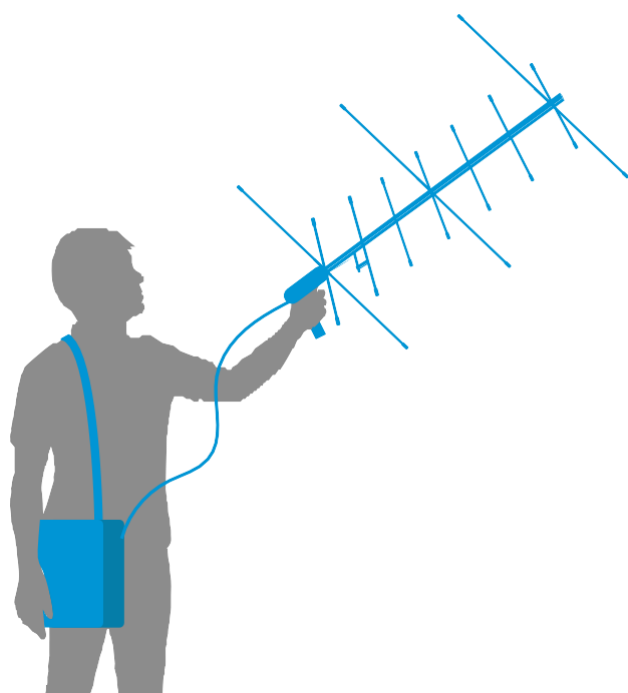
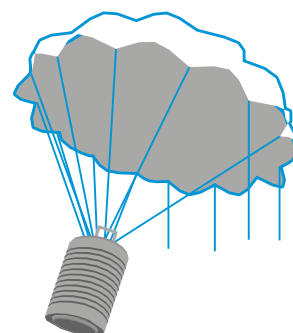
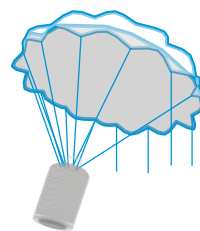
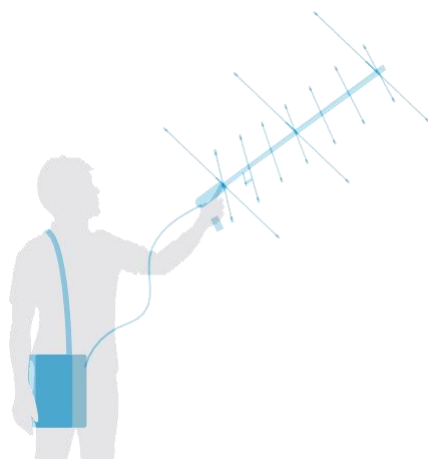


# Õpetame kosmose abil

## → RAADIO TEEL SUHTLEMINE

Maajaama ja CanSati vaheline suhtlus





## Juhend õpetajale

Huvitavad faktid	lk 3
Tegevuste kokkuvõte	lk 4
Tegevus 1: Raadiolainete alused	lk 6
Tegevus 2: Raadiolained satelliitides ja sidesüsteemides	lk 6
Tegevus 3: Sobiva sageduse valimine	lk 6
Tegevus 4: AM või FM?	lk 7
Tegevus 5: Andmete vastuvõtmine	lk 8
Tegevus 6: Sidesüsteemi katsetamine	lk 8
Õpilaste töölehed	lk 9
Lingid	lk 23

Õpetame kosmose abil – radio teel suhtlemine | T11  
[www.esa.int/education](http://www.esa.int/education)

ESA Education Office võtab meeleldi vastu tagasisidet ja kommentaare  
[teachers@esa.int](mailto:teachers@esa.int)

Välja töötatud ESA Education Office-i poolt koostöös ESERO Nordic-uga  
Autoriõigus 2018 © Euroopa Kosmoseagentuur

## → RAADIO TEEL SUHTLEMINE

### Maajaama ja CanSati vaheline suhtlus

#### Huvitavad faktid

**Vanusegrupp:** 14 - 20 aastased

**Seotud õppeained:** füüsika,  
elektroonika

**Keerukus:** Keskmine

**Tunni kestvus:** 120 minutit

**Asukoht:** Siseruumides

**Abimaterjalid:** CanSatiga alustamine

**Maksumus:** Ligikaudu 30 eurot

**Märksõnad:** Raadio, side, lainepikkus, sagedus,  
spekter, CanSat

#### Ülevaade

Selleks, et mõista, kuidas appeased seadmed, nagu mobiiltelefonid, ruuterid ja satelliidid, töötavad, peame mõistma, mis on raadiolained ja kuidas nende abil teavet edastada. Raadioside on meie CanSati üks tähtsamaid elemente. Kõik meie teadusliku eksperimendi jaoks vajalikud andmed saadetakse CanSatilt meie maajaama raadiolainete kaudu, kui CanSat on üles lennutatud.

#### Õpilased õpivad

- Mõistma lainete ja elektromagnetilise spektri põhialuseid.
- Mõistma, kuidas modulatsioon toimib ja miks see on teabe edastamiseks vajalik.
- Mõistma sageduse ja lainepikkuse tähtsust raadiolainete levikus.
- Tuvastama elemente, mis on suhtlusprotsessi jaoks vajalikud.
- Eristama erinevaid sideprotokolle.
- Programeerima enda raadiomoodulit.
- Valmistama oma antenni ja kasutama seda teabe vastuvõtmiseks..

## → Tegevuste kokkuvõte

Tegevuste kokkuvõte					
	Pealkiri	Kirjeldus	Tulemus	Nõuded	Aeg
1	Raadiolainete alused	Sissejuhatus raadiolainetesse ja nende paiknemine elektromagnetlainete spektris	Õpilased mõistavad laine kahe peamise omaduse tähtsust: sagedus ja lainepikkus.	Puuduvad	10 minutit
2	Raadiolained satelliitides ja sidesüsteemides	Antakse ülevaade sellest, kuidas raadiolaineid päris maailmas sidesüsteemides kasutatakse.	Õpilased õpivad tundma raadiolainete erinevaid kasutusvõimalusi.	Eelnevad tegevused	10 minutit
3	Sobiva sageduse valimine	Käsitletakse ribalaiuse tähtsust ja selle sõltuvust sagedusest.	Õpilased oskavad anda soovitusi, millist sagedust lihtsate tegevuste jaoks kasutada.	Eelnevad tegevused	15 minutit
4	AM või FM?	Tutvustatakse mõisteid AM (amplituud-modulatsioon) ja FM (sagedus-modulatsioon) ning arutatakse, mis roll modulatsioonil raadiosides on.	Õpilased suudavad modulatsiooni selgitada lihtsa analoogia abil.	Eelnevad tegevused	10 minutit
5	Andmete vastuvõtmine	Tutvustatakse antenne ja nende tähtsust sidesüsteemis.	Õpilased oskavad kirjeldada antenni põhilisi tööpõhimõtteid.	Eelnevad tegevused	20 minutit
6	Raadiomooduli katsetamine	Antakse juhiseid, kuidas sidesüsteemi katsetamiseks koodi kirjutada.	Õpilased saavad raadiomooduliga testida ja demonstreerida raadiosidet, kasutades koodi, mille nad on ise kirjutanud.	Eelnevad tegevused	55 minutit

## → Sissejuhatus

Selles juhendis uurivad õpilased, kuidas raadiolained on kasutusel sidesüsteemides ning hindavad, kuidas need võivad olla kasulikud CanSati projekti juures. Enne seda tutvuvad nad raadiolaine oluliste omadustega ja sellega, kus raadiolained elektromagnetilises spektris paiknevad. Nad õpivad tundma erinevat tüüpi raadiolaineid ning kuidas iga tüüp omab erinevaid funktsioone ja kasutusviise, enne kui nad lõpuks saavad kasutada raadiomoodulit, et võtta vastu andmeid oma 'CanSat'ilt.

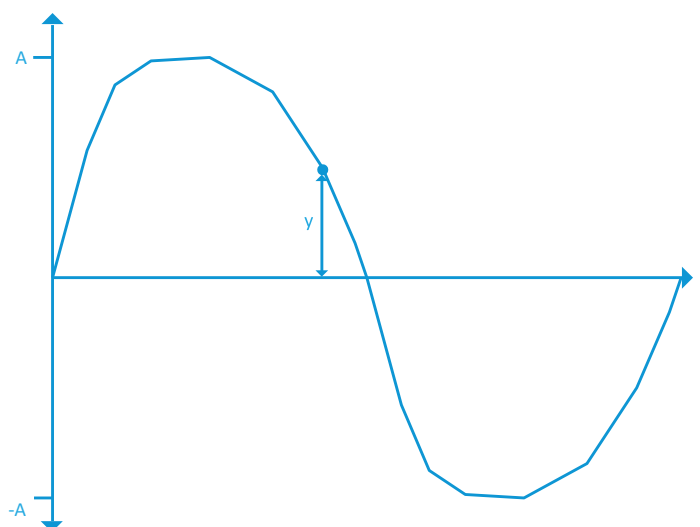
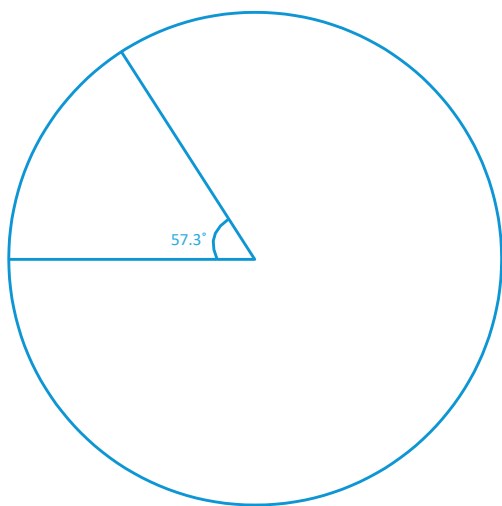
## Taust: Lainete matemaatiline kirjeldus

Kõige lihtsam lainete vorm on konstantse amplituudi  $A$  ja ühe sagedusega  $f$  siinuslaine. Laine "nihe" ( $y$ ) pärast aega  $t$  on seega:

$$y = A \sin(2\pi ft)$$

$2\pi$  liige tuleneb sellest, et ühes siinuslaine tsüklis on  $2\pi$  **radiaani**. Radiaanid on ühik, mida me tihti kasutame, kui räägime siinuslainetest. Lihtsalt öeldes võib radiaani käsitleda kui nurga mõõtmist. Iga radiaan on ligikaudu 57 kraadi. Aeg ( $t$ ) on esitatud sekundites. Antud laine puhul on  $2\pi f$  ja  $A$  konstandid, seega ülaltoodud võrrandit kasutades on lihtne määrata nihet ( $y$ ) suvalisel ajahetkel.

Allolevad kaks diagrammi võivad aidata teil seda lihtsamini visualiseerida



## → Tegevus 1: Raadiolainete alused

Selles tegevuses tutvustatakse õpilastele raadiolaineid ja nende asetust elektromagnetilises spektris. Tutvustatakse laine põhiomadusi; lainepikkust ja sagedust.

### Ülesanne

Õpilastel palutakse täita tabel raadiolainete kohta käiva teabega. Nad võivad hinnata sagedusi tegevuses antud diagrammi (joonis A1) põhjal või arvutada neid tekstis antud lainepikkuse väärtuste järgi. Allpool on esitatud vastavad väärtused. Väärtused on ligikaudsed ja neid tuleks kasutada ainult selleks, et saada ligikaudne ettekujutus võimalike väärtuste vahemikust.

	Mõõtühik	Minimaalne väärtus	Maksimaalne väärtus
Lainepikkus	m	0,1	Kümned kilomeetrid
Sagedus	Hz	$3 \times 10^4$	$3 \times 10^9$

## → Tegevus 2: Raadiolained satelliitides ja sidesüsteemides

Selles tegevuses tutvustatakse õpilastele raadiolainete olulisust raadiosides ja nende erinevaid kasutusvõimalusi raadiolainete vahemikus. Õpilastel palutakse määrata mitme CanSatis tavaliselt kasutatava raadiomooduli omadused.

### Ülesanne 1

1. Arvutage tüüpilise CanSati saatja (sagedusega 433 MHz) FSPL (vabas õhus kaotatud signaali tugevus) CanSati kasutuselevõtu hetkel (1 km kõrgusel) detsibellides.

Kasutades üliõpilaste töölehel antud FSPL-i võrrandit ja asendades antud väärtused  $f$  ja  $R$ , on vastuseks 85 detsibelli.

### Ülesanne 2

Õpilastele palutakse täita tabel teabega CanSati saatjate kohta.

Saatja	Sagedus	Lainepikkus/m	Sagedusala
APC220	418 Mhz-455 Mhz	0,66 - 0,72	UHF
Lora	Erinevad (nt 868 Mhz)	0,35	UHF
X-Bee	2,4 Ghz	0,13	UHF

## → Tegevus 3: Sobiva sageduse valimine

Selles tegevuses tutvustatakse õpilastele ribalaiuse ja ulatuse tähtsust sidesüsteemi sageduse valimisel. Pakutakse välja mõned lihtsad stsenaariumid, et anda teemast parem ülevaade.

## 1. Kuna igal sagedusel on oma kasutus, mõelge, milliseid sagedusalasid (madal/keskmise/kõrge sagedusala) võiksite kasutada allpool toodud andmeedastuste jaoks:

S.O.S signaali saatmine mitme kilomeetri kaugusele - madal sagedus  
Videomaterjali edastamine oma CanSatist maajaamale - kõrge sagedus  
Tekstisõnumi saatmine - keskmine sagedus

Kõik kolm andmete edastamist toimuvad erinevate vahemaade ja nõutavate andmeedastuskiirustega. Esiteks, S.O.S signaali saatmine mitme kilomeetri kaugusele; see on lihtne andmepakett, mida edastada, kuid olulise kauguse tõttu on eelistatud madal sagedus (pikk lainepikkus). Videomaterjali edastamine CanSatist maajaamale nõuab aga palju suuremat bitikiirust, kuid oluliselt lühema vahemaa tõttu eelistatakse kõrgemat sagedust. Tekstisõnum asub nende kahe äärmuse vahel, seega sobib keskmine sagedus hästi.

## 2. Kui optimaalne sagedusala (*sweet spot*) asub UHF-sagedusalas, miks satelliidid SHF-sagedusala kasutavad?

SHF-sagedusala on raadiospektri teine optimaalsete sageduste ala, kuna nende lainete väikest lainepikkust saab suunata kitsa vihuga antennidesse, nagu parabolantennid ja ruuporantennid. Neid kasutatakse punktist punkti side, andmeside ja radarite juures.

See ei oleks võimalik pikemate lainepikkuste puhul (näiteks UHF-sagedusalas).

Teisest küljest on need kõrgeimad sagedused, mida saab kasutada kaugema vahekaugusega maapealsetes sidevõrkudes; EHF-sagedusalas (millimeetrilaine) kõrgemad sagedused neelduvad atmosfääris tugevasti, mis piirab praktilist leviala ühe kilomeetrini. Kõrge sagedus annab mikrolaine sideseadmetele väga suure teabe edastamise võime (ribalaiuse).

## → Tegevus 4: AM või FM?

Tutvustatakse mõisteid AM ja FM ning arutatakse, mis roll modulatsioonil on. Õpilastele tutvustatakse lihtsat analoogiat, mis aitab neil mõista, mis on modulatsioon.

## Ülesanne

### 1. Kui optimaalne sagedusala (*sweet spot*) asub UHF-sagedusalas, miks satelliidid SHF-sagedusala kasutavad?

Ilma sellise sageduse eraldamiseta on tõenäoline, et CanSati meeskonnad võtavad vastu häireid teise meeskonna signaalidest - see võib ohustada missiooni edukust!

## → Tegevus 5: Andmete vastuvõtmine

Selles tegevuses selgitatakse CanSati võistluse suhtlusprotsessi ja käsitletakse antennide põhilisi tööpõhimõtteid. Lisaks saavad õpilased sügavama arusaama antennide keerukusest. Tutvustatakse kolme kõige sagedamini kasutatavat antennitüüpi ja arutatakse nende erinevusi

### Ülesanne

#### 1. Millist tüüpi antenni valiksite oma maajaamale ning millise antenni oma CanSatile?

CanSati pardal olev antenn peab olema isotroopne (või võimalikult lähedane sellele), mis tähendab, et see edastab sama palju võimsust kõigis suundades. Monopolantennid on poole väiksemad kui neile vastavad dipoolantennid ja seetõttu sobivad need eriti hästi, kui on vaja kasutada väiksemat antenni. Maajaama antenni saab suunata CanSati suunas, mistõttu saab selle jaoks kasutada suure võimsusega suundantenni, mis võtab ühest suunast vastu rohkem elektromagnetlaineid kui teisest.

#### 2. Kas oskate arvutada, kui pikk peab olema veerandlaineantenn, et võtta vastu 2,4 GHz Wi-Fi signaali?

Kasutage võrrandit, millega õpilased tegevuses tutvuvad:

$$L = c/4f = 3 \times 10^8 / (4 \times 2,4 \times 10^9) = 0,03 \text{ m} = 3 \text{ cm}$$

## → Tegevus 6: Raadiomooduli katsetamine

Selles tegevuses kasutavad õpilased Arduino ja APC 220 raadiomoduleid, et katsetada raadiosidet. Parema ülevaate saamiseks peavad nad võrdlema oma tulemusi ka Yagi antenniga.

### Ülesanne

#### 1. Kui kaugemale võib teie kaaslane minna, enne kui signaali vastuvõtmine katkeb?

Selle ülesande eksperimentaalsed tulemused võivad õpilaste vahel erineda.

#### 2. Mida te muuta võiksite, et ulatus paraneks?

On mitmeid erinevaid asjaolusid, mida saab muuta, et parandada signaali ulatust, nende hulka kuuluvad:

- Saatja võimsuse suurendamine.
- Sageduse vähendamine (lainepikkuse suurendamine).
  - o Sageduse alandamisest tingitud parem leviala on siiski täheldatav ainult makrotasandil. On ebatõenäoline, et õpilased suudavad täheldada mingeid muutusi oma saatja töös.
- Saatja ja vastuvõtja vahel tuleks tagada otsenähtavus.
  - o Märkus: Seda nähtust on kõige lihtsam täheldada, kui takistused on suuremad või vähemalt võrreldavad kasutatava lainepikkusega.
- Suundantenni kasutamine (Yagi antenn).

#### 3. Mida te muuta võiksite, et ulatus paraneks?

Kui õpilased püüavad kasutada veerandlaineantenni (kummist antenni) nii andmete edastamiseks kui ka vastuvõtmiseks, avastavad nad, et lubatud ulatus väheneb. Kummist antennid on isotroopsed, seega on nende väljundvõimsus igas suunas väiksem kui Yagi antennil. Seetõttu on CanSati võistluses kõige mõistlikum kasutada CanSati sees veerandlaineantenni ja maajaamas Yagi antenni.



# → RAADIO TEEL SUHTLEMINE

## Maajaama ja CanSati vaheline suhtlus

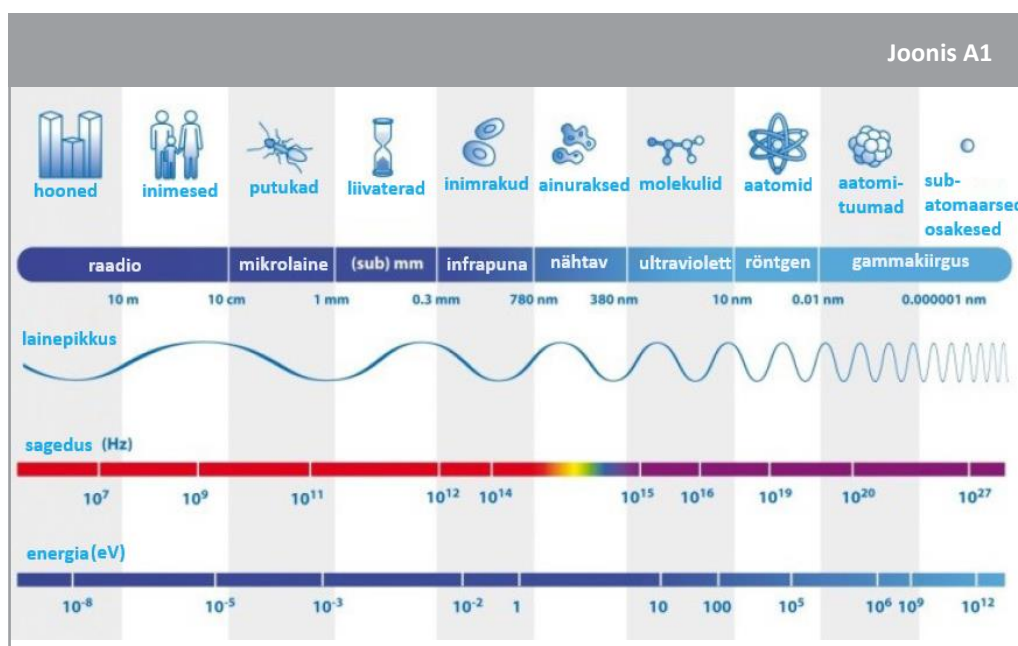
### → Tegevus 1: Raadiolainete alused

Raadiolained on meie igapäevaelus kõikjal meie ümber, kuid mida mõeldakse raadiolainete all ja kuidas on raadiolained olulised teie CanSati missiooni jaoks? Paljud meie igapäevased sidevahendid põhinevad raadiolainetel, võib-olla ka asjad, mille peale te kohe ei tuleks, nagu WiFi ja Bluetooth - mitte ainult autoraadiod! Me uurime, mis on raadiolained ja kuidas me saame neid kasutada oma CanSatidega suhtlemiseks.

### Mis on raadiolaine?

Igasuguse side puhul on vaja allikat, kandjat ja vastuvõtjat ning levikeskkonda. Väga lihtne näide selle kohta on suuline suhtlemine: sellisel juhul on kõnelev inimene allikas, helilaine on kandja, kuulaja on vastuvõtja ja levikeskkonnaks on õhk.

Raadioside on teabe saatmine ühest kohast teise, kasutades elektromagnetlaineid, täpsemalt raadiolaineid. Raadiolained on elektromagnetilise spektri pika lainepikkusega otsas ja erinevalt helist võivad levivad need ka vaakumis.



↑ Elektromagnetiline spekter

Raadiosignaali lainepikkus võib ulatuda ligikaudu 0,1 meetrist kuni kümnete kilomeetriteni.

Laine sagedust (mis on tsüklite arv sekundis, mõõdetuna hertsides, Hz) saab arvutada lainepikkuse järgi, kasutades järgmist võrrandit:

$$\lambda \cdot f = c$$

Kus  $\lambda$  on lainepikkus (mis on ühe laine tsükli pikkus),  $f$  on sagedus ja  $c$  on valguse kiirus ( $c=3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ )

### Ülesanne

Kasutades ülaltoodud teadmisi ja võrrandit, täitke alljärgnev tabel raadiolainete kohta:

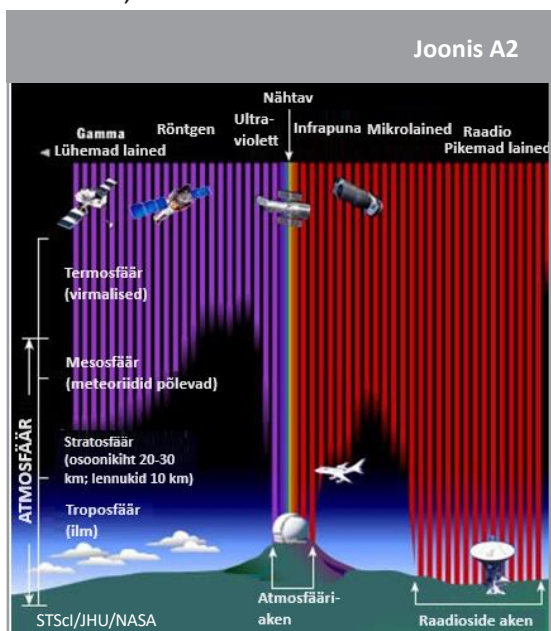
	Mõõtühik	Minimaalne väärtus	Maksimaalne väärtus
Lainepikkus			Kümned kilomeetrid
Sagedus			

## → Tegevus 2: Raadiolained satelliitides ja sidesüsteemides

Raadiolained on ehk kõige laialdasemalt kasutatav elektromagnetlainete liik, mida igapäevaselt sidepidamises kasutatakse. Kuid miks need nii olulised on? Selles tegevuses saame teada, miks raadiolaineid sidepidamiseks kasutatakse ning seda, miks sageduse ja lainepikkuse valimine on meie projekti jaoks kriitilise tähtsusega.

### Minu laine läks kaduma!

Elektromagnetilises spektris on ainult teatud tüüpi laineid, mida atmosfäär ei neela. Järgneval pildil on näidatud, millises kohas atmosfääris kosmosest pärinevad lained neelduvad.



Nagu näete, on raadiolainetel elektromagnetilises spektris eriline koht, sest enamik neist läbib atmosfääri ilma neeldumata!

Seepärast kasutataksegi raadiolained, ning ka mõningaid mikrolaineid, meie orbiidil olevate sidesatelliitidega suhtlemiseks.

### Vaba ruumi kadu

On veel üks tegur, mida me peame raadioside puhul arvesse võtma. Vaba ruumi kadu (FSPL) on elektromagnetlainete signaalitugevuse kadu, mis tuleneb sellest, et signaal liigub läbi vaba ruumi, kus läheduses ei ole takistusi, mis nõrgestaksid signaali. Aga kui takistusi ei ole, miks siis signaalitugevuse kadu aset leiab? Vaatame analoogset näidet:

#### ↑ Elektromagnetiline spekter

Kujutage ette, et puhute õhupalli sisse natuke õhku ja joonistate sellele markeriga ringi. Kui me püüame õhupalli sisse näha, näeme, et õhupalli materjal on liiga tihe, et sellest läbi näha. Nüüd puhume õhupalli veidi suuremaks ja joonistame uuesti sama suurusega ringi selle pinnale. Ala, mida me vaatame, on sama, kuid kuna õhupall on igas suunas laienenud, pole materjal enam sama tihe ja nüüd näeme sellest läbi. Sama põhimõtte järgi saab kirjeldada FSPL-i. FSPL ilmneb vaakumis ideaalsetes tingimustes, näiteks satelliitide vahelises raadiosides. Vaba ruumi kadusid saab arvutada kui edastatud ja vastuvõetud võimsuse suhet:

$$FSPL = \text{Log}_{10} \left( \frac{P_{\text{saadetav}}}{P_{\text{vastuvõetav}}} \right) = \text{Log}_{10} \frac{(4 \cdot \pi \cdot R \cdot f)^2}{c^2} = 20 \text{Log}_{10} \frac{4 \cdot \pi \cdot R \cdot f}{c}$$

Kus  $f$  on saatesagedus ja  $R$  saatja ja vastuvõtja vaheline kaugus. Pidage meeles, et see kadu esineb isegi vaakumis, tegelikkuses on kadu aga palju suurem!

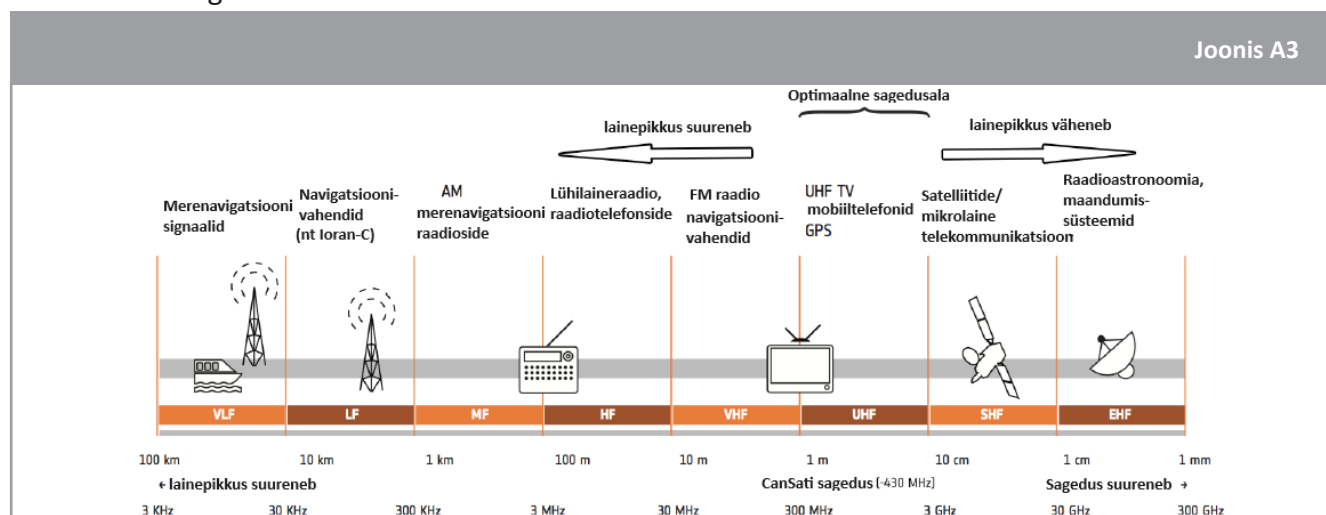
## Ülesanne 1

1. Arvutage tüüpilise CanSati saatja (433 MHz sagedusel) FSPL detsibellides CanSati kasutuselevõtu hetkel (1 km).

## Raadiospektriga tutvumine

Uurime nüüd erinevate raadiolainete kasutusvõimalusi vastavalt nende sagedustele.

Allpool oleval pildil näeme, kuidas eri sagedusega raadiolained on kasutusel eri liiki sidepidamises, alates laevaliikluse navigatsiooniseadmetest kuni maandumissüsteemideni.



↑ Raadiospekter ja selle kasutusala

Nagu joonisel on näha, kasutatakse satelliitide jaoks sentimeeterlainet (SHF, *super high frequency*) sagedusala, mille sagedused ulatuvad 2 GHz kuni 30 GHz-ni ja lainepikkused 1 cm kuni 10 cm-ni. Need lained liigituvad mikrolainetesse, seega nimetatakse nende konkreetsete sageduste raadiolained mikrolaineteks.

## Ülesanne 2

Sisestage allolevasse tabelisse kolme populaarse CanSati saatja lainepikkused ja sagedusala.

Saatja	Sagedus	Lainepikkus/m	Sagedusala
APC220	418 Mhz-455 MHz		
Lora	Erinevad (nt 868 MHz)		
X-Bee	2,4 GHz		

## → Tegevus 3: Sobiva sageduse valimine

Kui otsustate, millist sagedust oma sideseadmel kasutada, tuleb arvesse võtta kahte olulist aspekti. Esimene on „kui palju andmeid on vaja edastada?“. Teine on „kui kaugele ma tahan oma andmeid edastada?“. Mõlemaid neist mõjutab kasutatav sagedus. Uurime, millisel viisil.

### Optimaalne sagedus: ribalaius vs ulatus

Eelmise ülesande käigus pidite aru saama, et kõik CanSati saatjad edastavad teavet samas raadiospektri sagedusalas. Aga miks?

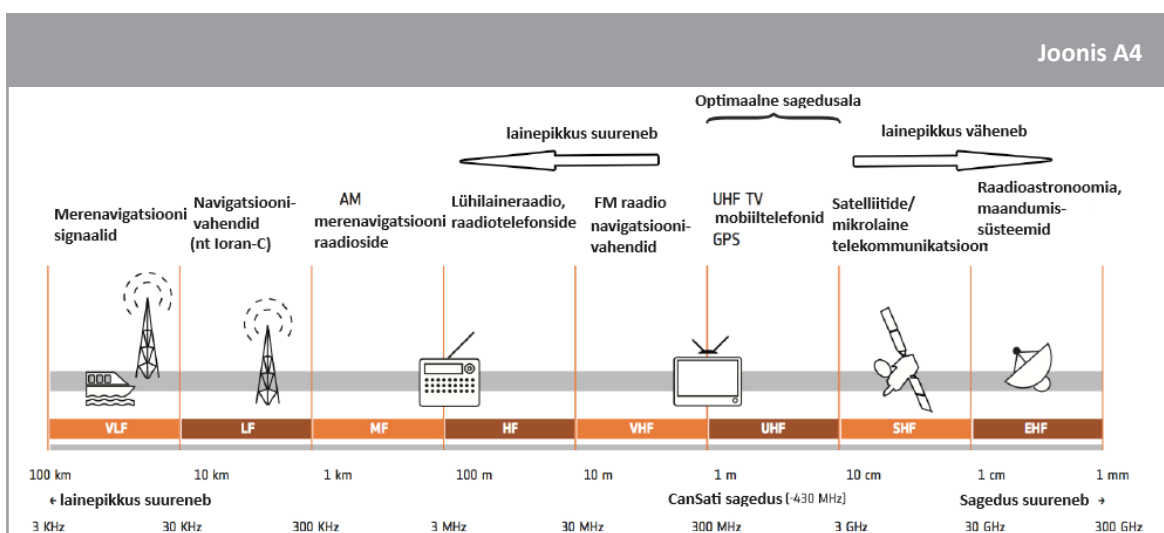
Kaks elementi mängivad sageduse valimisel võtmerolli: ribalaius ja leviala.

**Ribalaius**, mõõdetuna hertsides, on sagedusvahemik, mille vahele langeb suurem osa saatja võimsusest. Mida rohkem teavet signaal edastama peab, seda suuremat ribalaiust ta vajab. Näiteks süsteemil, mis töötab sagedustel 150 ja 200 MHz, on ribalaius 50 MHz (200 MHz - 150 MHz).

Sagedusala käsitledes on oluline mõista kahte võtmerolli: kitsariba ja lairiba. Kitsaribalised signaalid, nagu nimigi ütleb, on väiksema ribalaiusega (kilohertsides). Neid saab kasutada aeglase andmevahetuse jaoks. Laiaribaliste signaalide ribalaius on megahertside vahemikus ja need toetavad palju kiiremat andmeedastust, näiteks kõrglahutusega video edastamist.

**Raadiolainete ulatus** on vahemaa, mida laine suudab läbida, et seda ikka oleks võimalik vastu võtta. See kadu tuleneb peamiselt summutusest ja neeldumisest ümbritsevas keskkonnas. Ideaalses olukorras suudavad kõik lained läbida lõpmatu vahemaa (mõelge näiteks miljonite valgusaastate kaugusel asuvatest tähtedest pärinevale valgusele). Kuid objektid ja keskkond võivad laineid neelata ja hajutada - üldiselt vajavad suuremad lainepikkused suuremaid objekte, mis neid hajutavad või neelavad.

Iga raadiosideliigi eesmärk on erinev: mõnikord tahame edastada palju teavet lühikese vahemaa tagant, teinekord peame edastama väga vähe teavet pika vahemaa tagant. Otsus, kas meie CanSat töötab ühel või teisel sagedusel, tuleneb meie side eesmärkide ja omaduste analüüsist.



↑ Raadiospekter ja selle kasutusala

Ülaltoodud pildil näeme, et mida suurema sageduse me valime, seda laiem on kasutatav ribalaius ja seda väiksem on side ulatus. See tähendab, et me saame edastada palju rohkem teavet, kui me valime kõrgema sagedusega sagedusala, kuid meie side ulatus on oluliselt väiksem kui madalama sagedusega sagedusaladel.

Siiski ei ole asi nii lihtne, sest kaugus, mille ulatuses raadioside on kasulik, sõltub oluliselt muudest asjadest kui lainepikkus, näiteks saatja võimsusest, vastuvõtja kvaliteedist, antenni tüübist, suurusest ja kõrgusest, edastamisviisist, müra ja mis tahes häirivate signaalide olemasolust.

CanSati saatjad opereerivad sagedusalas, mida nimetatakse ka optimaalseks sagedusalaks (*sweet spot*) ehk 'detsimeeterlainealaks' või UHF-sagedusalaks. Kõrgemaid sagedusi ei ole siin soovitatav kasutada, kuna atmosfäär neelab neid tugevasti, mistõttu nende ulatus väheneb, ning madalamatel sagedustel on jällegi väiksem ribalaius.

## Ülesanne

1. Kuna igal sagedusel on oma kasutusvõimalus, siis mõelge, milliseid sagedusalasid (madal, keskmine, kõrge sagedus) te võiksite kasutada alljärgnevate andmeedastuste jaoks:

SOS signaali saatmine mitme kilomeetri kaugusele - \_\_\_\_\_

Videomaterjali edastamine CanSatilt maajaama - \_\_\_\_\_

Tekstisõnumi saatmine - \_\_\_\_\_

2. Kui optimaalne sagedusala (*sweet spot*) asub UHF-sagedusalas, miks satelliidid SHF-sagedusala kasutavad?

### Kas teadsid?

ESA opereerib maailma kõige keerukamaid satelliitside maajaamu, mis paiknevad üle kogu maailma, võimaldades kosmoseaparaatidel säilitada ühendust Maaga, kui need reisivad meie Päikesesüsteemis meist aina kaugemale. Insenerid suudavad Marsi või Veenust uuriva kosmoseaparaadi orbiidi - mis asub Maast üle 100 miljoni kilomeetri kaugusel - määrata 1 kilomeetri täpsusega.



[http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2013/09/Tracking\\_spacecraft\\_deep\\_across\\_the\\_void](http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2013/09/Tracking_spacecraft_deep_across_the_void)

## → Tegevus 4: AM, FM või...?

AM (amplituudmodulatsioon) ja FM (sagedusmodulatsioon) on kaks mõistet, mis on teile juba tuttavad. Ilmselt olete nendega kokku puutunud raadiot kuulates või ehk olete ise oma radiojaama sisse seadnud? Kuid mida need täpselt tähendavad ja miks need meie CanSati jaoks olulised on? Selgitame selle välja!

### Iga sõnum vajab sõnumitoojat

„M“ täht AM-is ja FM-is tähistab modulatsiooni, enne kui me saame selgitada, mida see tähendab, peame kõigepealt mõistma veel kahte terminit:

- **Signaaliga laine:** sisaldab edastatavat teavet või sõnumit (nt niiskusandmeid)
- **Kandelaine:** vahend, mille kaudu teavet edastatakse (tavaliselt elektromagnetiline laine, nt raadiolaine, nähtav valgus või vahelduvvool).

Raadiolainete kasutamine kandelainetena teabe edastamiseks tähendab, et kasutatavale raadio-sagedusele tuleb lisada teave. Selle teabe lisamist nimetatakse modulatsiooniks.

Viime läbi kiire mõtteeksperimenti, mis aitab meil **modulatsiooni** mõista.

Võtke mõni paber, näiteks ümbrik, ja püüdke seda visata üle 10 meetri kaugusele. Kas saate hakkama?

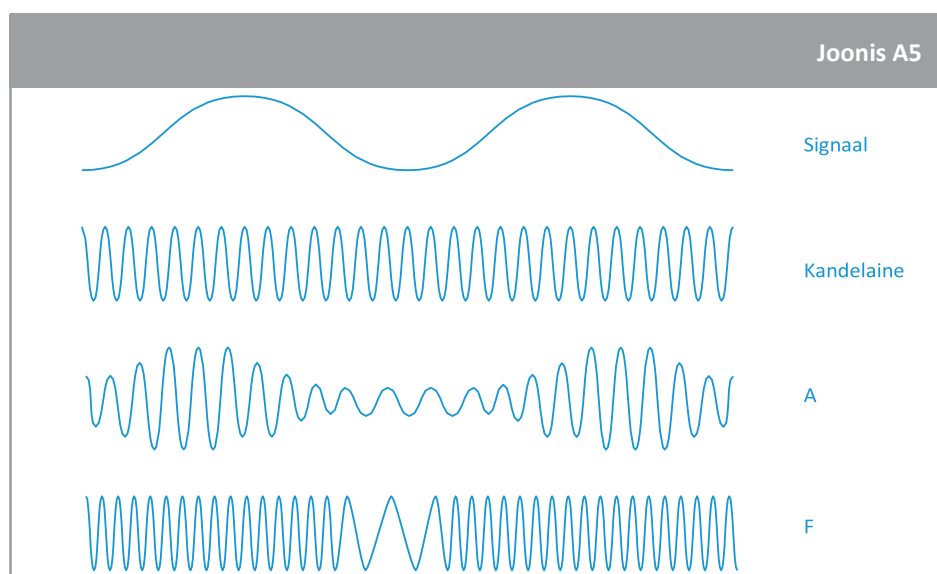
Nüüd võtke keskmise suurusega kivi ja mähkige paber selle ümber. Kas sa suudate selle seekord vähemalt 10 meetri kaugusele visata?

Kivi ümber olev paber saab oma eesmärgi saavutada (läbida 10 meetrit), sest oleme muutnud ühe süsteemi omadustest. Teavet, mida soovime saata (paber), saab edastada, kasutades kandjat (kivi).

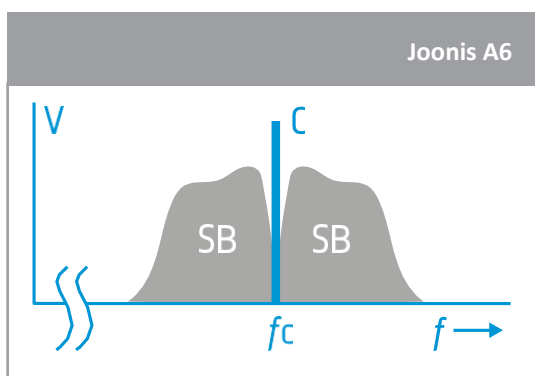
Elektroonikas ja telekommunikatsioonis on modulatsioon protsess, mille käigus edastatakse sõnumit sisaldav signaal, näiteks digitaalne bitivoog või analoogne helisignaal, teise füüsiliselt edastatava signaali sees. Sellisel juhul muudame selle signaali omadusi, näiteks sagedust või amplituudi.

On olemas mitmeid modulatsiooni vorme, kuid kõige levinumad on siiski AM ja FM.

- **AM (amplituudmodulatsiooni)** puhul edastatakse teave, muutes kandesageduse amplituudi.
- **FM (sagedusmodulatsiooni)** puhul muudetakse kandesageduse hetkväärtust.



↑ AM- ja FM-modulatsiooni erinevus



Allpool on toodud näide, kuidas lõplik, moduleeritud laine välja näeb. Pinge ( $V$ ) on näidatud  $y$ -teljel, sest nii mõõdetakse algselt signaali. Satelliitide pardaarvutid on programmeeritud nii, et need teisendavad pinget meile tegelikult huvi pakkuvaks suuruseks.

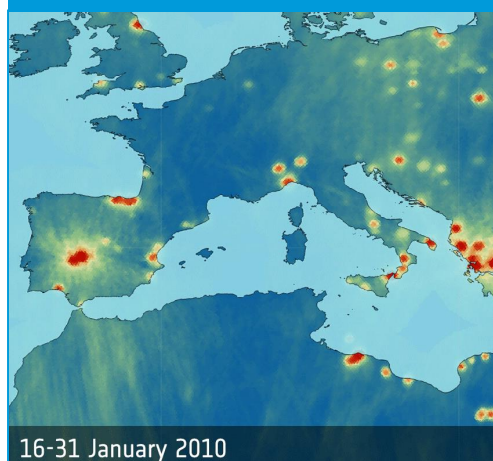
Joonisel A6 on  $f$  sagedus,  $f_c$  kandesagedus ja SB külgribad. Näete, kuidas signaali pinget langeb külgribade servades nullini. Mida suurem on ribalaius, seda laiemad on külgribad.

↑Moduleeritud raadiosignaal

## Ülesanne

Meie igapäevased seadmed ei kasuta kunagi samu sagedusi. Joonisel A3 (tegevus 2) on kujutatud mõned igapäevased seadmed ja nende töösagedused. Samamoodi on Euroopa CanSat võistluse puhul CanSati meeskondadele eraldatud sagedused, mis erinevad üksteisest vähemalt 0,1 MHz võrra. Kas te oskate selgitada, miks?

## Kas teadsid?



ESA *Soil Moisture and Ocean Salinity* (SMOS) missiooni eesmärgiks on teha ülemaailmseid vaatlusi, et hinnata pinnase niiskust maismaal ja soolasisaldust ookeanides. Kui ESA SMOS satelliit 2009. aastal orbiidile lennutati, selgus, et paljud ebaseaduslikud saatjad üle maailma segasid selle signaali edastamist. Tänu koostööle riiklike tehniliste järelevalveasutustega on 75% neist saatjatest nüüdseks välja lülitatud. Sellegipoolest on see töömahukas protsess ja mõned piirkonnad, nagu Liibüa rannik ja Vahemere idaosa, on endiselt saastunud, kus kahjude leevendamise strateegiad ei ole veel olnud tulemuslikud.

Millist modulatsiooni me peaksime kasutama? Me teame, et:

- kui me võimendame AM-signaali, siis võimendub ka müra, mida FM-modulatsiooni puhul ei juhtu.
- FM-modulatsiooni puhul on kandelaine amplituud väike võrreldes külgribade amplituudiga, nii et suurem osa ülekande võimsusest läheb külgribadele, kus asub informatsioon.
- FM-i puhul saab sama teavet edastada väiksema võimsusega kui AM-i puhul.
- FM-i ribalaius on suurem kui AM-i ribalaius.
- FM-i puhul on modulaatorid ja demodulaatorid keerulisemad kui AM-i puhul.

Kõik peale ühe eespool nimetatud olulistest aspektidest räägivad pigem FM modulatsioon kasuks ja soovivad seda AM modulatsiooni asemel, ja see on põhjus, miks seda kasutatakse igapäevaelus palju rohkem. Siiski on need mõlemad modulatsioonid praeguseks juba iganenud, kuna muud tüüpi modulatsioonid, nagu FSK (*frequency-shift keying*) ehk sagedusmanipulatsioon, aitavad meil edastada palju rohkem teavet kui AM ja FM. Üks kõige enam kasutatav CanSati saatja, APC 220, kasutab seda tüüpi modulatsiooni.

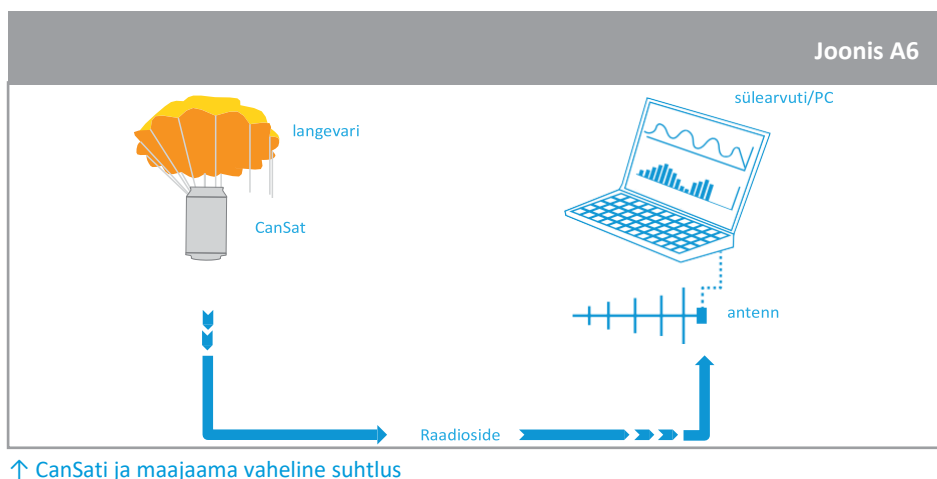
## → Tegevus 5: Andmete vastuvõtmine

Saatja tekitab võnkesignaali antenniga ühendatud kaablis. See signaal muundatakse ja kiiratakse elektromagnetiliste lainetena läbi antenni. Side vastuvõtmisel kogutakse osa sellest lainest kokku ja muundatakse teise antenni abil tagasi elektrivooluks.

Teie CanSat projekt hõlmab kahte antenni: esimene on CanSati pardal olev antenn, teine on maajaamas kasutatav antenn. Antennid tuleb valmistada erinevate spetsifikatsioonide järgi, kuigi mõlema antenni töörežiim on sarnane. Me peame vaatama mõlema antenni omadusi, et valida sobivaim antenn CanSati kui ka maajaama jaoks.

### Seisvate lainete kuulamine

Kui CanSat on õhus, saadab ta raadiolainete kaudu teavet, mida maajaama antenn tuvastab. Seejärel töötleb meie kood need andmed meile arusaadavaks teabeks, näiteks temperatuuri ja niiskuse mõõtetulemusteks. Termin, mida tihti näete, kui uurite, kuidas antenni valmistada, on veerandlaineaantenn. See viitab antenni tegelikele mõõtmetele lainepikkuse suhtes, mida püüate vastu võtta. Kui laine mõjutab antenni, tekivad metalli sees elektronide seisvad lained. Antenni suund ja pikkus tagavad, et lõplik seisv laine peegeldab täpselt saabuvat lainet. Seda elektronide liikumist (voolu) saab seejärel arvuti tõlgendada.



↑ CanSati ja maajaama vaheline suhtlus

Raadiovastuvõtjaid sisaldavate seadmete hulka kuuluvad televiisorid, radarseadmed, kahesuunalised raadiod, mobiiltelefonid, traadita arvutivõrgud, GPS-navigatsiooniseadmed, parabolantennid, raadioteleskoobid, Bluetooth-seadmed, garaažiuste avajad ja beebimonitorid.

Raadioside kvaliteet sõltub peamiselt kolmest aspektist: saatja võimsus, vastuvõtja tundlikkus ja kasutatavad antennid. Kõiki neid saab muuta, valides endale sobiv saatja ja antenn.

### Kas teadsid?



See on ESA Hertz Hybrid Euroopa raadiosageduste ja antennide katsetamise ala ESTECis, mida varem tunti ka kui *Compact Payload Test Range*. Metallist seined varjestavad väliseid raadiosignaale samal ajal seespool olev vahtpolster raadiosignaale neelab, et luua tingimused, mis simuleerivad kosmose lõpmatut tühjust.



## Ülesanne

1. Millist tüüpi antenni te kasutaksite oma maajaamas ja millist oma CanSati peal?

---



---

## Antennide liigid

Kolm levinud antennitüüpi on veerandlaineantenn, kummist antenn ja Yagi antenn; nüüd uurime neid kõiki põhjalikumalt.

### CanSati antennitüüp 1: Veerandlaineantenn:

Üks väga levinud antennitüüp on **monopoolantenn**. Monopoolantenn on antenn, mis koosneb sirgest juhtvardast, millest kõige levinum on **veerandlaineantenn**. Nimetuse põhjus on üsna lihtne: juhtiva varda pikkus on veerand selle (raadio)laine lainepikkusest, mida ta võtab vastu või edastab!

Nõutava veerandlaineantenni pikkuse saab seega arvutada järgmise võrrandi abil:

$$L = \frac{c}{4f}$$

Kus:

L on nõutav antenni pikkus [m]

c on valguse kiirus ( $3 \times 10^8$  m/s) [m/s]

f on töösagedus [Hz]

Valem näitab, et 434 MHz vastuvõtja antenni pikkus peaks olema umbes 17,3 cm. Juhtme võib joota otse saatja trükkplaadi antennikontakti külge või koaksiaalkaabli kasutamisel võib antenni viia trükkplaadist mõnevõrra kaugemale. Kui kasutatakse koaksiaalkaablit, tuleb tegeliku  $\frac{1}{4}$ -lainepikkuse antenni moodustamiseks maha arvestada viimased 17,3 cm välimisest juhtvardast. Seda tuleb kaitsta isolatsioonimaterjaliga, kuna elektriline kokkupuude metallpindadega võib saatjat kahjustada..

## Ülesanne

2. Kas oskate arvutada, kui pikk peab olema veerandlaineantenn, et võtta vastu 2,4 GHz Wi-Fi signaali?

---



---



---

## CanSati antennitüüp 2: Kummist antenn

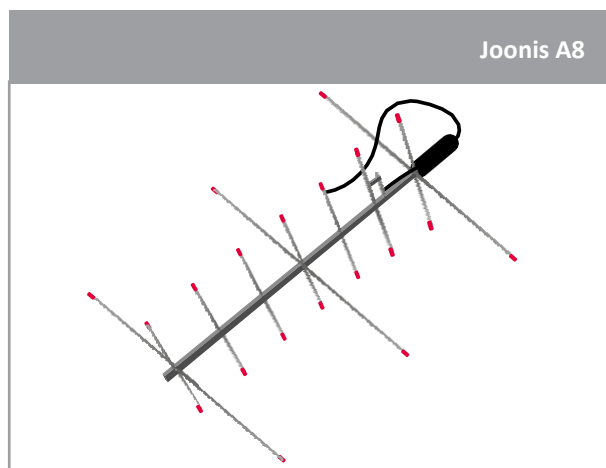


Kummist (“pardi”) antenn on tõenäoliselt teile kõige tuttavam antennitüüp, mille leiaste koduste ruuterite ja lairibaliste modemite tagaküljel. Kummist antenni plastikust korpuse sees on metallist spiraal, mida kasutatakse signaali vastuvõtmiseks või edastamiseks. Seda tüüpi antenn kuulub tavaliselt CanSati komplekti.

↑ Kummist antenn

## Maajaama antenn: Yagi antenn

Teine antennitüüp, mida te tõenäoliselt juba teate, on Yagi antenn. See on antenn, mis on sageli ühendatud vanemate televiisorite külge ja katustel, mis võtavad vastu analoogteleviisiooni signaale. Allpool esitatud joonisel on kujutatud Yagi suundantenni, mis töötab kahel erineval sagedusel. Antennil on seitsme elemendiga Yagi 433 MHz sageduse jaoks ja kolme elemendiga Yagi 145 MHz sageduse jaoks. Pöörake tähelepanu sellele, et kahe elementide komplekti orientatsioon on erinev, mis tagab, et tekkinud seisulained ei suhtle üksteisega. CanSatilt raadiolainete vastuvõtmiseks on Yagi antenni ehitamine hea lahendus, kuna seda saab ehitada suhteliselt lihtsalt, kasutades odavaid materjale, nagu puit ja vasktorud.



↑ “Nool”, mis on Yagi antenn, mida saab 2 erineva sagedusega kasutada

CanSati antenn peab olema piisavalt tugev, et see suudaks raketiga üleslennutamise üle elada. Tulenevalt suuruse piirangutest sobib meie CanSati jaoks väga hästi veerandlainne traatantenn. Veerandlainne kirjeldab antenni pikkust töösageduse suhtes. CanSatide saatjad töötavad tavaliselt umbes 433 MHz sagedusel, kuigi täpne sagedus, mis teie meeskonnale Euroopa võistlusel määratakse, jääb tavaliselt vahemikku 433-435 MHz. See on vajalik selleks, et kaitsta kõiki võistkondi häirete eest, mida teiste meeskondade CanSatid võivad põhjustada.

## Yagi antenni ehitamine

Yagi antennid on väga levinud ja on paljud CanSati meeskonnad kasutavad just seda antenni. Te võite siiski soovi korral kasutada erinevaid konstruktsioone ja lahendusi. Te otsustate, millist raadiomoodulit te oma CanSatis kasutate ning see sõltub teie missiooni eesmärkidest ning kasutatavast eelarvest ja ruumist. On oluline, et te enne ostmist tutvuksite soovitud mooduli tehniliste näitajatega veendumaks, et see sobib teie missiooni jaoks!

Yagi antenni põhikonstruktsioon on nähtav joonisel A8. On oluline, et iga nn parasiitelemendi vaheline kaugus ja pikkus oleks täpselt arvutatud (selleks on olemas mitmeid veebipõhiseid vahendeid!). Parasiitelemendid peavad olema elektriliselt juhtivad (metallvarras sobib ideaalselt), kuid ei tohi olla elektriliselt ühendatud teiste komponentidega.

Üksikasjalik samm-sammuline juhend 430 MHz Yagi antenni ehitamise kohta on leitav siit: <https://www.youtube.com/watch?v=2paNzKMW-8c>. Kui teil on selle dokumendi väljatrükitud versioon, võite selle video leidmiseks kirjutada ka YouTube'i otsingufunktsiooni „DIY Yagi-Uda Antenna”.

## Pole valu, pole võimendust

Antenni võimendus on võtmetegur, mis ühendab antenni suunatavuse ja elektrilise võimsuse. Saateantenni puhul kirjeldab võimendus, kui hästi antenn muundab sisendvõimsuse raadiolaineteks, mis suunduvad kindlaksmääratud suunas. Vastuvõtuantenni võimendus kirjeldab, kui hästi antenn muundab kindlaksmääratud suunast saabuvas raadiolained elektriliseks võimsuseks. Kui suunda ei ole täpsustatud, mõeldakse „võimenduse“ all võimenduse tippväärtust, võimendust antenni peakiire suunas. Võimenduse suunast sõltuvat graafikut nimetatakse kiirgusdiagrammiks.

**Võimendus** on mõõtühikuta suurus, mis ühendab antenni tõhususe  $E$  (arvutatud sisendvõimsusest  $P_{in}$  ja väljundvõimsusest  $P_o$ ) ja suunateguri  $D$ :

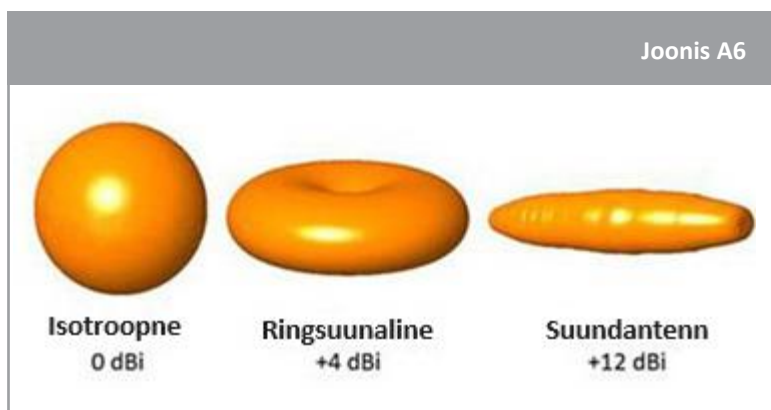
$$G = E_{antenn} \cdot D = \frac{P_o}{P_{in}} \cdot D$$

Võimendus detsibellides arvutatakse järgmiselt:

$$G_{detsibellid} = 10 \cdot \log_{10}(G)$$

Kui suunatavus teisendatakse detsibellideks, nimetame seda antenni võimenduseks isotroopse allika suhtes (dBi). Mida suurem on võimendus, seda tõhusam on antenni jõudlus ja seda suurem on antennide tööpiirkond. Iga 6 dBi võimenduse puhul kahekordistub antenni leviala.

Nagu piltidel näha, on suundantennidel (nagu Yagi antenn) suurem võimendus, kuid nende puuduseks on see, et nad suudavad tugevalt kiirata või vastu võtta raadiolained ainult konkreetses suunas. Isotroopsetel antennidel (nt monopoolantennidel) on aga väiksem võimendus detsibellides, kuid need võivad kiirata või vastu võtta umbes 360 kraadi ulatuses.



↑ Näited erinevate antennide võimsusmuutritest koos nende võimsuse suurenemisega detsibellides.

## Yagi-Uda antenni võimendust mõjutavad tegurid

Mitmed Yagi konstruktsiooni omadused mõjutavad antenni üldist võimendust:

**Yagi antenni elementide arv:** Yagi elementide arv: Üks peamisi tegureid, mis mõjutavad Yagi antenni võimendust, on elementide arv konstruktsioonis. Tavaliselt on reflektor esimene element, mis lisatakse mis tahes Yagi konstruktsiooni, kuna see annab kõige suurema lisavõimenduse. Seejärel lisatakse suunajad.

**Elementide vahekaugus:** Vahekaugus võib mõjutada Yagi võimendust, kuigi mitte nii palju kui elementide arv. Tüüpiliselt tagab laiem vahekaugus elementide vahel suurema võimenduse. Kõige kriitilisemad elementide asukohad on reflektori ja esimese suunaja asukoht, kuna nende vahekaugus määrab muude lisatavate elementide vahekauguse.

**Antenni pikkus:** On ilmnunud, et mitme elemendi Yagi antenni puhul on võimendus üldiselt proportsionaalne antenni pikkusega. Elementide asukohtade osas on teatav hulk mänguruumi.

## → Tegevus 6: Sidesüsteemi katsetamine

Nüüd, kui me mõistame raadioside keerukust, oleme valmis ehitama ja katsetama täielikku sidesüsteemi! Käesolevas tegevuses teeme mõned lihtsad katsed, kasutades APC220 saatjaid ja kummist antenni.

### Andmete vastuvõtmine

Teie CanSati jaoks on saadaval palju erinevaid saatjaid ja vastuvõtjaid ning me ei saa neid kõiki üksikasjalikult käsitleda. Selles jaotises uurime APC220 saatjate kasutamist teabe saatmiseks ja vastuvõtmiseks!

**Märkus:** Allpool toodud juhised ei pruugi teie poolt kasutatavate seadmetega ideaalselt toimida. Kõik sõltub sellest, millist operatsioonisüsteemi, Arduino versiooni, Arduino moodulit ja saatja kiipi te kasutate. Probleemide korral lugege tootja andmelehti ja juhendeid.

### Samm 1: Seadmed

Lisaks Arduinole ja arvutile on vaja ka APC220 saatjate komplekti, kahte pardaantenni ja sobivat USB-TTL-muundurit. Selles juhendis kasutame PL-2303 USB-TTL-muundurit.

**Märkus:** Teil on vaja ka teist sülearvutit või eraldi toiteallikat Arduino jaoks.

### Samm 2: Draiverid

Selleks, et USB-TTL-muundur saaks teie arvutiga suhelda, peate kõigepealt paigaldama selle draiverid. Draiverite lingid leiate siit: [https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/APC220\\_Radio\\_Data\\_Module\(SKU:TEL0005\)#Communication\\_Test](https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/APC220_Radio_Data_Module(SKU:TEL0005)#Communication_Test)

**Märkus:** Teadaolevalt on probleeme Windows 8/10 seadmetega ja PL-2303HXA ja PL-2303X USB-TTL muunduritega. Kui arvuti ei tunne seadet ära, kontrollige, millist versiooni kasutate.

Kui olete draiverid paigaldanud, kontrollige, et seade on tuvastatud, valides Start -> Device Manager ja otsides jaotisest „Ports“. Kui seda ei ole nimekirjas, proovige arvuti taaskäivitada ja kontrollida uuesti.

### Samm 3: Saatja ja vastuvõtja ühendamise

Järgmisena tuleb mõlemad APC220 moodulid seadistada nii, et nad on häälestatud samale sagedusele ja saadavad/võtavad vastu andmeid samal kiirusel, vastasel juhul ei saa need kaks moodulit omavahel suhelda.

Selleks kasutame spetsiaalset Arduino programmi (*sketch*), mida saab UNOsse laadida ja kasutada moodulite seadistamiseks.

Kõigepealt [laadige alla](#) APC220 seadistamiseks vajalik '.ino' fail. Seejärel avage ja laadige kood Arduinosse.

Nüüd ühendage APC220 Arduino Uno'ga, nagu on näidatud allpool oleval pildil (digitaalsest viigust 8 kuni GND-ni):



Kui APC220 on ühendatud, avage 'serial monitor', menüü peaks ilmuma, kui see ei ilmu, sisestage käsureale 'm' ja vajutage enter.

Menüüs on juhised APC220 seadistamiseks. Kõige tähtsam on veenduda, et te seadistate oma mõlemad APC220 moodulid samale sagedusele, edastuskiirusele jne.

**Märkus:** Kui teie klassiruumis on palju APC220 mooduleid, on hea mõte seadistada iga moodulite paar erinevale sagedusele, kui te ei soovi teiste rühmade sõnumeid pealt kuulata! Pidage meeles, et APC220 tööpiirkond on 420-450 MHz.

Menüüs on ka näidis APC220 seadistamiseks ja selle kirjeldus.

## Samm 4: Katsetamise aeg!

Nüüd oleme valmis katsetama andmete saatmist ja vastuvõtmist.

Selleks peame kasutama kahte tarkvaralahendust, Arduino IDE, mis on teile tuttav, ja „Serial Port Utility“, mille saab alla laadida [siit](#).

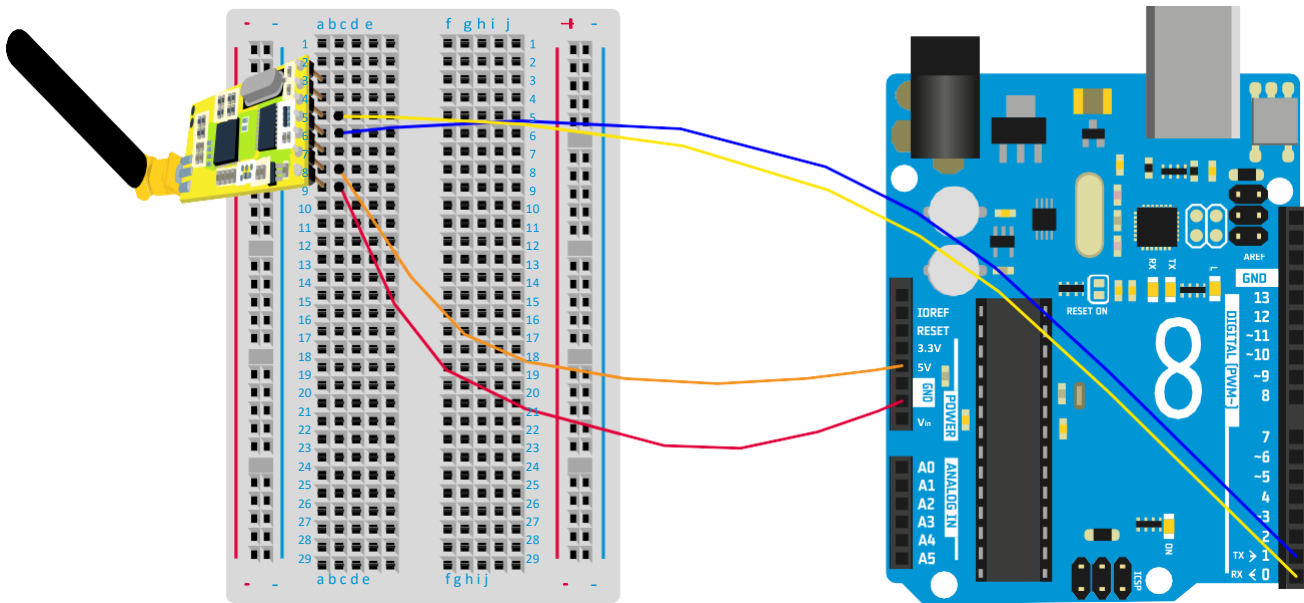
**Märkus:** On palju erinevaid programme, mida saate kasutada jadapordi lugemiseks, kasutage julgelt sellist, mis teile sobiv on!

Kõigepealt ühendage oma Arduino ja saatke sellele alljärgnev kood.

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600);           //Set serial baud rate to 9600
}

void loop()
{
  Serial.println("Hello!");    //print out hello string
  delay(1000);                 //1 second delay
}
```

Nüüd ühendage Arduino arvutist lahti ja seadistage vooluahel nagu on näidatud allpool oleval joonisel.



Kui vooluahel on loodud, saate selle ühendada välise toiteallikaga (te ei saa seda ühendada sülearvuti külge, millega te andmeid vastu võtate, sest see tekitab häireid).

Lõpuks ühendage teine APC220 USB-TTL-muunduri kaudu arvutiga ja avage Serial Port Utility (jadaliidese tarkvara).

Palju õnne! Nüüd peaksite nägema sõnumit „Hello!“. Kui te ei näe seda teadet, kontrollige, et te loete õiget COM-porti ja et Arduino IDE on kinni pandud.

Võite seda täiendada, lisades oma koodi mõõtmisi ja lisades ajatemplid, et algandmeid saaks kontrollida.

## Ülesanne

Katsetame meie saatjate ja vastuvõtjate jõudlust! Kui olete veendunud, et saate ülaltoodud juhendi järgi andmeid edastada, paluge oma kaaslasel vastuvõtjaga saatjast eemale liikuda.

1. Kui kaugemale saab teie kaaslane minna, enne kui lõpetate signaali vastuvõtmise? \_\_\_\_\_

2. Mida saaksite selle parandamiseks muuta?  
Mõelge kõigele, mida selles materjalis seni käsitletud oleme!

---

---

---

3. Ehitage Yagi antenn ja korrake katseid. Kui teil on võimalik, kasutage tegevuses 2 tutvustatud kolme raadiomoodulit. Mis on peamine erinevus Yagi ja veerandlainiantenni vahel?

---

## → Lingid

Näide lihtsa WiFi antenni ehitamise kohta

[instructables.com/id/Easy-to-Build-WIFI-24GHz-Yagi-Antenna/](https://www.instructables.com/id/Easy-to-Build-WIFI-24GHz-Yagi-Antenna/)

Teave APC220 raadiomooduli kohta

[dfrobot.com/wiki/index.php/APC220\\_Radio\\_Data\\_Module\(SKU:TEL0005\)](https://dfrobot.com/wiki/index.php/APC220_Radio_Data_Module(SKU:TEL0005))

Näide sellest, kus on võimalik osta 433MHz LoRa raadiomoodulit

[amazon.co.uk/Adafruit-Feather-RFM96-LoRa-Radio/dp/B071V71ZSD/](https://amazon.co.uk/Adafruit-Feather-RFM96-LoRa-Radio/dp/B071V71ZSD/)