# 1. Sissejuhatus

IEE2580 – Antennid ja raadiolevi

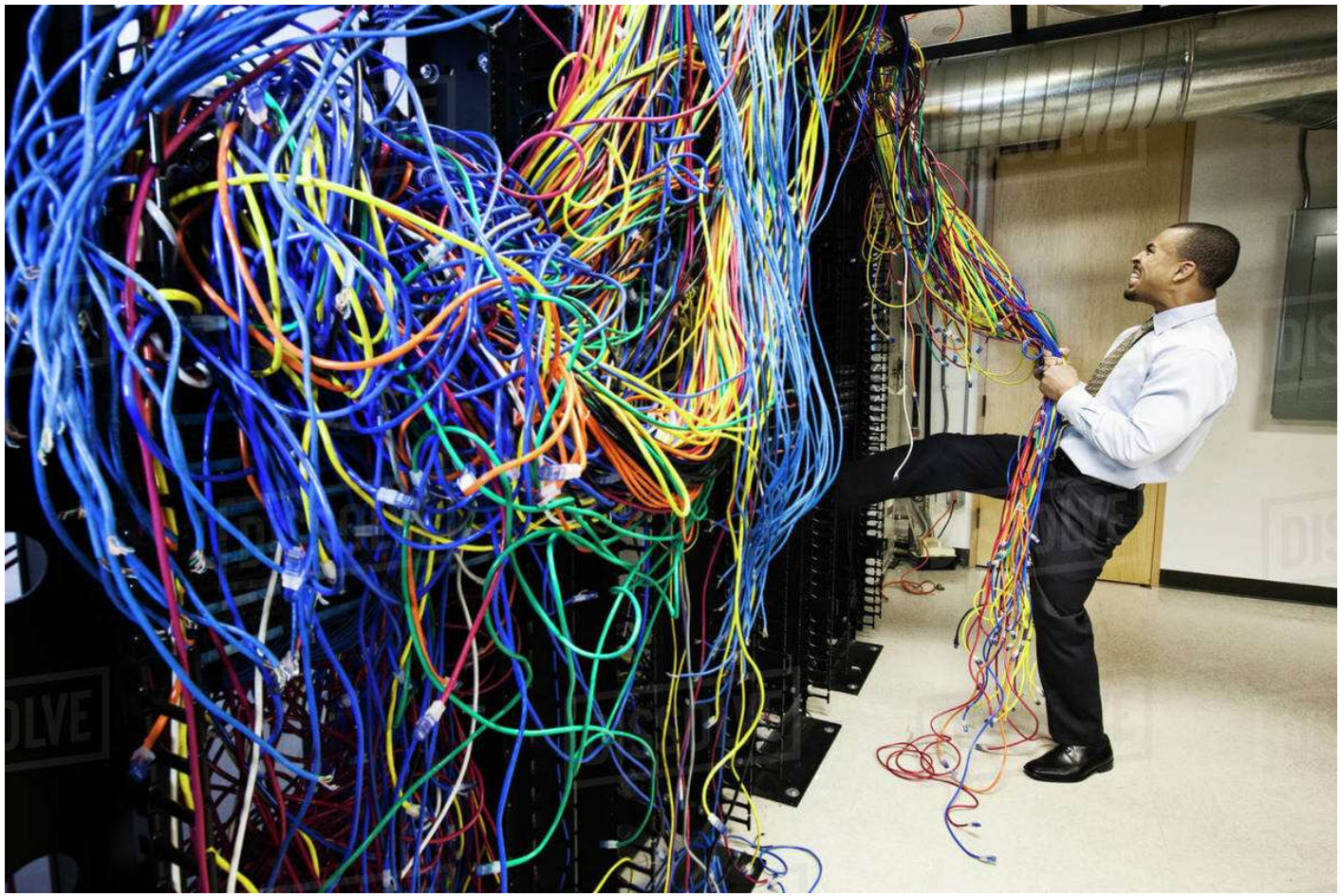
# Raadioside vajalikkus



- Kogu tänapäevane andmeside põhineb elektromagnetkiirguse kasutamisel. Peamisteks põhjusteks suur levikiirus, odavus ja manipuleerimise lihtsus.
- Kogu elektromagnetspektrist kasutatakse praktikas kas **raadiolaineid** või **valgust**. Viimasest enamasti infrapunakiirgust kuid mõnikord ka nähtavat valgust.
- Elektromagnetkiirgust saab edastada laias laastus kahel viisil:
  - Suunatud süsteemides nagu ülekandeliinid ja lainejuhid või
  - Vabas ruumis.

# Lainelevi suunavates süsteemides

- Eelised
  - Väikestel vahemaadel on edastuskaod väiksemad.
  - Ülekandeliinis kulgeva informatsiooni pealtkuulamine on üldjuhul keerukam.
  - Väiksem vastastikune interferents.
  - On võimalik kasutada suuri ribalaiuseid ja edastuskiiruseid.
  - Ei nõua otsenähtavust, keskkonna sumbumus ei takista sidet.
- Puudused
  - Pikkade vahemaade taha ühenduse loomisel on ehitus-, materjali- ja ajakulud suured.
  - Nõuab seadmete füüsilist ühendust ülekandeliini külge. Viimasega kaasnevad kõikvõimalikud mehaanilised probleemid.
  - Kaabeldus võtab palju ruumi.



Joonis: https://www.scdatacom.net/blog/what-is-cable-management

# Lainelevi vabas ruumis

- Eelised
  - Praktiliselt piiramatu sidekaugus.
  - Suurtel vahemaadel on ülekandekaod väiksemad kui suunavates süsteemides.
  - Üldjuhul ei ole vajalik luua mehaanilist ühendust sidevõrguga.
- Puudused
  - Suhteliselt kerge pealt kuulata ja segada.
  - Vastastikune interferents.
  - Jagatud ressurss- saadav ribalaius on piiratud.
  - Keskkond avaldab tugevat mõju side kvaliteedile ja kaugusele.

# Ajaloost

- 1864 aastal publitseeris James Clerk Maxwell oma elektromagnetismi teooria.



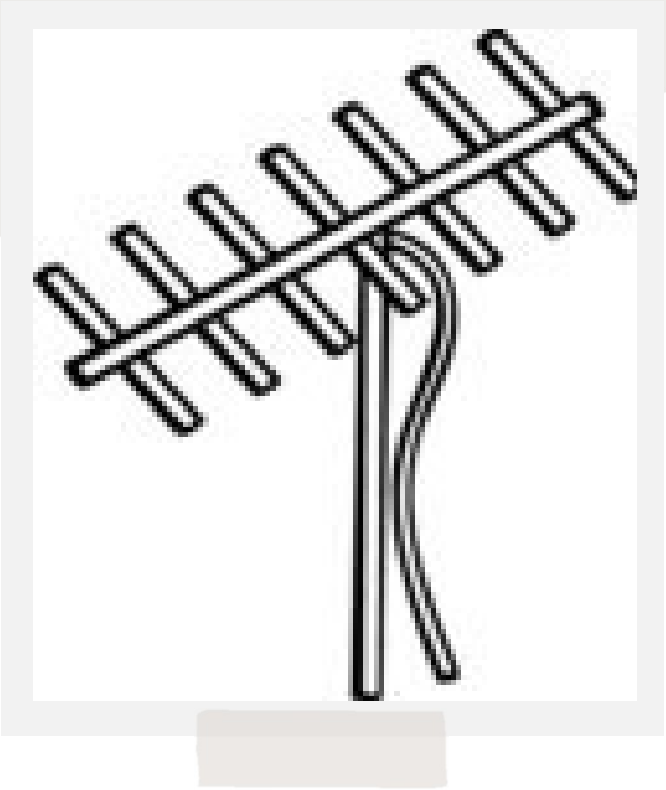


- 1887 aastal demonstreeris Heinrich Hertz katseliselt raadiolainete tekitamist, ülekannet ja vastuvõttu.
  - Katseseadme saatja kasutas dipool- ja vastuvõtja raamantenni.



- 1890. aastatel töötas Guglielmo Marconi välja esimesed praktilised, kommertskasutuseks mõeldud, raadiosideseadmed ja -süsteemid.

# Antenni definitsioon



- **Antenn** on seade, mis muundab vahelduva elektrivoolu energia elektromagnetkiirguse omaks ja vastupidi.
- Antenn muundab ülekandeliinis liikuva, suunatud laine, vabas ruumis  levivaks laineks ja vastupidi.
- Antenn sobitab raadiosaatja väljundi/ vastuvõtja sisendi vaba ruumi impedantsiga.

# Antennide tüübid



- Varras- ja traatantennid
  - Dipoolantenn (Hertzi), monopolantenn (Marconi antenn).
- Tasapinnalised antennid
  - Planaarantenid (*patch antenna*).
- Mitme-elemendilised antennid
  - Yagi-Uda antenn, logoperioodiline antenn.
- Apertuurantennid
  - Parabool- ja ruuporantennid.



# Antennide põhiparameetrid

- Antenni suunadiagramm $D(\theta, \phi)$,
- Antenni suunategur $D$ ja võimendus $G$,
- Kasutegur $\eta$,
- Polarisatsioon,
- Töösageduste vahemik, ribalaius $B$,
- Antenni impedants $Z$,
- …

# Antenni pööratavuse printsiip

- Antenni omadused **ei sõltu sellest**, kas seda kasutatakse saatel või vastuvõtul. Põhimõtet nimetatakse pööratavuse (*reciprocity*) printsiibiks.
- See ei tähenda aga seda, et kõik antennid sobiksid ühtemoodi hästi nii saateks, kui vastuvõtuks.



# Raadiolainete levi

- Raadiolainete levi on, 300 GHz madalama sagedusega, elektromagnetlainete energia ülekanne ühest ruumipunktist teise.
- Raadiolained võivad levida erinevates keskkondades nagu näiteks vaakumis või Maa atmosfääris.
- Levi iseloom sõltub levikeskkonna omadustest. Sarnaselt nähtava valgusega võivad raadiolained **peegelduda**, **murduda**, takistuste taha painduda (**difraktsioon**), keskkonnas **neelduda**, **polariseeruda** ja **hajuda**.
- Levikesskonna mõju on alati mingil määral juhuslik, seega kasutatakse raadiolevi kirjeldamiseks enamasti statistilisi meetodeid.

# Peamised levimehanismid

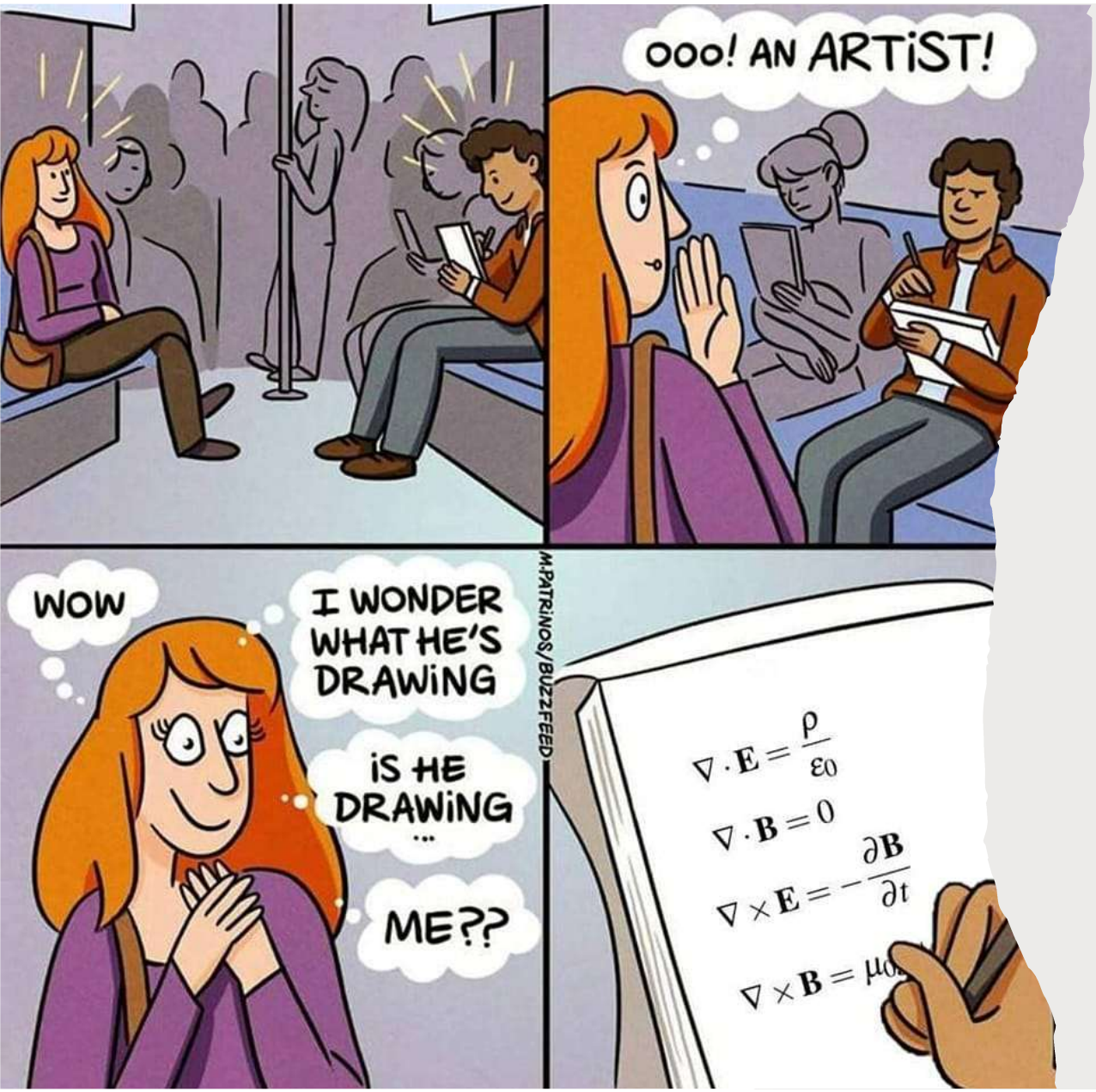
- Lainelevi tühjas ruumis (vaakumis). Allikast kaugenedes hajub signaali energia aina suuremas ruumiosas – pöördvõrdeliselt kauguse ruuduga.
- Erinevate lainetakistustega keskkondade piirilt peegeldub (*reflection*) osa lainetest tagasi. Teise keskkonda kanduv osa raadiolainest muudab oma levisuunda ehk murdub (*refraction*).
- Takistuste servadel paindub osa lainetest takistuse taha (*diffraction*).
- Peegeldumine ja murdumine ebaühtlastelt pindadelt põhjustab raadiolainete hajumist (*scattering*).

# Levimudelid



- Friisi valem on kõige lihtsam raadiokanali mudel. On aluseks kõikidele teistele, keerukamatele mudelitele.
- Praktikas on üheks suuremaks levitingimuste määrajaks maapind. Viimasega arvestavad näiteks kahekiireline maapeegeldusega mudel ja  Egli mudel.
- Tuntumaks mudeliks, mis kirjeldab mobiilsideks kasutatavate sageduste levi linnakeskkonnas on Okumura-Hata mudel ja selle laiendus COST 231.
- Levi siseruumides kirjeldab näiteks ITU-R P.1238-7.

Foto: https://www.semanticscholar.org/




# Maxwell-Heaviside võrrandid

- Gaussi seadus
$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_v.$$
- Faraday seadus
$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}.$$
- Koguvoolu seadus:
$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}.$$
- Gaussi seadus magnetvälja kohta:
$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0.$$

# Helmholtzi lainevõrrand

- Ruumis kulgevaid laineid kirjeldab **Helmholtzi võrrand**:

$$\nabla^2 \mathbf{E} = \mu\varepsilon \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2}.$$

- Tegemist on teist järku nelja muutujaga osalise diferentsiaalvõrrandiga.



# Ühtlane tasalaine

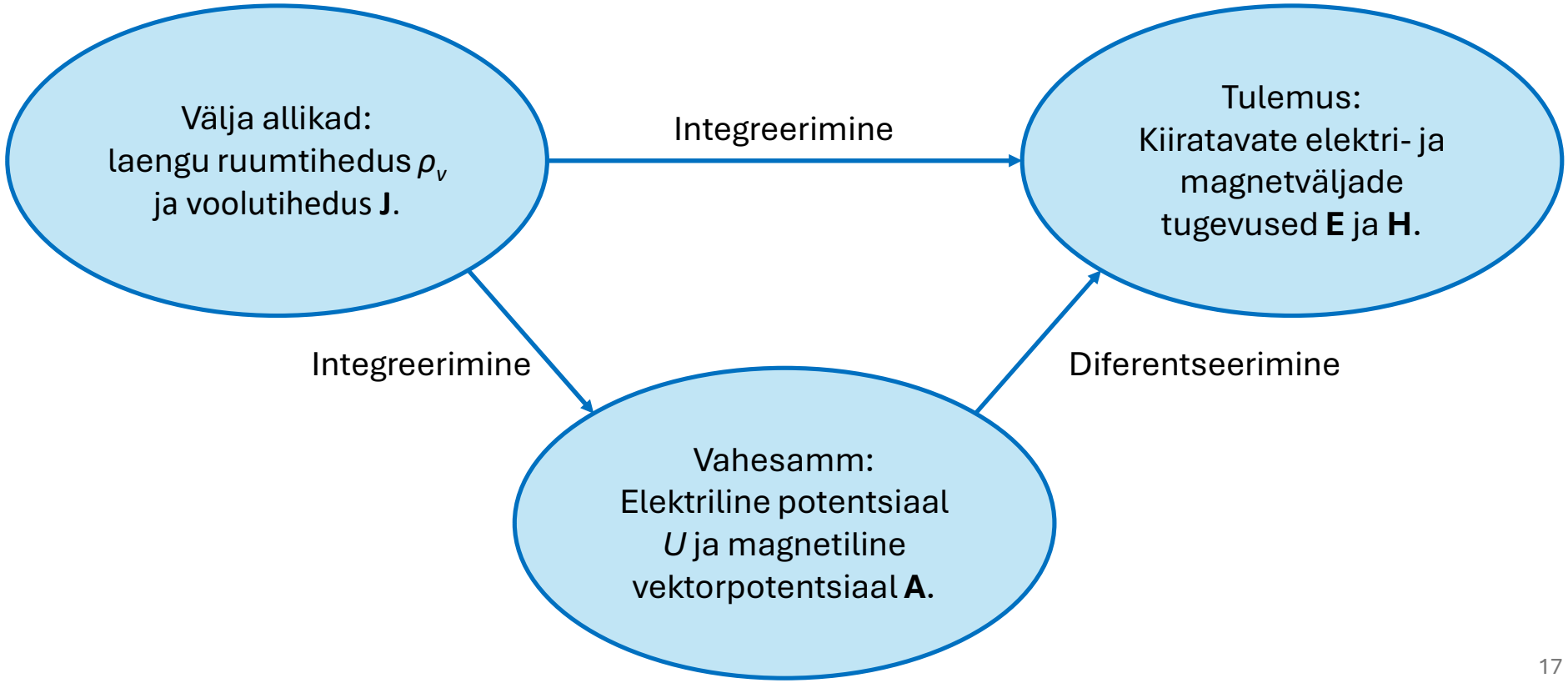
- Üheks Helmholtzi võrrandi lahendiks on **ühtlane tasalaine**. Viimase elektri- ja magnetvälja komponendid on kujul:

$$E_x(z,t) = E_{x0}\cos(\omega t - k_0 z)\,,$$

$$H_y(z,t) = \frac{E_{x0}}{\eta_0}\cos(\omega t - k_0 z)\,.$$

- Tulemus sobib praktikas hästi reaalsete raadiolainete kirjeldamiseks.

# Antenni poolt kiiratavate väljade leidmine



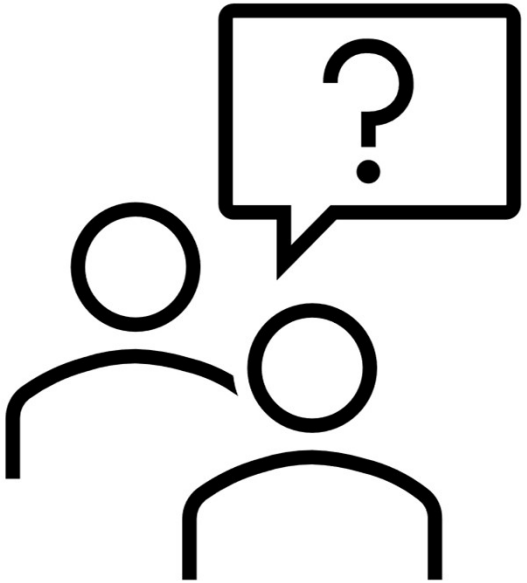
# Elektromagnetiliste simulatsioonide meetodid

- Lõplike elementide meetod (*Finite Element Method*) FEM
  - Keerukas kujund jaotatakse tetraeedriteks, Maxwell-Heaviside võrrandid lahendatakse igaühe jaoks eraldi.
  - Lainejuhid, konnektorid, elektromehaanilised seadmed.
  - Ansys HFSS, COMSOL Multiphysics.
- Lõpliku ajalise sammu meetod (*Finite Difference Time Domain*) FDTD
  - Võrrandid lahendatakse järjestikustel sammudel üle lõpliku sammuga võrgu.
  - Antennid, bioloogilised koed, efektiivne peegelduspind (RCS).
- Momentide meetod (*Method of Moments*) MoM
  - Integraalsel kujul võrrandid lahendatakse ainult objektide pinnal.
  - Traatantennid, peeglid, elektromagnetiline ühilduvus.
  - *MATLAB Antenna Toolbox*, 4nec2.

# Väljakutseid ja trende

- Antennide miniaturiseerimine. Kuidas mahutada antenn nutiseadme- või kella sisse?
- Mitmesageduslikud ja laiaribalised antennid. Kuidas kasutada ühte antenni mitmel erineval otstarbel?
- Antennide integreerimine keskkonda. Kuidas mõjutab kandja keha nutikellas oleva antenni omadusi?
- Faasivõrede kasutamine sides, MIMO rakendused.
- Rekonfigureeritavad ja targad antennid.
- Metamaterjalide kasutamine antennide disainis.
- Targad peegelduvad pinnad (RIS).

# Küsimused?



# Materjale

- Keysight. **Momentum Theory of Operation**. https://docs.keysight.com/display/genesys2009/Momentum+Theory+of+Operation, 01.09.2026

