

DIGIPHYSLAB — KOKEELLISTA FYSIIKKAÄ KÄNNYKÄLLÄ

Pekka Pirinen ja Antti Lehtinen

Jyväskylän yliopisto

Koronapandemia pakotti yliopistot ympäri maailman muuttamaan toimintatapojaan ja siirtymään etäopetukseen sukupolvelle ennennäkemättömässä laajuudessa. Erityisesti kokeellisen fysiikan kurssien osalta pakotettu etätyöskentely tuli useimmille fysiikan laitoksille puskista, eikä valmista toimivaa ratkaisua kokeellisen työskentelyn tekemiseen muualla kuin kampuksen laboratoriotilassa ollut.

Vaivaan kehitettiin lääke: Erasmus+-hanke Developing Digital Physics Laboratory Work for Distance Learning (DigiPhysLab, 3/2021—2/2023, Kuva 1), jonka pääasiallisena tavoitteena oli kehittää ja julkaista 15 huolellisesti arvioitua etätyöskentelyyn sopivaa fysiikan laboratoriokoetta valmiina käyttöön yliopistoissa ympäri maailman. Jyväskylän yliopiston fysiikan laitoksen ja yliopistonlehtori Antti Lehtisen koordinoiman hankkeen yhteistyökumppaneina toimivat Göttingenin (Saksa) ja Zagrebin (Kroatia) yliopistot.

Moderneja digitaalisia apuvälineitä, kuten älypuhelimia, hyödyntävät laboratoriotyöt tarjoavat kustannustehokkaan ja saavutettavan ratkaisun kokeellisen työskentelyn etäjärjestelyihin, kuten myös Heikkinen ym. (2021) huomasivat

korona-ajan haasteita käsittelevässä kirjoituksessaan Arkhimedeeseen numerossa 1/2021. Ennen kaikkea digilaitteet mahdollistavat oman aineiston keräämisen tutuilla välineillä perinteisen laboratorioympäristön ulkopuolella. Klein ym. (2021) havaitsivat, että kokeelliset työt, joissa käytettiin opiskelijan itse mittaamaa aineistoa, johtivat paremmaksi koettuun oppimiseen kuin työt, joissa annettiin jonkun muun mittaamaa dataa opiskelijan analysoitavaksi. Lisäksi älylaitteiden käyttö fysikaalisten mittausten tekemiseen voi Hochbergin ym. (2018) mukaan lisätä opiskelijoiden kiinnostusta työskentelyyn sekä mielenkiintoa tutkittavaa ilmiötä kohtaan. Digitaalisen osaamisen vaatimukset yhteiskunnassa kasvavat jatkuvasti (ks. Carretero ym., 2017), joten digitaalisten taitojen opetteluun on järkevää panostaa fysiikan opetuslaboratoriois-



Kuva 1: DigiPhysLab-projektin väkeä projektin ta-
paamisessa Zagrebissa joulukuussa 2022. Vasem-
malta lukien Ana Sušac, Pekka Pirinen, Lucija
Rončević ja Simon Lahme.

sa muulloinkin kuin vain pakotetun pandemia-
ajan etätyöskentelyn aikana.

DigiPhysLab-HANKKEESSA KEHITETYT KOKEELLISET TYÖT

DigiPhysLab-hankkeessa kehitetyt kokeelliset
työt seuraavat suuntausta, jossa fysiikan sisältö-
jen sijaan keskiöön nostetaan kokeellisen työ-
skentelyn taidot. Esimerkiksi Walsh ym. (2022)
ovat näyttäneet, että oppimistavoitteissaan eks-
plisiittisesti kokeellisen työskentelyn taitoihin
keskittyvät laboratoriokurssit kehittävät opiske-
lijoiden kriittisen ajattelun taitoja sekä ohjaavat
opiskelijoiden asenteita ja näkemyksiä kokeelli-
sesta fysiikasta asiantuntijamaiseen suuntaan
enemmän kuin kurssit, joilla keskitytään ensisi-
jaisesti tai yhtäläisesti vahvistamaan fysiikan
teoriasisällöllistä osaamista käytännön kautta.
Jyväskylän yliopiston fysiikan laitos on kirjoit-
tushetkellä uudistamassa perus- ja aineopinto-
jen kokeellisen fysiikan opetustaan vastaamaan

paremmin alan tuoreimman tutkimuksen viitoit-
tamaa mallia. DigiPhysLab-hankkeen suunnit-
telemia laboratoriotöitä oli jo käytössä ensim-
mäisellä uuden kokeellisen fysiikan kokonai-
suuden pilottikurssilla syksyllä 2022.

Suurin osa DigiPhysLab-hankkeen kokeellisista
töistä on suunniteltu sellaisenaan toimivaksi
osana yliopistofysiikan perusopintojen labora-
toriokursseja ja useat ideat ovat helpohkosti
muokattavissa myös lukio-opetukseen sopivak-
si tai demonstraatioksi. Muutama työ vaatii
hieman enemmän valmiita kokeellisen työsken-
telyn taitoja tai matemaattisia valmiuksia.
Kaikki kehitetyt kokeelliset työt on pilotoitu
opiskelijoiden kanssa, ja havaintojen pohjalta
laadimme jokaisesta työstä erillisen opettajan
version, johon on kerätty vinkkejä töiden toteu-
tukseen sekä erilaisiin variaatioihin.

Esittelemme tässä artikkelissa kaksi esimerkkiä
DigiPhysLab-töistä. Digitaalinen signaalinkä-
sittely (Digital Signal Processing) -nimellä kul-

keva kokeellinen työ perehdyttää digitaalisen signaalinkäsittelyn perusteisiin ja erityisesti diskreetin Fourier-muunnoksen käyttöön kiihtyvyyssanturipohjaisen värinänalyysin kautta. Työssä opiskelija valitsee tutkittavaksi jonkin oletettavasti jaksollisesti värähtelevän signaalin, suunnittelee ja toteuttaa puhelimen kiihtyvyyssanturilla sopivat mittaukset ja määrittää sig-

naalissa esiintyvät taajuuskomponentit. Tutkittava signaali voi olla esimerkiksi puhelimen värinäähälytys, pesukoneen linkous, sydämen syke tai jokin muu opiskelijan itse keksimä kohde.

Oleellinen osa Digitaalinen signaalinkäsittely -työtä on vuorovaikutteinen Jupyter notebook -työohje, joka esittelee esimerkkien ja pienten

Lisätään nyt signaaliin enemmän sinikomponentteja. Alla oleva koodinpätkä on kopio edellisestä. **Muokkaa sitä niin, että 1 Hz siniaallon kaveriksi signaaliin lisätään ainakin kaksi muuta siniaalltoa eri amplitudeilla ja taajuuksilla. Tee ennen koodin ajamista ennuste siitä, miltä signaalin taajuusspektri tulee näyttämään.**

```

N = 64 # Näytepisteiden lukumäärä (huom. kakkosen potenssi nopeuttaa FFT-algoritmin suoriutumista, mutta ei ole pakollinen)
T_s = 1.0 / 32 # Näytteiden väli (kuinka monta sekuntia on jokaisen näyteen välillä)
times = np.linspace(0,0, N*T_s, N, endpoint=False) # Luo ajan arvoista taulukon (listan), jossa on N pistettä T sekunnin välein
noise = 1.0*np.random.normal(0,0.25,len(times)) # Luo signaaliin lisättävän satunnaisen kohinan. Oletettu normaalijakumasta, jonka
signal = 1.0*np.sin(1.0 * 2.0*np.pi*times) + 3.0*np.sin(3.4 * 2.0*np.pi*times) + 2.3*np.sin(14.0 * 2.0*np.pi*times) + noise # T

plt.scatter(times,signal)
plt.grid()
plt.xlabel('Aika (s)') # Nimeää akselin
plt.ylabel('Amplitudi') # Nimeää akselin
plt.show()

ftofsignal = fft(signal)
frequencies = fftfreq(N, T_s)[:N//2]
spectrum = 2.0/N * np.abs(ftofsignal[0:N//2])

plt.scatter(frequencies, spectrum)
plt.grid()
plt.xlabel('Taajuus (Hz)') # Nimeää akselin
plt.ylabel('Amplitudi') # Nimeää akselin
plt.show()

data = pd.DataFrame({"Frequency (Hz)":frequencies,"Spectrum (a.u.)":spectrum})
data.to_excel('frequency_spectrum.xlsx', sheet_name='sheet1', index=False)
#files.download("frequency_spectrum.xlsx") # Poista #-merkki rivin alusta tallentaaksesi taajuusspektrin tietokoneelle

```

Näkyvätkö kaikki lisäämisi taajuuskomponentit taajuusspektrissä? Tallenna kuvaajasi ja kommentoi. Kokeile myös lisätä näytteiden määrää N ja kirjaa ylös, mitä siitä seuraa. Nyrkkisääntönä tarkasteltavan signaalin täytyy olla sellainen, että a) vähintään yksi jakso sisältyy otettuihin N näytteeseen ja b) yksikään sen taajuuskomponenteista ei ylitä puolta näytteenottotaajuudesta $1/T_s$. Katsotaan seuraavaksi, mitä tapahtuu, jos sääntöä b) ei noudateta.

Kuva 2: Kuvakaappaus Digitaalinen signaalinkäsittely -työn notebook-työohjeesta (muokattu hieman tilan säästämiseksi). Opiskelijalle osoitetut ohjaavat tehtävät on esitetty lihavoidulla fontilla ja tehtävässä pyydetty muokkaus koodiin on korostettu sinisellä. Kuvaajissa esitetty kolmen eri taajuudella ja amplitudilla heilahtelevan sinifunktion ja satunnaisen kohinan muodostamasta signaalista otettu tarkastelujakso (vasemmalla) ja siitä diskreetin Fourier-muunnoksen avulla määritetty taajuusspektri (oikealla).

tehtävien kautta tarvittavat digitaalisen signaalinkäsittelyn peruskäsitteet, antaa välineitä datan käsittelyyn Python-ohjelmointia hyödyntäen sekä ohjaa aineiston analyysiin diskreetin Fourier-muunnoksen avulla. Pyrimme rakentamaan työohjeen siten, että aiempaa ohjelmointikokemusta ei tarvita, vaan notebook-työohje (Kuva 2) selittää esitetyt koodinpätkät auki rivi riviltä, kun niitä käytetään ensimmäisen kerran. Työssä ei keskitytä matemaattisiin tai ohjelmointitekniisiin yksityiskohtiin, vaan tavoitteena on saavuttaa intuitiivinen ymmärrys siitä, mitä diskreetin Fourier-muunnoksen avulla voidaan tehdä. Lisäksi opiskelija pääsee käyttämään diskreettiä Fourier-muunnosta helposti ymmärrettävän arkipäivän ilmiön mittaamiseen.

Toinen esimerkki liittyy fysikaalisten mallien testaamiseen. Kun pullon suuaukon yli puhalletaan sopivalla tavalla, saadaan aikaan tasainen soiva ääni, jonka taajuutta voidaan muuttaa lisäämällä pulloon vettä. Miten tätä ilmiötä tulisi mallintaa? Usein puoliavoimeen putkeen muodostuvista seisovista aalloista puhuttaessa annetaan esimerkkinä pullosta puhaltamalla saatava ääni. Toisaalta pulloa voidaan mallintaa myös Helmholtzin resonaattorina, jossa pullon kaulassa oleva ”ilmakorkki” värähtelee tietyllä resonanssitaajuudella pullon vatsassa olevan ilman joustavuutta vasten.

Pullon mallinnus (How to model a bottle?) -työssä opiskelijoille annetaan puoliavoin putki-mallista ja Helmholtzin resonaattori-mallista johdetut lausekkeet pullosta puhaltamalla saatavan äänen taajuudelle. Tehtävänä on verrata mallien antamia ennusteita puhelimen avulla mitattuihin taajuuksiin sekä pohtia erityisesti mallien rajoja. Huomionarvoista työssä on, että tutkimuksen tulos ei ole minkään tunnetun arvon mittaaminen, vaan pikemminkin perusteltu havainto siitä, miten juuri sinun valitsemaasi

pulloa ja siitä saatavaa ääntä voidaan mallintaa. Työtä pilotoidessamme havaitsimme, että opiskelijat usein kyseenalaistavat ennemmin omat mittauksensa ja menetelmänsä kuin mallin antamat ennusteet. Työn kautta voidaan alustaa hyviä keskusteluja mallien roolista kokeen suunnittelemisessa ja tulosten tulkitsemisessa sekä mallien rajojen ja rajoitteiden tunnistamisesta.

Kaikki DigiPhysLab-hankkeen julkaisemat 15 kokeellista työtä, digitaalisia apuvälineitä hyödyntävien laboratoriotöiden kehittämiseksi laadittu arviointikysely sekä modernien fysiikan kokeellisten töiden suunnittelun tueksi kehitetty viitekehys löytyvät projektin verkkosivuilta osoitteesta <https://jyu.fi/digiphyslab>.

Viitteet

Carretero, S., Vuorikari, R. & Punie, Y. (2017). DigComp 2.1: The Digital Competence Framework for Citizens. With eight proficiency levels and examples of use. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Heikkinen, L., Kontro, I., Koskinen, P., Mau-nuksela, J., Saarelainen, M., Tuominen, K. (2021). Arkhimedes 1/2021, s. 16–26.

Hochberg, K., Kuhn, J. & Müller, A. (2018). Journal of Science Education and Technology 27, 385–403.

Klein, P., Ivanjek, L., Dahlkemper, M. N., Jeličić, K., Geyer, M.-A., Küchemann, S. & Sušac, A. (2021). Phys. Rev. Phys. Educ. Res. 17, 010117.

Walsh, C., Lewandowski, H. J. & Holmes, N. G. (2022) Phys. Rev. Phys. Educ. Res. 18 1, 010128.