloksille lasketaan suhteellinen ja absoluuttinen virhe.

Johdanto:

Ääni on mekaanista aaltoliikettä, se tarvitsee ”liikkuakseen” väliaineen, joka voi olla mitä tahansa ainetta. Äänen etenemismuoto ja nopeus riippuu siitä, minkälaisessa väliaineessa se kulkee. Ilmassa ääniaalto on pitkittäistä, kun taas kiinteässä aineessa myös poikittaissuuntaista. Äänen etenemisnopeus riippuu väliaineen ominaisuuksista. Mekaanisesti etenevän aallon etenemisnopeuden määräävät väliaineen elastisuus ja tiheys, kuten tässä harjoituksessa tullaan toteamaan.

Tehtävässä käytetyt yhtälöt ja niiden yksikkötarkastelut:

Tiheyden laskeminen, ρ = tiheys, m = massa, r = säde, l = pituus

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{\pi \cdot r^2 \cdot l} \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] = \frac{[\text{kg}]}{[\text{m}^3]} = \frac{[\text{kg}]}{[\pi \cdot \text{m}^2] \cdot [\text{m}]}$$

Pitkittäisen aallon etenemisnopeus, etenemisnopeus = v , kimmokerroin = E , tiheys = ρ

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] = \sqrt{\frac{[\text{Pa}]}{[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}]}}$$

Äänen nopeus tangossa, nopeus = v , tangon pituus = l , edestakaisen matkaan kulunut aika = Δt

$$v = \frac{2l}{\Delta t} \quad \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] = \frac{[\text{m}]}{[\text{s}]}$$

Suhteellisen virheen laskeminen:

$$\left| \frac{\Delta f(x, y, z)}{f(x, y, z)} \right| \leq |a| \cdot \left| \frac{\Delta x}{x} \right| + |b| \cdot \left| \frac{\Delta y}{y} \right| + |c| \cdot \left| \frac{\Delta z}{z} \right|$$

Absoluuttisen virheen laskeminen:

$$|\Delta f(x, y, z)| \leq \left(|a| \cdot \left| \frac{\Delta x}{x} \right| + |b| \cdot \left| \frac{\Delta y}{y} \right| + |c| \cdot \left| \frac{\Delta z}{z} \right| \right) \cdot |f(x, y, z)|$$

Mittausmenetelmät:

Tehtävän suorittamisessa käytettiin vasaraa, rullamittaa, työntömittaa, tarkkuusvaakaa, laskukonetta, tietokonetta, siihen liitettyä mittauslaitteistoa ja ohjelmistoa. Jokaisesta mittavälineestä arvioitiin virheen suuruus, tulokset kirjoitettiin etukäteen tehtyyn mittauspöytäkirjaan.

Äännopeuden laskeminen:

Jokainen metallitanko punnittiin, sekä mitattiin niiden pituudet ja halkaisijat. Tämän jälkeen laskettiin tiheydet ja kirjattiin tulokset. Taulukkokirjasta etsittiin kullekin metallille ominainen kimmokerroin (E), laskettiin äänen nopeus lasketulla tiheyden arvolla ja taulukkokirjan kimmokertoimella. Näin saatiin teoreettinen äänen kulkunopeus $v_{\text{teor}} \pm \Delta v_{\text{teor}}$. Kaikkiin tuloksiin laskettiin myös virherajat. Esimerkkilaskut löytyvät sivulta 4.

Äänen nopeuden määrittäminen kokeellisesti:

Jokainen metallitanko kiinnitettiin testipenkkiin löyhästi vuorotellen. Jokaisesta tangosta tehtiin kaksi koetta siten, että metallisella vasaralla näpäytettiin tangon päätä hyvin hellästi. Tällöin saatiin aikaiseksi kuvaajat, joista saatiin määriteltyä edestakaisen äänen kulkema aika. Koska tankojen pituus oli tiedossa, oli nopeuden laskeminen mahdollista. Näin saimme kokeellisesti laskettua ja määriteltyä äänen nopeuden $v \pm \Delta v$. Näihinkin tuloksiin laskettiin virherajat. Kuvat löytyvät sivuilta 6-8.

Mittaustulokset:

Metalli	Pituus	Halkaisija	Paino
Messinki	1,299 m	0,012 m	1,2383 kg
Kupari	1,299 m	0,012 m	1,3021 kg
Alumiini	1,299 m	0,012 m	0,4085 kg

Virherajat	$\pm 0,001$ m ($\pm 1,0$ mm)	$\pm 0,00005$ m ($\pm 0,5$ mm)	$\pm 0,0001$ kg ($\pm 0,1$ g)
------------	----------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------

Laskuesimerkit (messinki):

Tiheys:

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{m}{\pi \cdot r^2 \cdot l} = \frac{1,2383 \text{ kg}}{\pi \cdot (0,006 \text{ m})^2 \cdot 1,299 \text{ m}} = \frac{1,2383 \text{ kg}}{0,0001469 \text{ m}^3} = 8428,77 \text{ kg/m}^3$$

Tiheyden suhteellinen virhe:

$$\left| a \cdot \left| \frac{\Delta x}{x} \right| + b \cdot \left| \frac{\Delta y}{y} \right| + c \cdot \left| \frac{\Delta z}{z} \right| \right| = \left| \frac{0,001 \text{ m}}{1,299 \text{ m}} + 2 \cdot \left| \frac{0,000025 \text{ m}}{0,006 \text{ m}} \right| + \left| \frac{0,0001 \text{ kg}}{1,2383 \text{ kg}} \right| \right| = 0,00918 \approx 0,92\%$$

Tiheyden absoluuttinen virhe:

$$\left(\left| a \cdot \left| \frac{\Delta x}{x} \right| + b \cdot \left| \frac{\Delta y}{y} \right| + c \cdot \left| \frac{\Delta z}{z} \right| \right) \cdot |f(x, y, z)| = 0,00918 \cdot 8428,77 \text{ kg/m}^3 = 77,409 \text{ kg/m}^3$$

Messingin tiheys virherajoiheen:

$$\rho \pm \Delta\rho = (8430 \pm 80) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Äänennopeus messingissä:

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \sqrt{\frac{90 \cdot 10^9 \text{ Pa}}{8430 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} = 3267,44 \text{ m/s}$$

Äänennopeuden suhteellinen virhe:

$$|a| \cdot \left| \frac{\Delta x}{x} \right| + |b| \cdot \left| \frac{\Delta y}{y} \right| = \frac{1}{2} \cdot \left(\left| \frac{0 \text{ Pa}}{90 \cdot 10^9 \text{ Pa}} \right| + \left| \frac{70 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{8430 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \right| \right) = 0,00415 \approx 0,42\%$$

Äänennopeuden absoluuttinen virhe:

$$\frac{1}{2} \cdot \left(\left| \frac{\Delta x}{x} \right| + \left| \frac{\Delta y}{y} \right| \right) \cdot |f(x, y, z)| = 0,00415 \cdot 3267,44 \text{ m/s} = 13,567 \text{ m/s}$$

Äänennopeus messingissä virherajoiheen:

$$v \pm \Delta v = (3267 \pm 14) \text{ m/s}$$

Äänen nopeudenmäärittäminen kuvasta:

$$v = \frac{2l}{\Delta t} = \frac{2 \cdot 1,299 \text{ m}}{0,7633 \cdot 10^{-3} \text{ s}} = 3403,5 \text{ m/s}$$

Äänennopeuden suhteellinen virhe:

$$|a| \cdot \left| \frac{\Delta x}{x} \right| + |b| \cdot \left| \frac{\Delta y}{y} \right| = \left| \frac{1 \text{ mm}}{1299 \text{ mm}} \right| + \left| \frac{0,01 \text{ ms}}{4,58 \text{ ms}} \right| = 0,00295 \approx 0,29\%$$

Äänennopeuden absoluuttinen virhe:

$$\left| \frac{\Delta x}{x} \right| + \left| \frac{\Delta y}{y} \right| \cdot |f(x, y, z)| = 0,00295 \cdot 3403,5 \text{ m/s} = 10,051 \text{ m/s}$$

Äänennopeus messingissä virherajoiheen kuvasta määritettynä:

$$v \pm \Delta v = (3404 \pm 11) \text{ m/s}$$

Työn ja tulosten arviointi:

Itse lasketut arvot:

Metalli	$\rho \pm \Delta\rho$ [kg/m ³]	$v_{\text{teor}} \pm \Delta v_{\text{teor}}$ [m/s]	$v \pm \Delta v$ [m/s]	Säde [m]
Messinki	8430 ± 80	3267 ± 14	3404 ± 11	0,006 ± 0,000025
Kupari	8860 ± 90	3680 ± 20	3869 ± 12	0,006 ± 0,000025
Alumiini	2780 ± 30	5020 ± 50	5150 ± 20	0,006 ± 0,000025

Kirjallisuusarvot:

Metalli	Tiheys ρ [kg/m ³]	Kimmokerroin E [GPa]
Messinki	8400	90
Kupari	8930	120
Alumiini	2700	70

Lähde: Tekniikan kaavasto, 4. painos

Kirjasta otetut ja itse määritellyt tiheydet eivät ole identtiset, mutta ovat ”hyvin” lähellä toisiaan. Syynä tähän ovat mittauserätarkkuudet, ei homogeeniset metallitangot, ja tuskinpa tangot olivat täysin pudasta itseään. Seassa on siis todennäköisesti myös epäpuhtauksia, jotka aiheuttivat heitteilyä tuloksissa.

Lasketuissa äänennopeuksissa ($v \pm \Delta v$) on havaittavissa 100-200 m/s eroja verrattuna teoreettiseen nopeuteen ($v_{\text{teor}} \pm \Delta v_{\text{teor}}$). Heitto on prosentuaalisesti hyvin pieni, noin 2%, joka on hyvä tulos mittauksissa käytettyjä laitteistoja silmälläpitäen. Tarkoitus kun ei ollutkaan määrittellä ”täydellisen” tarkkoja tuloksia, vaan selvittää miten tuloksia saadaan kokeellisesti määritettyä. Huonoa tuloksissa on se, että lasketut $v \pm \Delta v$ ja $v_{\text{teor}} \pm \Delta v_{\text{teor}}$ arvot eivät virherajoinenkaan kohtaa toisiaan.

Kokonaisarvio:

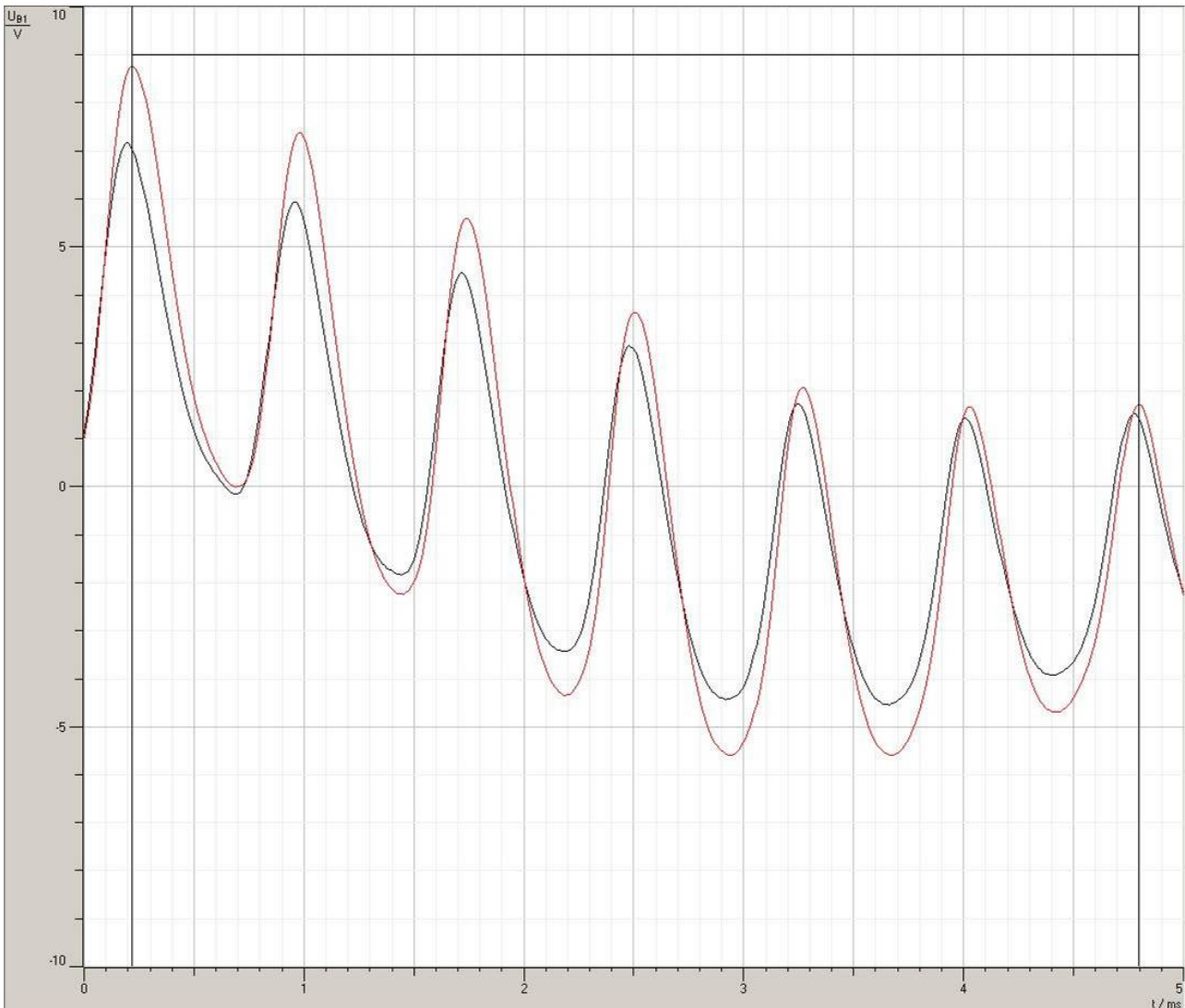
Laboratoriomittausten tekeminen oli helppoa pienen harjoittelun jälkeen. Tietokoneohjelmisto oli havainnollinen, mutta ohjelmiston käytön ohjeistus oli osittain puutteellinen annetuissa monisteissa.

Suurimmat ongelmat tulivat eteen tämän dokumentaation tekemisen yhteydessä. Eniten päänvaivaa tuottivat virherajojen laskeminen, sekä hyvän ja kattavan sisällön tuottaminen.

Vaikka työ oli havainnollinen ja mielenkiintoinen, niin silti loppuraportointi jätti hieman tyhjän olon. Työn tekemiseen joutui käyttämään paljon aikaa suhteessa mittausten tekemiseen kuluneeseen aikaan, joten toivottavasti tämä nyt tukee myös tämän hetken fysiikan oppitunneilla käytyjä asioita.

Olen tyytyväinen saatuihin lopputuloksiin ja tämän dokumentaation ulkoasuun ja sisältöön.

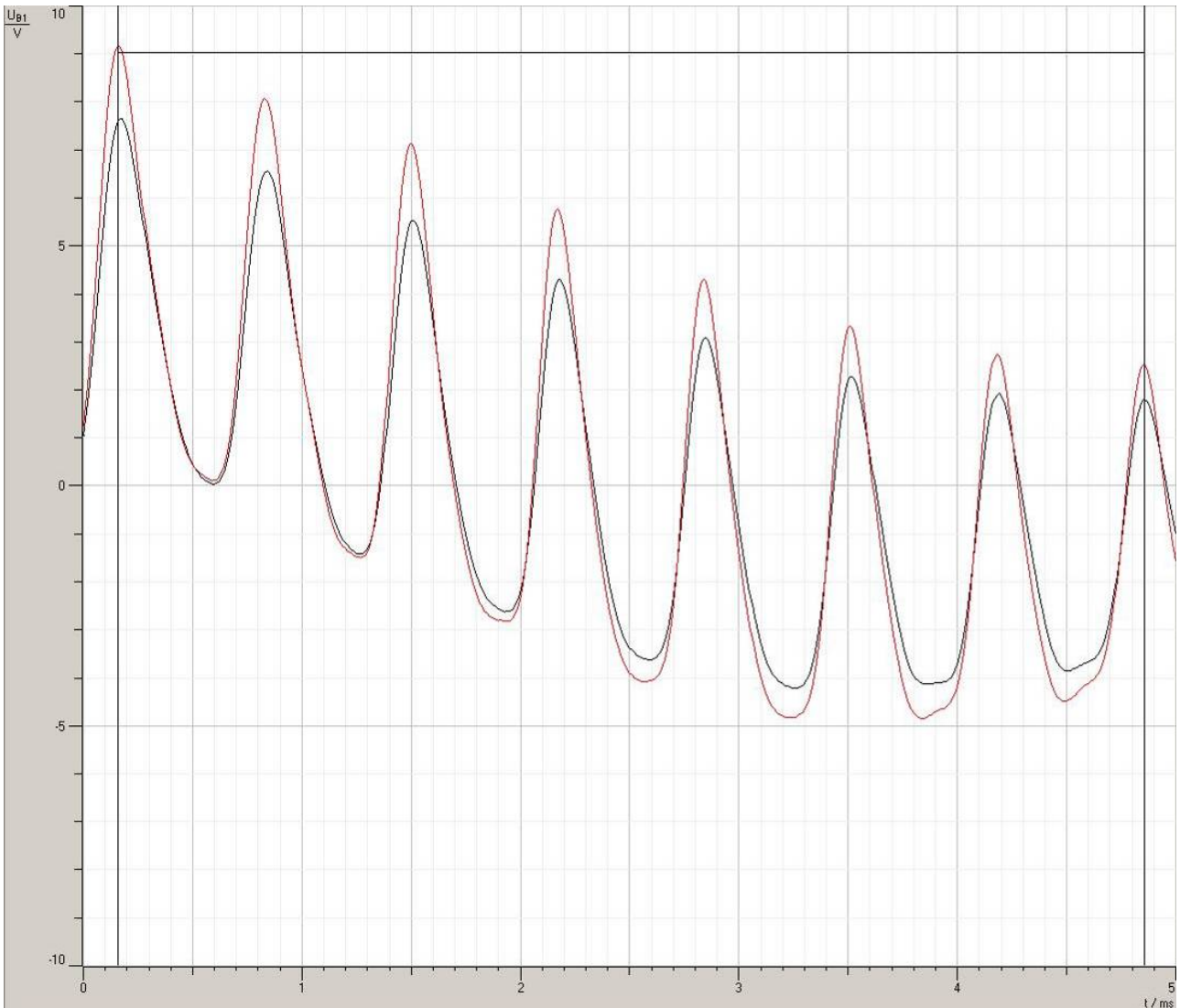
Messinki:



$$4,58\text{ms} / 6 = 0,7633\text{s}$$

$$v = \frac{2l}{\Delta t} = \frac{2 \cdot 1,299 \text{ m}}{0,7633 \cdot 10^{-3} \text{ s}} \approx 3404 \text{ m/s}$$

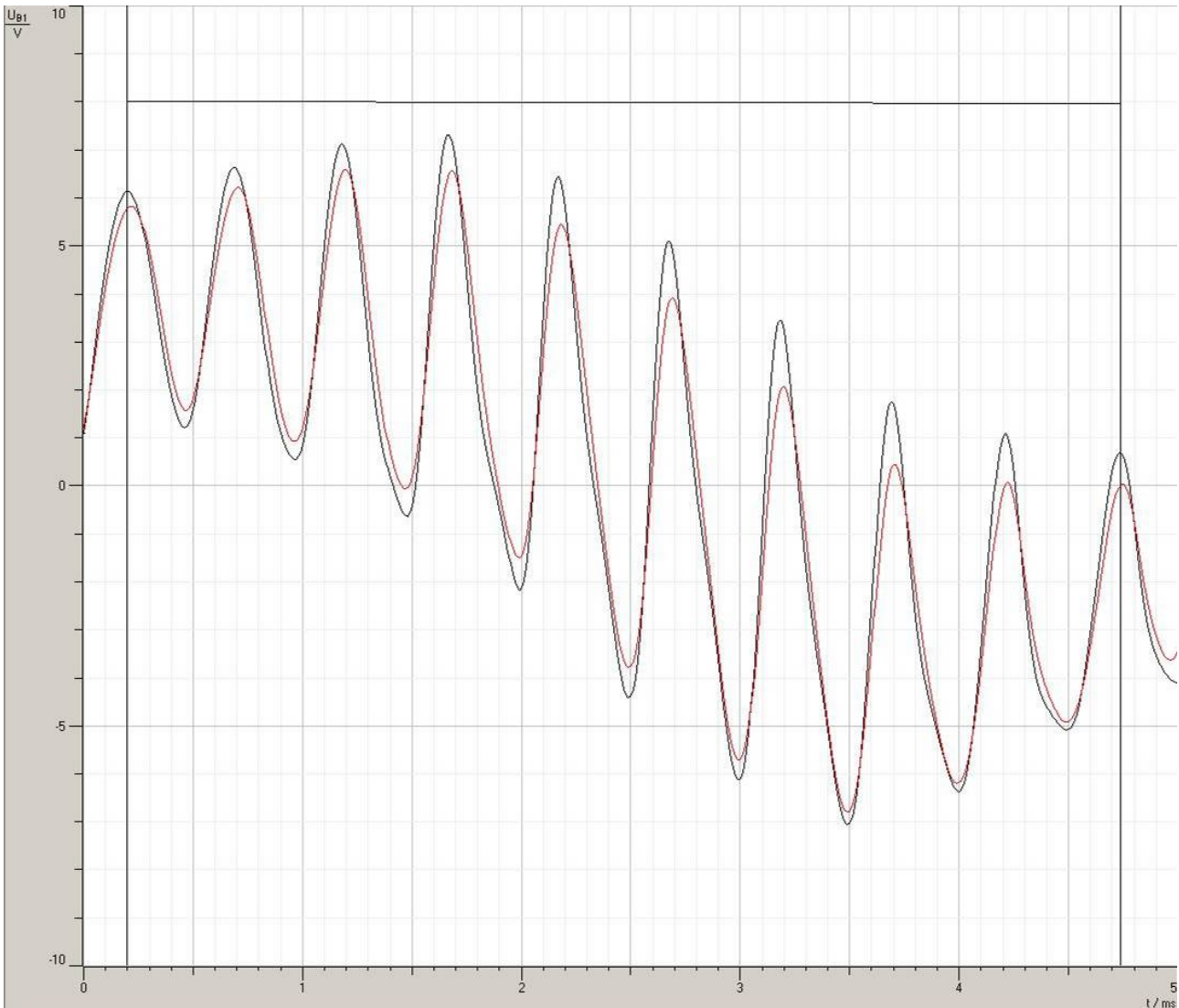
Kupari:



$$4,70\text{ms} / 7 = 0,6714\text{s}$$

$$v = \frac{2l}{\Delta t} = \frac{2 \cdot 1,299 \text{ m}}{0,6714 \cdot 10^{-3} \text{ s}} \approx 3869 \text{ m/s}$$

Alumiini:



$$4,54\text{ms} / 9 \text{ jaksoa} = 0,5044\text{s}$$

$$v = \frac{2l}{\Delta t} = \frac{2 \cdot 1,299 \text{ m}}{0,5044 \cdot 10^{-3} \text{ s}} \approx 5150 \text{ m/s}$$