

# SÄHKÖMAGNETIIKAN OPETTAMINEN: MAHDOTON TEHTÄVÄ ?

Ari Sihvola  
Teknillinen korkeakoulu  
Sähkömagnetiikan laboratorio  
02105 TKK

[ari.sihvola@tkk.fi](mailto:ari.sihvola@tkk.fi)

1. Teknillisten korkeakoulujen opetuksessa yksi haastavista ongelmista on tasapainoilu ”kovan” luonnontieteen ja soveltavampien sekä ihmisyhteisöihin liittyvien tutkimuspainotusten välillä. Tekniikan ratkaisut perustuvat toisaalta luonnonlakien hyväksikäyttöön, eli koulutuksen saaneen on hallittava suvereenisti matematiikka, fysiikka ja kemia, ja toisaalta valmistunut työssään rakentaa järjestelmiä ihmisiä varten, joten hyvän insinöörin tulee ymmärtää ihmisten välisiä ja ihmisyhteisöjen sisäisiä monimutkaisia ja epälineaarisia vuorovaikutuksia, tai ainakin olla tietoinen niiden arvaamattomista piirteistä. Tämä kahden kulttuurin ristiriita, jonka piirissä insinöörikoulutuksen sisällä eletään, on erittäin hyvin havaittavissa sähkötekniikan opettamisessa.

Sähkötekniikka lienee tekniikan aloista kaikkein laajimmin jokapäiväiseen elämään tunkeutunut. Siihen ja sen sovelluksiin on vaikea olla törmäämättä. Sähkötekniikan osa-alueiden moninaisuus heijastuu luonnollisesti myös teknillisten korkeakoulujen sähkötekniikan osastojen oppiaineiden kirjossa ja jatkuvassa uudistumistarpeessa. Kaikki sähkötekniikka kuitenkin perustuu sähkömagnetismiin, joka on yksi luonnon neljästä perusvoimasta. Siksi ei voida kieltää sen koherenttiutta ja kokonaisvaltaisuutta. (Toki sähkötekniikan insinööriratkaisuissa muidenkin perusluonnonvoimien olemassaolo on myönnettävä – siis esimerkiksi painovoiman ja aineen sisimmissä rakenteissa vallitsevien ydinvoimien – mutta sähkö- ja magnetismin vuorovaikutus on niissä ensisijainen asia.)

On siis luonnollista, että Teknillisen korkeakoulun Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osaston opetusohjelmassa sähkömagneettisella kenttäteorialla on merkittävä painoarvo ja asema.

2. Historian aikana sähkömagnetiikan opetus on kulkenut eri nimien alla. Sähköoppi tulee lukujärjestykseen fysiikan opetuksen osana. Toisaalta kun vielä puoli vuosisataa sitten suuri osa sähköinsinööreistä toimi sähköverkkojen ja –koneiden parissa, kulki sähkötekniikan raskaan perustan opetus nimellä ”teoreettinen sähkötekniikka.” ”Vahvavirtatekniikka” on toki olennaista ja välttämätöntä nykyisinkin, mutta se on saanut antaa osuudestaan sähkötekniikan kokonaiskuvassa tilaa elektroniikan, puolijohdetekniikan, tietoliikenteen, radioaaltotekniikan ja sähkömateriaalitekniikan valtavalle kasvulle. Sähkömagneettisen ymmärryksen perusteet opetetaan nykyään kursseilla, jotka kantavat nimeä ”sähkömagneettinen kenttäteoria.”

”*Grau, teurer Freund, ist alle Theorie, und grün des Lebens goldner Baum.*” Faustin Mefistofeles voisi kuuluisalla toteamuksellaan aivan hyvin viitata sähkömagneettiseen kenttäteoriaan. Sähkö-

ja magneettikentät ovat raskas fysiikan osa-alue abstrakteine käsitteineen, ongelmien ratkaisemisessa tarvitaan matemaattisten ajattelurakenteiden ymmärtämistä ja sujuvaa käyttämistä ja käsittelykykyä ja tarkasteltavat sähköteknilliset tilanteet tulisi osata vielä irrottaa paperinmakuisesta akateemisuudesta ja pystyä kytkemään ne tosielämän yhteyteen. Ja näillä fundamentaalikursseilla olisi rakennettava vankka perusta, jonka varassa opiskelu sähkötekniikan osastossa menestyksellisesti onnistuu. Totta on, että sähkömagneetiikan kurssien suorittajilta täytyy vaatia ja vaaditaankin paljon. Ja vielä suurempi haaste prosessi on silloin myös opettajalle.

Sen lisäksi, että aihe ei ole helpoin mahdollinen, eivät opettajan taakkaa suinkaan kevennä yliopistoympäristön nykytilanne ja suuntaukset. Budjettirahoitus on tiukalla ja varsinkin sähkö- ja tietoliikenneosaston teekkareiden sisäänottoa on menneinä vuosina kasvatettu hallitsemattomasti. Vaikka nykyvuosina uusien opiskelijoiden määrää yritetään hiukan pienentää, on paljon vahinkoa saatu aikaan, kun opetuksen rakenteet eivät ole voineet pysyä perässä 1990-luvun kasvun vauhdissa. Määrän lisäksi omia ongelmia tuovat opiskelijoiden kirjavoituneet taustat: sisääntuloväyliä osastoon on lukuisia ja ulkomaalaiset, suomen kieltä taitamattomat opiskelijat ”normaaliteekkareiden” seassa ovat luennoilla arkipäivää. (Ilman muuta heterogeenisuus on myös mahdollisuus, rikkaus ja ilon aihe, mutta tässä vain tarkastelenkin tilannetta vaativan aineen opettajan rajallisten resurssien näkökulmasta.)

Teekkareiden lukumäärä on kursseilla tyypillisesti parinsadan molemmin puolin.

3. Sähkömagneettisen kenttäteorian opettamistapahtumat ovat perinteisesti olleet luentojen ja laskuharjoitusten muodostama kokonaisuus. Luennot saattavat tuntua moderniin pedagogiikkakäsitykseen tottuneesta hyvin jäykältä ja tehottomalta tavalta vaikuttaa oppimiseen, mutta varmasti ne puolustavat paikkaansa esimerkiksi yhteisinä suunnannäyttämistilaisuuksina silloin, kun tekkarit vaikean asian äärellä ymmärrettävästi välillä ajalehtivat eksyksissä. Ja toisaalta kenttäteoria on taitoaine: sähkö- ja magneettikenttien ongelmia on osattava ratkoa ja käsitteitä soveltaa uusissa yhteyksissä, joten harjoitus ja käsityö ovat välttämättömyys.

Joskus tekisi mieli sanoa, että sähköinsinöörille sähkömagneettisen kenttäteorian hallitseminen on kuin viulunsoittotaito, ainakin oppimisen kannalta. Sitä ei voi kuuntelemalla oppia eikä kirjasta edes ahkerasti lukemalla. Se vaatii käsien töitä, lihaksien liikettä. Niinkö tosiaan? Yhdennainen kritiikki tällaista ajattelua vastaan on se, että siinä voi nähdä mekaanisuuden ylikorostamista, jolloin on vaarana, ettei syvemmän ymmärryksen saavuttamiseen kiinnitetä huomiota. Mutta olisin kyllä sitä mieltä, ettei ristiriitaa tule todellisen oppimisen tavoitteiden kanssa vaikka tätä käsitystä seurataankin. Päinvastoin, leikkittelisin melkeinpä ajatuksella, että kovan ja konkreettisen, ”likaisen” työn tekeminen on *ainoa* tie konstruoida itselleen tietoa sähkömagneettisesta kenttäteoriasta. Kun tieto rakennetaan omaan mieleen, muita työkaluja ei ole kuin ”käsityökalut.”

Teekkarit myöntävät kyllä, että opiskelu vaatii työtä. Aivan kuin viulutunneilla on käytävä pari kertaa viikossa, on pakko kenttäteoriaakin harjoitella jatkuvasti. Opiskelun vapaus on houkuttelevassa ristiriidassa tähän nähden. Poikkeuksetta kurssien jälkeinen, aika rehellisen tuntuinen opiskelijapalaute kertoo tästä. Siksipä onkin ollut aika välttämätöntä täydentää sähkömagneetiikan kurssien suoritustapaa tenttien lisäksi pakollisilla, säännöllisillä kotitehtävillä ja mahdollisesti muillakin aktiivisuuden osoituksilla.

4. Onko teoria sitten harmaata? Siitä voisi toki Mefistofeleen kanssa väitellä, mutta totta varmaan on, että jos teekkarit sen ilottomaksi kokevat, jotain pitäisi tehdä. Sähkö- ja magneettikentät ovat kuitenkin läsnä melkein kaikkialla jokapäiväisessä elämässä. Kuinka sen pystyisi näkemään? Tai kuinka voisi saada opiskelijan kokemaan, että hän voi itse ymmärtää ja hallita, kokea luonnolliseksi sähkömagnetiikan?

Yksi tapa, jota sähkömagnetiikan kursseilla on kokeiltu, on ollut ongelmalähtöisen opetusmetodin henkinen (joskaan ei välttämättä kovin ortodoksisesti PBL-muotoinen) idea, jossa heti kurssin alussa annan opiskelijoille yksinkertaisia perustarvikkeita: kuparilankaa, pariston, nappimagneetteja, ehkä rautanaulan. Ohjeistus on minimaalinen: näytän lyhyesti jonkin esimerkkilaitteen, joka niistä voidaan rakentaa ja joka liikkuu. Teekkareiden tarkoitus on neljän-viiden hengen ryhmissä saada jotain aikaan näillä ja mahdollisesti muilla arkipäivän tarvikkeilla. Kukin ryhmä tulee esittelemään oman työnsä (ja kirjallisen raporttinsa) kurssin aikana.

Tällainen ryhmätyö saattaa tuntua hiukan ongelmalliselta sisällyttää osasuorituksiksi klassillisen kenttäteorian kurssille. Se on epämääräinen ja arvostelu helposti mielivaltaista. Siinä tuntuvat kuitenkin toimivan ongelmalähtöisen oppimisen parhaat puolet: motivointi toimii, kaikki työt ja syntyneet laitteet ovat itsenäisiä ja riippumattomia, oppilailla ja opettajilla on kiva... Toivottavasti oppiminenkin on syventynyt.

Uskomattomia laitteistoja rakennettiin syksyn 2005 Staattisen kenttäteorian kurssilla vähistä ainesosista: morsesähköttimiä, kauttimia, sähkötykkeitä, vaakoja, keinulaitoja, seurapelejä... Niitä on koottu sivulle

[http://www.tkk.fi/Yksikot/Sahkomagnetiikka/kurssit/S-96.1111\\_2005/ryhmistulos.html](http://www.tkk.fi/Yksikot/Sahkomagnetiikka/kurssit/S-96.1111_2005/ryhmistulos.html) .

5. Sähkö- ja magneettikentät ovat näkymättömiä mutta hyvin todellisia. Koska niitä voi kuvata matematiikan kielellä, on geometrisuus ja avaruudellisuus olennaista. Niiden hahmottamisessa auttavat siten erilaiset visuaaliset havainnollistukset. Vektoreiden ominaisuuksia ja käyttäytymistä opetellaan tietysti jatkuvasti kuvailemaan harjoitustehtävien kautta ja kaaviot ja kuvat ovat tärkeitä. Kenttien erityisominaisuus on myös niiden aikariippuvuus ja elävyys. Sellaista on tietysti vaikea vangita paperille tai liitutauluun. Tässä suhteessa on allekirjoittaneenkin kaltaisen vanhan varaan pitäytyvän konservatiiviopettajan myönnettävä nykytekniikan voima: tietokoneella on todellakin mahdollista tehdä liikkuvia animaatioita ja havainnollistuksia sähkö- ja magneettikentistä, jotka kertovat enemmän kuin sadat sanat siitä mitä ehkä haluaisin sanoa.

Jonkun verran olemmekin suunnitelleet ja toteutettaneet interaktiivisia verkon kautta käytettäviä sovelmia, apletteja (olen kutsunut maailmalla niitä nimellä "emlet" — electromagnetics applet), joiden avulla käyttäjä voi varioida sähköisiä ja magneettisia lähderakenteita ja nähdä heti kuvaruudulla niiden synnyttämät sähkömagneettikentät. Näitä löytyy sivulta <http://www.tkk.fi/Yksikot/Sahkomagnetiikka/kurssit/animaatiot/> .

Vanhoja ja uusia opetustapoja siis käytetään rinnakkain. Uutta on tietysti kokeiltava. Mutta mistä tietää, mikä toimii ja mihin kannattaa suuntautua? Onko mahdollista saada "kovempaa" tietoa asiasta? Minkälainen on tekkarien matematiikkakuva, minkälainen fysiikka- tai sähkömagnetiikkakuva? Tämä onkin aika lailla haasteellisempi kysymys. Tätä yritämme parhaillaan tutkia vakavammin ja laajemmin. Kasvatustieteen maisteri Johanna Leppävirran

väitöskirjatyö Sähkömagneetiikan laboratoriossa pureutuu näihin kysymyksiin. Muutaman vuoden kuluttua kokemuksia ja tietoa on lisää. Minäkin saatan ajatella edellä kuvaamistani asioista eri tavalla.